

УДК 683.8  
У51  
Л. Г. УЛЬМИШЕК

135-5

# ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЛАМП НАКАЛИВАНИЯ

Издание пятое,  
переработанное и дополненное

БИБЛИОТЕКА  
Брестского  
ТУ-151 электротехники

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»  
МОСКВА 1966 ЛЕНИНГРАД



В книге описаны устройство и технология производства электрических ламп накаливания и рассмотрены явления, протекающие в лампах при их изготовлении и эксплуатации. Изложены основы производства газов, стекла, тугоплавких проволок и других материалов и полуфабрикатов, применяемых при изготовлении ламп. Значительное место отведено сборке и испытанию ламп. Книга предназначена для бригадиров, мастеров и инженерно-технических работников электроламповых заводов, а также может быть использована в качестве пособия для учащихся электровакuumных специальностей.

Электрическая лампа накаливания — крупнейшее достижение в культурно-бытовой и хозяйственной жизни человека. Несмотря на растущее применение новых газоразрядных источников света (люминесцентных, ртутных, ксеноновых, натриевых), обладающих высокой экономичностью и долговечностью, лампы накаливания еще долго будут иметь преобладающее применение почти во всех областях осветительной техники, а во многих областях никогда не будут вытеснены газоразрядными лампами. Это объясняется относительно низкой стоимостью ламп накаливания, широтой и разнообразием их применения, удобством в обращении, простотой в обслуживании и, в особенности, малыми начальными затратами при оборудовании ими освещения.

Промышленность источников света в СССР быстро развивается. Рост числа электроламповых заводов в стране и развитие техники массового производства ламп требуют повышения уровня подготовки инженерно-технических и рабочих кадров.

Основная цель настоящего издания, как и предыдущих, вышедших в 1933, 1941, 1949 и 1958 гг., состоит в том, чтобы оказать помощь в практической работе и повышении квалификации широкому кругу работников предприятий, занятых изготовлением ламп накаливания, и способствовать изучению и освоению ими современной технологии промышленного производства электрических ламп.

Книга может также представить интерес для работников заводов, изготавливающих газоразрядные лампы и электровакuumные приборы, технология производства которых имеет много общего с технологией изготовления ламп накаливания.

Все главы настоящего издания переработаны с целью повышения ясности изложения; в некоторые главы внесены существенные изменения и дополнения, отражающие опыт, накопленный промышленностью за последние годы; включен ряд новых разделов за счет исключения устаревших; обновлена

значительная часть иллюстраций. Все это потребовало небольшого увеличения объема книги, что, однако, не повлияло на ее общий план.

Труд автора облегчили товарищи по совместной работе на Московском электроламповом заводе, сделавшие по отдельным разделам рукописи ряд замечаний, способствовавших улучшению книги. Автор выражает им свою признательность.

Автор приносит также благодарность П. В. Пляскину за полезные советы и значительную работу, проведенную при рецензировании рукописи и редактировании книги.

Отзывы, пожелания и замечания по содержанию книги просим направлять в издательство «Энергия» по адресу: Москва, Ж-114, Шлюзовая наб., 10.

*Л. Ульмишек*

## УСТРОЙСТВО ЛАМП

### 1-1. РАННИЕ ТИПЫ ЛАМП

Лампы накаливания принадлежат к искусственным источникам света теплового излучения. Устройство их основано на использовании тепла, выделяющегося при прохождении электрического тока по проводнику с высокой температурой плавления. Нагретый током тугоплавкий проводник излучает энергию, которая в форме электромагнитных волн различной длины распространяется в окружающем пространстве. Убыль энергии в виде излучения непрерывно восполняется проходящим током.

При низких температурах проводник излучает почти только невидимые лучи, а с повышением температуры возрастает энергия излучения и увеличивается доля видимых лучей. Проводник начинает светиться сначала темно-красным, затем красным, оранжевым и, наконец, белым светом.

Лампы накаливания принадлежат к электровакуумным приборам, действие которых связано с использованием электрических явлений в их рабочем пространстве. Они входят в группу так называемых безразрядных или проводниковых приборов, характеризующихся прохождением электрического тока по проводникам и используемых в качестве источника излучения (обычно — видимого света).

Не всякое тело способно выдерживать без изменения нагрев до температуры, при которой оно становится способным ярко светиться собственным светом. Большинство проводников при накаливании на воздухе быстро окисляется и сгорает. На протяжении многих лет исследователи и изобретатели стремились создать условия, при которых можно было бы накаливать проводник, не подвергая его разрушительному действию кислорода воздуха. Для этого требовалось применять в качестве тела накала неокисляющиеся материалы или накаливать проводник в среде, не содержащей кислорода. Первые изобретатели электрических ламп накаливания пошли по линии подбора трудно-

окисляющихся материалов. В качестве такого материала они применили проволоку из платины, не окисляющейся на воздух даже при температуре белого каления. Однако относительно низкая температура плавления платины ( $1774^{\circ}\text{C}$ ) и ее дороговизна заставили вскоре отказаться от такого способа получения света. Более приемлемым оказался способ изолирования тела накала от воздуха. Проволоку поместили в прозрачный стеклянный баллон, из которого затем выкачали воздух. В таких условиях ее можно было накаливать, не подвергая окислению и разрушению.

За небольшим исключением, почти все твердые материалы способные проводить ток, плавятся при нагреве до высокой температуры ранее, чем они начинают излучать достаточное количество света. После длительных изысканий материалов устойчивых при высоких температурах, сначала остановились на особом виде угля, а затем на тугоплавком металле — вольфраме. Уголь плавится при  $3500^{\circ}\text{C}$ , а вольфрам — при  $3400^{\circ}\text{C}$ . Из этих двух материалов предпочтение отдали вольфраму, потому что вольфрамовая проволока, накаливаемая током в пустоте, требовала электрической энергии почти в 3 раза меньше, чем угольная, при излучении равной световой энергии.

Еще более высокую температуру плавления имеют карбид тантала ( $3880^{\circ}\text{C}$ ) и карбид гафния ( $3890^{\circ}\text{C}$ ), однако эти материалы из-за чрезмерной твердости и хрупкости и вследствие невозможности протягивания из них проволоки пока не нашли практического применения в качестве тела накала.

Опыты получения электрического света накаливанием проводников начали производить вскоре после открытия в 1800 г. тепловое действие электрического тока. На протяжении более 70 лет многочисленные работы в этой области вследствие недостатка технических средств того времени не давали удовлетворительных результатов. Только в 1873 г. русский изобретатель А. Н. Лодыгин построил лампу с телом накала из угольного стерженька. В 1879 г. американский изобретатель Эдисон предложил рациональную конструкцию лампы с телом накала из угольного волоска. Лампа Эдисона из объекта лабораторных исследований и экспериментов превратилась в объект производства и широкого практического применения. После успешных работ Эдисона лампы накаливания стали изготавливать в промышленных масштабах. Появление этих ламп совершило переворот в технике освещения, дало толчок развитию всей электротехники, коренным образом изменило условия труда и жизни людей. Система освещения лампами накаливания получила быстрое развитие и всеобщее распространение, чему содействовала разработка к тому времени дешевых и удобных способов производства, передачи и распределения электрической энергии и техники получения вакуума.

Первые массовые типы ламп изготавливали с угольной нитью, приготовленной из обугленных волокон бамбукового тростника. Позднее разработали более совершенный метод приготовления нитей, состоящий в продавливании вязкой клетчатки через узкое сопло и последующем формовании и обуглива-

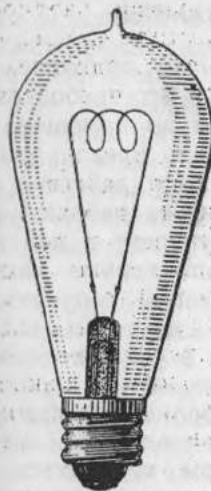


Рис. 1-1. Угольная лампа.

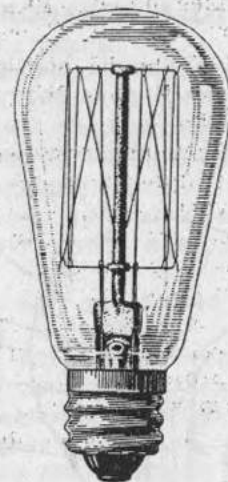


Рис. 1-2. Вакуумная лампа с прямой вольфрамовой нитью.

нии волосков. Угольные лампы приняли внешний вид (рис. 1-1), в основном сохранившийся до тех пор, пока они не были вытеснены лампами с вольфрамовой нитью.

Значительным шагом вперед явилась разработка в 1911 г. технологии получения прочной тонкой тянутой вольфрамовой проволоки. После освоения промышленной технологии изготовления такой проволоки вольфрамовые лампы благодаря их относительно высокой экономичности стали быстро вытеснять на производстве угольные лампы.

Лампа с прямой вольфрамовой нитью (рис. 1-2) представляет собой газонепроницаемую тонкостенную прозрачную или просвечивающуюся стеклянную оболочку (колбу), из которой тщательно выкачан воздух. Вольфрамовая нить такой лампы, изолированная от кислорода воздуха, при включении на напряжение накаливается, не перегорая. Нить смонтирована прямолинейными зигзагами на молибденовых держателях, вставленных в стеклянную ножку. Концы нити закреплены в особых проводниках (электродах), проходящих через ножку. Для удобного присоединения к электрической сети лампа снабжена цоколем, прикрепленным к колбе специальной мастикой.

Лампы, изготовленные таким способом, называют вакуумными с прямой нитью по тому признаку, что в них создано разрежение (вакуум) и их вольфрамовой нити придана прямолинейная форма.

## 1-2. ГАЗОНАПОЛНЕННЫЕ ЛАМПЫ

Для накаливания вольфрамовой нити необходимо изолировать ее от кислорода воздуха. Однако это требование не означает, что нить должна быть обязательно помещена в безвоздушную среду. Накаленную нить можно предохранить от разрушающего действия кислорода,

заставив ее работать в среде не реагирующего с ней газа. Лампы, наполненные таким защитным газом, получили название газонаполненных (рис. 1-3)

Как в разреженной среде вакуумных, так и в плотной среде газонаполненных ламп, материал нити под влиянием высокой температуры испаряется или, как иногда говорят, распыляется. Атомы вольфрама, преодолевая взаимное притяжение, отрываются от поверхности накаленной нити и отлетают на внутреннюю поверхность колбы. Постепенно накапливаясь там в большом количестве, они образуют осадок черного цвета, плотность которого возрастает по мере горения лампы. Под влиянием испарения тело накала постепенно становится тоньше и излучает меньше света, а колба темнеет и больше поглощает свет. Поперечное сечение нити уменьшается до тех пор, пока в некоторый момент в том месте, откуда отделилось наибольшее число атомов вольфрама, нить не разорвется.

От скорости испарения материала накаленной нити зависит продолжительность горения лампы. Наивысший предел рабочей температуры нити ограничивается

не столько температурой ее плавления, сколько температурой ее заметного испарения.

Основная цель, преследуемая наполнением ламп инертным газом, заключается в том, чтобы создать внутри колбы давление на накаленную нить и, затормозив тем самым испарение вольфрама, уменьшить почернение лампы в процессе горения. Замедление испарения вольфрама позволяет поднять температуру нити, не уменьшая срока службы лампы.

В вакуумных лампах атомы вольфрама, отрываясь от поверхности нити и беспрепятственно пролетая по прямым линиям через сильно разреженную среду, покрывают всю внутреннюю поверхность колбы. В газонаполненных же лампах оторвавшиеся атомы вольфрама в значительном количестве отбрасываются молекулами газа обратно на поверхность нити и частично увлекаются потоками горячего газа в верхнюю часть колбы.

Наряду с торможением распыления вольфрама заполняющий лампу газ оказывает влияние на тепловой режим тела накала. Тепло нагретых слоев газа передается беспорядочным движением газовых молекул более холодным слоям газа, а от них — стенкам колбы и далее окружающей среде. В результате нить несколько охлаждается, уменьшая излучение света. Такое расходование лампой части полезного тепла нити на нагревание газа, вызываемое разностью температур нити и газа и способностью газовых молекул передавать при своих соударениях тепло, носит название потери через теплопроводность газа.

Находящиеся вблизи раскаленной нити нагретые и, следовательно, более легкие слои газа поднимаются кверху, унося с собой часть тепла. На их место спускаются по стенкам колбы более холодные и, следовательно, более тяжелые слои газа, которые, нагреваясь, тоже поднимаются кверху, уступая свое место менее нагретому газу. В результате постоянного перемещения газа тепло нити непрерывно переносится в верхнюю часть лампы и оттуда в окружающую среду. Такое расходование лампой части полезного тепла нити на нагревание газа, вызываемое направленным перемещением газа под влиянием действия силы тяжести, носит название потери через конвекцию.

В то время как колба вакуумной лампы нагревается только лучистым теплом, колба газонаполненной лампы нагревается дополнительно теплом наполняющего газа. У вакуумных ламп различные места колбы нагреваются тем сильнее, чем ближе они отстоят от тела накала, а у газонаполненных степень нагрева различных участков колбы зависит еще от теплопроводности и движения конвекционных потоков газа. Так, когда газонаполненная лампа висит, т. е. работает в положении куполом вниз, температура участков колбы у цоколя равна 110—

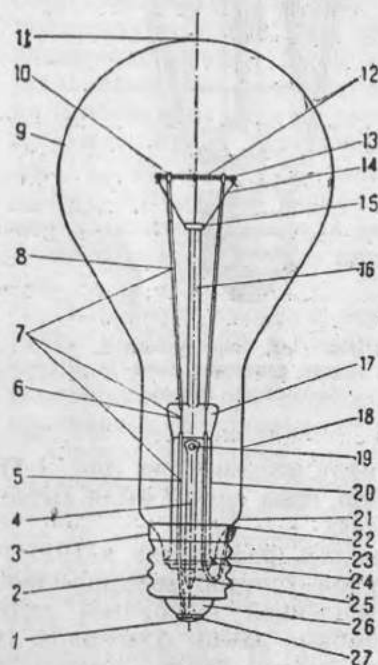


Рис. 1-3. Газонаполненная лампа.  
1 — нижний припой; 2 — резьба цоколя; 3 — рант цоколя; 4 — откачная трубка (штенгель); 5 — внешнее звено электрода (вывод); 6 — платинитовый спай; 7 — электрод; 8 — внутреннее звено электрода (ввод); 9 — баллон (колба); 10 — зажим свода; 11 — купол колбы; 12 — вольфрамовая спираль; 13 — завиток (петля) держателя; 14 — держатель спирали; 15 — линза; 16 — штабик; 17 — лопатка ножки (сжим); 18 — горловина колбы; 19 — откачное отверстие; 20 — тарелка; 21 — горло лампы; 22 — боковой припой; 23 — конус тарелки (развертка); 24 — шов; 25 — отпай («носок»); 26 — изоляция цоколя; 27 — контактная пластинка.

130°С, у купола 90—110°С и у перехода шаровой части в цилиндрическую 150—170°С. Когда эта же лампа стоит, т. е. работает в положении куполом вверх, температура у цоколя равна 50—70°С, а у купола 180—200°С<sup>1</sup>.

Таким образом, присутствие инертного газа в газонаполненных лампах вызывает, с одной стороны, положительное явление, состоящее в замедлении испарения вольфрама и позволяющее повысить температуру тела накала, и, с другой стороны, отрицательное, состоящее в потере энергии на нагрев заключенного в колбе газа и порождающее обратное явление — понижение температуры тела накала.

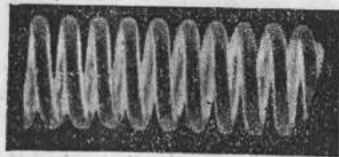


Рис. 1-4. Вольфрамовая спираль (увеличено).

В том случае, когда потери на отвод тепла газом не перекрываются выгодами, получаемыми от повышения температуры нити, лампы нецелесообразно наполнять газом. У ламп с тонкой и длинной вольфрамовой нитью наполняющий газ

вызывает настолько большие относительные потери тепла, что для их компенсации приходится подводить к лампам слишком много дополнительной энергии и тем самым значительно понижать экономичность ламп. Поэтому лампы общего назначения (нормальные осветительные) мощностью менее 25—40 вт, с вольфрамовой нитью диаметром менее 0,03—0,04 мм обычно изготавливают вакуумными, а лампы более мощные, с более толстой вольфрамовой нитью — газонаполненными.

Общие потери энергии, обусловленные теплопроводностью газа и конвекцией тепла в газе, носят название тепловых потерь через газ. С уменьшением длины и увеличением диаметра нити удельный вес тепловых потерь через газ в общем балансе энергии лампы уменьшается. Форма же и объем колбы, а также положение лампы при горении на величину тепловых потерь через газ практически не влияют.

Уменьшения тепловых потерь через газ можно достичь двумя путями. Первый путь заключается в свивании вольфрамовой проволоки в цилиндрическую винтовую спираль (рис. 1-4). Придание проволоке винтообразной формы с весьма малым расстоянием между витками (шагом) как бы искусственно увеличивает диаметр и уменьшает длину светящегося тела. Тепловые потери становятся пропорциональными уже не длине проволоки, а длине спирали. В проволоке, свитой в короткую спираль, охлаждается преимущественно внешняя поверхность витков и поэтому в лампах с таким телом накала уменьшаются тепловые потери через газ. Кроме того, вследствие близости витков друг к другу тепло каждого витка частично передается

соседним виткам, что позволяет затрачивать на нагрев всей спирали меньше энергии, чем на нагрев прямой нити.

Установлено, что в газонаполненных лампах раскаленное тело накала постоянно окружено относительно неподвижной оболочкой из сильно нагретого очень вязкого газа и насыщенных паров вольфрама. Внутри этой «застойной» оболочки происходит преимущественно тепловое движение молекул и почти не происходит конвекционного. Наоборот, за пределами этой оболочки происходит преимущественно конвекционное движение молекул и почти не происходит теплового. Внутренняя граница оболочки имеет температуру проволоки, а наружная — температуру окружающего газа. Газ, циркулирующий в лампе, по существу охлаждает не поверхность спирали, а поверхность окружающей спираль застойной оболочки. Спираль, охлаждаемая газом только с внешней стороны, подобна сплошной проволоке такого же диаметра, как наружный диаметр спирали. Уменьшение поверхности охлаждения спирали позволяет снизить тепловые потери через газ. С увеличением диаметра нити и повышением ее температуры уменьшается ее относительное охлаждение и повышается эффективность наполнения лампы газом. В полезности применения спирализованного тела накала можно наглядно убедиться, если изготовить лампу из вольфрамовой проволоки наполовину спирализованной, а наполовину прямой. В вакууме обе половины будут накаливаться почти одинаково, а в среде, заполненной газом, спирализованная половина будет накаливаться значительно сильнее, чем прямая.

Свивание вольфрамовой проволоки в спираль оказалось полезным и с точки зрения замедления испарения вольфрама. Некоторая, сравнительно небольшая, доля испаряющихся атомов вольфрама проходит сложный путь в застойном слое и, уносясь от пограничной поверхности этого слоя конвекционными потоками газа, окончательно покидает спираль. Другая, сравнительно большая, доля испаряющихся атомов вольфрама наталкивается в пределах застойного слоя на молекулы газа и, отбрасываясь обратно к поверхности тела накала, может остаться на ней. Покидая внутреннюю поверхность спирали, атомы вольфрама имеют возможность выходить наружу только через промежутки между витками. Некоторая доля атомов вольфрама, встречая на своем пути тело спирали, застревает на нем и участвует в работе тела накала, пока снова не оторвется от спирали. Часть этих вторично оторвавшихся атомов может испариться через промежутки между витками, а другая часть — возвратиться обратно на поверхность спирали и т. д. В конечном счете уменьшение диаметра вольфрамовой проволоки и потемнение стенок колбы значительно замедляются.

В газонаполненных лампах, как и в вакуумных, применяют электроды для соединения тела накала с цоколем и держа-

<sup>1</sup> На температуру колбы оказывают влияние также температура окружающей среды и условия теплообмена между колбой и окружающей средой.

тели для поддержания тела накала. Каждый держатель особенно электрод, обладая некоторой теплопроводностью, отводят от тела накала часть тепла и вызывают его охлаждение. С возрастанием числа держателей увеличивается охлаждение. Придание телу накала формы спирали позволяет поддерживать его на меньшем числе держателей и, как следствие, уменьшает их охлаждающее действие.

Второй путь уменьшения тепловых потерь через газ в газонаполненных лампах состоит в применении в качестве газа наполнителя малотеплопроводных газов. При выборе газа для наполнения ламп прежде всего требуется, чтобы он не вступал с раскаленным вольфрамом в химическую реакцию, приводящую к разрушению тела накала. Но не все газы, отвечающие этому требованию, приемлемы в качестве газа-наполнителя. Например, водород или гелий, не дающие с вольфрамом никаких химических соединений, совершенно непригодны для наполнения ламп, поскольку они, как и все легкие газы, слишком теплопроводны и не создают между телом накала и колбой требуемой теплоизолирующей среды. Лампы, наполненные водородом или гелием, имели бы значительные тепловые потери и были бы весьма неэкономичными.

Теплопроводность газа прямо пропорциональна скорости движения его молекул, а скорость движения молекул обратно пропорциональна квадратному корню из молекулярного веса газа. С возрастанием молекулярного веса уменьшается теплопроводность газа. Первые газонаполненные лампы наполняли азотом, молекулярный вес которого равен 28, но эти лампы имели большие тепловые потери и поэтому были недостаточно экономичными. Позднее лампы стали наполнять аргоном, молекулярный вес которого равен 40. Замена азота аргоном позволила уменьшить тепловые потери, а следовательно, повысить экономичность ламп.

Помимо положительного свойства аргона, выражающегося в уменьшении тепловых потерь в лампе, он оказался полезным и с точки зрения замедления испарения вольфрама, так как его тяжелые молекулы оказывают в застойном слое большую преграду испаряющимся атомам вольфрама, чем относительно легкие молекулы азота. Число атомов вольфрама, возвращающихся обратно на поверхность спирали, возрастает с уменьшением разницы между молекулярным весом вольфрама и наполняющего газа.

Наряду с достоинством аргона, как наполняющий газ, отличается и существенным недостатком, заключающимся в том, что он имеет низкое пробивное напряжение. Лампы, особенно для высокого напряжения, наполненные одним аргоном, подвержены во время эксплуатации перегоранию с явлением электрической дуги. Этот недостаток чистого аргона удалось устранить разбавлением его азотом в количестве до 14% по объему,

что хотя и вызвало незначительное увеличение тепловых потерь и усиление испарения тела накала, но зато значительно повысило электрическую прочность ламп.

Замедление испарения вольфрама у газонаполненных ламп используют обычно не для увеличения их срока службы в сравнении с вакуумными, а для повышения рабочей температуры нити путем подведения к лампам добавочной энергии.

Заслуга теоретической и практической разработки газонаполненных ламп принадлежит американскому физiku Ленгмюру. Предложенный им в 1913 г. принцип наполнения лампы газом и спирализации вольфрамовой нити позволил значительно повысить экономичность ламп, довести мощность в одной лампе до многих киловатт и создать новые возможности освещения — прожекторного, проекционного, автомобильного и др.

### 1-3. СПИРАЛЬНЫЕ ВАКУУМНЫЕ ЛАМПЫ

После освоения производства газонаполненных ламп на электrolамповых заводах пришли к выводу, что и вакуумные лампы целесообразно изготавливать со спиральной, а не прямой нитью. Такие лампы были созданы (рис. 1-5) и получили название спиральных вакуумных.

Модернизация вакуумной лампы оказалась целесообразной прежде всего по экономическим соображениям. Монтаж спиральной нити легче поддавался механизации, чем монтаж прямой; спиральная нить допускала уменьшение габаритных размеров ламп и сокращение расхода материалов на их изготовление.

Физические свойства спиральных вакуумных ламп изменились в лучшую сторону. Спиральные вакуумные лампы более целесообразно распределяют свет, чем лампы с прямой нитью; большая часть их света направляется вниз, а не в стороны, как у ламп с прямой нитью.

У спиральных вакуумных ламп молибденовые держатели почти не натягивают спираль, а лишь поддерживают ее и спираль, обладая большей упругостью, чем прямая нить, лучше противостоит натяжению. Увеличение диаметра нити, уменьшение числа держателей, взаимное нагревание плотно расположенных друг к другу вольфрамовых витков и более медленное



Рис. 1-5. Спиральная вакуумная лампа.

испарение вольфрама с внутренней поверхности спирали позволяют повысить температуру спирали и, следовательно, сделать лампы более экономичными.

Последнее преимущество спиральных вакуумных ламп не может быть в полной мере реализовано вследствие наблюдающихся у всех ламп со спиральным телом накала (в том числе и газонаполненных) эффектов экранирования и почернения излучения. Эффект экранирования излучения заключается в том, что часть световых лучей, испускаемых внутренней поверхностью спирали, не может выходить наружу и поглощается самой спиралью, не участвуя в общем излучении лампы. Эффект почернения излучения заключается в том, что часть лучей, отраженных от внутренней поверхности спирали, выходит между витками наружу с меньшим содержанием видимых лучей, чем при непосредственном излучении. Оба эффекта приводят к тому, что при одной и той же температуре спиральное тело накала излучает меньше света, чем прямое. Но так как спиральная нить может работать при более высокой температуре, чем прямая, то и света она может излучать больше.

После применения в вакуумных лампах спирального тела накала исчезло существовавшее внешнее различие между вакуумными и газонаполненными лампами. По внешнему виду и технологии производства оба типа ламп почти перестали отличаться друг от друга. Продукция стала однородной, а это уменьшило количество типов технологического оборудования, применяемого для изготовления ламп. В настоящее время лампы с прямой нитью сняты с производства и вышли из употребления.

#### 1-4. БИСПИРАЛЬНЫЕ ЛАМПЫ

Биспиральными называют лампы с дважды спирализованным телом накала (рис. 1-6). Для изготовления биспиралей сначала свивают из вольфрамовой проволоки обычную спираль (моноспираль), а затем из этой спирали свивают вторичную (биспираль). В биспирали создается высокое заполнение пространства вольфрамовой проволокой. Например, биспираль длиной 32 мм для 60-ваттной лампы на 220 в состоит из вольфрамовой проволоки длиной около 900 мм. Витки биспирали сильнее подогревают друг друга, чем витки моноспирали, что благоприятно влияет на повышение температуры излучающей поверхности. Сокращение эффективной длины тела накала позволяет дополнительно уменьшить тепловые потери через газ и держатели, а самоэкранирование тела накала позволяет дополнительно замедлить испарение вольфрама. Хотя



Рис. 1-6. Вольфрамовая биспираль (увеличено).

биспиральные лампы имеют несколько повышенные потери на экранирование и почернение излучения, но все же при равном потреблении энергии и равной продолжительности горения они излучают больше света, чем моноспиральные.

Применение биспирального тела накала оказалось особенно эффективным в маломощных лампах (от 40 до 100 вт), имеющих большой процент тепловых потерь. В лампах мощностью менее 40 вт применение биспирали становится неэффективным, так как такая форма тела накала с тонкой вольфрамовой нитью весьма неустойчива. В последнее время за рубежом мощные лампы (до 1000 вт) наряду с моноспиральными стали выпускать биспиральными. В таких лампах биспираль размещают по оси или под углом 30—60° к оси колбы в виде прямолинейного отрезка, позволяющего уменьшать потемнение колбы при обычном для этих ламп положении цоколем вверх.

Более высокая рабочая температура тела накала позволяет приблизить цвет излучения биспиральных ламп к цвету дневного света.

Благодаря относительно малым тепловым потерям колба и цоколь биспиральных ламп нагреваются меньше, чем моноспиральных. Это позволяет уменьшить объем ламп с сохранением неизменными температуры колбы и цоколя. Тем самым могут быть созданы условия для удешевления производства ламп и осветительной арматуры.

Биспиральные лампы наряду с достоинствами имеют и недостатки. Их тело накала отличается повышенной чувствительностью к сотрясениям, что ограничивает применение ламп в условиях больших механических перегрузок. Они отличаются большей склонностью к перегоранию с явлением электрической дуги, чем моноспиральные, что заставляет принимать некоторые дополнительные меры защиты электрической сети (стр. 343). Их тело накала больше подвержено провисанию при высокой рабочей температуре, чем моноспиральное, что заставляет предъявлять к вольфрамовой проволоке более высокие требования по формоустойчивости. Приведенные недостатки ограничивают применение биспиралей при изготовлении многих специальных газонаполненных ламп. Например, для ряда областей, где от источников света требуется повышенная прочность и надежность, избегают применять лампы с биспиральным телом накала.

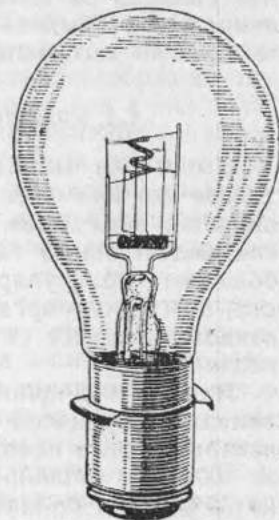


Рис. 1-7. Триспиральная проекторная лампа.



Некоторые мощные прожекторные лампы на 220 в, с целью наибольшего заполнения габарита тела накала вольфрамовой нитью, изготавливают не только с биспиралью, но даже с триспиралью (рис. 1-7). Тело накала таких ламп спирализуют 3 раза.

Биспиральные и триспиральные лампы были изобретены в 1914 г., но долго не получали практического применения, так как спираль их сильно провисала. Массовое производство биспиральных ламп началось только в 1935 г, после разработки технологии изготовления невисающего вольфрама.

### 1-5. КРИПТОНОВЫЕ И КСЕНОНОВЫЕ ЛАМПЫ

Выше уже было сказано, что чем тяжелее газ, тем эффективнее его применение в лампах. В этом отношении аргон является наилучшим газом. Как известно, существуют химически недействительные газы — криптон и ксенон, обладающие большим молекулярным весом, чем аргон (см. табл. 3-1, стр. 60). После организации добывания этих газов в промышленном масштабе они нашли успешное применение для наполнения ламп.

Наполнение криптоном и ксеноном позволяет значительно замедлить процессы передачи тепла от тела накала к колбе и испарения тела накала. Если принять теплопроводность аргона за 100%, то теплопроводность криптона составит 54% и ксенона 32%. Если принять скорость испарения вольфрама в аргоне за 100%, то скорость испарения его в криптоне составит 61% и ксеноне 41%. Уменьшение тепловых потерь и скорости испарения вольфрама увеличивает световой эффект криптоновых и ксеноновых ламп без сокращения их продолжительности горения. Малая теплопроводность криптона и ксенона по сравнению с другими газами позволяет снизить рабочую температуру колбы и цоколя при сохранении неизменными размеров лампы. Однако на практике предпочитают сохранять неизменными температуру колбы и цоколя, но значительно уменьшать размеры лампы. Колбам криптоновых ламп общего назначения обычно придают форму грибка, позволяющую помещать спираль в достаточном отдалении от стекла и вместе с тем сократить объем дорогостоящего наполняющего газа (рис. 1-8). Применение колб уменьшенных размеров позволяет сократить расход и других материалов.

Свет криптоновых и особенно ксеноновых ламп более близок к естественному белому свету и приятнее для глаза, чем свет аргоновых, потому что тело накала их работает при более высокой температуре.

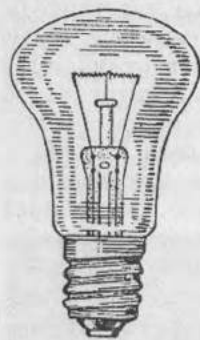


Рис. 1-8. Криптовая лампа.

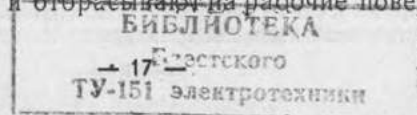
Чем больший процент тепловых потерь имеет лампа, тем выгоднее наполнять ее криптоном. Особенно большой экономический эффект дает наполнение криптоном ламп, имеющих тонкую вольфрамовую проволоку, что объясняется относительно большими тепловыми потерями в них. Наполнение криптоном позволяет уменьшить нижний предел мощности газонаполненных ламп и верхний предел мощности вакуумных ламп. Например, лампы общего назначения мощностью 40 и даже 25 вт при условии наполнения криптоном становятся более рентабельными в газонаполненном исполнении, чем в вакуумном. Лампы мощностью 15 вт наполнять криптоном уже нецелесообразно, так как при тонкой спирали этих ламп тепловые потери в них получаются все же настолько большими, что экономичность их становится примерно на 10% ниже, чем вакуумных ламп.

Пробивное напряжение криптона ниже, чем аргона, поэтому криптоновые лампы, как и аргоновые, для предупреждения перегорания с явлением электрической дуги наполняют не чистым криптоном, а с добавкой азота.

Криптон и ксенон находятся в природе только в атмосферном воздухе. В 1 м<sup>3</sup> воздуха содержится всего лишь 1 см<sup>3</sup> криптона, а ксенона еще меньше. Для получения 1 см<sup>3</sup> ксенона нужно переработать около 15 м<sup>3</sup> воздуха. Такое сравнительно малое содержание этих газов в воздухе определило сложность их промышленного добывания и высокую стоимость. Расход криптона на 1 000 ламп общего назначения составляет от 40 до 70 л. Для наполнения одной лампы требуется примерно столько криптона, сколько его содержится в воздухе просторной комнаты. Поэтому криптоновые и особенно ксеноновые лампы выпускаются пока в ограниченных количествах. Лампы целесообразно наполнять криптоном или ксеноном лишь в том случае, если затраты, связанные с применением этих газов, окупаются уменьшением расходов за электрическую энергию или улучшением условий освещения. Наполнение ксеноном в особенности себя оправдывает в малых лампах для переносных рудничных светильников, питаемых от аккумуляторов.

### 1-6. СВЕТОРАССЕИВАЮЩИЕ И СВЕТОНАПРАВЛЯЮЩИЕ ЛАМПЫ

При оборудовании электрического освещения стремятся, чтобы яркий свет раскаленной нити лампы не слепил глаза и не создавал резкого контраста с фоном. Для этого лампы заключают в светорассеивающую арматуру или, если арматура не прикрывает раскаленную нить от глаз, применяют лампы в светорассеивающей колбе. В том и другом случаях лампы посылают более мягкий свет и отбрасывают на рабочие поверхности менее резкие тени.



Под рассеиванием света понимают беспорядочное распространение лучей во всевозможных направлениях. Рассеивать свет способны стекла, внутренняя или внешняя поверхность которых механическими или химическими средствами сделана шероховатой. Пересекая такую неоднородную матовую поверхность, лучи света отклоняются от первоначального направления и беспорядочно рассеиваются во всех направлениях пространства. Матированное стекло, сохраняя светопрозрачность, становится непрозрачным. Через такое стекло раскаленная вольфрамовая нить просвечивается в виде расплывчатого светящегося пятна.

Отличный светорассеивающий эффект дает белое (глушеное) стекло. Такое стекло содержит в своем объеме мельчайшие прозрачные кристаллические частицы, обладающие иным показателем преломления, чем основное стекло. В зависимости от степени светопрозрачности различают молочное, опаловое и опалиновое глушеные стекла. Через молочное стекло раскаленная спираль не видна, через опаловое — едва различима, а через опалиновое хорошо видна. Размеры глушащих частиц колеблются от 0,2 мк в умеренно рассеивающих опалиновых стеклах до 10 мк в хорошо рассеивающих молочных.

Колбы из глушеного стекла обходятся дорого и поэтому от производства их отказались. Вместо них получили распространение колбы, окрашенные в белый цвет, хорошо имитирующие натуральные молочные, опаловые и опалиновые колбы, но более дешевые в изготовлении и поглощающие меньше света.

В светорассеивающих колбах изготавливают лампы общего назначения мощностью от 40 до 150 вт, обычно работающие в открытой armатуре. Более мощные лампы, работающие преимущественно в светорассеивающей armатуре, изготавливают только в прозрачных колбах. В сильно рассеивающих колбах изготавливают также лампы для фотоувеличительных работ и фотосъемок.

Для общего освещения высоких помещений, наружного и декоративного освещения, освещения витрин магазинов и некоторых других целей бывает необходимо сосредоточить свет в заранее выбранном направлении или перераспределить его от равномерного по всем направлениям пространства до концентрированного в пределах более или менее узкого телесного угла. Для таких целей применяют светильники<sup>1</sup>, снабженные направленноотражающим (зеркальным) или направленнорассеивающим (диффузным) отражателем. Зеркальный отражает лучи света в одном направлении в соответствии с законом: угол отражения равен углу падения; диффузный отражает лучи света во всех направлениях. Роль зеркальных отражателей выпол-

няет тонкий полированный слой металла, а роль диффузных — светонепроницаемый слой белой керамической краски или эмали.

Зеркальное и диффузное отражение можно создавать осветительной armатурой или непосредственно колбой лампы. В первом случае лампы в прозрачной колбе помещают перед отражающей поверхностью осветителя, а во втором на часть внутренней поверхности колбы наносят зеркальный слой серебра или алюминия или белый диффузный слой эмали, обладающие большим коэффициентом отражения (рис. 1-9). В зависимости от назначения лампы отражающий слой наносят на верхнюю, нижнюю или боковую поверхность колбы. Непокрытая часть служит выходным отверстием или «окном» для выпуска наружу световых лучей. У некоторых зеркальных ламп световое окно подвергают сильно просвечивающему «шелковому» матированию с целью устранения резких световых бликов и улучшения равномерности светового пятна, создаваемого на освещаемом поле.



Рис. 1-9. Зеркальная лампа.

Свет зеркальной лампы складывается из прямого света тела накала и отраженного света зеркала. Прямой свет практически неуправляем, а отраженный управляется приданием отражающей части колбы специальной (расчетной) формы, чаще всего параболоида вращения, и телу накала — определенным размерам, формы и положению. При параболическом отражателе и концентрации тела накала вокруг фокусной точки параболоида все отраженные лучи выходят через прозрачную часть колбы почти параллельным пучком. Лампы, покрытые диффузноотражающим слоем на купольной части колбы, при работе в положении цоколем вверх направляют около 80% света вверх для отражения от белого потолка и около 20% вниз непосредственно через колбу.

Некоторые миниатюрные лампы для улучшения светового эффекта изготавливают в сплюснутой (чечевицеобразной) колбе, на которую со стороны цоколя наносят непрозрачный отражающий слой белой глянцевой эмали.

Лампы с зеркально- или диффузноотражающим слоем конструктивно совмещают в себе собственно источник света и осветительную armaturу. Такие лампы-светильники, в отличие от обособленных светильников, лучше сохраняют свою

<sup>1</sup> Светильником называют осветительный прибор, состоящий из источника света и осветительной armaturы.

отражательную способность и не испытывают механического и химического воздействия окружающей среды. Они отличаются меньшими габаритами, весом и запальемостью. Зеркальные лампы особенно полезны для освещения мутных, влажных и химически активных сред. Они могут работать в упрощенной арматуре, лишь защищающей их от механических повреждений

и прямого попадания влаги. Применение их позволяет уменьшать расход электрической энергии и одновременно улучшать качество освещения.

На рис. 1-10 изображена одна из разновидностей ламп-светильников — цельностеклянная лампа-фара, применяемая в качестве источника головного света в автомобилях вместо обычных металлостеклянных фар со сменными лампами. Она со-

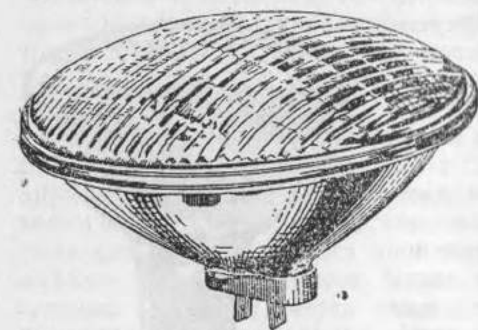


Рис. 1-10. Автомобильная лампа-фара.

стоит из двух заваренных прессованных деталей — параболического отражателя и призматического рассеивателя, образующих вместе герметически плотный толстостенный стеклянный баллон.

Отражатель представляет собой гладкое стекло, покрытое с внутренней стороны зеркальным слоем чистого алюминия, а рассеиватель — рифленое стекло, образующее на внутренней стороне как бы набор преломляющих линз и призм. Внутри баллона на стенках отражателя укреплены токовые вводы с одним или двумя телами накала, занимающими точно заданное положение относительно отражателя. Зеркало отражателя перехватывает большую часть световых лучей и отражает их в виде сконцентрированного узкого пучка света, а рассеиватель преломляет и рассеивает лучи в требуемом направлении, создавая надлежащее освещение дороги впереди автомобиля. Лампы-фары полностью защищены от проникновения воздуха, пыли и влаги и поэтому лучше сохраняют оптические свойства, чем разборные фары с обычной лампой. Большая внутренняя поверхность, по которой распределяется испаряющийся вольфрам, позволяет лампам-фарам хорошо сохранять начальный световой



Рис. 1-11. Зеркальная лампа из прессованного стекла.

поток в течение всего срока службы. Высокая стоимость ограничивает широкое применение ламп-фар.

За рубежом получили распространение для наружного и декоративного освещения, а также для подводного освещения зеркальные лампы из прессованного термостойкого толстостен-

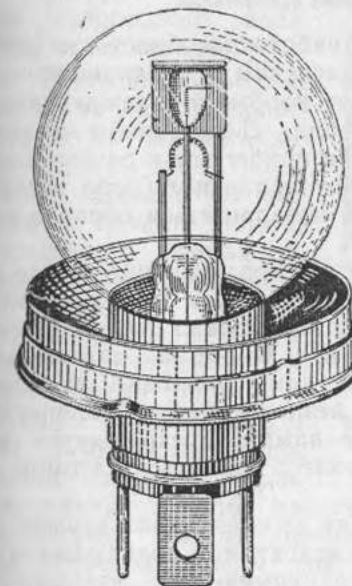


Рис. 1-12. Автомобильная лампа с экранированной нитью ближнего света.



Рис. 1-13. Кинопроекционная лампа с встроенным отражателем.

ного стекла, допускающие работу без защиты колбы от атмосферных осадков и воды (рис. 1-11). Такие колбы по сравнению с выдвумными обладают большей прочностью и точностью формы и позволяют более правильно размещать тело накала по отношению к зеркальному отражателю.

В специальных лампах — для некоторых автомобильных фар и кинопроекторов — требуемое светораспределение создают встроенным внутри баллона лампы и укрепленным на держателе около тела накала никелевым экраном (рис. 1-12) или полированным алюминиевым отражателем (рис. 1-13). Экран перехватывает и поглощает падающие на него прямые лучи, которые иначе выходили бы непосредственно через рассеиватель фары, а отражатель перехватывает и возвращает направленные на него лучи, которые иначе поглощались бы в конструкции цоколя и в деталях кинопроектора.

К числу ламп, перераспределяющих световые лучи, относятся миниатюрные, так называемые линзовые лампы, у которых

купол колб выполнен в виде двояковыпуклой линзы. Применение линзы позволяет сконцентрировать световой пучок в небольшом угле и создать малогабаритный фонарь без дополнительной наружной оптики.

### 1-7. ЛАМПЫ С ЙОДНЫМ ЦИКЛОМ

Как выше уже отмечалось, работоспособность и долговечность ламп ограничиваются термическим испарением вольфрама, которое приводит к потемнению колбы и преждевременному износу и разрушению тела накала. Для борьбы с вредным влиянием термического испарения прибегают к различным средствам, которыми либо замедляют испарение, либо заставляют испарившиеся атомы вольфрама возвращаться обратно на тело накала.

В последние годы получили распространение новые источники света — лампы накаливания с йодным циклом, в которых заставили испаряющиеся атомы вольфрама возвращаться на поверхность тела накала не только из объема лампы, но и со стенок колбы. Устройство таких ламп основано на введении в них, помимо инертного газа, незначительного количества чистого йода, которое при работе лампы превращается в пар, совершающий непрерывный процесс переноса атомов вольфрама.

Схема цикла переноса состоит из следующих этапов: 1) испарение с поверхности тела накала атомов вольфрама и осаждение их на стенках колбы; 2) химическое взаимодействие осажденного вольфрама с парами йода и образование газообразного йодида вольфрама ( $WJ_2$ ); 3) перенос йодида вольфрама со стенок колбы в зону раскаленной спирали; 4) разложение йодида вольфрама вблизи раскаленной спирали с образованием исходных вольфрама и йода; 5) осаждение освобожденных частиц вольфрама на тело накала и возвращение освобожденных частиц йода к колбе, где они снова вступают в цикл переноса.

Образование и испарение йодида вольфрама может происходить при температуре не ниже  $250^\circ\text{C}$ , а разложение его — при температуре не ниже  $1250^\circ\text{C}$ . Для успешного осуществления йодного цикла необходимо, чтобы все участки внутренних стенок колбы имели оптимальную температуру  $500\text{—}700^\circ\text{C}$ , а тело накала — не ниже  $2500^\circ\text{C}$ . Кроме того, необходимо, чтобы путь перемещения паров йода от спиралей к стенкам колбы был наименьшим. Эти требования обусловили необходимость изготовления колбы лампы из жаропрочного материала, подобного плавленному кварцу, и придания колбе малых размеров или формы протяженной узкой трубки, позволяющих располагать тело накала на очень близком расстоянии от любой точки внутренней поверхности колбы. В таких условиях разме-

ры колбы лежат внутри застойного слоя газа, стенки колбы равномерно и сильно нагреваются лучистым теплом тела накала, конвекционные потоки газа в лампе почти отсутствуют и молекулы газа, участвующие в цикле, перемещаются в направлении уменьшения их концентрации (у стенки концентрация йодида вольфрама больше, чем у спирали, а у спирали концентрация свободного йода больше, чем у стенки).

Во внутреннем объеме йодных ламп не допускаются никакие другие металлические детали, кроме вольфрамовых. Детали из молибдена и никеля, обычно применяемые в лампах накаливания, здесь не могут быть применены, так как они, взаимодействуя с йодом, нарушают нормальное протекание йодного цикла.

Большим преимуществом йодных ламп является повышенная мощность, сконцентрированная в колбе малого объема и веса. Внутренний объем йодной лампы примерно в 50—150 раз меньше объема обычной лампы той же мощности, что позволяет существенно уменьшить габариты и вес осветительных приборов. Несмотря на свои малые размеры йодные лампы отличаются высокой стабильностью излучения. На протяжении всего срока службы их колба практически остается прозрачной. На рис. 1-14 изображена йодная лампа на 220 в, 1 000 вт с вольфрамовой спиралью, размещенной на тонких вольфрамовых подержках в виде проволочных колец вдоль оси кварцевой трубки-колбы. Такая лампа имеет диаметр 10 мм, длину 370 мм, тогда как обычная лампа такой же мощности имеет диаметр 150 мм и длину 300 мм. На рис. 1-15 изображена йодная лампа для кинофотосъемок. Напряжение ее 120 в, мощность 1 000 вт, диаметр 12 мм, длина 60 мм, срок службы 12 ч.

Трубчатые йодные лампы с вытянутым в линию телом накала могут работать только в горизонтальном положении. В ином положении концентрация йода в верхней части уменьшается, что приводит к нарушению йодного цикла, перекаливанию нити и потемнению колбы, а концентрация йода в нижней части увеличивается, что хотя и не нарушает йодного цикла, но приводит к поглощению света темно-красными парами йода и потере части излучения. С уменьшением длины лампы увеличивается допуск на угол ее наклона. Малые йодные лампы могут работать в любом положении.

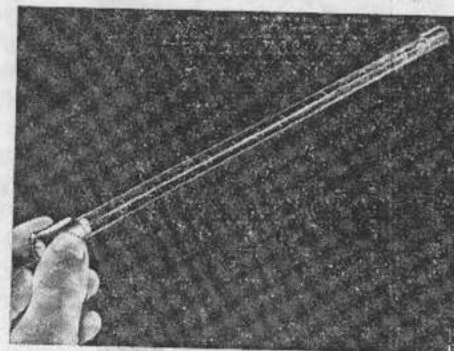


Рис. 1-14. Инфракрасная лампа с йодным циклом.

Пары йода вводят в лампу в минимальном количестве (около  $0,1 \text{ мг/см}^3$ ) из специального сосуда путем возгонки в вакууме кристаллического йода или другим способом. При избыточной дозировке пары йода поглощают часть излучения, а при недостаточной реакция между вольфрамом и йодом проходит вяло и лампа быстро чернеет.

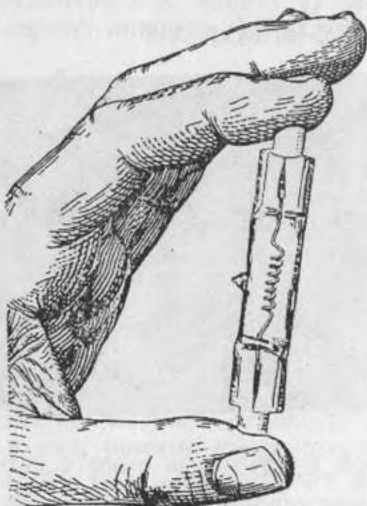


Рис. 1-15. Лампа с йодным циклом для кинофотосъемок.

Введение в лампу чистого сухого аргона до давления в холодном состоянии  $600 \text{ мм рт. ст.}$  предотвращает возникновение электрической дуги и образование на спирали неравномерных иглообразных наростов возвращенного вольфрама. Высокая рабочая температура аргона при малом диаметре колбы повышает рабочее давление газа до  $2,5\text{—}4 \text{ ат}$  и более, в то время как в обычных безйодных лампах давление достигает лишь  $1,3 \text{ ат}$ . Применение газа с большим молекулярным весом (криптона, ксенона) существенно увеличивает срок службы и экономичность ламп. Использование в йодных лампах этих дорогостоящих газов вполне себя оправдывает.

Йодные лампы не могут работать вечно, так как на каждый отдельный участок спирали не обязательно возвращается то количество вольфрама, которое испарилось с этого участка. Большое давление наполняющего газа способствует более равномерному возврату вольфрама на нить.

Йодные лампы отличаются высокой механической прочностью и термической стойкостью. Работающие йодные лампы выдерживают большое внутреннее давление газа и не боятся поливания холодной водой, даже если их колба нагрета до красного каления.

К недостаткам йодных ламп следует отнести высокую температуру цоколей ( $200\text{—}300^\circ \text{C}$ ) и колб ( $400\text{—}800^\circ \text{C}$ ), что требует обеспечения особых условий эксплуатации (применение специальных патронов и арматуры).

Колбу йодных ламп необходимо оберегать от прикосновения рук, так как кварцевое стекло с отпечатками пальцев и следами жира при нагреве кристаллизуется и перестает быть прозрачным.

Йодные лампы получили применение в установках наружного освещения, технике инфракрасного нагрева, кинематографии, фотографии, авиации, автомобилях. Их можно применять и

в других областях, где используются обычные лампы накаливания, но широкому распространению их препятствует сложность технологии изготовления ламп и высокая стоимость прозрачного кварцевого стекла. Использованию йодного цикла в обычных лампах мешает наличие в них невольфрамовых деталей и недостаточно высокая температура колбы.

В последнее время наметилось новое направление в конструировании йодных ламп, заключающееся во встраивании их в обычные выдувные или прессованные зеркальные колбы.

В самое последнее время появились сообщения об изготовлении ламп, в которых йод заменен другим галоидом — фтором. И то время как в йодных лампах пары вольфрама конденсируются преимущественно на более холодных участках спирали, в лампах с фтором они осаждаются на участках с наиболее высокой температурой, т. е. в зонах утонения вольфрамовой проволоки, где наиболее вероятно ее перегорание. Введение фтора практически исключает почернение стенок колбы и позволяет накаливать нить при температурах, близких к точке плавления вольфрама. В лампах, наполненных фтором, процесс взаимодействия вольфрама с фтором поддерживается при любой температуре стенок колбы. Применение фтора вызывает ряд трудностей, связанных с разрушающим действием его на стекло и металлы.

— 0

## ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАМП

### 2-1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Лампы накаливания разделяют на две большие группы: 1) лампы общего назначения, изготавливаемые для освещения закрытых помещений и открытых пространств и 2) лампы специального назначения, изготавливаемые с учетом каких-либо особых требований, характерных для отдельных областей их применения. Те и другие различают по техническим параметрам и характеристикам.

Под параметрами ламп понимают электрические, световые и другие физические величины, характеризующие свойства ламп и определяющие условия их применения. Под характеристиками ламп понимают зависимость одних параметров от других, представленную в виде таблиц, кривых или уравнений. Постоянство параметров и характеристик обеспечивает взаимозаменяемость ламп и создает необходимые условия для их успешной эксплуатации. От параметров ламп зависит эффективность осветительной арматуры и оптических приборов, совместно с которыми лампы работают.

Численные значения параметров, на которые лампы рассчитаны и при которых лампы должны нормально работать, называют номинальными. Действительные параметры ламп всегда в большей или меньшей мере отличаются от номинальных.

### 2-2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

К основным электрическим параметрам ламп относятся напряжение, мощность и ток.

Напряжение лампы обычно задают равным принятому напряжению электрической сети, к которой лампы должны подключаться.

Номинальное напряжение, выраженное в вольтах, обозначают на цоколе или колбе.

Автомобильные лампы наряду с номинальным характеризуют расчетным напряжением, под которым понимают выра-

женное в вольтах наиболее вероятное напряжение, при котором лампы должны работать.

Для целей освещения применяют сети с различным напряжением. Для каждого напряжения электроламповые заводы изготавливают особые лампы. Современная электроламповая техника позволяет конструировать лампы на любое напряжение от 1—1,5 в до 300 в и выше. Однако для уменьшения опасности поражения людей током применяют осветительные сети и лампы при напряжении не выше 250 в.

В СССР лампы общего назначения, работающие от общей электрической сети, изготавливают на 127 и 220 в. Такой выбор напряжений основан на том, что если между каждой парой фаз трехфазной электрической сети напряжение равно 220 в, то между фазным и нулевым проводом напряжение равно  $220/\sqrt{3}$ , т. е. 127 в.

Для подвижного состава железных дорог изготавливают лампы на 50 и 54 в; для судов флота — на 24, 110, 127 и 220 в; для автомобилей, тракторов и других самоходных машин — на 6, 12 и 24 в; для самолетов — на 28 в; для карманных фонарей — на 2,5; 3 и 3,5 в; для аккумуляторных рудничных свегильников — на 2,4; 3,4 и 3,75 в и т. д. Для ряда специальных целей изготавливают лампы на низкое напряжение с расчетом включения их в общую сеть через понижающий трансформатор. В частности, для местного безопасного производственного освещения изготавливают лампы на 12 и 36 в. Для некоторых светоптических приборов тоже изготавливают лампы на низкое напряжение, например, для сигнализации в железнодорожных светофорах — на 10 и 12 в. Уменьшение питающего напряжения служит одним из средств повышения механической прочности ламп.

Лампы нормально работают лишь при условии, что подводимое к ним напряжение мало отличается от номинального. При понижении напряжения они не создают должного светового эффекта, а при повышении — перегорают ранее установленного срока.

Второй электрический параметр ламп — мощность — показывает, какое количество электрической энергии потребляет лампа в единицу времени. Номинальную мощность, выраженную в ваттах, обозначают на цоколе или колбе. Электрическую энергию, израсходованную лампой за какой-то период времени, измеряют в ватт-часах.

Электрические лампы изготавливают в очень широком диапазоне мощностей, в зависимости от области применения ламп. Лампы общего назначения изготавливают мощностью от 15 до 1500 вт, а специальные — от долей ватта до нескольких десятков киловатт.

Третий электрический параметр ламп — ток — обычно представляет интерес лишь как величина, определяющая мощность

при данном напряжении. Некоторые низковольтные миниатюрные лампы, работающие на постоянном токе от аккумуляторов или сухих элементов и батарей, выпускают с обозначением номинальной мощности, а соответствующей ей номинальной или максимальной величины тока, выраженной в амперах. Величина тока таких ламп обычно ограничивается электрической емкостью источника тока, измеряемой в ампер-часах. Переносные рудничные лампы потребляют 1,0—1,5 а, лампы для карманых фонарей — около 150 ма, коммутаторные — 60—100 ма, самолетные лампы для подсветки шкал приборов — 50—200 ма.

Большинство типов ламп предназначают для параллельного включения в электрическую сеть, при котором достигается независимая работа каждой лампы. Некоторые специальные лампы предназначают для последовательного соединения (лампы для метро, трамвайные, елочные). В каждой из последовательно соединенных ламп течет один и тот же ток независимо от размеров тела накала. Нити ламп, соединенные последовательно, накаливаются до одинаковой температуры только при условии, что площадь их поперечного сечения строго одинакова. У ламп последовательного соединения постепенно уменьшение диаметра нити, обусловленное испарением вольфрама, вызывает не уменьшение мощности и рабочей температуры, как у ламп параллельного соединения, а, наоборот, возрастание их. Чтобы в вагонах метро перегорание одной лампы не влекло за собой возникновения электрической дуги и отключения всей серии последовательно соединенных ламп, на внутренние звенья электродов ламп надевают самозакорачивающее устройство, состоящее из двух оксидированных алюминиевых скоб. Когда нить какой-нибудь лампы перегорает, высокое напряжение пробивает скобу и автоматически отключает перегоревшую лампу, не давая погаснуть остальным.

Известно, что с повышением температуры сопротивление плохих проводников уменьшается, а хороших — увеличивается. Вольфрам хорошо проводит электрический ток. Сопротивление его в горячем состоянии во много раз больше, чем в холодном. Например, сопротивление тела накала спиральной вакуумной лампы на напряжение 220 в мощностью 40 вт в холодном состоянии равно 100 ом, а в рабочем — 1 200 ом, т. е. в 12 раз больше, а сопротивление тела накала лампы на напряжение 127 в мощностью 1 000 вт в холодном состоянии равно 1,1 ом, а в рабочем 16 ом, т. е. в 14,5 раз больше. Если при эксплуатации лампы почему-либо повышается напряжение сети, то по закону Ома должен одновременно возрасти ток в цепи лампы, а следовательно, и повышаться температура тела накала, но так как повышение температуры нити одновременно вызывает увеличение ее сопротивления, то ток возрастает не пропорционально повышению напряжения, а несколько меньше, чем соответственно уменьшает опасность перегорания лампы. С другой

стороны, положительный температурный коэффициент сопротивления вольфрама вызывает отрицательное явление во время включения ламп. В момент каждого включения, вследствие малого сопротивления холодной нити, пусковой ток превышает рабочий в 12—18 раз. Резкий «бросок» тока, хотя и очень кратковременный (от 0,1 до 0,3 сек в зависимости от толщины нити) может вызвать перегорание долго горевших ламп и даже переплавление сетевого предохранителя с отключением сети, если номинальный ток предохранителя выбран неправильно или предохранитель не обладает известной инерционностью.

Самопроизвольное отключение сети чаще наблюдается в случаях одновременного зажигания большого числа мощных ламп. Для ограничения пускового тока в таких случаях сначала подводят к лампам тем или иным способом пониженное напряжение, а уже после разогрева спиралей подают полное напряжение.

В подавляющем большинстве осветительных установок лампы накаливания можно включать непосредственно в сеть переменного или постоянного тока с напряжением, равным их рабочему напряжению. Они не нуждаются для зажигания и горения в каких-либо пускорегулирующих и вспомогательных устройствах, усложняющих эксплуатацию осветительных установок и требующих дополнительное потребление энергии из сети. При включении они зажигаются практически мгновенно. Схема их включения очень проста и не требует квалифицированного ухода или обслуживания.

Тело накала ламп составляет безындукционную (активную) электрическую нагрузку. Эксплуатация ламп на переменном токе не приводит к уменьшению в сетях коэффициента мощности ( $\cos \varphi$ ).

Лампы накаливания не создают помех радиоприему ни по воздуху, ни по питающей сети, что освобождает от необходимости проведения специальных мер для подавления этих помех. Осветительные устройства с лампами накаливания удобны для монтажа, легко устанавливаются в любом месте, бесшумны в работе и безопасны.

### 2-3. СВЕТОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ

К основным световым параметрам ламп относятся световой поток, сила света и яркость.

Тело накала ламп при нагреве излучает в пространство энергию. Незначительная доля энергии излучения воспринимается глазом в виде света (видимые лучи), а остальная часть не вызывает никакого зрительного ощущения (инфракрасные и ультрафиолетовые лучи). Мощность всей энергии излучения называют лучистым потоком, а ту ее часть, которая вызывает зрительное ощущение, — световым потоком.

Таблица 2-1

## Световой поток ламп общего назначения по международным техническим условиям

Мощность, вт	Световой поток для напряжения, лм		Мощность, вт	Световой поток для напряжения, лм	
	127 в	220 в		127 в	220 в
25	220	220	200	3 200	2 920
40	425	350	300	4 950	4 610
60	750	630	500	8 800	8 300
75	980	850	1 000	18 800	18 600
100	1380	1 250	1 500	29 600	29 000
150	2300	2 090			

За единицу светового потока принят люмен (лм). Эта единица весьма мала. Лампа для карманного фонаря излучает около 7 лм. Проекторная лампа мощностью 10 000 вт на напряжение 110 в излучает около 300 000 лм. В табл. 2-1 приведены номинальные значения светового потока ламп общего назначения, рекомендованные Международной электротехнической комиссией (МЭК) в 1961 г.

Световую энергию, выработанную лампой за какой-то период времени, измеряют в люмен-часах.

Световой поток одной и той же лампы зависит только от температуры тела накала, которая в свою очередь зависит только от величины подводимого к лампе напряжения. При необходимости световой поток можно широко регулировать изменением подводимого напряжения при помощи реостата или автотрансформатора с подвижным контактом. Глаз начинает (или перестает) замечать накал нити вакуумных ламп при напряжении, равном около 7% номинального, а газонаполненных — около 12% номинального.

Если бы источники света представляли собой светящуюся точку, то весь излучаемый ими световой поток распределялся бы равномерно по всем направлениям пространства. Однако применяемые на практике источники света, в частности, лампы накаливания, имеют светящееся тело весьма разнообразных размеров и поэтому излучаемый ими световой поток распространяется в пространстве неравномерно. Такие источники света наряду со световым потоком часто оценивают по угловой плотности светового потока или по силе света, которая определяется отношением светового потока к телесному (пространственному) углу, в пределах которого он равномерно распространяется. Ось этого угла принимается за направление силы света.

Силу света измеряют в свечах (св), а телесный угол — в стерadianах (стер). Стерadian — это телесный угол, вершина которого помещается в центре шара и который вырезает на

поверхности шара площадку, численно равную квадрату радиуса этого шара. Телесный угол, опирающийся на полную шаровую поверхность, равен 4π стер. Лампа, равномерно излучающая внутри телесного угла в 1 стер световой поток в 1 лм, обладает силой света в 1 св

$$1 \text{ св} \times 1 \text{ стер} = 1 \text{ лм.}$$

При оценке ламп по силе света точно указывают направление, в котором она определена. Многие автомобильные лампы характеризуют средней сферической силой света, т. е. средней из значений сил света во всех направлениях пространства. Зависимость между световым потоком  $\Phi$  и средней сферической силой света  $I_0$  выражается уравнением

$$I_0 = \frac{\Phi}{4\pi},$$

или

$$\Phi = 12,57 I_0. \quad (2-1)$$

Полный световой поток лампы, излучающей свет по всем направлениям пространства силой в 1 св, составляет 12,57 лм.

Условия освещения обычно оценивают не по световому потоку лампы, а по отношению светового потока к размеру площадки, на которую он падает. Эту величину называют освещенностью и измеряют в люксах

$$1 \text{ лк} = 1 \text{ лм/м}^2.$$

Каждая лампа характеризуется своим распределением светового потока в пространстве, зависящим от формы, размеров и расположения тела накала, а также от формы, размеров и оптических свойств колбы. Графически светораспределение характеризуют кривыми, нанесенными в системе полярных координат, центр которых совмещен с центром тела накала. На рис. 2-1 изображена кривая силы света в вертикальной плоскости лампы общего назначения в прозрачной колбе. Расстояние от геометрического центра тела накала (светового центра) до любой точки на этой кривой пропорционально силе света в направлении этой точки. Большинство ламп имеет симметричное относительно оси колбы тело накала и соответственно симметричное светораспределение.

Для ламп в прозрачной колбе светораспределение не имеет принципиального значения, так как в условиях эксплуатации оно определяется, главным образом, осветительной арматурой.

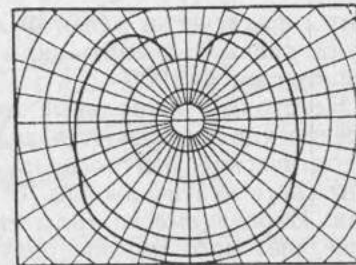


Рис. 2-1. Продольная кривая силы света нормальной осветительной лампы.



Для зеркальных ламп светораспределение является главной характеристикой. На рис. 2-2 и 2-3 изображены типовые кривые силы света в вертикальной плоскости зеркальной лампы с широким и узким светораспределением. Первые предназначены преимущественно для наружного освещения, а вторые — для освещения помещений. Кривые даны для условной лампы, световой поток которой равен 1000 лм. Если световой поток

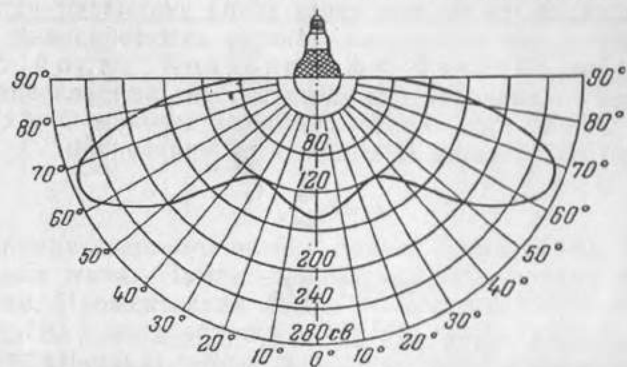


Рис. 2-2. Продольная кривая силы света зеркальной лампы с широким светораспределением.

роким светораспределением равен около 3, со средним — около 6 и с узким — до 20.

В некоторых зеркальных лампах нормируют полезный угол рассеяния, которым называется наибольший угол, в пределах которого сила света уменьшается до значения, считающегося минимально необходимым (обычно 50% своего наи-

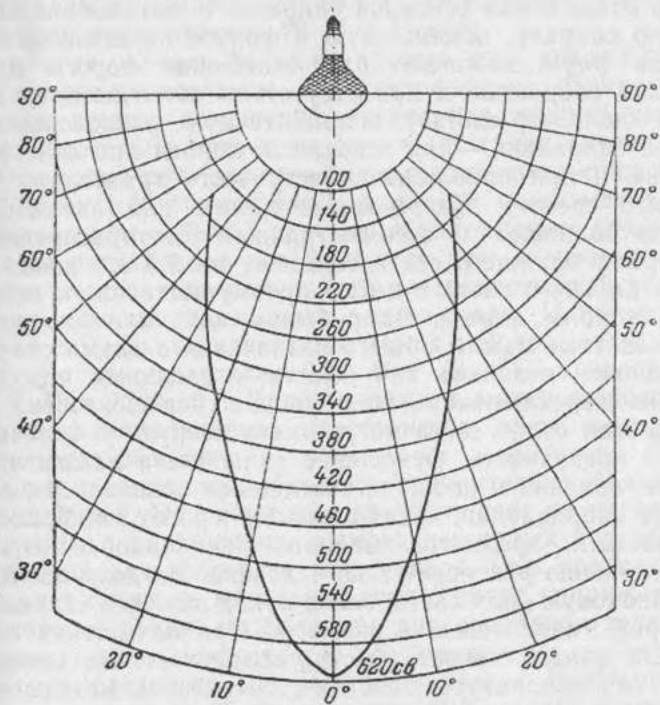


Рис. 2-3. Продольная кривая силы света зеркальной лампы с узким светораспределением.

лампы фактически равен  $\Phi$  лм, то сила света в любом направлении равна значению силы света, взятому по кривой, умноженному на  $\Phi/1000$ .

Некоторые зеркальные лампы вместо кривой светораспределения характеризуются значением силы света в направлении их оптической оси (осевая сила света), а также значениями силы света через каждые  $10^\circ$  или в других заданных направлениях. Иногда вместо силы света нормируют минимальное значение светового потока, излучаемого в нижней полусфере или в зоне другого определенного телесного угла. Хотя зеркальная лампа за счет некоторого поглощения света отражающим слоем зеркала излучает меньший световой поток, чем аналогичная прозрачная лампа, сила света ее в рабочем направлении значительно превышает среднюю сферическую силу света прозрачной лампы. Эта особенность зеркальных ламп позволяет создавать ими значительно более высокие уровни освещенности, чем прозрачными. Отношение светового потока зеркальной лампы к световому потоку такой же лампы, но без нанесенного зеркала, называют коэффициентом полезного действия, а отношение наибольшей силы света зеркальной лампы к средней сферической силе света такой же лампы, но без нанесенного зеркала, называют коэффициентом усиления. Коэффициент полезного действия большинства зеркальных ламп равен 0,75—0,8; коэффициент усиления ламп с ши-

большего значения). Иногда вместо полезного угла рассеяния нормируют угол, под которым лампа имеет наибольшую силу света. Световой поток зеркальных ламп целесообразно используется только в пределах полезного угла рассеяния. Чем меньше угол рассеяния, тем больше коэффициент усиления. Зеркальные лампы для общего промышленного освещения имеют угол рассеяния около  $2 \times 20^\circ$ , а для наружного освещения — около  $2 \times 40^\circ$ .

Коэффициент усиления и полезный угол рассеяния зеркальных ламп зависят от профиля отражающей части колбы, формы тела накала и положения тела накала относительно отражающей поверхности. Отклонения этих геометрических характеристик вызывают большой разброс светораспределения ламп.

Некоторые специальные лампы — для автомобильных фар, переносных рудничных светильников, хирургических светильников и др. снабжают двумя самостоятельными параллельно соединенными нитями накала, заключенными в одну колбу. У рудничных и хирургических ламп запасную спираль зажигают для продолжения работы в случае внезапного перегорания или отключения основной спирали. У автомобильных ламп основную спираль, помещаемую в фокусе параболического отражателя фары, зажигают для освещения дороги при езде с большой скоростью и при отсутствии встречного транспорта (режим «дальнего света»), а придаточную, расположенную на основной спиралью, — для освещения дороги при езде с малой скоростью и при приближении встречного транспорта (режим «ближнего света»). Современные лампы для автомобильных фар изготавливают с несимметричным светораспределением: ось спирали ближнего света смещают на 2,5 мм влево от оси спирали дальнего света с целью преимущественного освещения правой стороны дороги. За рубежом получили распространение трехцветные лампы общего назначения с двумя спиралями, работающими отдельно или вместе и дающими при соответствующих переключениях три уровня освещенности. Лампы с одинаковой силой света могут иметь разную по величине светящуюся поверхность. Отношение силы света лампы в каком-либо направлении к площади светящейся поверхности, видимой в том же направлении, носит название яркости. Яркость рассматриваемых предметов является величиной, на которую непосредственно реагирует глаз человека. Из двух ламп, имеющих одинаковую силу света, более яркой кажется та, тело накала которой имеет меньшие размеры. При повышении температуры тела накала яркость быстро возрастает. На зависимость яркости от температуры основаны оптические методы измерения высоких температур. Яркость, умноженная на видимую поверхность светящегося тела, равна силе света. За единицу яркости принят нит (*нт*) или стильб (*сб*).

$$1 \text{ нт} = 1 \text{ св/м}^2;$$

$$1 \text{ сб} = 1 \text{ св/см}^2;$$

$$1 \text{ сб} = 10\,000 \text{ нт} = 0,01 \text{ Мнт}.$$

Для некоторых проекционных и светооптических приборов, например, кинопроекторов, прожекторов, светосигнальных приборов и др., бывает важно, чтобы лампы при возможно большем световом потоке обладали наименьшей поверхностью излучения. Телу накала таких ламп придают минимальные размеры и сообщают максимальную рабочую температуру. Вместо светового потока или силы света такие лампы характеризуют габаритной яркостью, под которой понимают отношение силы света лампы к величине площади габарита тела накала.

При этом несветящиеся промежутки между витками и между соседними спирали включают в площадь габарита, а силу света принимают измеренную в направлении, перпендикулярном к площади габарита. Тело накала некоторых кинопроекторных ламп изготавливают в виде плоской плотно навитой спирали, вся рабочая площадь которой равномерно и плотно заполнена вольфрамовыми витками. Одна из таких ламп К30-400 имеет габаритную яркость 20 Мнт (2 ксб).

Во многих случаях большая яркость тела накала представляется скорее недостатком, чем достоинством. Например, при освещении жилых помещений чрезмерная яркость источника света отрицательно влияет на зрение. В таких случаях всегда стремятся уменьшить яркость без существенного снижения светового потока. У применяемых для этой цели матированных или окрашенных в белый цвет ламп излучающей поверхностью служит не раскаленная вольфрамовая нить, а размытое световое пятно вокруг тела накала или поверхность всей колбы. Габаритная яркость таких ламп весьма мала. Например, матированная спиральная вакуумная лампа мощностью 40 вт имеет габаритную яркость около 0,02 Мнт (2 сб), а прозрачная — около 2 Мнт (200 сб). Яркость ламп в матированных колбах в различных направлениях пространства почти одинакова, а в прозрачных различна.

Лампы накаливания обладают сравнительно большой тепловой инерцией. Они начинают излучать свет не мгновенно после включения напряжения, а через некоторый короткий срок, необходимый для разогрева тела накала. Они прекращают излучать свет также не мгновенно после снятия напряжения, а через некоторое время, необходимое для остывания тела накала. Тепловая инерция возрастает с увеличением массы вольфрамовой нити и, следовательно, мощности лампы. Например, световой поток лампы на 25 вт достигает 90% своего номинального значения за 10 сек после включения, а лампы на 1 000 вт — за 60 сек. При выключении световой поток этих ламп уменьшается до 10% своего номинального значения соответственно за 3 и 30 сек.

Лампы накаливания благодаря тепловой инерции нити одинаково работают на переменном и постоянном токе без применения каких-либо преобразователей. Человеческий глаз не ощущает колебаний светового потока, вызываемых пульсацией переменного тока. Лампы могут успешно работать на переменном токе повышенной частоты. Когда переменный ток, меняя направление, становится равным нулю, мгновенного охлаждения тела накала не происходит и изменения в накале лампы практически не наблюдается.

В некоторых случаях тепловая инерция тела накала создает большие неудобства. Например, во взрывоопасных атмосферах она препятствует применению незащищенных ламп. В подоб-

ных атмосферах разбившаяся незащищенная лампа может служить причиной воспламенения взрывчатой смеси.

Световой поток, сила света и яркость ламп накаливания практически не зависят от температуры окружающего воздуха.

## 2-4. ЦВЕТОВЫЕ И СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Цветность излучения ламп накаливания зависит от рабочей температуры тела накала. Лампы иногда характеризуют цветовой температурой. Под ней понимают температуру абсолютно черного тела, при которой оно вызывает такое же цветовое впечатление, как и данная лампа в рабочем режиме. Цветовая температура ламп с вольфрамовой нитью в прозрачной бесцветной колбе выше их истинной температуры примерно на 50—100 град. Международный стандарт условно белого цвета при искусственном освещении воспроизводят так называемым источником А — светоизмерительной лампой накаливания, работающей при цветовой температуре 2854° К. ГОСТ 10771-64 на светоизмерительные лампы воспроизводит основные световые единицы — свечу и люмен — вакуумными лампами, работающими при цветовой температуре 2360° К и газонаполненными — работающими при цветовой температуре 2800° К. Отечественная промышленность изготавливает для освещения при съемках цветных кинофильмов серию специальных кинопржекторных ламп мощностью от 150 до 10 000 вт, имеющих высокую и притом одинаковую цветовую температуру, равную 3300° К.

Нить накала, как и всякое раскаленное твердое тело, имеет непрерывный спектр излучения. Она испускает лучи всех спектральных цветов, непрерывно переходящих один в другой. На ультрафиолетовую часть спектра (с длинами волн меньше 0,4 мк) приходится ничтожная доля энергии, на видимую часть (с длинами волн от 0,4 до 0,75 мк) — значительно большая, на инфракрасную часть (с длинами волн больше 0,75 мк) — наибольшая.

Распределение энергии излучения по длинам волн целиком зависит от природы материала нити накала, его рабочей температуры и прозрачности стенок колбы в различных областях спектра. При неизменном материале нити накала и неизменных колбах каждой температуре соответствует строго определенное спектральное распределение излучения. Для получения эффективных источников света имеет значение не общее излучение нити, а отношение ее излучения в видимой части к общему излучению. С этой точки зрения вольфрам как материал для нити накала обладает весьма благоприятными свойствами.

<sup>1</sup> Абсолютно черным называют тело, которое поглощает все падающие на него лучи и испускает излучение, зависящее только от собственной температуры.

У него доля видимого излучения в общем излучении (при одной и той же температуре) больше, чем у абсолютно черного тела. Цвет раскаленного вольфрама менее красен, чем цвет черного тела при той же температуре.

Известно, что только при белом (дневном) свете наблюдается естественная окраска предметов. Поэтому белым светом всегда стремятся воспроизводить искусственное освещение в ночное время. Натуральный цвет поверхностей, освещенных небелым светом, искажается. В спектральном составе света раскаленной вольфрамовой нити содержится больше теплых оранжево-красных лучей и меньше холодных сине-фиолетовых. Эта особенность ламп накаливания заметна на глаз: свет ее днем кажется желтоватым. Окружающие предметы, освещенные лампами накаливания, представляются окрашенными в теплые тона: красные, оранжевые и коричневые тона усиливаются и воспринимаются как более яркие, а зеленые, голубые и фиолетовые ослабляются и воспринимаются как менее яркие. При относительно невысоких рабочих температурах нити (1400—2600° К) в видимом излучении ламп накаливания преобладают оранжево-красные лучи. С повышением рабочей температуры нити максимум ее излучения смещается к более коротким волнам и общее излучение приближается к белому свету, не достигая его, однако, ни при какой практически возможной температуре.

Таким образом, лампы накаливания отличаются существенным недостатком, заключающимся в том, что цвет их света заметно отличается от дневного. Особенно страдают этим недостатком маломощные долгогоревшие вакуумные лампы. Немного лучшей цветопередачей обладают криптоновые биспиральные лампы, низковольтные проекционные лампы и осветительные лампы с йодным циклом. Хотя человеческий глаз в известной мере и привык к искажению цветов при освещении лампами накаливания, но все же в некоторых случаях, когда требуется тонкое различие цветов и правильное восприятие цветовых оттенков, освещение лампами накаливания становится нежелательным. Улучшение цвета света можно было бы достичь повышением температуры тела накала. В этом случае в общем излучении лампы возрастала бы доля видимых лучей и улучшался спектральный состав света. Однако такой путь сопряжен с ускорением процесса распыления и разрушения нити и поэтому в большинстве случаев бывает неприемлемым. Улучшение цвета света можно достичь также путем применения светофильтров или колб из соответствующим образом подкрашенного цветного (голубовато-зеленого) стекла. В этом случае стекло поглощает значительную часть оранжево-красного излучения и хорошо пропускает синие и фиолетовые лучи, что определяет цветовую окраску общего излучения. Такие лампы имеют цветовую температуру выше 3500—4000° К. Однако при-

Энергетический баланс ламп накаливания на 127 в

Распределение энергии, %	Спиральные вакуумные 25 вт	Аргоновые		
		биспиральные 100 вт	моноспиральные	
			200 вт	1 000 вт
Видимое излучение . . . . .	8,7	10,0	10,2	12,1
Невидимое излучение . . . . .	85,3	72,0	67,2	75,3
Тепловые потери в газе . . . . .	—	11,5	13,7	6,0
Потери в колбе и цоколе . . . . .	4,5	5,2	7,2	4,7
Потери в держателях и электродах	1,5	1,3	1,7	1,9
Всего рассеянная энергия . . . . .	100,0	100,0	100,0	100,0

менение светофильтров и цветных колб уменьшает световой поток примерно на 35% и поэтому в большинстве случаев тоже бывает неприемлемо.

Задачу создания искусственных источников света, обладающих высокой экономичностью и отличающихся правильной цветопередачей, решили изобретением люминесцентных ламп, работа которых основана не на тепловом излучении, а на совершенно других принципах генерирования света. Однако эти лампы наряду с преимуществами имеют ряд недостатков, не позволяющих заменить ими лампы накаливания в большинстве осветительных установок.

В последние годы избыток желтых и красных лучей ламп накаливания стали использовать для исправления цветности так называемых ртутных ламп высокого давления (ламп ДРЛ), отличающихся недостатком этих лучей.

Для некоторых специальных целей спектральный состав света ламп накаливания намеренно изменяют путем наружной или внутренней окраски колб или окраски стекломассы, из которой изготавливают колбы. Например, лампы для общего и местного освещения при работах со светочувствительными фотоматериалами окрашивают изнутри в оранжевый цвет. В световом потоке таких ламп отсутствуют лучи с длиной волны меньше 0,58 мк. Некоторые лампы для внутрикабинного освещения самолетов, с целью лучшего приспособления (адаптации) зрения летчика к различным уровням яркости, окрашивают снаружи в красный цвет. В спектре излучения таких ламп преобладают лучи с длиной волны около 0,70 мк и полностью отсутствуют лучи короче 0,56 мк. Лампы для инфракрасного облучения молодняка сельскохозяйственных животных и птиц изготавливают с темно-красным покрытием, срезающим почти всю видимую область спектра вплоть до 0,65—0,70 мк. Максимум излучения в спектре таких ламп лежит в пределах 1,2—1,3 мк. В некоторых странах применяют противотуманные автомобильные лампы в колбах желтого цвета, повышающего остроту зрения. При одной и той же мощности световой поток таких ламп на 13% меньше светового потока ламп в бесцветной колбе. В местностях, изобилующих ночными летающими насекомыми, применяют лампы в специальной желтой колбе, свет которых не привлекает насекомых.

## 2-5. ЭКОНОМИЧНОСТЬ

Если бы вся подводимая к лампе электрическая энергия превращалась только в наиболее чувствительную для глаза световую энергию<sup>1</sup>, то электрическая мощность, равная 1 вт,

<sup>1</sup> Глаз наиболее чувствителен к желто-зеленому свету с длиной волны 0,55 мк.

превратилась бы в световой поток, равный 683 лм. В действительности такого идеального преобразования электрической энергии в световую не бывает. Наибольшая часть энергии, подводимой к лампам накаливания, превращается в лучистое тепло. В газонаполненных лампах часть энергии теряется на нагрев наполняющего газа. Все лампы, кроме того, несут потери, связанные с нагревом держателей и электродов и поглощением света стенками колбы и цоколем. Сумма всех этих потерь во много раз превышает полезную энергию, воспринимаемую в виде света. В табл. 2-2 приведен примерный энергетический баланс некоторых типов ламп общего назначения. В вакуумных лампах только около 8% и в газонаполненных 10—12% всей энергии превращается в свет, а остальная часть расходуется непроизводительно и составляет потери. Если же учесть, что газ не в одинаковой мере чувствителен ко всем видимым лучам и что часть видимых лучей вызывает пониженное зрительное ощущение, то оказывается, что световой к. п. д., т. е. отношение энергии видимых излучений, оцениваемой по зрительному ощущению, ко всей энергии, подводимой к лампе, составляет, в пересчете на проценты, у вакуумных ламп всего лишь около 1,5% и у газонаполненных 2—4%.

Таким образом, лампы накаливания — крайне неэкономичные приборы, хотя это и не мешает им быть самыми распространенными источниками света. С экономической точки зрения их скорее следовало бы отнести к источникам тепла, чем к источникам света. Не случайно поэтому их с успехом стали применять для обогрева и сушки облучением и в инфракрасной технике. В этих случаях световые параметры их приобретают второстепенное значение. В конечном счете вся электрическая энергия, потребляемая лампой, превращается в тепло. Одна лампа мощностью 100 вт выделяет 86 ккал тепла в час.

Неразрывная связь света и тепла — характерная особенность ламп накаливания. У тепловых источников света свето-

вой к. п. д. возрастает с повышением температуры излучающего тела. Теоретически установлено, что в идеальном случае (у абсолютно черного тела) световой к. п. д. может достигнуть максимума 14,5% при 6500° К, т. е. при температуре, близкой к солнечной.

Экономичность ламп обыкновенно выражают не коэффициентом полезного действия, а световой отдачей, которая представляет собой отношение полного светового потока, излучаемого лампой, к ее полной мощности. Если световой поток  $\Phi$  выражен в люменах, а затрачиваемая лампой мощность  $P$  — в ваттах, то световая отдача  $\eta$  выражается числом люменов на 1 вт:

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad (2-2)$$

Экономичность всей осветительной установки обычно выражают стоимостью единицы световой энергии (1000 лм·ч).

Ниже приведены средние значения световой отдачи лампы мощностью 60 вт на напряжение 110—130 в в различных исполнениях:

Конструкция лампы	лм/вт
Угольная . . . . .	3
Вольфрамовая вакуумная . . . . .	9
То же моноспиральная аргоновая . . . . .	11
„ биспиральная аргоновая . . . . .	12,5
„ „ криптоновая . . . . .	14
„ „ с йодным циклом (100 вт) . . . . .	20

Световую отдачу можно повышать снижением потребляемой мощности с сохранением неизменным светового потока или повышением светового потока с сохранением неизменной мощности. Первый путь избирают, когда лампы классифицируют по округленным значениям светового потока или силы света; в этом случае повышением световой отдачи стремятся к снижению расхода электрической энергии без изменения условий освещения. Второй путь избирают, когда лампы классифицируют по округленным значениям мощности; в этом случае повышением световой отдачи стремятся к улучшению условий освещения без изменения затрат на электрическую энергию.

С повышением рабочей температуры тела накала световой поток растет быстрее, чем потребляемая мощность, поэтому и световая отдача лампы повышается. В табл. 2-3 и на рис. 2-4 приведена приближенная зависимость между световой отдачей ламп и средней цветовой температурой. Чем толще вольфрамовая нить, тем большим количеством материала для испарения она обладает и тем медленнее при горении лампы она разрушается. Поэтому для ламп большой мощности допускают более высокую температуру накала и, следовательно, более высокую световую отдачу, чем для ламп малой мощности. По этой

же причине световая отдача низковольтных ламп обычно выше световой отдачи высоковольтных одинаковой мощности.

Изменение световой отдачи в широких пределах в зависимости от подводимого напряжения и расходуемой мощности —

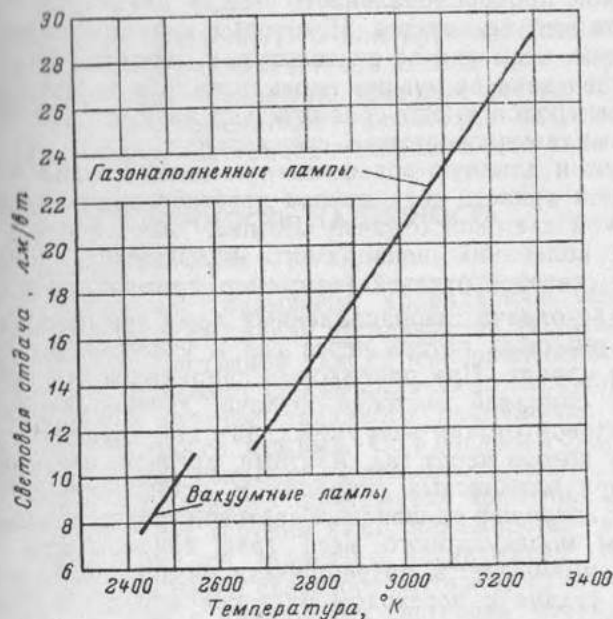


Рис. 2-4. Зависимость световой отдачи лампы от цветовой температуры тела накала.

характерная особенность ламп накаливания. Например, лампы общего назначения на 127 в экономичнее на 15—20%, чем

Таблица 2-3

Световая отдача и цветовая температура ламп накаливания на 220 в

Типы ламп	Мощность, вт	Цветовая температура, °К	Световая отдача, лм/вт
Вакуумная с угольной нитью . . . . .	100	2 090	3,2
Вакуумная со спиральной нитью . . . . .	25	2 450	8,2
Аргоновая биспиральная . . . . .	60	2 650	10,3
„ же . . . . .	100	2 740	12,4
Аргоновая моноспиральная . . . . .	200	2 750	13,5
„ же . . . . .	500	2 850	16,2
Пржекторная . . . . .	1 000	3 020	21,0
Кинопржекторная . . . . .	10 000	3 300	29,5

на 220 в; одна лампа на 100 вт излучает такой же световой поток, как шесть ламп на 25 вт. По экономическим соображениям всегда целесообразнее применять меньшее число ламп большой мощности, чем большее число ламп малой мощности.

Прямой пропорциональности между диаметром нити и световой отдачей не имеется. Некоторые низковольтные специальные лампы, несмотря на их толстую и короткую вольфрамовую нить, вследствие потерь на проводимость и охлаждающее действие электродов имеют сравнительно низкую световую отдачу. Некоторые высоковольтные специальные лампы, несмотря на их тонкую и длинную вольфрамовую нить, с целью увеличения габаритной яркости тела накала изготавливают со сравнительно высокой световой отдачей. Лампы, работающие в условиях больших колебаний подводимого напряжения, конструируют с низкой световой отдачей (например, трамвайные лампы).

Световая отдача газонаполненных ламп повышается с уменьшением тепловых потерь через газ и увеличением концентрации тела накала. При одинаковых спиралях и одинаковой температуре спиралей световая отдача газонаполненных ламп ниже световойдачи вакуумных, так как последние не имеют тепловых потерь через газ. Азотные, аргоновые и криптоновые лампы при одинаковых спиралях и одинаковой температуре спиралей излучают одинаковый световой поток, но так как с повышением молекулярного веса газа сокращаются тепловые потери и уменьшается потребляемая лампами мощность, то и световая отдача с переходом от азота к аргону и от аргона к криптону повышается. Световая отдача аргоновых биспиральных ламп на 10—15% выше в сравнении с аргоновыми моноспиральными, в том числе за счет уменьшения тепловых потерь — на 6—10%, уменьшения числа держателей — на 1—2% и увеличения диаметра вольфрамовой нити — на 2—3%. Световая отдача криптоновых биспиральных ламп, в сравнении с аргоновыми биспиральными, выше на 10—15%. С увеличением мощности ламп уменьшается относительная величина тепловых потерь через газ, поэтому уменьшается эффективность применения биспиралей и наполнения криптоном. Проекторные и кинопроекторные лампы, имеющие концентрированное тело накала, имеют и относительно высокую световую отдачу. Лампы с йодным циклом, за счет уменьшения объема колбы, при повышенном давлении газа могут иметь световую отдачу на 30—50% более высокую, чем обычные лампы.

Световая отдача — главный технико-экономический параметр, определяющий качество ламп. Повышение числа люменов на каждый ватт потребляемой мощности служит важным показателем роста технического уровня электролампового завода и основным направлением развития ламп накаливания. Борьба за всемерное повышение световойдачи без сокращения установленной долговечности — важная народнохозяйственная за-

дача. В СССР расходуется на освещение более 10% всей вырабатываемой электроэнергии. Самое незначительное повышение световойдачи дает в масштабе страны громадную экономию электроэнергии при одновременном улучшении условий освещения.

Все детали ламп оказывают то или иное влияние на световую отдачу. Для повышения световойдачи используют три основных направления: уменьшают тепловые потери в лампах, создают условия для замедления распыления тела накала и применяют наиболее термостойкие материалы для тела накала.

## 2-6. ДОЛГОВЕЧНОСТЬ, НАДЕЖНОСТЬ И СТАБИЛЬНОСТЬ

Долговечностью называют календарную продолжительность работы ламп от начала эксплуатации (испытания) до момента полной или частичной утраты ими работоспособности. Надежностью называют способность ламп исправно и безотказно работать в течение заданного промежутка времени в условиях предписанного режима. Стабильностью называют способность ламп сохранять неизменность своих параметров в течение установленного промежутка времени. Долговечность измеряют в часах горения ламп, надежность — в процентах ламп, догоревших до заданного числа часов горения, и стабильность — отношением светового потока ламп после заданного времени горения к начальному световому потоку. Долговечность, надежность и стабильность связаны между собой. Долговечность — это отрезок времени, на протяжении которого сохраняются заданные надежность и стабильность.

Долговечность, надежность и стабильность — важнейшие показатели качества, определяющие степень пригодности лампы практического применения. Повышение этих параметров повышает экономическую эффективность равносильно увеличению выпуска ламп без значительных дополнительных затрат на их производство. Надежность ламп определяется надежностью всех входящих в них элементов. От надежности ламп часто зависит надежность ответственной аппаратуры, в которой лампы должны работать. Все другие показатели качества теряют свое значение, если лампы ненадежны.

Повышение долговечности, надежности и стабильности ламп требует высокого технического уровня производства. Чем лучше конструкция ламп, совершеннее оборудование и технология производства и чем лучше и строже поставлены технический контроль и технологическая дисциплина на производстве, тем легче может быть достигнута гарантия высокой долговечности, надежности и стабильности ламп.

Долговечность, надежность и стабильность ламп определяются их полной и полезной продолжительностью горения. По л-

ной продолжительностью горения называют время непрерывного горения лампы, исчисленное от момента ее включения до момента перегорания. Полезной продолжительностью горения или сроком службы называют время непрерывного горения лампы, исчисленное от момента ее включения до момента, когда световой поток ее уменьшится до заранее установленного значения или же до момента перегорания, если лампа перегорит ранее этого срока. После истечения полезной продолжительности горения дальнейшее использование лампы принято считать нецелесообразным, нерентабельным или неэффективным даже в том случае, если тело накала ее не перегорело и способно продолжать работу.

Лампа накаливания по своей конструкции — относительно простой прибор. Однако во время работы в ней развиваются сложные физические процессы, влияющие на ее долговечность. При одной и той же температуре тела накала полная и полезная продолжительность горения зависит от скорости испарения тела накала, активности вредных газов, однородности диаметра вольфрамовой проволоки и постоянства шага спирали. Скорость испарения тела накала в свою очередь зависит от кристаллической структуры вольфрама, от конструкции тела накала и, у газонаполненных ламп, от состава и давления наполняющего газа. При хорошо изготовленных лампах многократные включения и выключения напряжения не оказывают влияния на износ тела накала и поэтому практически не влекут за собой сокращения срока службы ламп. Скорость испарения вольфрама сильно возрастает с повышением его температуры. Поэтому при прочих равных условиях срок службы определяется температурой тела накала и, следовательно, световой отдачей лампы. Если при световой отдаче  $\eta_0$  лампа имеет срок службы  $L_0$ , то при некоторой световой отдаче  $\eta$  срок службы ее составит  $L$  и может быть определен из уравнения

$$L = L_0 \left( \frac{\eta_0}{\eta} \right)^7. \quad (2-3)$$

Лампы, в зависимости от назначения, разрабатывают на различную продолжительность горения, начиная от нескольких часов (лампы для освещения фотокиносъемки, лампы для карманных фонарей) и кончая несколькими тысячами часов (лампы-термоизлучатели). Практически любую лампу можно сконструировать на очень большой срок службы, но при этом ее световая отдача будет очень мала, и, наоборот, на большую световую отдачу, но при этом ее срок службы будет очень малым. Для ряда ламп большой срок службы не требуется; при конструировании их стремятся к достижению не наибольшего, а обоснованного оптимального срока службы. В некоторых случаях при недостатке электрической энергии или

высокой стоимости ее, а также при необходимости иметь лампы большой яркости решающее значение приобретает световая отдача даже в ущерб сроку службы (например, прожекторные и кинопроекторные лампы). В других случаях, когда экономия на электрической энергии не вызывается необходимостью или когда лампы работают в труднодоступных местах и частая смена их затруднительна, прибегают к лампам с более высоким сроком службы даже в ущерб световой отдаче (например, лампы для морских маяков, лампы для железнодорожных светофоров). Лампы общего назначения почти во всех странах принято конструировать на 1 000 ч. В условиях эксплуатации иногда одни и те же лампы заставляют работать с недокалом или перекалом, при этом соответственно удлиняя или укорачивая их срок службы. Некоторые специальные лампы ответственного назначения с целью повышения их надежности (до 98% и более) рассчитывают на малый срок службы и, одновременно, высокую световую отдачу.

Спираль двухсветных ламп обычно рассчитывают на неравный срок службы, чтобы при эксплуатации избежать случаев перегорания одной спирали намного раньше другой.

Если бы тело накала имело по всей длине совершенно равномерную внутреннюю структуру и одинаковые размеры, то температура его на всем протяжении распределялась бы совершенно одинаково, вещество тела накала в течение срока службы испарялось бы со всех участков тоже одинаково; поперечное сечение проволоки по всей длине равномерно бы уменьшалось, электрическое сопротивление проволоки возрастало, потребляемая мощность и температура накала понижались. Теоретически такая лампа должна была бы постепенно прекращать светиться, а ее полная продолжительность горения должна была бы быть бесконечно большой.

Однако на практике таких идеальных условий не бывает. Разного рода недостатки способствуют преждевременному «старению» ламп и укорочению их срока службы. Различные участки тела накала имеют неодинаковую рабочую температуру. Например, внутренняя поверхность спирали имеет более высокую температуру, чем наружная; участки спирали около держателей и особенно электродов имеют более низкую температуру, чем участки, удаленные от них. Особенно неравномерно нагреваются короткие спирали у ламп на низкое напряжение, у которых массивные электроды заметно охлаждают концевые участки спирали, составляющие значительную часть ее длины. В таких лампах температура спирали повышается по мере удаления от электродов и достигает некоторого наивысшего значения в центральной части спирали. На неравномерность температуры тела накала оказывает влияние также неполная химическая и электрическая инертность окружающей тело накала среды (степень вакуума, чистота наполняющего газа). Еще

большее влияние на неравномерность накала спирали оказывают различные неоднородности в вольфрамовой нити, например, не строго одинаковое поперечное сечение нити на всем протяжении спирали или не строго одинаковые чистота, внутренняя структура, удельное сопротивление и излучающие свойства различных участков спирали. У газонаполненных ламп постоянство температуры тела накала по длине сильно зависит также от однородности шага спирали; участки со сближенными витками имеют более высокую температуру, чем участки с растянутыми витками. Продолжительность горения лампы фактически ограничивается не средним износом спирали, а износом ее в наиболее дефектном участке. Самые незначительные дефекты служат причиной возникновения участков, имеющих температуру более высокую, чем у остальной нити. Более высокая температура ведет к значительному возрастанию скорости испарения вольфрама, а возрастание скорости испарения — к повышению электрического сопротивления и дальнейшему еще большему повышению температуры дефектных участков. Процесс прогрессирует до тех пор, пока температура в наиболее уязвимом месте не станет критической, т. е. такой, при которой спираль перегорит. Момент перегорания чаще всего совпадает с моментом включения лампы, когда пусковой ток через спираль значительно превышает рабочий. К тому времени, когда в дефектном участке произойдет полное перегорание, средний диаметр остальных участков изменится сравнительно на не большую величину.

Вакуумные лампы, особенно с тонкой проволокой, перегорают, главным образом, в результате неравномерности диаметра проволоки. Перегорание наступает обычно на участке, где площадь поперечного сечения проволоки оказалась наименьшей. Газонаполненные лампы перегорают, главным образом, в результате неравномерности шага спирали на участке, где витки спирали оказались наиболее сближенными. Чем теплопроводнее наполняющий газ, тем сильнее перегреваются участки спирали, имеющие сближенные витки, и тем раньше происходит перегорание лампы.

В момент перегорания сопротивление и тепловыделение на стыках разрушенного участка тела накала сильно возрастают. В месте разрыва возникает дуговой разряд, который приводит к расплавлению концов перегоревшей спирали. На концах спирали под действием поверхностного натяжения образуются маленькие вольфрамовые шарики, иногда заметные невооруженным глазом. По таким оплавленным концам можно отличить перегорание спирали от ее механического разрыва.

Процессы, протекающие во время горения лампы, вызывают постепенное изменение значений их световых и электрических параметров. Под влиянием естественного испарения вольфрама и потемнения колбы световой поток вакуумных ламп к концу

срока службы уменьшается на 15—20% и газонаполненных ламп — на 5—10%. Одновременно из-за утонения вольфрамовой нити и увеличения ее сопротивления ток и мощность вакуумных ламп к концу срока службы уменьшаются на 4—6% и газонаполненных ламп — на 2—4%. Уменьшение мощности вызывает понижение температуры нити, уменьшение ее яркости и сравнительное увеличение ее излучения в красной области спектра. Все процессы, влияющие на изменение параметров ламп, обычно протекают медленно и плавно.

Тело накала лампы перегорает после испарения некоторого количества его материала. Уменьшение веса спирали, при котором происходит его перегорание, выраженное в процентах к начальному весу спирали, принято называть критической потерей в весе. Большая критическая потеря в весе имеет положительное и отрицательное значение. При изготовлении лампы добиваются как можно большей критической потери в весе, но до известного предела. Слишком большая критическая потеря связана с сильным возрастанием сопротивления спирали и соответственным уменьшением мощности и светового потока лампы. При слишком большой критической потере дальнейшее горение лампы становится невыгодным, хотя лампа еще сохраняет свою работоспособность. Однако большинство ламп далеко отстоит от такого положения, и увеличение критической потери в весе всегда приводит к улучшению качества ламп. Срок службы лампы значительно увеличивается, если тело накала работает до большой потери в весе. При неизменном сроке службы увеличение критической потери в весе позволяет повысить рабочую температуру тела накала, а следовательно, и увеличить световую отдачу.

Теоретически и экспериментально установлено, что критическая потеря в весе тела накала увеличивается с уменьшением тепловых потерь в газе, наполняющем лампу. Поэтому у вакуумных ламп, не имеющих этих потерь, критическая потеря в весе всегда больше, чем у газонаполненных, а у газонаполненных она возрастает с увеличением молекулярного веса газа-наполнителя, уменьшением давления газа-наполнителя и увеличением диаметра вольфрамовой проволоки. У ламп со спиральной нитью критическая потеря в весе уменьшается с уменьшением шага спирали, так как с уменьшением шага повышается количество испаряющегося вольфрама, улавливаемого соседними витками. У вакуумных и газонаполненных ламп критическая потеря в весе возрастает также с увеличением температуры накала и увеличением отношения диаметра в дефектном участке проволоки к ее среднему диаметру. Малая критическая потеря в весе наблюдается особенно у ламп с неравномерной площадью поперечного сечения вольфрамовой проволоки и неравномерными размерами спирали. У вакуумных ламп с прямой нитью критическая потеря в весе составляет 16—20%, у



спиральных вакуумных ламп 10—14%, аргоновых моноспиральных 8—12%, аргоновых биспиральных 4—8%.

Малая критическая потеря в весе газонаполненных ламп по сравнению с вакуумными объясняется более резким повышением температуры дефектных участков тела накала. С уменьшением теплопроводности газа-наполнителя, т. е. с переходом от азота к аргону и от аргона к криптону, испарение дефектных участков спирали по сравнению с остальными участками уменьшается и соответственно критическая потеря в весе увеличивается.

Малая критическая потеря в весе у биспиральных ламп по сравнению с моноспиральными объясняется особенностью конструкции биспиралы, заключающейся в искаженном шаге первичной спирали. При вторичной спирализации участки первичных витков, обращенные внутрь, сближаются друг с другом, а обращенные наружу — отдаляются друг от друга. Поэтому между внутренними и наружными участками витков возникает разница в шаге, и следовательно, разница в температуре и скорости испарения вольфрама.

У ламп одной и той же конструкции при одной и той же световой отдаче продолжительность горения прямо пропорциональна критической потере в весе и обратно пропорциональна скорости испарения вольфрама.

Лампы накаливания, в особенности газонаполненные, благодаря относительно малой критической потере в весе, отличаются большей стабильностью электрических и световых параметров, чем все другие источники света. Это преимущество ламп накаливания позволяет поддерживать ими более постоянные уровни освещенности.

Постоянство светового потока ламп во времени иногда оценивают по коэффициенту стабильности, т. е. по числу, на которое нужно умножить номинальное значение светового потока, чтобы получить среднее его значение за время срока службы. Вакуумные лампы с номинальным сроком службы 1000 ч имеют коэффициент стабильности 0,87—0,90, а газонаполненные — 0,91—0,95. Газонаполненные лампы при горении цоколем вверх теряют световой поток к концу срока службы на несколько процентов меньше, чем при горении цоколем вниз. Лампы, питаемые постоянным током, темнеют к концу срока службы немного больше, чем лампы, питаемые переменным током. Световой поток ламп с йодным циклом практически не снижается в течение всего срока службы.

На практике бывают случаи, когда световой поток ламп к концу срока службы не только не уменьшается, а даже увеличивается. Такое необычное возрастание светового потока бывает у низковольтных газонаполненных ламп под влиянием структурных изменений в вольфраме и сближения витков спирали при высокой температуре.

На практике бывают также случаи, когда световой поток ламп в процессе горения в 1,5—2 раза уменьшается без существенного потемнения стенок колбы. Такое необычное уменьшение светового потока бывает у низковольтных вакуумных ламп с никелевыми вводами, выделяющими водород. Увеличенный ток таких ламп указывает на значительное снижение температуры спирали, вызванное присутствием в лампе газа с большой теплопроводностью.

По внешнему виду ламп часто можно приближенно судить о продолжительности их работы.

## 2.7. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

К геометрическим параметрам ламп относятся габаритные и присоединительные размеры и высота светового центра, а к конструктивным — форма колбы, конструкция ножки, форма и расположение тела накала и тип цоколя.

Относительно малые габаритные размеры и вес, а также простота конструкции выгодно отличают лампы накаливания от других электрических источников света.

Наибольший диаметр и полная длина ламп ограничиваются предельно допустимой температурой колбы и предельно приемлемым уменьшением ее прозрачности. Эти ограничения заставляют придавать лампам размеры, во много раз превышающие размеры тела накала. Так как все тепло тела накала уходит через поверхность колбы, то во избежание перегрева стекла колбам придают достаточно большие размеры. Большинство ламп конструируют в таких габаритах, чтобы удельная нагрузка, т. е. мощность, отнесенная к единице поверхности рабочей части колбы, составляла, в зависимости от назначения лампы, световой отдачи и продолжительности горения, 0,5—1,5  $вт/см^2$ . В лампах из термостойкого стекла допускается удельная нагрузка до 3  $вт/см^2$ , а в йодных лампах из кварцевого стекла — до 30  $вт/см^2$  и более. Для обеспечения одной и той же удельной нагрузки габаритные размеры ламп увеличивают с возрастанием их мощности.

Габаритные размеры аргоновых ламп можно рассчитывать по эмпирической формуле, связывающей объем колбы со световым потоком лампы.

$$V_{мин} = 0,8 \sqrt[4]{(2\Phi)^3}, \quad (2.4)$$

$V_{мин}$  — минимальный объем колбы,  $см^3$ ;

$\Phi$  — световой поток при номинальном напряжении,  $лм$ .

Лампы, предназначенные для работы в открытой armатуре в условиях естественного охлаждения окружающим воздухом

или искусственного охлаждения вентиляторным воздухом, изготавливают в колбах меньших размеров, чем лампы, работающие в закрытой арматуре в условиях затрудненного контакта с окружающим воздухом.

Малые лампы имеют много преимуществ перед большими. Для их изготовления затрачивают меньше материалов и труда и применяют более дешевое и производительное технологическое оборудование. С уменьшением размеров ламп повышается их транспортабельность. Малые размеры позволяют применять лампы в малогабаритной осветительной и проекционной аппаратуре. Наконец, уменьшение размеров и веса ламп служит одним из средств повышения механической прочности и надежности ламп, так как с уменьшением габаритов и веса возрастает устойчивость ламп против больших ускорений, вибрационных нагрузок, вращающихся моментов и разности между наружным и внутренним давлениями.

Однако на уменьшение размеров ламп накладывается ряд ограничений. С уменьшением размеров увеличивается концентрация осажденного на колбе вольфрама и соответственно уменьшается прозрачность стенок колбы. Применение ламп слишком малых размеров вызывает повышение температуры поверхности колбы, которое в свою очередь может повлечь за собой выделение газа из стекла, вспучивание колбы, нарушение прочности крепления цоколя и быстрый износ патрона.

Руководствуясь приведенными соображениями, останавливаются на таких компромиссных или оптимальных размерах ламп, которые, с одной стороны, удовлетворяют требованиям эксплуатации, и с другой стороны, обеспечивают соблюдение безопасного для ламп теплового режима. Когда по соображениям эксплуатации бывает необходимо уменьшить габаритные размеры ламп, прибегают к следующим мерам: понижают номинальное напряжение и уменьшают мощность ламп, понижают температуру тела накала, придают телу накала форму биспирали, наполняют лампы криптоном или ксеноном, изготавливают лампы в термостойком стекле, соединяют цоколь с лампой термостойким цементом.

На электроламповых заводах принято различать крупные лампы диаметром более 95 мм, лампы средних размеров диаметром 40—90 мм, малогабаритные лампы диаметром менее 40 мм, миниатюрные диаметром менее 16 мм и сверхминиатюрные диаметром менее 6 мм. Лампы общего назначения в зависимости от потребляемой мощности изготавливают диаметром от 60 до 165 мм и длиной от 105 до 335 мм. Размер этих ламп вдоль оси примерно в 2 раза превышает диаметр.

Современным вакуумным и аргоновым лампам общего назначения придают каплеобразную форму. Криптоновым лампам общего назначения — грибообразную форму. Различным специальным лампам придают форму, зависящую от формы, рас-

положения и температуры тела накала, природы наполняющего газа, назначения ламп и др. Например, кинопроекционным лампам придают форму удлиненного цилиндра, при которой конденсация испаряющегося вольфрама в верхней части колбы не мешает прохождению лучей света в оптическую систему кинопроектора.

В производстве ламп за последние годы получило развитие новое направление, состоящее в резком уменьшении габаритов и веса ламп при одновременном повышении их надежности. Оно коснулось ламп, используемых в различных приборах и устройствах в качестве индикаторных, сигнальных и осветительных элементов, к габаритам которых предъявляют требование быть соразмерными с малыми габаритами этих приборов и устройств. Сверхминиатюрные лампы нашли применение в радио- и электронной технике, авиации, ракетной технике, медицине и других областях. Характерной особенностью их помимо малых размеров является низкое расчетное напряжение (до 28 в), малый потребляемый ток (20—50 ма), малый световой поток (от долей люмена до нескольких люменов) и разнообразный срок службы в зависимости от назначения ламп (от нескольких часов до нескольких тысяч часов). На рис. 2-5 изображены некоторые типы таких ламп.

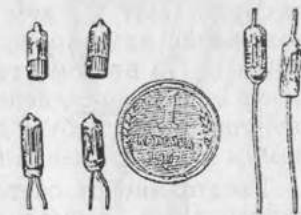


Рис. 2-5. Сверхминиатюрные лампы.

Важное значение для эффективной эксплуатации ламп имеет правильное положение светового центра в осветительном приборе. Под световым центром понимают условную точку, совпадающую с геометрическим центром светящегося тела лампы. В лампах с кольцевым расположением тела накала световой центр находится в центре кольца, образованного спиралью; в лампах с телом накала в виде объемного зигзага световой центр находится на оси штабика посередине между верхними и нижними держателями; в лампах с телом накала в виде прямоугольной площадки (плоского зигзага) световой центр находится на пересечении диагоналей площадки; в лампах с телом накала в виде расположенных под острым углом двух секций световой центр находится в середине отрезка, соединяющего середины секций.

Световой центр ламп общего назначения располагают в геометрическом центре шарообразной части колбы с целью одинакового удаления тела накала от рабочей поверхности колбы. В некоторых кинопроекционных лампах световой центр намеренно смещают на определенное заданное расстояние от оси колбы с целью приближения тела накала к проекционной оптике киноаппарата.

Требуемый световой эффект осветительного прибора может быть достигнут лишь при условии совпадения светового центра лампы со световым центром осветительного прибора (условная точка внутри прибора, при совмещении с которой светового центра лампы достигается заданное светораспределение). При изменении положения светового центра резко меняется светораспределение прибора, что влечет за собой понижение его эффективности. Для совмещения светового центра лампы и прибора прибегают к двум способам. По первому так регулируют положение лампы в приборе, чтобы их световые центры совместились. По второму так изготавливают лампу, чтобы ее световой центр занял определенное положение относительно цоколя. Вторым способом не требует специальной дополнительной регулировки лампы при вставлении в прибор.

Расстояние от светового центра до плоскости, перпендикулярной к оси лампы и проходящей через определенную отметку цоколя, носит название высоты светового центра.

Высота светового центра принадлежит к размерам ламп, сопрягаемым с размерами осветительного прибора и влияющими на кривую светораспределения последнего. Ее обычно включают в задание на разработку ламп. Уменьшение высоты светового центра, как правило, бывает всегда полезным, так как позволяет уменьшить размеры прибора. Однако чрезмерное уменьшение ее приводит к увеличению телесного угла, под которым свет от тела накала падает на цоколь, и соответственному увеличению доли светового потока, теряемой в зоне цоколя. При малой высоте светового центра возрастает опасность окисления внутренних металлических деталей лампы при заварке ножки с колбой и натекания воздуха вдоль электродов вследствие перегрева ножки. Минимальное расстояние между спиралью и цоколем ограничивается также опасностью повышения температуры цоколя и уменьшения прочности его крепления.

Нормированием высоты светового центра и величины смещения его в сторону от оси лампы достигают сохранения постоянства световых характеристик осветительного прибора. Благодаря нормированию этих размеров замена одной лампы другой не влечет за собой изменения характеристик прибора.

В некоторых специальных лампах высоту светового центра отсчитывают от центра спирали до вершины купола колбы.

К геометрическим параметрам некоторых специальных ламп относятся длина, ширина и толщина тела накала или размеры прямоугольников в двух вертикальных плоскостях, в которые вписывается тело накала. Эти размеры, как и высота светового центра, влияют на светораспределение осветительного прибора. Большие допуски или большой разброс в размерах тела накала ухудшают светотехнические характеристики прибора. В зависимости от назначения ламп и требуемого светораспределения

телу накала придают различную форму: цилиндрической спирали с осью, расположенной поперек или вдоль оси лампы, разомкнутого кольца или дужки, расположенных в горизонтальной плоскости, нескольких прямолинейных секций, расположенных в вертикальной плоскости, и др. Концентрирование спирали в наименьшем габарите позволяет получать от лампы наибольшую габаритную яркость и лучше сосредоточивать спираль вокруг светового центра осветительного прибора.

Большинство ламп снабжают одним цоколем. Трубочатые (софитные и фарфоровые) лампы с телом накала, расположенным вдоль оси трубчатой колбы, снабжают по одному цоколю на каждом конце трубки.

Цоколи служат для установки лампы в патроне и подведенная к лампе электрическая цепь. Через цоколь в патрон лампы связываются с внешней электрической цепью. Цоколь позволяет поддерживать лампу в требуемом положении. Применение его повышает прочность выводов ламп и позволяет легко заменять лампы при эксплуатации. В зависимости от мощности и назначения ламп, а также от формы и размеров колбы применяют цоколи различных типов.

Типом цоколя определяются присоединительные размеры лампы. Применение цоколей одинаковых размеров позволяет свести к минимуму изменение мощности осветительной установки и получение большего или меньшего количества света к простой замене лампы в патронах. Большинство ламп изготавливают с резьбовыми, штифтовыми или фокусирующими цоколями. Резьбовые цоколи (рис. 9-1) применяют в лампах, работающих в спокойных условиях, штифтовые (рис. 9-2) — в лампах, работающих в условиях механических воздействий, и фокусирующие (рис. 9-3) — в лампах, работающих в светооптических приборах. В современных мощных лампах для освещения театров, теле-, кино- и фотоаппаратов применяют вместо цоколя контактные штыри-выводы типа бипост (рис. 2-6), представляющие собой как бы продолжение толстых электродов, поддерживающих тело накала. Применение их позволяет уменьшить полную длину ламп и размещать тело накала в лампе с большой точностью. Крупные прожекторные лампы (на 5 и 10 кВт) оснащают цилиндрическим цоколем с гибкими многожильными выводами, изолированными фарфоровыми бусами и заканчивающимися контактными наконечниками.

Некоторые сверхминиатюрные лампы изготавливают без цоколя с гибкими наружными выводами, заменяющими контактные детали цоколя.

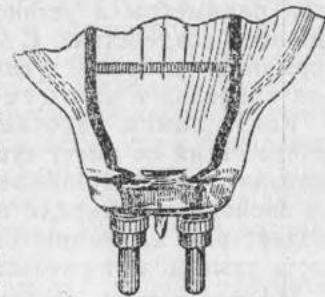


Рис. 2-6. Лампа с выводами бипост.

## 2-8. МЕХАНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

К основным механическим параметрам ламп относятся прочность и стойкость.

Прочными называют лампы, способные выдерживать в определенных условиях механические воздействия и сохранять свои параметры в установленных пределах после прекращения этих воздействий. Стойкими называют лампы, способные нормально работать и сохранять свои параметры в установленных пределах в процессе механических воздействий.

Когда лампы работают в спокойных условиях, прочность и стойкость их не имеет существенного значения, так как в таких условиях незначительные сотрясения компенсируются упругими свойствами спирали и держателей. Когда же механические воздействия на лампы оказываются значительными, долговечность ламп может уменьшиться.

Многие лампы, особенно специального назначения, подвергаются во время эксплуатации влиянию больших динамических нагрузок, носящих регулярный или случайный характер. Например, автомобильные лампы работают в условиях тряски, толчков и вибраций, возникающих при движении автомобиля по неровным дорогам; судовые лампы подвергаются действию вибраций от работы судовых двигателей и гребного винта; самолетные лампы испытывают влияние вибраций от работы моторов или реактивных двигателей и действие ударов при посадке самолета. Любые лампы, даже работающие не на ходу, подвергаются нерегулярным колебаниям и толчкам при перевозке по железным и грунтовым дорогам, на операциях погрузки и выгрузки, при работе в переносных приборах и т. д.

Механические воздействия передаются внутренним деталям лампы за счет перегрузок (ускорений), возникающих в месте установки лампы<sup>1</sup>. Эти перегрузки вызывают перемещение цоколя, которое в свою очередь вызывает перемещение электродов, держателей и спирали.

Каждая деталь лампы обладает некоторой массой и упругостью. При воздействии ускорения на массу возникает сила, изменяющая форму детали в такой мере, в какой это позволяет ее упругость. При изменении формы (деформации) детали в ее материале возникают внутренние механические напряжения. Если величина этих напряжений превысит некоторый предел, называемый пределом прочности материала, лампа выйдет из строя. Предел прочности зависит от материала, из которого изготовлена деталь, и от температуры, при которой она работает, а внутренние напряжения зависят от перегрузки и от конструкции детали. В спиралях наибольшие напряжения

возникают в тех местах, где они прикрепляются к электродам.

Спираль после продолжительного горения лампы становится менее упругими и эластичными. Для долго горевших ламп сотрясение холодной спирали составляет большую опасность, чем сотрясение накаленной.

К одним из наиболее опасных механических воздействий на лампы относятся вибрационные перегрузки. Вызываемые ими попеременно возникающие и исчезающие внутренние напряжения могут привести к постепенному расшатыванию деталей, повреждению сварных соединений, ослаблению контактов и, в конечном счете, приведению ламп в негодность. В условиях вибраций бывают случаи соприкосновения двух близлежащих участков спирали, закорачивание секций спирали и обрыв спирали. Вызываемое вибрацией нарушение контакта между цоколем и патроном может повлечь за собой искрение и возникновение электрической дуги в патроне.

Нагрузки, испытываемые при вибрациях, характеризуются двумя из следующих трех величин: частота, амплитуда и ускорение. Эти величины (вибропараметры) связаны уравнением:

$$j = \frac{sf^2}{250}, \quad (2-5)$$

где  $j$  — вибрационное ускорение,  $g$ ;

$s$  — амплитуда вибрации,  $mm$ ;

$f$  — частота вибрации,  $гц$ .

Амплитудой вибрации называют расстояние от положения равновесия точки до ее наибольшего смещения, а частотой — число смещений в обе стороны за 1 сек.

В зависимости от величины ускорения каждому значению частоты отвечает определенная величина амплитуды. На рис. 2-7 приведена номограмма, составленная по уравнению (2-5), позволяющая приложением линейки быстро находить значение одного вибропараметра по известным значениям двух других. Пунктиром показано, что, например, при частоте 50  $гц$  и амплитуде 0,5  $mm$  искомое ускорение равно 5  $g$ .

Чем больше ускорение, тем скорее при прочих равных условиях нарушается работа лампы. Массовые типы малогабаритных низковольтных специальных ламп (автомобильных, самолетных и др.) выдерживают вибрацию с ускорением до 6—7  $g$ .

Каждой детали лампы, выведенной из состояния равновесия и предоставленной самой себе, свойственна вполне определенная собственная частота колебаний. Значение этой собственной частоты зависит от физических свойств материала детали, ее геометрических размеров, способа ее крепления и не зависит от того, каким образом она была выведена из состояния равновесия. С увеличением длины и уменьшением диаметра детали уменьшается собственная частота ее колебаний,

<sup>1</sup> Ускорение принято измерять в единицах ускорения силы тяжести ( $g = 9,8 \text{ м/сек}^2$ ).

а с уменьшением собственной частоты уменьшается стойкость лампы против действия вибраций. Лампы общего назначения имеют длинную и тонкую нить, как правило, отличаются недостаточной стойкостью против вибраций. Автомобильные лампы на 24 в более подвержены влиянию вибраций, чем автомобильные лампы на 12 в, а лампы на 12 в более, чем на 6 в.

Когда на собственное колебание детали накладывается вынужденное колебание, вызванное действием какой-либо внешней возмущающей силы, и частота этого вынужденного колебания близка к частоте собственного колебания, возникает явление механического резонанса, сопровождающееся резким возрастанием амплитуды колебаний (рис. 2-8).

Резонансом называют способность тела отзываться на действующие до него колебания определенной частоты. Лампа состоит из совокупности отдельных деталей, каждой из которых как уже было сказано, свойственна собственная частота колебаний. Поэтому вся лампа в целом может рассматриваться как система нескольких частотами собственных колебаний. Когда частота возмущающей силы равна одной из собственных частот системы, происходит явление резонанса. Частота колебаний, при которой какая-либо деталь лампы попадает в резонанс, есть собственная частота этой детали. Участки биения спирали между держателями лампы НБ220-100 резонируют на частоте около 100 гц, а вводы

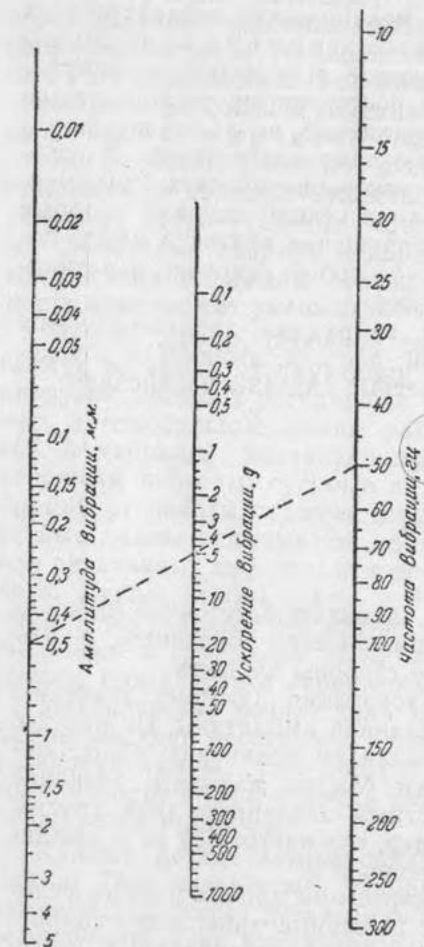


Рис. 2-7. Номограмма для определения вибропараметров.

этих же ламп — на частоте 180—200 гц. Спираль автомобильной лампы А12-21 резонирует на частоте 600—700 гц.

Раскаленная спираль резонирует на частоте примерно в 1,2 раза более низкой, чем холодная.

Резонансные колебания элементов ламп в условиях эксплуатации — явление вредное и опасное. Если, например, арматура,

в которой работает лампа, вибрирует с частотой 100 гц, а собственная частота одной из деталей лампы равна тоже 100 гц, то эта деталь, попадая в резонанс, может быстро выйти из строя, даже при относительно малом ускорении.

Попадание холодной лампы в резонанс может «растрясать» электроды и держатели, которые в свою очередь могут оборвать спираль (чаще всего около электродов или держателей), а попадание горячей лампы в резонанс может вызвать искажение

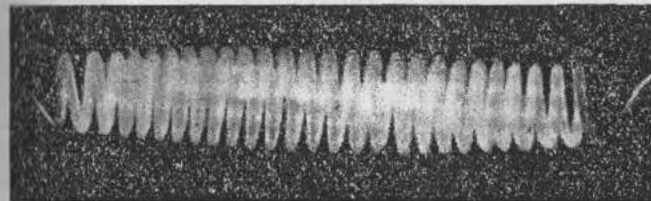


Рис. 2-8. Резонанс спирали.

формы спирали, растяжение и выпадение ее из держателей, закорачивание ее отдельных участков и, в конечном счете, перегорание лампы с явлением электрической дуги. Для повышения механической прочности лампы и продления ее срока службы в условиях механических воздействий стремятся, чтобы каждая составная часть лампы имела собственную частоту, не совпадающую с любой передаваемой ей частотой. На практике чаще бывает необходимо смещать резонанс в сторону более высоких частот. Для этого уменьшают длину спирали, увеличивают диаметр и уменьшают длину вводов и держателей, увеличивают жесткость крепления спирали, увеличивают число точек опоры спирали.

Опасные последствия вызывают также ударные перегрузки. В момент удара силы инерции, действующие на спираль, могут в десятки раз превысить вес спирали. Сразу после удара, детали ламп начинают колебаться с собственной затухающей частотой и уменьшающейся амплитудой. Промежутком времени, в течение которого совершаются эти колебания (длительность импульса), составляет сотые и тысячные доли секунды. Чем меньше длительность импульса, тем хуже лампа переносит удар. Внезапная перемена режима движения ламп при ударе и резкое возрастание сил инерции вызывают смещение или искривление деталей, поддерживающих тело накала. При одиночных или многократных ударах изгибы и дергающее действие держателей и резкие перемещения вводов приводят к обрыву холодной или растяжению накаленной спирали. Лампы хуже переносят кратковременные большие удары, чем длительно действующие малые. Один кратковременный сильный удар может оказаться для тела накала губительным и немедленно вывести лампу из строя.

О величине ударной тряски судят по максимальному ускорению при ударе, выраженному в единицах *g*. Ускорения, получаемые при ударах, могут достигать десятков и сотен *g*. Многие типы малогабаритных специальных ламп выдерживают многократные удары с ускорением 10—30 *g*, а сверхминиатюрные — до 150 *g* и более.

На долговечность ламп, работающих в условиях динамических нагрузок, наряду с качеством самих ламп оказывает влияние качество крепления ламп в осветительном приборе и осветительного прибора к месту установки. В одних случаях детали крепления смягчают механические воздействия, в других, наоборот, усиливают. Например, подтягивание гаек крепления осветительного прибора к месту установки и применение упругих средств (амортизаторов) между осветительным прибором и вибрирующей поверхностью ослабляют нагрузку на лампы, а применение слишком свободного патрона — усиливает.

Так как повреждения лампы при вибрациях чаще всего вызываются резонансом, то для борьбы с этим явлением полезно знать собственные частоты элементов лампы и частоты вынужденных (возбуждающих) колебаний, передаваемые лампе в рабочем окружении (патроном, арматурой и т. п.). Когда частота возбуждающих вибраций велика по сравнению с собственной частотой элементов лампы, необходимо устанавливать между осветительным прибором и вибрирующей поверхностью амортизатор, поглощающий часть вибраций. Когда же частота возбуждающих вибраций мала по сравнению с собственной частотой элементов лампы, применение виброизоляции бесполезно.

При жестком креплении осветительной арматуры на основании, воспринимающем сильные удары, детали арматуры и лампы получают значительные ускорения. Если, например, лампа может выдерживать без повреждения удары с ускорением в 10 *g*, а арматура, в которой она работает, подвергается ударам с ускорением 30 *g*, то между арматурой и местом установки следует помещать амортизатор, ослабляющий действие ударов на лампу. Чем мягче амортизатор, тем меньше ударное ускорение будет получать лампа.

Лампы, работающие в условиях повышенной динамической нагрузки, изготавливают усиленной конструкции, с тем чтобы механические воздействия на них компенсировались повышением прочности спирали и усилением конструкции остальных деталей лампы. Однако создать лампы, которые были бы пригодны для любых условий эксплуатации, невозможно. Поэтому в конструкциях осветительных приборов и арматур должны предусматриваться устройства, уменьшающие вредные динамические нагрузки на лампы или изменяющие их характер. Эксплуатационную стойкость и прочность ламп можно повысить только правильной комплексной конструкцией лампы и арматуры в целом.

## 2-9. КЛИМАТИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

В основным климатическим параметрам ламп относятся стойкость против пониженной и повышенной температуры окружающей среды, стойкость против пониженного и повышенного внешнего давления и стойкость против воздействия атмосферной влаги.

Большинство ламп эксплуатируются в нормальных климатических условиях, характеризующихся наружной температурой  $10 \pm 10^\circ\text{C}$ , атмосферным давлением 720—780 мм рт. ст. и относительной влажностью  $65 \pm 15\%$ . Некоторые лампы изготавливают для работы в тропических условиях, которые характеризуются интенсивным солнечным облучением, высокой влажностью воздуха и другими особенностями, свойственными тропическому климату. Самолетные лампы работают при пониженном атмосферном давлении; лампы для побережий и морских судов — при большой относительной влажности; лампы для глубоководного погружения — при большом гидравлическом давлении; лампы для герметизированных арматур — при повышенной окружающей температуре и т. д. В большинстве случаев климатические воздействия на лампы одновременно сочетаются с механическими.

Повышение температуры окружающей среды до  $+100^\circ\text{C}$  и понижение до  $-60^\circ\text{C}$  почти не оказывает влияния на световую отдачу и работоспособность ламп. При работе ламп в среде с более высокой температурой (выше  $100\text{--}130^\circ\text{C}$ ) могут перегреться колбы и увеличиваться газоотделение стекла, ускоряется потеря работоспособности ламп. Могут также наблюдаться случаи размягчения и вспучивания стекла колбы, отпайки электродов от цоколя и отделение цоколя от лампы. Если эксплуатация ламп сопровождается резкой сменой температур (термоударами), могут наблюдаться случаи растрескивания стекла.

Работа ламп на некоторой высоте, отсчитываемой от уровня моря, приводит к ухудшению условий теплообмена лампы с окружающей средой и повышению температуры колбы и цоколя. Увеличение внешнего давления может вызвать ухудшение вакуума за счет натекания через электроды.

Повышенная атмосферная влажность не влияет на процессы, протекающие внутри лампы, но вредно действует на коррозионную стойкость цоколя и прочность крепления цоколя к лампе. Коррозия цоколя быстро прогрессирует, если влажный воздух содержит промышленные газы. В лампах на высокое напряжение с ростом атмосферной влажности падает сопротивление изоляции цоколя и увеличивается опасность электрического пробоя.

При изготовлении различных специальных ламп принимают разнообразные средства повышения их стойкости к воздействиям окружающей среды и климатических влияний.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ГАЗЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЛАМП

### 3-1. СВОЙСТВА ГАЗОВ

В табл. 3-1 приведены численные значения величин, характеризующих основные физические свойства некоторых газов, применяемых в производстве ламп.

Таблица 3-1

Физические свойства газов

Наименование газа	Химическое обозначение	Объемное содержание в атмосферном воздухе, %	Относительный вес (воздух = 1)	Вес 1 л. $z/4$	Молекулярный вес, $O = 16$	Температура кипения, °C	Критическая температура, °C	Температура плавления при $10^5$ мм рт. ст., °C
Водород . . .	H <sub>2</sub>	0,0005	0,07	0,09	2,02	-252,8	-239,9	410
Кислород . . .	O <sub>2</sub>	20,95	1,11	1,43	32,00	-183,0	-118,8	58
Азот . . .	N <sub>2</sub>	78,09	0,97	1,25	28,02	-195,7	-147,1	57
Углекислый газ . . .	CO <sub>2</sub>	0,03	1,53	1,97	44,00	-78,5	-31,3	34
Аргон . . .	Ar	0,9325	1,38	1,78	39,94	-185,9	-120,0	30
Неон . . .	Ne	0,0016	0,70	0,90	20,18	-246,0	-228,7	109
Гелий . . .	He	0,00046	0,14	0,18	4,00	-269,0	-267,9	343
Криптон . . .	Kr	0,00011	2,89	3,71	83,80	-152,9	-62,5	21
Ксенон . . .	Xe	0,000008	4,51	5,84	131,30	-109,0	+16,6	17
Воздух . . .	—	100,0	1,00	1,29	28,97	-194,0	-140,7	58
Аммиак . . .	NH <sub>3</sub>	—	0,60	0,77	17,04	-33,4	+132,4	59

#### а) КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ГАЗОВ

Между молекулами твердого тела действуют внутренние силы взаимного притяжения. Действием этих сил объясняется большая или меньшая твердость и прочность тела. Между молекулами жидкости тоже действуют внутренние силы взаимного притяжения, но в меньшей степени, чем между молекулами

твердого тела. Действием этих сил объясняется большая или меньшая вязкость жидкости. Между молекулами газа почти отсутствует взаимное притяжение. Каждая молекула газа движется за счет собственной энергии прямолинейно до тех пор, пока на ее пути не встретится другая молекула или стенка сосуда, в котором заключен газ. Встречаясь с препятствием, молекула отталкивается от него, круто меняет направление движения и снова движется прямолинейно до следующего столкновения. Чем больше газа содержится в сосуде и чем выше его температура, тем чаще молекулы ударяются о стенки сосуда и тем большее давление производит газ на стенки.

Раздел физики, объясняющий свойства газов как следствие беспорядочного движения сталкивающихся между собой газовых молекул, называют кинетической теорией газов.

Кинетическая теория газов объясняет различие поведения молекул в разреженном и неразреженном газах. Чем меньше молекул содержится в сосуде, тем реже они сталкиваются друг с другом и тем длиннее прямолинейный пробег каждой молекулы от одного столкновения до другого.

Среднее расстояние, пролетаемое молекулой между двумя последовательными столкновениями с другими молекулами, называют средней длиной свободного пробега. При постоянной температуре средняя длина свободного пробега обратно пропорциональна числу молекул газа в единице объема и следовательно, давлению газа. При атмосферном давлении и 20° средняя длина свободного пробега молекул воздуха равна около 0,09 мк, а их средняя скорость между двумя столкновениями — около 500 м/сек. Перемещаясь с такой скоростью, молекулы воздуха претерпевают в 1 сек около пяти миллиардов столкновений.

В газонаполненных лампах средняя длина свободного пробега молекул газа значительно меньше линейных размеров колбы. Поэтому отдельные молекулы газа после соприкосновения с раскаленной поверхностью нити ударяются о стенку колбы и после многократных столкновений с другими молекулами тепловая энергия, которой располагают близкие к нити молекулы, передается сначала более далеким молекулам, а от них — стенкам колбы.

В вакуумных лампах средняя длина свободного пробега молекул газа значительно больше линейных размеров колбы. Поэтому отдельные молекулы газа, после соприкосновения с раскаленной поверхностью нити, не сталкиваются с другими молекулами газа, а ударяются о стенки колбы, отскакивая от них, снова ударяются и т. д. Тепловая энергия, которой располагают близкие к нити молекулы, передается непосредственно стенкам колбы.

Разрежение газа в замкнутом объеме называют в а к у у м о м. Величину его измеряют в миллиметрах ртутного столба

(мм рт. ст.). Разрежение, при котором средняя длина свободного пробега молекул значительно меньше линейных размеров сосуда, называют низким вакуумом; в лампах такой длины свободного пробега соответствует давление выше  $10^{-2}$  мм рт. ст. Разрежение, при котором средняя длина свободного пробега молекул приблизительно равна линейным размерам сосуда, называют средним вакуумом; в лампах такой длины свободного пробега соответствует давление от  $10^{-2}$  до  $10^{-4}$  мм рт. ст. Разрежение, при котором средняя длина свободного пробега молекул значительно превышает линейные размеры сосуда, называют высоким вакуумом; в лампах такой длины свободного пробега соответствует давление ниже  $10^{-4}$  мм рт. ст. При высоком вакууме порядка  $10^{-5}$  мм рт. ст. средняя длина свободного пробега молекул достигает нескольких метров. Низкий, средний и высокий вакуум — понятия относительные, зависящие от соотношения между средней длиной свободного пробега молекул и линейными размерами сосуда.

Если поместить какой-либо экран между стенкой сосуда и испаряющимся в высоком вакууме телом, то на стенке сосуда четко ограничится «молекулярная тень», т. е. площадка без испаряющегося вещества, воспроизводящая контуры экрана. Этот эксперимент подтверждает, что в условиях высокого вакуума молекулы испаряющегося вещества не сталкиваются с молекулами разреженного газа, а распространяются подобно лучам света прямолинейно, пока не достигнут стенок сосуда.

Многие физические свойства газов, зависящие в основном от межмолекулярных столкновений, при высоком вакууме существенно отличаются от их свойств при больших давлениях. Например, область больших давлений характеризуется:

- 1) высокой теплопроводностью газа и независимостью ее от давления;
- 2) наличием конвекции тепла в газе;
- 3) медленным протеканием процесса диффузии в газе;
- 4) трением между слоями газа при его движении по трубам;
- 5) зависимостью пропускной способности газопровода от давления газа.

Область высокого вакуума характеризуется:

- 1) низкой теплопроводностью газа и зависимостью ее от давления;
- 2) отсутствием конвекции тепла в газе;
- 3) почти мгновенным протеканием процесса диффузии в газе;
- 4) отсутствием внутреннего трения в газе;
- 5) независимостью пропускной способности газопровода от давления газа.

С увеличением давления температура газа повышается и, наоборот, с уменьшением давления — падает.

В производстве электрических ламп применяют вакуум в ка-

честве: 1) среды для предохранения от окисления (лампы накаливания); 2) среды для обезгаживания и термической обработки материалов (вакуумные препарировочные печи); 3) среды для ускорения сушки легкоокисляющихся при нагревании материалов (вакуумсушильные аппараты); 4) средства для ускорения фильтрации жидкостей (вакуум-фильтры) и 5) средства для захвата деталей (вакуумные питатели и вакуумные присосы).

## 6) ИСПАРЕНИЕ И КОНДЕНСАЦИЯ

Тело испаряется вследствие отделения с его поверхности наиболее подвижных молекул и нарушения сил сцепления между оторвавшимися молекулами и телом. Массу вещества, переходящего в пар в единицу времени с единицы поверхности, называют скоростью испарения. Различные материалы при одинаковой температуре обладают неодинаковой скоростью испарения. Так, этиловый спирт испаряется быстро, вода медленно, а минеральное масло еще медленнее. Испарение происходит при любой температуре, но с повышением температуры оно ускоряется.

Скорость испарения увеличивается с уменьшением внешнего давления. В вакууме испарение нагретых поверхностей происходит значительно быстрее, чем при большом давлении.

Испаряться способны не только жидкости, но и твердые тела. Переход тела из твердого состояния в газообразное, минуя жидкое, называют возгонкой или сублимацией. Примером возгонки служит термическое испарение вольфрама в лампах накаливания. Число молекул, покидающих раскаленную вольфрамовую спираль в единицу времени, уменьшается с увеличением молекулярного веса и повышением давления окружающего газа.

Наибольшее давление пара, устанавливающееся над телом в замкнутом сосуде, называют давлением или упругостью насыщенного пара. Каждый материал при данной температуре обладает вполне определенным давлением насыщенного пара. Вольфрам при  $2500^{\circ}\text{C}$  имеет давление насыщенного пара  $10^{-5}$  мм рт. ст., никель при  $800^{\circ}\text{C}$  —  $10^{-8}$  мм рт. ст., вода при  $50^{\circ}\text{C}$  —  $92,5$  мм рт. ст. С повышением температуры давление насыщенного пара возрастает. В лампы допускается вводить только такие материалы, которые при рабочей температуре имеют низкое давление насыщенного пара.

Температура, до которой надо охладить данный газ при неизменном давлении, чтобы содержащийся в нем водяной пар стал насыщенным, называется точкой росы. По точке росы судят о фактическом содержании водяных паров в газе (абсолютной влажности газа). В табл. 3-2 приведено соотношение между точкой росы и влагосодержанием газа.



Таблица 3

Упругость водяного пара и влагосодержание при давлении газа 760 мм рт. ст.

Точка росы, °С	Упругость водяного пара, мм рт. ст.	Содержание влаги в газе, г/м³	Точка росы, °С	Упругость водяного пара, мм рт. ст.	Содержание влаги в газе, г/м³
-40	0,09	0,10	0	4,58	4,84
-35	0,17	0,18	5	6,54	6,84
-30	0,28	0,34	10	9,2	9,4
-25	0,47	0,55	15	12,8	12,8
-20	0,77	0,88	20	17,5	17,3
-15	1,24	1,39	25	23,8	23,0
-10	1,95	2,14	30	31,8	30,3
-5	3,01	3,24			

Если к испаряющемуся телу не подводить тепла, оно будет охлаждаться. Это свойство тел используют при получении кислорода, азота и аргона из воздуха.

Пар, заключенный в замкнутом объеме, соприкасаясь с холодной стенкой, конденсируется, т. е. превращается в жидкость или твердое тело. Конденсация наблюдается при поступлении пара в среду, уже насыщенную паром, при охлаждении насыщенного пара и при увеличении давления среды, насыщенного паром. Конденсация — явление, обратное испарению. Испаряющийся в лампах вольфрам конденсируется на стенках колбы в виде твердого темного налета. При рабочем режиме лампы процессы испарения и конденсации вольфрама протекают одновременно. Число испаряющихся молекул вольфрама равно числу конденсирующихся.

В обычных условиях 1 м³ атмосферного воздуха содержит около 20 г водяного пара. При охлаждении воздуха ниже точки росы часть водяного пара конденсируется в воду, осаждающуюся в виде капелек на всех предметах. Все тела, находящиеся в атмосфере, покрываются тончайшей пленкой воды (0,001–0,01 мк). В производстве ламп, для борьбы с вредным влиянием атмосферной влаги, хорошо отапливают и вентилируют производственные помещения и не допускают длительного залеживания полуфабрикатов и деталей.

В физике и технике условно различают понятия «пар» и «газ». Паром называют газообразное вещество при температуре ниже критической, а газом — при температуре выше критической. Критической называют ту температуру, выше которой вещество может находиться только в газообразном состоянии и ни при каком давлении не может быть обращено в жидкость. Например, критическая температура азота равна -147°С, следовательно, при более высокой температуре азот

является газом, а при более низкой — паром. Критическая температура водяного пара равна +374°С, следовательно, при более высокой температуре водяной пар становится газом.

### в) ПОГЛОЩЕНИЕ И ВЫДЕЛЕНИЕ ГАЗОВ ТВЕРДЫМИ ТЕЛАМИ

Твердые тела способны поглощать газы. Поглощение происходит адсорбцией и абсорбцией. В первом случае молекулы газа концентрируются на поверхности или в тонком слое, граничащем с поверхностью твердого тела, во втором они проникают внутрь между атомами твердого тела. В общем случае, когда поглощение газа одновременно происходит поверхностью и объемом твердого тела, его называют сорбцией.

Адсорбцию объясняют действием сил притяжения между молекулами твердого тела и газа, приблизившимися друг к другу на очень близкое расстояние, а абсорбцию — равномерным рассеянием (диффузией) газа во всей массе твердого тела или химической реакцией между твердым телом и газом. Молекулы газа, ударившиеся о поверхность твердого тела, притягиваются к ней, образуя на ней слой толщиной в одну молекулу (мономолекулярный слой). При наличии некоторого сродства между твердым телом и газом часть молекул газа диффундирует в глубь твердого тела.

Твердое тело способно поглощать значительные объемы газа, иногда во много раз превышающие его собственный объем. Газ, поглощаясь твердым телом, сжимается и уплотняется в нем.

Наряду с поглощением газа твердые тела способны «газить», т. е. отдавать сорбированный газ. Процесс удаления газа с поверхности и из толщи твердого тела называют обезгаживанием. Выделение газа твердым телом происходит одновременно с поглощением; при этом одно явление преобладает над другим, либо между ними устанавливается подвижное равновесие, при котором число молекул, задерживаемых твердым телом, становится равным числу молекул, покидающих его.

Количество поглощаемого и выделяемого газа зависит от температуры твердого тела. С повышением температуры поверхностное поглощение всегда уменьшается, а объемное, в зависимости от природы твердого тела и газа и начальной их температуры, уменьшается или увеличивается. В большинстве случаев твердое тело с повышением температуры отдает, а с понижением — поглощает газы. Поэтому твердое тело для удаления газа нагревают, а для насыщения газом охлаждают. Твердое тело, остывшее после высокотемпературного обезгаживания, практически не выделяет больше газов.

Поглощательная способность твердых тел уменьшается с понижением давления окружающей их газовой среды. Нагревом в хорошем вакууме можно удалить из твердого тела значительное количество поглощенных газов. При этом в первую очередь

удаляется поверхностный мономолекулярный слой газа. Затем под влиянием диффузии и теплового движения молекул газ перемещается из внутренних слоев к наружным и выделяется в вакуум. С повышением температуры и понижением давления ускоряется процесс диффузии и сокращается время, требуемое для обезгаживания.

Концентрация газа в твердом теле зависит от природы твердого тела и газа. Вольфрам и молибден плохо поглощают водород и хорошо поглощают кислород. Никель поглощает водород и окись углерода до 0,5% своего веса. Медь в одинаковых условиях поглощает кислород лучше никеля, а никель поглощает водород лучше меди. Незначительное содержание меди уменьшает способность никеля поглощать водород. Цирконий при 300—400°С хорошо поглощает водород, а при 700—800°С отдает водород обратно и одновременно хорошо поглощает кислород. Палладий способен поглощать водород более чем в 850-кратном объеме. Цинк не поглощает водорода. Все металлы ни при каких температурах не поглощают благородных газов. Стекло хорошо адсорбирует водяной пар и хуже адсорбирует газы. Тугоплавкие металлы меньше поглощают газы, чем легкоплавкие, но прочнее их удерживают.

Способность твердого тела поглощать газы зависит от размеров его поверхности. Многие вещества с сильно развитой поверхностью, особенно шероховатые, порошкообразные и высокопористые, обладают высокой сорбционной способностью. Такие вещества способны поглощать газы не только своей внешней поверхностью, но и, главным образом, стенками своих внутренних пор. Мелкозернистые порошки лучше сорбируют газы, чем крупнозернистые. Под влиянием молекулярных сил водяной пар, проходя через высокопористые твердые тела, конденсируется в их капиллярах в воду. Вещества, способные сильно адсорбировать и удерживать водяной пар, называют гигроскопическими.

В ряде случаев адсорбционное соединение твердого тела и газа переходит в химическое. Металлы, адсорбируя кислород воздуха, покрываются тонкими пленками окислов. Медь, растворяя кислород, образует закись меди. В отличие от адсорбции, эффективность которой возрастает с понижением температуры, химическое поглощение становится эффективнее с повышением температуры.

Испаряющееся твердое тело, находясь в парообразном состоянии, способно поглощать газы и конденсироваться с ними на холодных поверхностях. Например вольфрам, испаряясь с тела накала, поглощает остаточные газы в вакуумных лампах и азот в газонаполненных.

Все внутренние детали ламп содержат сорбированный газ. Количество его во много раз превышает количество газа, содержащегося в объеме откачанных ламп. Медленное выделение га-

за из деталей вредно отражается на долговечности и надежности ламп. Большую опасность составляют также масляные и жировые загрязнения и окислы на поверхности деталей, потому что при нагреве они разлагаются с обильным выделением газов. Для изготовления хороших ламп нужно удалять пары и газы, не только содержащиеся в объеме ламп, но и поглощенные их внутренними деталями. Однако пары и газы поддаются удалению из деталей с известным трудом, так как молекулярные силы их прочно там удерживают. Труднее всего удалять водяной пар. Даже при самом тщательном изготовлении ламп небольшое количество влаги остается и выделяется в лампах, загрязняя среду вокруг тела накала. Водород, обладающий малыми размерами атомов и малым атомным весом, легче других газов поддается удалению.

К наиболее эффективным методам очистки и обезгаживания деталей относятся: 1) отмывка деталей от жировых загрязнений горячим щелочным раствором и от масляных загрязнений трихлорэтиленом или другим растворителем; 2) предварительное прокаливание деталей в вакууме или атмосфере защитного газа; 3) применение для изготовления деталей материалов, способных хорошо обезгаживаться и обладающих малой упругостью пара при рабочей температуре; 4) нагревание ламп перед откачкой или во время откачки и 5) введение внутрь ламп активных веществ, хорошо поглощающих и удерживающих газы на всем протяжении срока службы. Внутренние детали из вольфрама, молибдена и никеля лучше всего обезгаживать в водороде, который одновременно восстанавливает на них окислы и может быть впоследствии легко удален нагревом. Наличие водорода в этих деталях препятствует при хранении обратному проникновению в них активных газов. Температура обезгаживания каждой внутренней детали должна быть не ниже рабочей температуры в готовой лампе. Обезгаженные детали без задержки направляют на следующие операции.

В производстве ламп явления сорбции и обезгаживания играют важную роль при хранении, сушке и термообработке материалов и деталей, а также при заварке, откачке и обжиге ламп. При изготовлении ламп сорбция играет отрицательную роль своим противодействием быстрому созданию высокого вакуума, но, с другой стороны, и положительную роль тем, что используется как средство улучшения вакуума.

#### г) ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАЗРЯД В ГАЗЕ

Атомы каждого вещества состоят из положительно заряженного ядра и вращающихся вокруг него отрицательно заряженных электронов. Атомы, в которых заряд ядра равен по величине заряду электронов, называют нейтральными, а атомы,

в которых отсутствует такое равенство, называются ионизованными.

В металлах помимо электронов, входящих в систему атомов (атомных электронов), имеются еще свободные электроны, беспорядочно движущиеся в различных направлениях между атомами. Существованием таких электронов объясняется электрическая проводимость металлов. Под влиянием внешних причин свободные электроны могут начать перемещаться в определенном направлении. Их организованное направленное движение есть электрический ток в металле.

Когда ток проходит через металлический проводник, атомы, образующие кристаллическую решетку проводника, не участвуют в его движении; свободные электроны проходят между узлами решетки или сталкиваются с ними, не сдвигая их с места. В результате таких столкновений выделяется тепло и повышается температура проводника.

В жидких проводниках нет свободных электронов. Когда электрический ток проходит через жидкий проводник (электролит), например, растворы кислот, щелочей или солей, молекулы растворенного вещества распадаются в растворе на две части. Одна часть теряет некоторое число электронов и становится заряженной положительным электричеством; другая приобретает эти электроны и становится заряженной отрицательным электричеством. Заряженные электричеством части молекул называют ионами. Под действием сил электрического поля положительно заряженные ионы перемещаются к отрицательному электроду (катоде), а отрицательно заряженные ионы — к положительному электроду (аноду). Организованное движение ионов (а не электронов!) создает электрический ток в электролите. Выделение на катоде и аноде составных частей электролита называют электролизом.

В газах расстояние между атомами относительно велико, а концентрация свободных электронов мала. Поэтому газы, в том числе металлы, перешедшие в газообразное состояние, оказывают очень большое сопротивление прохождению тока. Однако, если соединить два металлических электрода, помещенных в газовую среду, с источником тока, то имеющиеся в газе немногочисленные свободные электроны придут в движение и будут сталкиваться с молекулами и атомами газа. При этом, если их скорость достаточно велика, они выбивают из атомов по одному или несколько атомных электронов. Оторвавшиеся электроны продолжают свое движение в качестве свободных электронов или при встрече с нейтральными атомами газа присоединяются к ним в качестве добавочных электронов. Атомы, в которых получился недостаток электронов, становятся положительными ионами, а атомы, в которых получился избыток электронов, — отрицательными ионами. Процесс образования ионов в газе называют ионизацией газа, а сложную среду,

состоящую из газообразной смеси электронов, положительных ионов и нейтральных атомов и молекул, называют плазмой. В отличие от ионизации жидкости ионизация газа сопровождается не распадом сложных молекул на более простые молекулы, а лишь отрывом от атомов или молекул по одному или нескольким электронам.

Электроны и отрицательные ионы, с одной стороны, и положительные ионы, с другой, движутся во взаимно противоположных направлениях от одного электрода к другому, создавая электрический ток в газе. Совокупность явлений, связанных с прохождением тока через газ, называют электрическим разрядом в газе.

Электрический разряд в газе может происходить и при отсутствии специальных электродов. Такой безэлектродный разряд получается, например, в лампах, помещенных в электромагнитное поле катушки, питаемой током высокой частоты.

В разреженном газе условия для ионизации более благоприятны, чем в неразреженном. В разреженном газе увеличивается длина свободного пробега электронов и ионов, вследствие чего они движутся с большей скоростью и с силой ударяются в встречные молекулы, ионизируя их. При давлении, равном атмосферному и большем, чем атмосферное, газы не проводят электричества, а при понижении давления они легче ионизируются и становятся проводящими. При слишком большом понижении давления проводимость газа снова ухудшается.

Ионизация разреженного газа сопровождается световыми явлениями, не связанными с нагревом газа. При давлении, близком к атмосферному, наблюдается прерывистый или искровой разряд, заключающийся в проскакивании светящихся искр и разветвленных нитей между помещенными в газ заряженными проводниками. По мере понижения давления картина свечения газа непрерывно меняется. Сначала светящиеся нити сливаются в сплошную светящуюся полосу, далее полоса постепенно расширяется. При давлении в несколько десятых или сотых долей миллиметра ртутного столба, т. е. при низком вакууме, наблюдается тлеющий разряд, при котором свечение заполняет все пространство откачиваемого сосуда<sup>1</sup>. Природа этого свечения состоит в том, что некоторые атомные электроны при столкновении со свободными электронами не выбиваются из атомов, а только смещаются с орбит, по которым они вращаются вокруг атомных ядер. От таких столкновений атомы возбуждаются, т. е. получают от свободных электронов добавочную энергию. Возвращаясь из возбужденного состояния в нормальное, они излучают полученную энергию в виде света. Цвет этого света зависит от природы и давления газа. При среднем вакууме

<sup>1</sup> Свечение тлеющего разряда широко используется в различных газосветных лампах и трубках.

столкновений между молекулами и электронами не происходит, и свечение газа прекращается. В этом случае электроны, не встречая препятствий на своем пути, ударяются лишь о стеклянные стенки баллона. Под влиянием таких ударов внутренняя поверхность стенок баллона начинает светиться (люминесцировать) зеленым или синим светом. При дальнейшем разрежении, т. е. при высоком вакууме, свечение стекла тоже прекращается. Высокий вакуум является лучшим из всех известных изоляторов.

Ионизация приводит газ в активное состояние. Ионизованный газ лучше, чем нейтральный, адсорбируется твердым телом и активнее вступает в химические реакции.

Проводники, нагретые до достаточно высокой температуры, способны испускать электроны в окружающий их вакуум или газ. Это явление носит название термоэлектронной эмиссии. На термоэлектронной эмиссии основано устройство и работа электронных ламп. Проводники могут эмитировать электроны даже тогда, когда скорость испарения их сравнительно мала. Однако с повышением температуры число электронов, отрывающихся с поверхности проводника, возрастает. Из накаливаемого вольфрама, заключенного в вакуумные лампы, наряду с нейтральными атомами, вылетают свободные электроны. Сталкиваясь с большой скоростью со встречными молекулами газа, электроны вызывают их ионизацию. Ионизованный газ, ударяясь о стенки колбы, адсорбируется ими, вследствие чего давление в лампе уменьшается. Явление уменьшения давления в лампе, вызванное поглощением стенками колбы молекул газа и захватом последних распыленным металлом при его конденсации, называют жестчением. Вакуумные лампы в процессе горения жестятся, и вакуум в них улучшается. Жестчение происходит тем быстрее, чем выше напряжение на лампе.

## 3-2. ПРОИЗВОДСТВО ВОДОРОДА, КИСЛОРОДА И ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ

### а) ПОЛУЧЕНИЕ ВОДОРОДА И КИСЛОРОДА ИЗ ВОДЫ

На электроламповых заводах водород находит применение в качестве защитной и восстановительной атмосферы при термической обработке изделий из вольфрама, молибдена и никеля, а кислород — в качестве средства для усиления пламени газовых горелок.

Водород получают электролитическим разложением дистиллированной воды. При этом способе одновременно с водородом получают и кислород.

Вода плохо проводит ток, но при растворении в ней щелочей, кислот или солей она становится проводником (электролитом). При получении водорода и кислорода проводимость воды повы-

шается растворением едких щелочей КОН или NaOH, не разъедающих стальных деталей аппаратуры.

Электролитическое разложение воды ведут в аппаратах-электролизерах, собранных из большого числа ячеек (рис. 3-1). Ячейки заполнены электролитом. При прохождении постоянного тока через электролит молекулы воды разлагаются (диссоциируют) на ионы водорода  $H^+$  и ионы гидроксидов  $OH^-$ . Под действием тока ионы  $H^+$  направляются к отрицательному электроду (катоде), получают от него заряд и превращаются в нейтральные молекулы водорода. Ионы  $OH^-$  направляются к положительному электроду (аноду), отдают ему заряд и превращаются в нейтральные молекулы воды и кислорода. Водорода на катодной стороне выделяется по объему в 2 раза больше, чем кислорода на анодной стороне. Теоретически из 1 л воды можно получить 620 л кислорода и 1240 л водорода.

В ячейках электролизера поддерживают температуру 65—70°С. Для предотвращения смешения водорода и кислорода и предупреждения образования взрывчатого гремучего газа электроды каждой ячейки разделяют перегородкой (диафрагмой) из плотного асбестового полотна, отличающегося химической устойчивостью по отношению к электролиту и хорошей механической прочностью. Через диафрагму легко проходят ионы водорода и гидроксидов, но не проходят нейтральные молекулы газов.

Из каждой ячейки эмульсия, состоящая из электролита и пузырьков водорода и кислорода, поступает по отдельным отводящим трубкам в два собирательных коллектора: один — для водорода, другой — для кислорода. Из коллекторов эмульсия поступает в две колонки, разделяющие жидкость от газов. Освобожденный от газов электролит возвращается по трубам обратно в ячейки электролизера, а газообразные водород и кислород раздельно направляются в скрубберы (промыватели) для охлаждения и отмывки от щелочи.

Водород, выделяющийся из электролита, содержит до 0,5% кислорода. Его подвергают очистке в печах с осажденным на керамических кольцах палладием. Благодаря каталитическому воздействию палладия примеси кислорода при 150—180°С соединяются с водородом, образуя водяной пар, который в дальнейшем удаляют влагопоглотителями. Очищенный водород поступает в трубчатый холодильник и оттуда в металлический газгольдер колокольного типа с водяным заполнением. Кислород, обладающий чистой 99,5% поступает без последующей очистки в резиноканевый газгольдер.

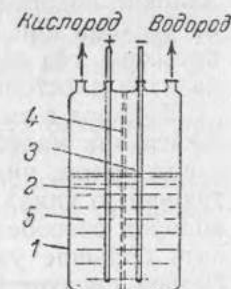


Рис. 3-1. Ячейка электролизера.

1—корпус ванны; 2 и 3—электроды; 4—асбестовая диафрагма; 5—электролит.

Тонкую очистку водорода от водяного пара производят в местах потребления. Хорошо высушенный водород должен иметь точку росы не выше  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Из газгольдеров газы отсасывают компрессорами и нагнетают под давлением около 175 ат через наполнительные рампы в стальные баллоны. На электроламповых заводах, имеющих электролизные установки на своей территории, водород и кислород разводят по газопроводам от наполнительной рампы к местам потребления. Когда при таком централизованном питании наличие водорода и кислорода в газгольдерах не обеспечивает их расхода или когда по какой-либо причине не работают компрессоры, газ перепускают в разводящую сеть из баллонов. На далекие расстояния водород перевозят в баллонах.

Водород в смеси с воздухом образует гремучий газ, взрывающийся при малейшей искре с большой силой. Поэтому, работая с водородом, нужно с особой тщательностью следить за герметичностью аппаратуры и коммуникаций, учитывая при этом, что водород способен проникать через малейшие неплотности и давать большие утечки. Электрические печи с водородной атмосферой следует конструировать с небольшим объемом рабочей камеры. Перед включением печей нужно продувать их водородом до полного удаления воздуха, а перед выключением — прекращать подачу водорода после полного остывания печи. Использованный водород следует зажигать у выходных патрубков рабочих установок с целью наблюдения за его бесперебойным поступлением и устранения его скопления в помещении.

Кислород при соединении с небольшим количеством масла или шерсти образует взрывчатую смесь. Для предотвращения взрывов цилиндры кислородного компрессора смазывают не маслом, а эмульсией глицерина в дистиллированной воде.

В качестве источника постоянного тока для электролизеров применяют двигатель-генераторы, устанавливаемые вблизи электролизного отделения в отдельном помещении. К ячейкам электролизера подводят напряжение около 2,2 в.

Несмотря на дешевизну исходного сырья и относительную простоту обслуживания аппаратуры, получение водорода и кислорода электролитическим разложением воды обходится дорого, так как требует больших затрат электрической энергии. На отечественных электроламповых заводах применяют установки типа ЭФ 24/12 производительностью  $24 \text{ м}^3/\text{ч}$  водорода. Для промышленного получения  $1 \text{ м}^3$  водорода и  $0,5 \text{ м}^3$  кислорода на таких установках требуется около 6 кВт·ч электроэнергии.

Более дешевый кислород получают из воздуха, а более дешевый водород — из водяного газа. Водород из водяного газа содержит в недопустимых количествах трудно удаляемые примеси углеводородов, окиси углерода и сероводорода, которые вредно действуют на обрабатываемые металлы. Поэтому такой водород непригоден для производства ламп. В отличие от него электро-

литический водород совершенно свободен от соединений углерода и серы.

Электролизными установками пользуются только тогда, когда требуется получать электролитический водород. Кислород в этом случае получают как побочный продукт.

## б) ПОЛУЧЕНИЕ КИСЛОРОДА И АЗОТА ИЗ ВОЗДУХА

Основным сырьем для промышленного получения кислорода и азота служит атмосферный воздух. Он состоит из однородной смеси нескольких газов (табл. 3-1, стр. 60), в том числе азота (около 78%) и кислорода (около 21%). Кроме газов, приведенных в таблице, атмосферный воздух содержит переменное количество водяного пара (от 0,1 до 2,8% по объему), пыли и микроорганизмов.

Получение кислорода и азота состоит из двух основных процессов: сжижения воздуха и его разделения.

Сжижение воздуха основано на его глубоком охлаждении до температуры ниже критической, при которой он превра-

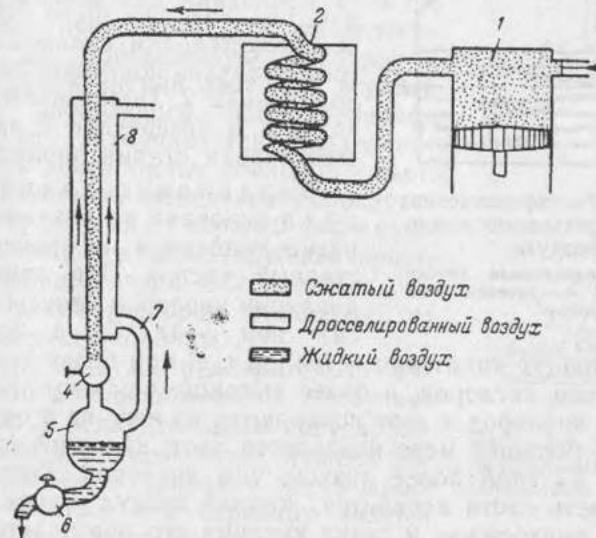


Рис. 3-2. Сжижение воздуха по методу простого дросселирования.

1 — компрессор; 2 — холодильник; 3 — противоточный теплообменник; 4 — дроссельный вентиль; 5 — резервуар жидкого воздуха; 6 — сливной вентиль; 7 — трубка.

щается в насыщенный пар, и в отнятии от пара тепла, сопровождающемся конденсацией его в жидкость. На рис. 3-2 изображена схема процесса сжижения воздуха по методу простого дросселирования. Сжатый компрессором воздух охлаждается сначала в холодильнике 2 с проточной водой и затем в противоточном

теплообменнике 3 парами ранее сжиженного воздуха. Из теплообменника охлажденный сжатый воздух продавливается через узкий канал 4 (дроссельный вентиль), по выходе из которого давление его резко снижается почти до атмосферного.

При продавливании сжатого воздуха через дроссельный вентиль затрачивается энергия на преодоление сил взаимодействия между молекулами, вызывающая сильное охлаждение воздуха и превращение его в жидкость. На каждые 4 ат разницы давлений по обе стороны дроссельного вентиля достигается снижение температуры приблизительно на 1 град.

После дроссельного вентиля охлажденный сжиженный воздух направляется в резервуар 5, в котором пары его отделяются от сжиженной части и отводятся по трубке 7 в противоточный теплообменник, где, как уже было сказано, он используется для охлаждения сжатого воздуха, поступающего из холодильника 2. Получением жидкого воздуха в резервуаре 5 заканчивается первая стадия процесса.

Разделение жидкого воздуха основано на различии температур кипения и испарения его составных частей. При атмосферном давлении кислород кипит (сжижается) при  $-183^{\circ}\text{C}$ , а азот — при  $-196^{\circ}\text{C}$ . Воздух кипит при  $-194^{\circ}\text{C}$ , т. е. при более низкой температуре, чем кислород, и более высокой, чем азот. Когда воздух кипит, кислород и азот испаряются из него не в одинаковой степени. В большей мере испаряется азот, кипящий при температуре на 13 град более низкой, чем кислород. Когда значительная часть азота испарится, жидкий воздух становится обогащенным кислородом и точка кипения его повышается. Такой способ разделения называют ректификацией.

Для ректификации жидкого воздуха служат вертикальные аппараты — ректификационные колонны (рис. 3-3), снабженные большим числом горизонтальных перегородок (тарелок). Кипящий жидкий воздух поступает в «испарительный сосуд» и непрерывно из него испаряется. Пары, постепенно обогащаясь азотом, поднимаются через отверстия в тарелках кверху колонны, а содержащийся в них кислород, конденсируясь на тарелках в жидкость, стекает с тарелки на тарелку вниз колонны. Таким образом, в нижней части колонны постепенно скапли-

вается жидкий кислород, а в верхней части — газообразный азот.

Разделение воздуха производят по системе однократной и двукратной ректификации. По первой системе можно одновременно получать кислород и азот, из которых один на 6—7% загрязнен другим. По второй системе можно одновременно получать оба газа в чистом виде.

Воздухоразделительный аппарат двукратной ректификации (рис. 3-4) состоит из нижней и верхней ректификационных колонн и помещенного между ними конденсатора, состоящего из большого числа трубок, впаянных в решетки. Внутреннее пространство трубок сообщается с нижней колонной, а междутрубное пространство — с верхней. В нижней колонне, работающей под давлением 4—5 ат, происходит предварительное разделение воздуха на обогащенную кислородом смесь и почти чистый азот, а в верхней колонне, работающей под давлением 0,4—0,5 ат, заканчивается разделение воздуха на почти чистые кислород и азот. Внутри трубок конденсатора сжижается азот, поступающий из верхней части нижней колонны, а в междутрубном пространстве конденсатора скапливается кипящий жидкий кислород, стекающий из тарелок верхней колонны.

Сжатый воздух, предварительно охлажденный в теплообменнике, поступает в змеевик 2 испарительного сосуда, находящегося в нижней части нижней колонны. Далее он проходит через дроссельный вентиль 3 в середине нижней колонны. Этим вентилем давление воздуха понижается (дросселируется) до 4—6 ат, вследствие чего воздух резко охлаждается и превращается в жидкость. Кипящий жидкий воздух, обогащаясь на тарелках нижней колонны азотом, поднимается в верхнюю часть этой колонны и сжижается в трубках конденсатора в почти чистый азот. Последний частично стекает на верхнюю тарелку нижней колонны, а частично скапливается в карманах 6 под конденсатором. Из карманов азот через дроссельный

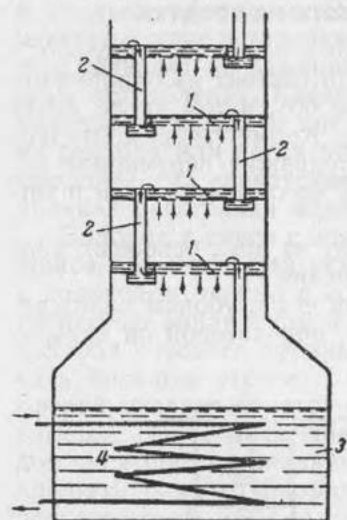


Рис. 3-3. Ректификационная колонна для разделения жидкого воздуха.

1 — сетки; 2 — переливные трубки; 3 — испаритель; 4 — змеевик испарителя.

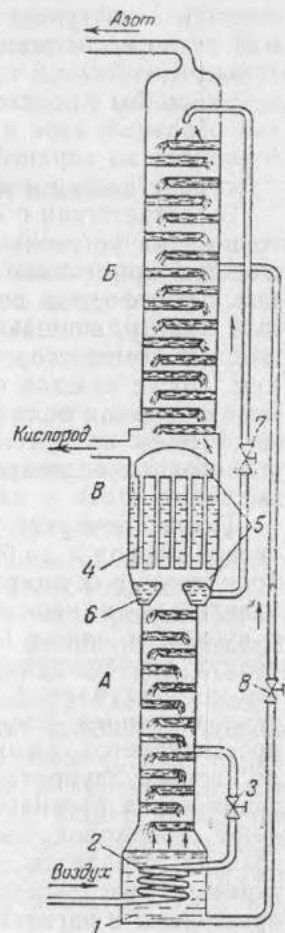


Рис. 3-4. Воздухоразделительный аппарат двукратной ректификации.

А — нижняя колонна; Б — верхняя колонна; В — конденсатор; 1 — испаритель; 2 — змеевик испарителя; 3 — дроссельный вентиль для воздуха; 4 — трубы конденсатора; 5 — тарелки конденсатора; 6 — карманы конденсатора; 7 — дроссельный вентиль для азота; 8 — дроссельный вентиль для кислорода.

вентиль 7 поступает на орошение верхней колонны. Обогащенная кислородом жидкость поступает из испарителя через дроссельный вентиль 8 тоже в верхнюю колонну. На тарелках верхней колонны происходит окончательное разделение воздуха на газообразный азот и жидкий или газообразный кислород. Азот отводится из верхней части верхней колонны, а кислород — из пространства над конденсатором.

В соответствии с описанной выше схемой разделения жидкого воздуха устроена установка типа КГ-30 Главкислорода, прошедшая применение на отечественных электроламповых заводах. Атмосферный воздух засасывается через масляный воздушный фильтр, очищающий его от пыли, в четырехступенный воздушный компрессор, сжимающий его последовательно по ступеням. После каждой ступени он охлаждается водой в холодильниках, отдавая воде тепло, полученное при сжатии в компрессоре. Между второй и третьей ступенями воздух очищается от углекислоты в декарбонизаторе, заполненном раствором едкого натра.

После четвертой ступени воздух, сжатый до 200 ат в пусковой период и до 60—80 ат в период нормального режима, направляется в осушительную батарею, состоящую из масловлагоотделителя и нескольких баллонов, заполненных патронами с кусковым едким натром. Из осушительной батареи сжатый воздух, освобожденный от пыли, углекислоты, водяных паров и масла, поступает в заключенный в общий кожух с хорошей теплоизоляцией блок сжижения и разделения, в котором он дросселируется, сжижается и разделяется на азот и кислород по системе двукратной ректификации. Оба газа после прохождения через противоточный теплообменник, в котором они отдают свой холод поступающим на разделение новым порциям воздуха, отводятся по трубопроводам и собираются в резиноканевых газгольдерах. Из газгольдеров они отсасываются компрессорами и нагнетаются через наполнительную рампу в стальные баллоны.

Установка работает непрерывно 500—600 ч, пока в ее аппаратуре и трубопроводах не накопится много льда и твердой углекислоты. Тогда прекращают работу, отогревают установку сухим подогретым сжатым воздухом и удаляют твердые отложения проходящими потоками воздуха. После отогрева и продувания установку снова пускают в работу.

При получении из аппарата двукратной ректификации чистого азота кислород получается загрязненным азотом, а при получении чистого кислорода азот загрязняется кислородом. Одновременное получение чистых азота и кислорода из одного воздуходелительного аппарата становится возможным, если отбросить из него так называемую «грязную» (аргоновую) фракцию, содержащую около 60% кислорода, 35% азота и 5—10% аргона. Если не отводить грязной фракции, то при выработке кисло-

рода приходится выбрасывать в атмосферу азот, а при выработке азота выбрасывать в атмосферу кислород.

В установке КГ-30, обладающей производительностью 30 м<sup>3</sup> кислорода в час, требуется электроэнергия для сжатия воздуха и кислорода в компрессорах около 1,5 квт·ч на 1 м<sup>3</sup> кислорода.

#### в) ПОЛУЧЕНИЕ АРГОНА, КРИПТОНА И КСЕНОНА

Единственным и неисчерпаемым источником получения аргона, криптона и ксенона служит атмосферный воздух. Получение этих газов сопряжено с рядом трудностей, вызванных крайне малым содержанием их в воздухе. Вначале каждый газ получают в виде сырого концентрата с большим количеством примесей, потом концентрат очищают.

Аргон кипит при  $-186^{\circ}\text{C}$ . Температура его кипения выше температуры кипения азота на 10 град и ниже температуры кипения кислорода на 3 град. Промежуточное положение летучести аргона между летучестью кислорода и азота усложняет извлечение аргона и удорожает последующую его очистку.

Для получения аргона упомянутую выше «грязную» аргоновую фракцию отводят из той части основной воздуходелительной колонны, в которой собирается кислородно-азотная смесь с малым содержанием азота. Эту фракцию разделяют в специальной аргоновой колонне на кислород и «сырой» аргон по такому же методу, как в основной колонне разделяют воздух на кислород и азот. Сырой аргон содержит небольшое количество азота и кислорода. Его направляют в реактор, куда вводят электролитический водород, поглощающий в присутствии палладиевого катализатора примеси кислорода. Влагу, образовавшуюся связыванием кислорода, осаждают в трубчатом холодильнике. После ее удаления остается свободная смесь — технический аргон, содержащая 12—16% азота, до 0,4% кислорода и до 0,3% углекислого газа.

Для большинства типов ламп требуется азот в смеси как раз в таком количестве, какое обычно содержится в техническом аргоны, а именно, около 14%. Некоторые специальные низковольтные лампы наполняют аргоном с меньшим содержанием азота. Для получения такого аргона прибегают к дополнительной очистке его от азота глубоким охлаждением в специальной разделительной колонне.

Криптон кипит при  $-153^{\circ}\text{C}$ . При разделении жидкого воздуха он переходит в раствор и накапливается в жидком кислороде. Поэтому сырьем для извлечения криптона служит технический кислород, полученный из жидкого воздуха. Концентрация криптона в нем весьма незначительна, но все же примерно в 5 раз большая, чем в воздухе. Сначала кислород пропускают через дополнительную колонну для отбора из него первичного

или бедного криптонового концентрата, содержащего 0,1—0,2% криптона и еще меньше ксенона. Затем этот жидкий продукт газифицируют и направляют в электропечи с катализатором (окисью алюминия или окисью меди) для окисления содержащихся в нем примесей метана, ацетилен и других углеводородов, которые, будучи растворенными в жидком кислороде, создают опасность взрыва разделительной аппаратуры. Освобожденный от углеводородов газ сжимают компрессором до высокого давления (около 150 ат) и очищают от  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , образовавшихся при окислении углеводородов. Очищенный газ снова сжижают и подвергают дальнейшему разделению во второй разделительной колонне для получения вторичного или богатого концентрата, содержащего до 50—70% криптона. Жидкий богатый концентрат газифицируют и подвергают дальнейшему обогащению вымораживанием криптона жидким азотом. В результате получают технический криптон, содержащий около 90% криптона.

Ксенон кипит при  $-109^\circ\text{C}$ . Исходным продуктом для получения чистого ксенона служит технический криптон, содержащий 7—8% ксенона. Разделение смеси осуществляют разгонкой ее в специальных миниатюрных разделительных колоннах. При температуре  $-120^\circ\text{C}$  ксенон, сжижаясь, стекает в сборник колонны, а газообразный криптон нагнетается в баллоны.

Получение криптона и ксенона сопряжено с переработкой большого количества кислорода, что сильно удорожает их производство. Высокая стоимость криптона и ксенона долгое время служила препятствием для массового применения их в лампах накаливания. Себестоимость их значительно снизилась после организации попутного извлечения их как побочного продукта на крупных кислородных установках. На отечественной установке БР-2 с производительностью по кислороду  $34\,000\text{ м}^3/\text{ч}$  можно получать криптона  $850\text{ м}^3/\text{год}$  и ксенона  $61\text{ м}^3/\text{год}$ .

Существует метод прямого извлечения криптона из воздуха, заключающийся в том, что массу воздуха, из которого требуется извлечь криптон, промывают относительно небольшим количеством жидкого воздуха. Криптон, как менее летучий газ, поглощается жидким воздухом, обогащая его. Обогащенную смесь, состоящую, главным образом, из кислорода и криптона, разделяют путем обычной ректификации. Получение криптона как основного продукта требует большой затраты энергии ( $45\text{ кВт}\cdot\text{ч}$  на 1 л газообразного криптона). Получение криптона на кислородных установках требует вдвое меньше энергии, чем при получении его прямым извлечением из воздуха.

Криптон и ксенон настолько дорогостоящие газы, что признано рентабельным извлечение их из старых, перегоревших и бракованных ламп. Лампы загружают в герметичный барабан со стальными болванками. Барабан откачивают вакуумным насосом, после чего приводят во вращение. Болванки разбивают лам-

пы и высвобождают криптон. Затем барабан останавливают, перекачивают криптон в газгольдер и оттуда нагнетают мембранным компрессором в стальной баллон для последующей очистки и повторного использования.

### г) ХРАНЕНИЕ, СМЕШЕНИЕ, КОНТРОЛЬ И УЧЕТ СЖАТЫХ ГАЗОВ

Азот, аргон, криптон, кислород и водород хранят и перевозят в баллонах емкостью 40 л под давлением около 150 ат, а ксенон — в баллонах емкостью 10 л под давлением 40—100 ат.

Баллон для сжатых газов (рис. 3-5) представляет собой стальной цилиндрический сосуд с выпуклым дном и горловиной с внутренней и наружной резьбами вверх. По внутренней резьбе ввернут запорный мембранный вентиль с боковым штуцером для наполнения и отбора газа, а по наружной накрут предохранительный стальной колпак, защищающий вентиль от загрязнений и повреждений. На дне насажен квадратный башмак, придающий баллону устойчивость в вертикальном положении и не позволяющий ему перекачиваться в горизонтальном.

По ГОСТ 949-57 баллоны емкостью 40 л имеют наружный диаметр 219 мм, толщину стенок 8 мм, высоту 1 390 мм и весят около 60 кг; баллоны емкостью 10 л имеют наружный диаметр 141 мм, толщину стенок 4,5 мм, высоту 825 мм и весят около 15 кг. Баллоны для разных газов окрашивают в различные опознавательные цвета с целью защиты их поверхности от коррозии и избежания опасных ошибок при присоединении. Водородные баллоны окрашивают в темно-зеленый цвет, кислородные — голубой, азотные — черный с коричневой полосой, аргонные — черный с синей полосой, криптоновые — черный с желтой полосой, ксеноновые — черный с двумя желтыми полосами. Боковые штуцера вентиля баллонов для горючих и негорючих газов имеют неодинаковую резьбу. Водородные

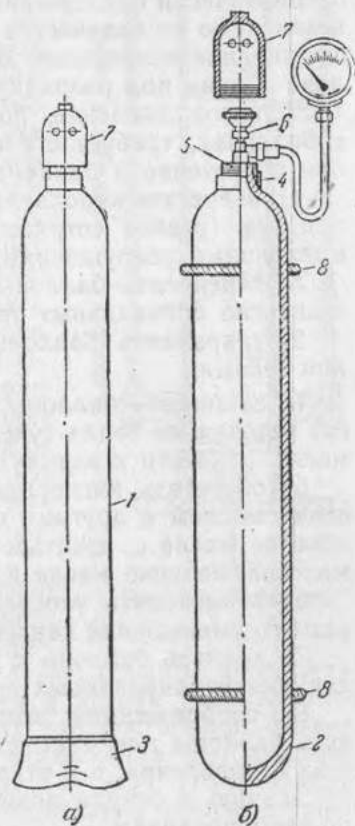


Рис. 3-5. Баллон для сжатых газов.

а — общий вид; б — разрез; 1 — корпус; 2 — дно; 3 — башмак; 4 — горловина; 5 — кольцо с резьбой; 6 — вентиль; 7 — колпак; 8 — веревочные кольца.



баллоны имеют левую трубную резьбу диаметром  $1/2$  дюйма, а кислородные, азотные и аргоновые — правую диаметром  $3/4$  дюйма. Баллоны не реже одного раза в 5 лет испытывают на прочность гидравлическим давлением 225 ат. Баллоны, принимаемые для наполнения, должны иметь остаточное давление не ниже 1,5 ат. При отсутствии остаточного давления их приходится подвергать откачке с подогревом.

Для использования газа отвертывают предохранительный колпак, навинчивают на боковой штуцер запорного вентиля редуктор с манометрами высокого и низкого давлений и осторожным поворачиванием маховичка против часовой стрелки медленно открывают вентиль. Редуктором плавно регулируют расход газа, понижают давление до требуемого рабочего давления и автоматически поддерживают это рабочее давление постоянным, независимо от количества газа, оставшегося в баллоне. Для обслуживания непрерывно действующих установок ставят два баллона — один под разрядку и другой для запаса.

Большое давление, под которым содержатся сжатые газы в баллонах, требует строгого соблюдения правил безопасности при обращении с баллонами:

- 1) оберегать наполненные баллоны от падения и ударов друг о друга (резкое сотрясение баллона может вызвать взрыв с большими разрушениями);
- 2) переносить баллоны на специальных носилках или перевозить на специальных тележках;
- 3) закреплять баллоны на рабочих установках хомутами или цепями;
- 4) защищать баллоны от действия солнечных лучей и других источников тепла (увеличение давления в нагретом баллоне может привести к взрыву);
- 5) оберегать кислородные баллоны и редукторы от загрязнения маслом и другими органическими веществами (соприкосновение масла со сжатым кислородом вызывает мгновенное самовоспламенение масла и взрыв баллона);
- 6) производить отогрев вентиля, замерзших в результате резкого уменьшения давления газа, только горячей водой;
- 7) хранить баллоны с горючими газами и кислородом в отдельных изолированных друг от друга помещениях.

По соображениям техники безопасности рекомендуется ставить баллоны для расходования газа не непосредственно в местах потребления, а в отдельных легких пристройках к основному зданию и оттуда подводить газ при пониженном давлении по трубопроводам.

Для получения смеси двух сжатых газов, например, криптона и азота, пользуются смесительной рампой, к вентилям которой присоединяют пустые и полные баллоны и мембранный компрессор. Манипулируя вентилями, сначала перепускают и нагнетают в пустой баллон требуемое количество одного газа, по-

том второго. Операцию контролируют по показаниям манометров.

Инертные газы контролируют на содержание примесей.

Содержание влаги в газе оценивают по точке росы. Для ее определения газ охлаждают холодильной смесью из жидкого азота и спирта и наблюдают, при какой температуре появляется роса на металлической поверхности. Наряду с этим методом применяют методы автоматического определения влажности газа в непрерывном потоке.

Анализ газа на кислород основан на поглощении пирогаллолом или белым фосфором кислорода из отобранной пробы газа и измерении объема остатка. Состав смеси двух газов, например, аргоно-азотной или криптоно-ксеноновой, определяют на так называемых газовых весах путем измерения разницы удельного веса анализируемого газа и воздуха.

Некоторые заводы определяют содержание азота в аргоно-азотной смеси газовым интерферометром. Как известно, интерференция лучей заключается во взаимном усилении или ослаблении волн при наложении их друг на друга. В интерферометре пучок света разделяют на два луча, пропускают эти лучи через двухкамерную кювету с анализируемым и эталонным газами и затем сводят оба луча в одной точке. В зависимости от коэффициентов преломления газов и, следовательно, их составов получается разная интерференционная картина, наблюдаемая через окуляр.

Содержание азота в криптоно-азотной смеси определяют вымораживанием криптона в сосуде Дьюара с жидким азотом и измерением давления газа над затвердевшим криптоном.

Расход водорода, кислорода, азота и аргона учитывают по показаниям манометров в атмосферах при постоянном объеме. Например, вместимость баллона емкостью 40 л при давлении 150 ат составляет  $150 \times 40 = 6000$  л или  $6 \text{ м}^3$  газа. Такой приближенный метод учета принят для относительно дешевых газов. Дорогостоящие криптон и ксенон учитывают более точно; криптон — с поправкой на сжимаемость, зависящей от давления и температуры газа, а ксенон — в весе.

Для измерения и регулирования расхода водорода, а также автоматического ограничения его потребления применяют по-

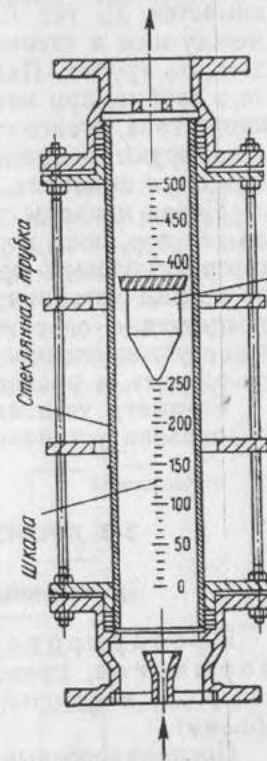


Рис. 3-6. Ротаметр.

плавковый газомер — ротаметр (рис. 3-6). Он состоит из слегка расширяющейся вверх градуированной стеклянной трубки, по которой снизу вверх течет измеряемый газ. Внутри трубки помещен фибровый или алюминиевый поплавочек, свободно перемещающийся в потоке газа. Периметр поплавочка имеет нарезку, заставляющую поплавочек при подъеме совершать вращательное движение без трения о стенки трубки. Поплавочек поднимается до тех пор, пока образующийся кольцевой просвет между ним и стенкой трубки не обеспечит необходимую проходимость трубки. Подъем его приостанавливается на такой высоте в трубке, при которой сила, действующая на него при протекании газа, становится равной весу поплавочка. Шкалу ротаметра градуируют в единицах объема. По высоте, на которую поднимается поплавочек, судят о расходе газа в момент наблюдения.

Перед началом работы кран ротаметра медленно открывают до тех пор, пока поплавочек не поднимется до отметки на шкале, соответствующей требуемому расходу газа. Чтобы расход не превышал установленного предела, вверху ротаметра устроено препятствие, ограничивающее ход поплавочка. При расходе газа выше установленного предела поплавочек прикрывает в ротаметре просвет, и расход газа автоматически ограничивается.

Ротаметр устанавливают строго вертикально по отвесу. Неправильная установка искажает его показания.

### 3-3. ПРОИЗВОДСТВО ПРЕПАРИРОВОЧНОГО ГАЗА

#### а) ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Препарировочный газ, или, как его часто называют формиргаз, представляет собой очищенную смесь азота и водорода, в которой водорода содержится от 25 до 75% (по объему).

Препарировочный газ — заменитель чистого водорода. Его применяют в электрических печах в качестве защитной среды, предотвращающей окисление вольфрама, молибдена и никели при термической обработке изделий из этих металлов. При отжиге в проточном препарировочном газе изделия очищаются от загрязнений и одновременно приобретают требуемые механические свойства. Водородная часть газа восстанавливает окислы на изделиях и нейтрализует действие свободного и связанного кислорода, проникающего в печь с изделиями, а азотная часть делает газ менее взрывоопасным и более дешевым по сравнению с чистым водородом. Наряду с очисткой от поверхностных загрязнений препарировочный газ вытесняет из изделий абсорбированный газ, занимая его место.

Препарировочный газ нашел также применение в качестве защитной среды в электропечах с молибденовыми или вольфра-

мовыми нагревательными элементами с целью предохранения этих элементов от окисления.

На электроламповых заводах применяют два способа получения препарировочного газа: 1) прямое смешение водорода с азотом и 2) диссоциация аммиака. Второй способ более прост и экономичен, так как транспорт жидкого аммиака обходится дешевле, чем транспорт газа, и диссоциированный аммиак не требует очистки от  $O_2$  и  $CO_2$ .

#### б) ПОЛУЧЕНИЕ ГАЗА СМЕШЕНИЕМ

В смесительный бак подводят под давлением 1—3 ат из одного баллона (газопровода) азот и из другого — водород (рис. 3-7). Для лучшего смешения струю водорода направляют в бак под прямым углом к струе азота. Процентное содержание смеси регулируют вентилями на соответствующем баллоне (газопроводе) и контролируют прибором для анализа газа. Из смесителя газ направляют в электрическую печь с нагретой восстановленной медью для очистки от кислорода, далее через холодильный аппарат с проточной водой для конденсации из него водяного

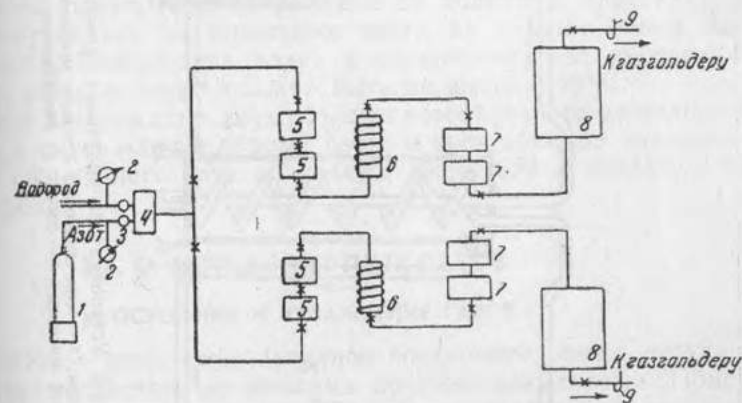


Рис. 3-7. Установка для получения препарировочного газа смешением.

1 — баллон с азотом; 2 — манометры; 3 — вентили; 4 — смеситель; 5 — буферные баки; 6 — печи поглощения кислорода; 7 — холодильники; 8 — баки со щелочью; 9 — манометры.

пара и затем через бачок с кусковой щелочью для поглощения углекислого газа и более тщательной очистки от водяного пара. Смесительную установку обыкновенно собирают из двух параллельных периодически переключающихся ветвей для обеспечения непрерывности работы. Сеть питают газом под давлением 100—300 мм вод. ст.

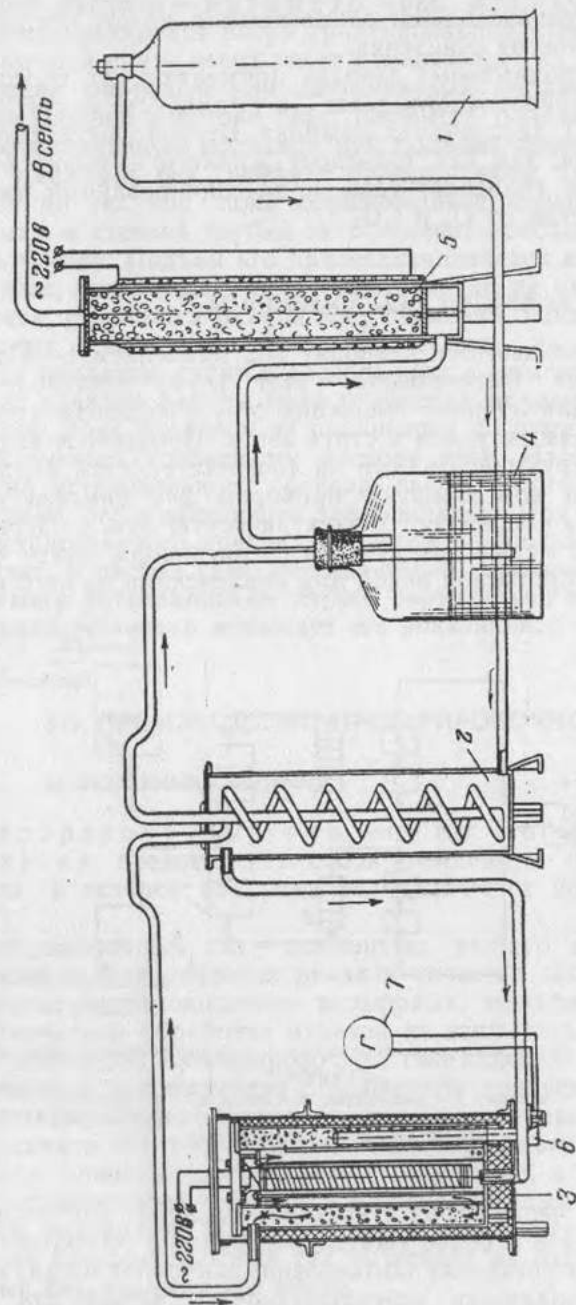
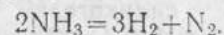


Рис. 3-8. Установка для получения препарировочного газа разложением аммиака.  
1 — баллон с жидким аммиаком; 2 — теплообменник; 3 — печь разложения аммиака (диссоциатор); 4 — бутылка с раствором серной кислоты; 5 — сосуд с силикагелем; 6 — сосуд с термометром; 7 — манометр.

## в) ПОЛУЧЕНИЕ ГАЗА ДИССОЦИАЦИЕЙ АММИАКА

Жидкий аммиак под давлением 7—8 ат поступает из баллона в теплообменник<sup>1</sup>, где он, нагреваясь, переводится в газообразное состояние (рис. 3-8). Из теплообменника газообразный аммиак поступает в электрическую печь, плотно заполненную катализатором, состоящим из окисленной стальной стружки или покрытых окисью железа керамических шариков. Проходя через нагретый до 750—800°С катализатор, аммиак полностью распадается (диссоциирует) на азот и водород:



По выходе из печи расщепленный аммиак направляют в теплообменник, где он отдает свое тепло аммиаку, поступающему на разложение. Из теплообменника газ направляют в сосуд с 20%-ным раствором серной кислоты для улавливания неразложившегося аммиака. Промытую смесь осушают в сосуде с силикагелем и оттуда отводят по трубопроводу к местам потребления. Если исходный аммиак загрязнен парами масла, в систему очистки препарировочного газа включают сосуд с активированным углем.

Для проверки очищенного газа на содержание свободного аммиака пламя газа направляют на холодную пластинку; конденсирующаяся на пластинке влага не должна иметь запаха аммиака. Содержание влаги в очищенном газе проверяют по точке росы, которая должна быть не выше —20°С.

При диссоциации двух объемов газообразного аммиака образуется смесь одного объема азота и трех объемов водорода. Из 1 кг сжиженного газа получается смесь 650 л азота и 1950 л водорода.

## 3-4. ОЧИСТКА ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ

### а) ОСУШЕНИЕ И УВЛАЖНЕНИЕ ГАЗОВ

Влага — химически активное соединение, легко вступающее во взаимодействие со многими другими веществами. Присутствуя в атмосферном воздухе, а также выделяясь в помещениях при сгорании горючего газа, влага оказывает вредное влияние на материалы, полуфабрикаты и детали, из которых изготавливают лампы. Влага влияет на многие технологические процессы, выполняемые в контакте с атмосферным воздухом.

В производстве ламп бывает необходимо очищать технические газы от паров воды. Простейшим способом сушки служит вымораживание их в охлаждающих трубах. При выморажива-

<sup>1</sup> В сжиженном состоянии в баллоне может находиться только такой газ, критическая температура которого выше обычной комнатной температуры. Аммиак имеет критическую температуру +132°С, поэтому он может сжижаться под давлением при комнатной температуре.

ни часть содержащегося в газе водяного пара конденсируется в воду.

Сушка газа путем понижения температуры не всегда бывает достаточной или приемлемой. Поэтому наряду с вымораживанием применяют сушку с помощью гигроскопических веществ. Некоторые из таких веществ обладают большой влагоемкостью, но недостаточно тонко осушают газ. Другие обладают меньшей влагоемкостью, но более тонко осушают газ. К твердым осушителям принадлежат фосфорный ангидрид  $P_2O_5$ , едкое кали  $KOH$ , едкий натр  $NaOH$ , негашеная известь  $CaO$ , натровая известь  $Na_2O + Ca(OH)_2$ , силикагель  $SiO_2 \cdot H_2O$ , алюмогель  $Al_2O_3 \cdot H_2O$ , хлористый кальций  $CaCl_2$  и др. Твердыми кусковыми или зернистыми осушителями заполняют вертикальные колонки; протекая через колонки снизу вверх, газ отдает осушителю свою влагу и выходит через патрубок колонки сухим. Скорость влагопоглощения возрастает с увеличением площади поверхности осушителя. Чтобы поток газа не засорил из колонки легко подвижных частиц осушителей и не засорил ими газопроводов, ставят на пути его движения ловушку со стеклянной ватой. Все осушители хорошо поглощают пары воды только из холодного газа.

Из осушителей наибольшее распространение в производстве ламп получили сильные щелочи—едкое кали и едкий натр—в виде белых кусков с кристаллической структурой в изломе. Эти щелочи наряду с влагой хорошо поглощают углекислый газ. Недостаток их как осушителей заключается в том, что едкий натр, впитывая влагу, быстро расплывается и закрывает каналы для прохода газа, а едкое кали, поглощая углекислоту, покрывается коркой двууглекислого калия, замедляющей дальнейшее поглощение влаги. Влагой лучше поглощает едкое кали, а углекислый газ—едкий натр. Ту и другую щелочь перед применением раскалывают на куски величиной 20—40 мм. Щелочи требуют осторожного обращения, так как, попадая на кожу, вызывают ее набухание и ожог.

Натровая известь, нашедшая применение в качестве поглотителя влаги и углекислого газа, представляет собой тонкий кристаллический порошок белого цвета. Из порошка, замешанного на воде, готовят гранулы, которые непосредственно перед загрузкой в поглотительные колонки сушат на воздухе и прокалывают при  $250^\circ C$  под вакуумом.

Наиболее сильным осушителем газов служит белый рыхлый порошок фосфорного ангидрида. Его готовят сжиганием порошка красного фосфора в токе сухого воздуха. Фосфорный ангидрид дает более высокую степень очистки от влаги, чем едкие щелочи, но его поглотительная способность быстро снижается по мере насыщения влагой. Поэтому влажный газ перед сушкой фосфорным ангидридом предварительно сушат каким-либо другим более влагоемким осушителем. Поглощая вла-

гу, фосфорный ангидрид покрывается липкой фосфорной кислотой, уменьшающей его проходимость. Для увеличения проходимости фосфорный ангидрид смешивают со стеклянным боем или стеклянной ватой, препятствующими выключению какой-либо его части из работы и не позволяющими газу пробивать себе путь по одному какому-то проходу. Внешний вид фосфорного ангидрида в прозрачной стеклянной фосфорнице позволяет судить о концентрации водяных паров в очищаемом газе.

Широкое применение для улавливания паров воды получил силикагель ( $SiO_2 \cdot H_2O$ )—твердый некристаллический кремнезем, внешне похожий на крупный кварцевый песок. Силикагель имеет пористое строение с широко развитой внутренней поверхностью, позволяющей ему активно сорбировать водяной пар. Поверхность пор у 1 г силикагеля достигает 400—500 м<sup>2</sup>. По ГОСТ 3956-54 выпускают мелкопористый силикагель для поглощения паров воды при малом их содержании и крупнопористый для поглощения паров воды при большом содержании. При  $20^\circ C$  и 100%-ной относительной влажности мелкопористый силикагель поглощает 35% влаги по весу, а крупнопористый 70%. По мере насыщения влагой силикагель становится менее гигроскопичным и тогда его регенерируют продувкой подогретым до  $240—265^\circ C$  сухим азотом или до  $180—220^\circ C$  сухим воздухом. Горячий азот или воздух нагревает силикагель, удаляет с его поверхности пары воды и восстанавливает его первоначальную влагопоглотительную способность. Один и тот же силикагель может служить поглотителем влаги несколько лет. По сравнению с другими осушителями силикагель имеет ряд преимуществ: он химически нейтрален, механически прочен при переменах температур, безопасен в обращении, не расплывается при насыщении водой и более дешев.

Эффективность любого влагопоглотителя можно повысить путем понижения его температуры, увеличения высоты слоя и уменьшения скорости движения осушаемого газа. В табл. 3-3 приведены численные значения величин, характеризующих эф-

Таблица 3-3

Средняя эффективность осушителей

Наименование осушителя	Упругость водяного пара над осушителем мм рт. ст.		Количество остающейся воды в газе, высушенном при $25^\circ C$ , г/м <sup>3</sup>
	при $0^\circ C$	при $50^\circ C$	
Хлористый кальций . . . . .	0,07	1,34	0,36
Едкий натр . . . . .	0,04	1,15	0,16
Едкое кали . . . . .	—	0,007	0,002
Силикагель . . . . .	—	—	0,002
Фосфорный ангидрид . . . . .	$3 \cdot 10^{-8}$	—	0,00002

фективность некоторых осушителей при 0 и 50° С. Все влагопоглощители хранят в герметически закрытых сосудах.

В некоторых случаях бывает необходимо не осушать газ, а увлажнять его пропусканием пузырьками сквозь подогретую дистиллированную воду. К этому прибегают на операциях отжига изделий из вольфрама и молибдена, загрязненных углеродом. Под действием высокой температуры влага разлагается с выделением кислорода, который окисляет углерод.

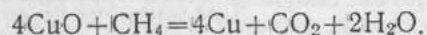
### 6) ОЧИСТКА АЗОТА И АРГОНА

Каждый материал, вводимый внутрь ламп, должен быть свободен от посторонних примесей. Азот и аргон не составляют исключения. Самые незначительные посторонние включения, внесенные в лампы с наполняющим газом, приводят к распылению вольфрама, изменению его кристаллической структуры и преждевременному разрушению тела накала. Чем тоньше вольфрамовая нить, тем важнее чистота газа.

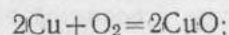
Технические азот и аргон всегда бывают загрязнены кислородом, углекислым газом и парами воды. Кроме того, аргон может быть загрязнен углеводородами, окисью углерода и водородом. Процесс удаления этих примесей состоит в пропускании газа под давлением через специальные газоочистительные системы. В этих системах кислород, углекислый газ и пары воды непосредственно задерживаются поглощающими веществами, а углеводороды, окись углерода и водород сначала превращаются в пары воды и углекислый газ, которые затем легко задерживаются поглотителями.

Через редукционный вентиль, навинченный на боковой штуцер запорного вентиля баллона (рис. 3-9), газ поступает в стальной бачок, заполненный снизу техническим едким кали и сверху техническим едким натром. Едкие щелочи поглощают из газа влагу и углекислоту.

Затем газ последовательно проходит через несколько электрических печей, заполненных окисленной медью (в виде гранул) и металлической медью (в виде стружки или обрезков проволоки). В первой печи с окисленной медью, нагретой до 650—750° С, сжигаются углеводороды



В следующих шести печах с восстановленной медью, нагретой до 300—350° С, поглощаются примеси кислорода



В последних двух печах с окисленной медью, нагретой до 300—350° С, поглощаются примеси водорода и окиси углерода

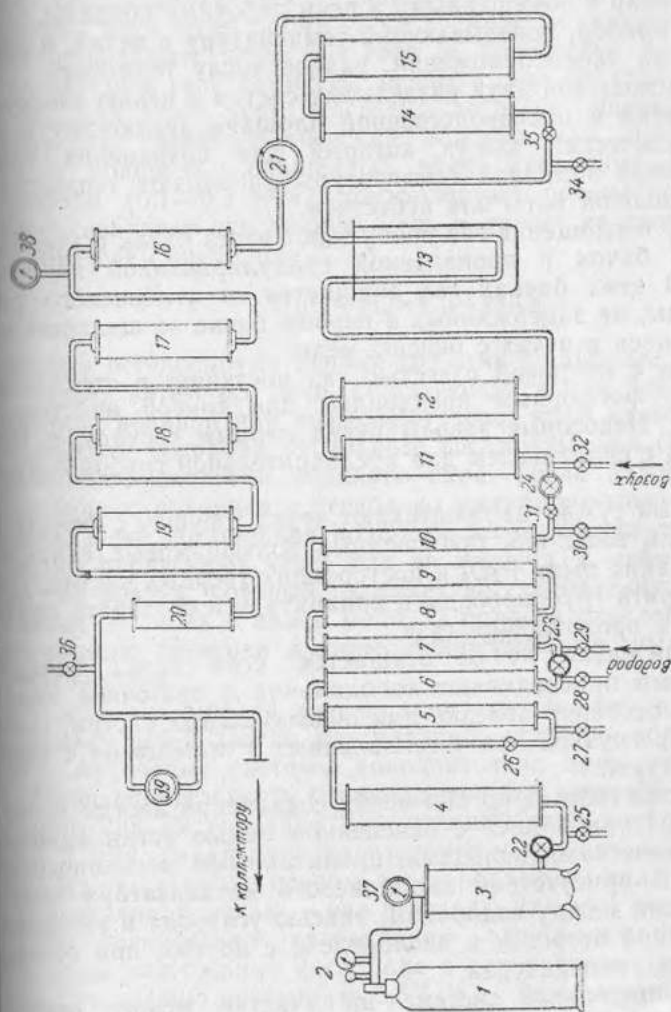


Рис. 3-9. Система очистки азота и аргона.

1 — баллон с неочищенным газом; 2 — редукционный вентиль с манометром высокого и низкого давлений; 3 — бачок со щелочью; 4 — печь с окисью меди (650—750° С); 5—10 — печи с металлической медью (300—350° С); 11, 12 — печи с окисью меди (300—350° С); 13 — скруббер; 14 — бачок со щелочью; 15 — бачок с дистиллированной известью; 16—19 — фосфориты; 20 — ловушка со стеклянной ватой; 21 — манометр; 22—23 — вентили; 24—26 — краны; 27—38 — манометры; 29 — индикаторная лампа.

Продукты восстановления окиси меди — пары воды и углекислый газ — покидают печи вместе с очищаемым газом.

Температуру нагрева печей поддерживают автоматическими терморегуляторами и контролируют термоэлектрическим пирометром. В комплект пирометра входит несколько хромель-копелевых термопар с помещенными в печи рабочими концами, измерительный прибор, показывающий температуру в печах, и переключатель на число положений, равное числу термопар.

Печи поглощения двух отдельных систем с целью экономии электроэнергии и производственной площади заключают в общий металлический кожух, который для сохранения тепла и поддержания заданной температуры заполняют теплоизоляцией из шлаковой ваты или асбестита.

Из печей поглощения газ пропускают через бачок с кусковой щелочью и бачок с прокаленной гранулированной натровой известью. В этих бачках газ очищается от углекислого газа и паров воды, не задержанных в первом бачке со щелочью или образовавшихся в печах с окисью меди.

Из бачка с натровой известью газ поступает в стеклянные цилиндры с фосфорным ангидридом для тонкой очистки от паров воды. Некоторые заводы перед первым сосудом с  $P_2O_5$  ставят сосуд с силикагелем для предварительной грубой осушки газа.

Очищенный сухой газ пропускают через ловушку с фильтром из стеклянной ваты или бракованных вольфрамовых спиралей для улавливания пыли  $P_2O_5$  и посторонних твердых частиц, способных засорять трубопроводы и аппаратуру и создавать сопротивление для прохождения газа.

Газ значительно лучше осушается, если перед бачками с осушителями присоединяют холодильник с проточной водой. Охлаждение особенно полезно для очистительных систем, работающих с перегрузкой или установленных в помещении с высокой температурой.

Для очистки газа от органических соединений иногда вместо высокотемпературной печи с окисленной медью устанавливают печь с керамическими кольцами, пропитанными металлическим палладием. В присутствии палладиевого катализатора облегчаются реакции между водородом, окисью углерода и углеводородами, с одной стороны, и кислородом, с другой, при относительно низких температурах.

В газоочистительной системе на участке между первым и последним бачками со щелочью поддерживают редуционным вентилем (редуктором) давление 3—4  $кг/см^2$ . При более высоком давлении увеличиваются утечки газа через неплотности, а при более низком уменьшается скорость химических реакций. На участке между первой фосфорницей и подводкой к откачным установкам поддерживают мембранным клапаном (детандером) избыточное давление 0,4—0,7 ат. При более высоком давлении

возрастает опасность разрыва стеклянных фосфорниц, а при более низком возрастает опасность натекания воздуха через неплотности.

Печи поглощения после очистки некоторого количества газа истощаются и теряют свою активность: восстановленная медь окисляется и начинает плохо поглощать кислород, а окисленная медь восстанавливается и начинает плохо поглощать водород. Поэтому печи через промежутки времени, зависящие от количества прошедшего через них газа и количества содержащихся в очищаемом газе примесей, освобождают от газа и регенерируют. Для этого через нагретые печи поглощения кислорода пропускают электролитический водород или, при отсутствии такого водорода — очищенный препаративочный газ. Расход водорода (0,1—0,2  $м^3/ч$ ) контролируют ротаметром. Водород восстанавливает окисленную медь и делает ее снова активным поглотителем кислорода:



Сначала регенерируют первые две печи с наиболее окислившейся медью, затем все печи. Образующийся при реакции восстановления водяной пар выпускают через кран на воздух вместе с избытком водорода. О полноте восстановления судят по прекращению выделения водяного пара. Тогда зажигают струю выходящего водорода и несколько минут промывают печи водородом. Печи поглощения водорода регенерируют таким же путем, но пропускают через них не водород, а отфильтрованный сжатый воздух, который окисляет восстановленную медь, превращая ее снова в окись меди. О полноте окисления судят по разгоранию тлеющей лучины, поднесенной к выходящему из печей воздуху.

После завершения регенерации производят пятиминутную промывку печей азотом для удаления остатков водорода и воздуха. Аргоновые системы дополнительно промывают аргонном.

Производительность газоочистительной системы, при среднем содержании кислорода в неочищенном газе до 4  $л/м^3$ , составляет 2  $м^3/ч$ . Такая производительность при двухсменной работе требует регенерации печей с восстановленной медью раз в сутки и с окисленной медью — раз в неделю или еще реже.

По техническим требованиям электроламповых заводов объемное содержание кислорода в техническом (неочищенном) азоте не должно превышать 0,5%, а в техническом аргоне 0,4%; углекислый газ в азоте и аргоне не должен превышать 0,3%; сернистых соединений и углеводородов в аргоне вовсе не должно быть. В очищенных газах не допускается содержания никаких активных примесей. Точка росы сухого очищенного газа должна быть не выше  $-35^\circ C$ , что соответствует содержанию влаги не более 0,2  $г/м^3$ .

Качественную оценку степени чистоты газа производят индикаторными лампами накаливания, вмонтированными в газоочистительную систему. Присутствие в очищенном газе кислорода определяют проточной индикаторной лампой (рис. 3-10). В качестве такой лампы служит накаливаемая до темнокрасного свечения кинопроекторная лампа 110 в 300 вт, включенная на 12 в, или лампа с телом накала из молибденовой ленты.

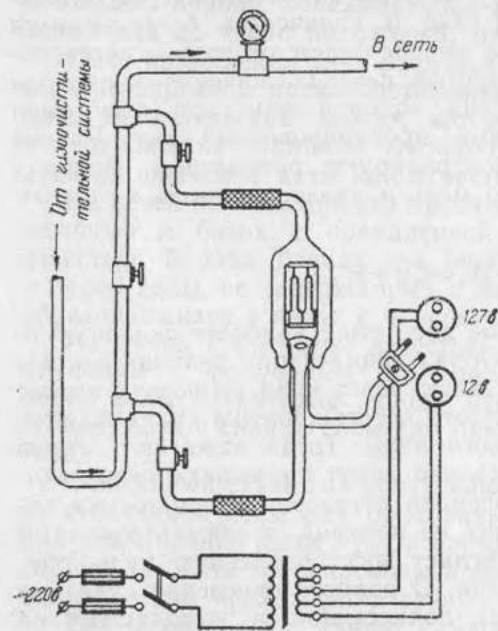


Рис. 3-10. Проточная индикаторная лампа.

Если протекающий через одну из этих ламп газ не имеет кислорода, то раскаленная вольфрамовая спираль или молибденовая лента по истечении 1 мин остаются чистыми и блестящими. Если же газ загрязнен кислородом, то вольфрамовая спираль или молибденовая лента окрашиваются налетом синевато-коричневых окислов, хорошо заметных на фоне белого листа бумаги. После образования налета проточную лампу регенерируют кратковременным включением на повышенное напряжение; при этом налет испаряется, и спираль или лента становятся снова чистыми.

Присутствие в очищенном газе паров воды и углеродсодержащих примесей определяют продувочной индикаторной лампой (рис. 3-11). В качестве такой лампы служит маломощная лампа общего назначения, включенная на напряжение, равное номинальному. Если продуваемый через лампу газ содержит водяной пар, то на держателях и электродах вблизи спирали образуется темный налет, а если газ содержит газообразные соединения углерода, то спираль коробится и становится хрупкой. После появления таких признаков загрязнения газа и устранения их причин продувочную лампу меняют на новую. В отличие от проточной продувочную лампу нельзя регенерировать.

герметичность. Вентили его не должны иметь органических уплотнений и не должны пропускать газ в перекрытом состоянии.

Очищенный газ распределяют по откачным автоматам индивидуально (параллельным) или централизованным (последовательным) способом. В первом случае от одного коллектора ведут индивидуальные подводки к каждому откачному автомату; во втором случае из различных точек одной линии, проложенной по всему цеху, отводят ответвления к отдельным откачным автоматам. Индивидуальный способ требует больших начальных затрат, но более надежен в эксплуатации. Он позволяет подключать любую очистительную систему к любой сборочной линии и отключать любую сборочную линию, не находящуюся в работе или подлежащую проверке.

При индивидуальном способе исключаются случаи образования в газопроводах туиковых участков («мешков»), обыкновенно являющихся источниками загрязнения газа.

Лучшие результаты достигаются, когда каждая газоочистительная система работает независимо от других систем. Не рекомендуется соединять параллельно две или несколько систем для совместной работы. Для газовых сетей наиболее подходят медные трубы диаметром не менее 15 мм и толщиной стенок 1,5—2 мм, которые хорошо гнутся и очищаются. Стальные и латунные трубы менее желательны, так как первые труднее очищаются, а вторые склонны давать после препарирования трещины.

Внутренняя поверхность медных труб всегда бывает в той или иной степени грязной, даже если на вид она кажется чистой. Новые трубы перед применением очищают и восстанавливают препарировочным газом или водородом с одновременным прожигом газовой горелкой до темно-красного накала. Некоторые предприятия, остерегаясь водородной болезни меди (стр. 335), предпочитают трубы не восстанавливать, а наоборот, окислять. С этой целью их нагревают до темно-красного нака-

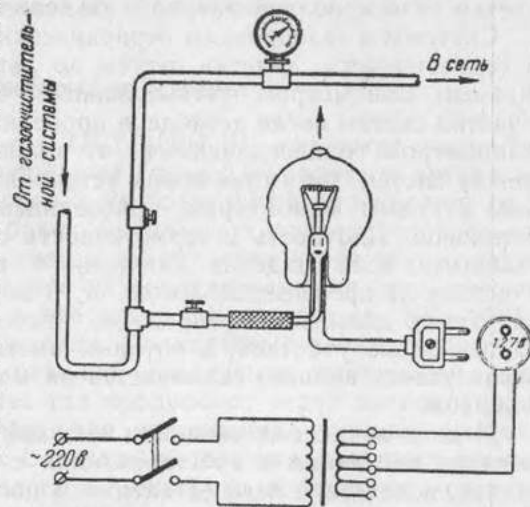


Рис. 3-11. Продувочная индикаторная лампа.

ла с одновременным пропусканьем сухого сжатого воздуха до образования на внутренних стенках труб тонкого ровного слоя окиси меди.

К каждому газопроводу, сообщаемому с коллектором, присоединяют контактные пружинные манометры, подающие световой и звуковой сигналы в момент падения давления ниже установленной величины. Сигнализация предупреждает случаи утечки газа и полной разрядки баллонов с газом.

Системы и газопроводы периодически проверяют на плотность и герметичность. Участки систем до детандера проверяют пружинным манометром, установленным на бачке со щелочью. Участки систем после детандера проверяют переносным ртутным манометром, присоединенным в конце систем. Газопроводы между системами и откачными установками проверяют переносным ртутным манометром, присоединенным вблизи откачных установок. Плотность и герметичность считаются удовлетворительными, если падение давления в перекрытых вентилями участках не превысит 20 мм рт. ст. в течение 1 ч. При проверке на утечку длинных газопроводов рекомендуется разделять их на несколько участков, в которых имеются манометры; одинаковая утечка сильнее сказывается на малом объеме, нежели на большем.

Медь в печах под влиянием высокой температуры и попеременного окисления и восстановления с течением времени слипается, вследствие чего ее активная поверхность уменьшается. Особенно подвержена слипанию медь в высокотемпературной окисленной печи. Когда уменьшение активной поверхности меди начинает заметно ухудшать очистку газа, трубы с медью меняют на новые.

При нормальной эксплуатации систем необходимость в замене меди наступает через 5—7 лет непрерывной работы.

Обслуживающий персонал должен соблюдать следующие правила эксплуатации газоочистительных систем:

1) поддерживать постоянное рабочее давление в системах и сетях и следить за ним по приборам; периодически проверять герметичность систем и сетей и немедленно устранять обнаруживаемые неплотности;

2) включать печи поглощения за 2—3 ч до начала работы, поддерживать в печах постоянную заданную температуру и следить за ней по приборам;

3) производить регенерацию печей поглощения водорода и кислорода по установленному графику;

4) своевременно менять реактивы в системах: едкую щелочь и натровую известь — после образования на поверхности едкой щелочи корки углекислой соли, препятствующей дальнейшему поглощению влаги, а фосфорный ангидрид — после образования в фосфорницах стекловидных каналов;

5) продувать газоочистительные системы после смены реак-

тивов до тех пор, пока не получатся удовлетворительные результаты по проточной индикаторной лампе;

6) расходовать газ из баллонов не полностью, а до остаточного давления не ниже 2 ат;

7) контролировать качество очищенного газа установленными методами;

8) иметь наготове запасные отрегенерированные системы на случай неисправности одной из действующих систем.

## в) ОЧИСТКА КРИПТОНА И КСЕНОНА

Технический криптон (ГОСТ 10218-62) содержит около 5% ксенона, до 0,1% кислорода, не более 0,6% азота и аргона, не более 0,02% углеводородов и не более 0,02% углекислого газа. Его пропускают через бачок со щелочью для предварительной очистки от углекислого газа и влаги, затем через печь с нагретой до 180—200° С насадкой из палладированных керамических или асбестовых колец и две печи с нагретой до 700—750° С гранулированной окисью меди. Палладиевый катализатор активирует газ и ускоряет реакцию соединения окисленной меди с углеводородами. Далее газ пропускают через холодильник и второй бачок со щелочью для поглощения углекислого газа, выделившегося в печах с палладированными кольцами и окисленной медью. Из бачка со щелочью газ пропускают через четыре печи с нагретой до 300° С активной (восстановленной) медью для очистки от кислорода и две печи с нагретой до такой же температуры гранулированной окисью меди для очистки от водорода. Затем газ охлаждают в холодильнике и пропускают через третий бачок со щелочью и оттуда — через несколько стеклянных цилиндров с фосфорным ангидридом для тонкой очистки от влаги. Перед стеклянными фосфорницами давление газа понижают детандером с 4—5 до 1 ат. Наконец, газ пропускают через сосуд со стеклянной ватой для задержания механических примесей и проточную индикаторную лампу для контроля на содержание кислорода. Очищенный газ нагнетают мембранным компрессором в стальные баллоны до давления 50—100 ат<sup>1</sup>.

Ксенон очищают таким же путем как и криптон.

Тонкую доочистку криптона и ксенона от кислорода и паров воды производят на специальной газоочистительной установке. На каркасе такой установки укрепляют два баллона криптона, редукционный вентиль, пружинные манометры, электрическую печь с восстановленной медью, детандер и стеклянные цилиндры со щелочью и фосфорным ангидридом.

<sup>1</sup> В мембранном компрессоре в качестве поршня служит гибкая металлическая диафрагма (мембрана), не требующая смазки.



Доочистку криптона и ксенона от углеводородов производят на откачных автоматах сборочного цеха путем включения в подводку этих газов сосуда с искусственным цеолитом — алюмосиликатом натрия или кальция, отформованным с добавкой связующего вещества (обычно глины) в малые таблетки. Цеолиты выпускаются нескольких типов. Каждый тип содержит пустые полости (поры) определенных размеров и поэтому адсорбирует только те газы, размеры молекул которых меньше размеров пор. Цеолит легко впитывает в свои тонкие поры углеводороды, углекислый газ и влагу и при нагреве (регенерации) выделяет их обратно. Наряду с вредными газами он заглатывает некоторое количество очищаемого газа.

Отходы криптона и ксенона, собираемые из бракованных ламп и отбираемые из откачных автоматов, содержащие 25—40% азота; 5—10% кислорода и около 1% других газов, регенерируют путем вымораживания в сосуде Дьюара с жидким азотом. Регенерация и последующая очистка позволяет экономить около 20% поступающего криптона (ксенона).

— ○

## ТОПЛИВНЫЕ ГАЗЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЛАМП

### 4-1. ПРОИЗВОДСТВО ГОРЮЧИХ ГАЗОВ

#### а) ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Под газовым топливом подразумевают газы, применяемые специально для сжигания. На электроламповых заводах газовое топливо, смешанное с воздухом, кислородом или тем и другим вместе, сжигают в печах и открытых горелках для тепловой обработки материалов и деталей ламп.

Газовое топливо имеет много преимуществ перед другими видами топлива: его удобно транспортировать по трубам на большие расстояния; легко смешивать с воздухом или кислородом в требуемой пропорции; его можно быстро зажигать и гасить; его горение легко регулировать; при горении не получается копоти, дыма и золы, вредно действующих на нагреваемые материалы; его нетрудно очищать от вредных примесей и влаги, содержание которых снижает ценность всякого топлива. Очищенный газ можно сжигать с безопасным выпуском продуктов горения непосредственно в производственное помещение.

К простейшим видам горючих газов принадлежат: водород  $H_2$ , окись углерода  $CO$ , метан  $CH_4$  и ацетилен  $C_2H_2$ , но этими индивидуальными газами редко пользуются как топливом. В производстве ламп применяют в качестве топлива преимущественно природный газ, добываемый из недр земли, и некоторые искусственные газы, получаемые переработкой твердого или жидкого топлива.

#### б) ПРИРОДНЫЙ ГАЗ

Естественный (природный) горючий газ, подобно нефти, залегают в свободном состоянии в земле на большой глубине. Происхождение его то же, что и нефти, и в точности еще не изучено. Часто он залегают в недрах над поверхностью нефти, и тогда он содержит метан и тяжелые углеводороды — пропан, бутан и др., которые могут быть легко сгущены в жидкость. Та-

кой газ называют попутным или жирным. Еще чаще он залегает в местах, не связанных с нефтью, и тогда он состоит в основном из метана (92—99%) и содержит мало тяжелых углеводородов. Такой газ называют сухим или тощим.

Газоносные пласты представляют собой пористые и трещиноватые породы, в порах и трещинах которых содержится газ в сжатом до высокого давления состоянии. Для добывания газа бурят в земле скважины глубиной 1—3 км и более и обсаживают их стальными трубами. Фонтаны газа выходят наружу из буровых скважин под собственным давлением пластов. Их принимают через арматуру в газосборник и кольцевой коллектор, соединяющий скважины всего месторождения. Естественное давление, под которым газ выбрасывается из скважины, используют для передачи его на дальние расстояния без больших затрат энергии. Чем глубже залегает газ в земле, тем больше давление, под которым он там содержится<sup>1</sup>. В необходимых случаях скважину перекрывают и оставляют газ в земле, как в отличном газохранилище. В процессе эксплуатации давление газа в пласте постепенно падает и когда оно приближается к атмосферному, использование скважины прекращают. Эксплуатацию одной скважины может длиться несколько лет.

Фонтанирующий из земли газ увлекает за собой из скважины песок, воду и грязь. Чтобы не допускать засорения оборудования, приборов и газопроводов, газ после выхода из скважины очищают в сепараторах. Жидко-капельные и твердые загрязнения осаждаются на дне сепаратора и удаляются оттуда через трубу, а газ собирается в верхней части сепаратора и отводится в сборный коллектор. Пары воды удаляют пропуская газ через камеры с веществами, поглощающими влагу.

СССР обладает громадными запасами природных горючих газов. Газовые месторождения имеются в Бакинском, Грозненском и Башкирском нефтеносных районах. Богатейшие газовые залежи, не связанные с нефтью, имеются в Ставропольском и Краснодарском краях, Западной и Восточной Украине, Поволжье, Средней Азии и других местах. Из месторождений газ транспортируют к промышленным центрам по магистральным газопроводам протяженностью в сотни и тысячи километров. При транспортировании происходит большое падение давления, вызываемое потерями на трение, поэтому для восстановления давления через каждые 120—160 км сооружают компрессорные станции. Многие месторождения соединяют путем кольцевания в единую систему дальнего газоснабжения.

Природный газ является самым дешевым из всех газообразных топлив.

<sup>1</sup> Для грубых подсчетов принимают, что с углублением на каждые 10 м давление газа увеличивается на 1 ат.

Некоторые электроламповые заводы, удаленные от линий газопроводов и других источников газоснабжения, пользуются привозным сжиженным углеводородным газом (ГОСТ 10196-62). Сжиженным газом называют смесь углеводородов, которая при нормальных условиях (20°С и 760 мм рт. ст.) газообразна, а при понижении температуры или повышении давления превращается в жидкость. Сжиженный газ имеет упругость пара значительно большую, чем бензин, поэтому его можно хранить только под давлением. Существенное преимущество сжиженного газа перед другими видами газового топлива состоит в том, что он не требует сооружения дорогих внешних газопроводов и позволяет повысить почти в 200 раз вместимость резервуаров для его хранения.

Основным источником получения сжиженных газов служат попутные нефтяные газы на газобензиновых заводах. Из нагретых нефтяных газов огоняют в ректификационных колоннах летучие газы — пропан  $C_3H_8$  и бутан  $C_4H_{10}$  и охлаждают их в жидкость. Соотношение пропана к бутану в смеси, в зависимости от химического состава исходного нефтяного сырья, колеблется от 70:30 до 30:70. Пропан в 1,5, а бутан в 2 раза тяжелее воздуха. Кроме пропана и бутана, смесь обычно содержит незначительное количество более легких и тяжелых углеводородов.

Сжиженный газ транспортируют на электроламповые заводы в жидком виде в железнодорожных или автомобильных цистернах (редко в стальных баллонах) под давлением собственных паров (8—16 ат). Из цистерн смесь перекачивают в подземные или наземные емкости, размещенные на территории завода<sup>1</sup>. Газ в жидком виде резко увеличивается в объеме при повышении температуры. Например, пропан при нагреве от —15 до +25°С увеличивается в объеме на 11%. Поэтому емкости для сжиженного газа с целью предохранения от переполнения заполняют не более чем на 85% объема. Пока емкость содержит сколько-нибудь газа в жидком виде, давление собственных паров при данной температуре поддерживается почти неизменным. 1 кг сжиженного пропана дает 535 л газообразного пропана, а 1 кг сжиженного бутана — 405 л газообразного бутана.

Пропан имеет температуру кипения более низкую и упругость пара более высокую, чем бутан. При обращении сжиженной смеси в газ в первую очередь испаряется более летучий пропан и во вторую — более тяжелый бутан. Постепенное обеднение сжиженной смеси пропаном и обогащение ее бутаном вызывает непрерывное изменение соотношения этих компонентов в газовой смеси. По этой причине сжиженный газ с малым

<sup>1</sup> Подземные емкости для сжиженного газа требуют меньших противопожарных разрывов, чем наземные.

содержанием пропана стараются использовать в районах с более теплым климатом и в летнее время, а с большим содержанием пропана — в районах с более холодным климатом и в зимнее время. Для предупреждения колебания тепловых свойств смеси газ отбирают для потребления не непосредственно из резервуара, где его хранят в жидком виде, а из обогреваемого змеевиком испарителя, в который непрерывно перекачивают жидкий газ постоянного состава. В испарителе жидкую фазу переводят в газообразную за счет резкого расширения при небольшом подогреве. При слишком большом расходе газа температура жидкой фазы в испарителе понижается, давление пара уменьшается и отбор газа сокращается. Газообразную фазу направляют в малый металлический газгольдер с водяным затвором. Последний автоматически закрывает поступление газа в газгольдер в случаях его переполнения. Давление газа в сети регулируют грузом, помещенным на колпаке газгольдера.

#### г) ГЕНЕРАТОРНЫЕ ГАЗЫ

Генераторные газы (воздушный, водяной и паровоздушный) получают превращением горючей части твердого топлива в газ под действием воздуха и водяного пара в условиях высоких температур. Устройства, применяемые для получения этих газов, называют газогенераторами, а сам процесс их получения — газификацией.

Газогенератор (рис. 4-1) представляет собой шахту или установленный на колоннах сваренный из листовой стали цилиндрический кожух, обмурованный изнутри шамотным кирпичом. На его крыше имеется люк или автоматический питатель, через который загружают кусковое топливо. На небольшом расстоянии от нижнего днища прикреплена колосниковая решетка, поддерживающая толстый слой загруженного топлива. На уровне колосников навешены дверцы, через которые производят чистку газогенератора от золы или шлака и шуровку топлива. Под колосниковую решетку подведено воздушное, паровое или паровоздушное дутье.

Слой топлива равномерно распределяется по сечению газогенератора и постоянно поддерживается в раскаленном состоянии. Горючая часть топлива, взаимодействуя со свободным кислородом воздушного дутья или связанным кислородом парового дутья, превращается в горючий газ, выводимый из газогенератора через газоотвод (газослив).

В действующем газогенераторе различают пять рабочих зон: 1) зону подсушки; 2) зону сухой перегонки; 3) зону восстановления; 4) зону горения и 5) зону шлака. Газогенератор работает по принципу противотока: загруженное топливо постепенно проходит зоны газогенератора, опускаясь сверху вниз, а горючие газы проходят те же зоны, поднимаясь снизу вверх. По пути

горючие газы смешиваются с газами, выделяющимися в верхних слоях топлива. Смесь этих газов представляет собой генераторный газ.

В зависимости от состава дутья различают воздушный газ (при воздушном дутье), водяной газ (при паровом дутье)

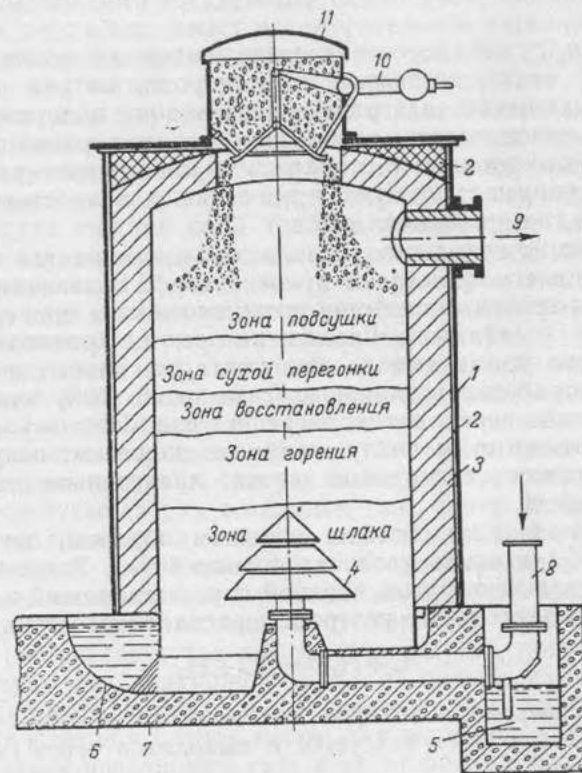
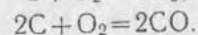
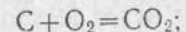


Рис. 4-1. Газогенератор.

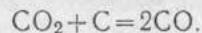
1 — кожух; 2 — теплоизоляция; 3 — огнеупорная футеровка; 4 — колосниковая решетка; 5 — гидравлический затвор; 6 — водяной поддон; 7 — фундамент; 8 — подводка дутья; 9 — газослив; 10 — загрузчик; 11 — крышка.

и паровоздушный или смешанный газ (при паровоздушном дутье).

Воздушный газ состоит, главным образом, из окиси углерода (около 30%) и азота (более 60%). В газогенераторе воздушного газа углерод топлива, соединяясь в зоне горения с кислородом воздушного дутья, частично образует углекислый газ и частично окись углерода:



Обе реакции сопровождаются выделением тепла. Углекислый газ, поднимаясь в зону восстановления и встречая на своем пути куски раскаленного топлива, восстанавливается в окись углерода с поглощением тепла:

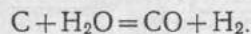


В зоне сухой перегонки выделяются из топлива летучие составные части, состоящие из водорода, метана и смоляных паров. Поднимаясь в верхнюю зону — зону подсушки, разогретая смесь газов подсушивает и подогревает верхний слой свежезагруженного топлива и отводится из газогенератора. Азот воздуха не принимает участия в реакциях, а полностью переходит в горючий газ, разбавляя его.

В качестве исходного топлива для производства воздушного газа чаще всего применяют дрова и торф. В зависимости от их влажности тепловые свойства воздушного газа подвержены значительным колебаниям. Газогенераторы на дровяном и торфяном топливе применяют на некоторых стекольных заводах.

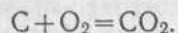
При выработке воздушного газа около 70% энергии твердого топлива переходит в энергию газа. Поэтому воздушный газ принадлежит к числу наиболее дешевых искусственных газов. Высокое содержание азота значительно снижает его эффективность.

Водяной газ состоит, главным образом, из водорода (около 50%) и окиси углерода (около 40%). В газогенераторе водяного газа перегретый водяной пар, подводимый в зону горения, взаимодействует с углеродом раскаленного топлива:



Окись углерода и водород поднимаются в зону сухой перегонки, проходят зону подсушки и выводятся через газослив из газогенератора.

Реакция образования водяного газа сопровождается поглощением тепла, поэтому во время парового дутья нижний слой топлива постепенно охлаждается и теряет способность химически взаимодействовать с водяным паром. При этом количество разлагающегося пара и выработка газа уменьшаются. Для разогрева топлива процесс получения газа прерывают и вдувают под колосники воздухоподувными машинами воздух:



Эта реакция сопровождается выделением тепла, поэтому нижний слой топлива снова разгорается и раскаляется. Горячие газообразные продукты воздушного дутья подогревают верхний слой топлива и удаляются через выхлопную трубу в атмосферу или через отдельный газопровод в котельную для использования в качестве побочного топлива.

Когда уголь в зоне горения раскалится до 1150—1200°С, подачу воздуха прекращают и возобновляют паровое дутье, которое ведут до тех пор, пока топливо в нижнем слое снова не охладится до 850—900°С.

Таким образом, водяной газ вырабатывают периодическими циклами, состоящими из двух фаз. Одна фаза, именуемая воздушным дутьем, имеет вспомогательное назначение и преследует цель повышения температуры топлива. Другая фаза, именуемая паровым дутьем, имеет основное назначение и преследует цель выработки водяного газа. Чтобы не происходило смешивания водяного газа, образующегося при вдувании пара, с воздушным газом, образующимся при вдувании воздуха, фазы парового и воздушного дутья чередуют: сначала при вдувании воздуха нижний слой топлива приобретает запас тепла, затем при вдувании пара это тепло используется на образование водяного газа. В зависимости от размеров газогенератора и давления пара и воздуха длительность каждой фазы устанавливается различной в пределах нескольких минут.

После вдувания пара нижний слой топлива охлаждается, а верхний остается горячим. Для лучшего использования тепла верхнего слоя газогенератора водяного газа обычно строят с двусторонним паровым дутьем. В таких газогенераторах вслед за паровым дутьем снизу и выходом газа сверху производят паровое дутье сверху с выходом газа снизу. Когда же верхний слой топлива охладится, как нижний, дальнейшее вдувание пара становится уже невыгодным. Тогда переходят к воздушному дутью, после которого рабочий цикл, состоящий теперь из трех фаз, т. е. прямого (нижнего) парового дутья, обратного (верхнего) парового дутья и воздушного дутья, повторяют.

При переходе с воздушного дутья на прямое паровое и с обратного парового на воздушное газогенератор кратковременно продувают в первом случае паром для вытеснения в выхлопную трубу остатков воздушного газа и во втором случае — воздухом для вытеснения в газослив остатков водяного газа.

Для производства водяного газа применяют кокс или тощие каменные угли, содержащие мало летучих веществ, например, антрацит из Донбасса (1,5—2% летучих) или полуантрацит из Кузбасса (7—9% летучих). При работе на топливе с высоким содержанием летучих газ загрязняется смоляным «туманом», состоящим из микроскопических пузырьков смолы. Особенно обильно образуется смола во время газования сразу после загрузки угля. В это время уголь в зоне сухой перегонки подвергается частичному разложению, сопровождающемуся интенсивным выделением летучих. С повышением температуры газификации содержание смолы в газе уменьшается за счет расщепления части смоляных паров на газообразные углеводороды. При этом одновременно увеличивается содержание в газе CO за счет уменьшения содержания CO<sub>2</sub>. Чрезмерно высокая температура

газификации вызывает плавление золы и зашлаковывание газогенератора.

Водяной газ является одним из наиболее дорогих и неэкономичных горючих газов, потому что для его производства требуются дорогие сорта топлива, при его выработке уносится с продуктами воздушного дутья много тепла и горючих газов и вместе со шлаком остается неиспользованной некоторая часть несгоревшего топлива, проваливающегося через колосниковую решетку (недогар). При механизированном способе производства из 1 т угля можно получать 1000—1200 м<sup>3</sup> водяного газа. С повышением температуры газификации выработка газа из 1 т угля возрастает.

Производство водяного газа требует много воды для последующего охлаждения и очистки газа (более 15 л/м<sup>3</sup> газа).

Смешанный (паровоздушный) газ состоит, главным образом, из окиси углерода (около 25%), водорода (около 15%) и азота (около 50%). В газогенераторе паровоздушного газа производится одновременно дутье воздухом и водяным паром. При этом в нем протекает реакция между углем и кислородом воздуха, как в газогенераторе воздушного газа, и реакция между углем и паром, как в газогенераторе водяного газа.

Недостатком воздушного газа является высокое содержание в нем азота, а недостатком водяного газа — периодичность его производства. При объединении воздушного и парового дутья эти недостатки устраняются. Смешанный паровоздушный газ получается с меньшим содержанием азота, чем у воздушного, и производство его протекает не периодически, как у водяного, а непрерывно.

Паровоздушный газ значительно дешевле водяного, так как он вырабатывается из более дешевых сортов топлива; при его выработке не получается больших потерь энергии топлива, и для его производства требуется менее сложное оборудование и менее квалифицированные кадры. Из 1 т угля можно получить около 1500 м<sup>3</sup> газа и из 1 т воздушно-сухого торфа — 1300 м<sup>3</sup> газа.

Уголь, применяемый для выработки генераторных газов, должен быть сухим и однородным по крупности. Влажный уголь снижает производительность генератора. Слишком мелкий уголь быстро газифицируется и зашлаковывает генератор, а слишком крупный скатывается к стенкам генератора и образует там «прогары».

В современных газогенераторных станциях применяют генераторы с вращающейся колосниковой решеткой, автоматической загрузкой и шуровкой топлива, механизированным золо- и шлакоудалением, автоматическим управлением клапанами и использованием тепла продувочных газов.

Природный газ, поступающий из городской распределительной сети, и сжиженный газ, поступающий из транспортных цистерн, свободны от загрязнений и не нуждаются в дополнительной очистке. Искусственные же газы, вырабатываемые на газогенераторных станциях, требуют очистки от угольной пыли, золы, шлака, смолистых веществ, сероводорода и влаги.

Примеси к газу вредны тем, что, во-первых, забивают газопроводы, счетчики, регуляторы, вентили и горелки, вызывая перебои в снабжении газом (влаги, смола, пыль), во-вторых, разрушающе действуют на газопроводы, газовую арматуру и обрабатываемые детали (сероводород, влага), в-третьих, вредно влияют на здоровье людей (сероводород).

При выработке смешанного газа для стекловарения горячий газ из газогенератора подвергают грубой очистке в центробежном циклоне, представляющем собой большой цилиндрический резервуар с коническим бункером внизу. Газ вводят по касательной в верхнюю часть циклона и приводят во вращательное движение. Твердые частицы загрязнений, не успевая за изменением направления газового потока, продолжают движение в первоначальном направлении и прижимаются к стенкам цилиндра. Оттуда они соскальзывают вниз на коническую поверхность бункера. Газ, освобожденный от твердых загрязнений, отводят из верхней части циклона в футерованные подземные газоходы и оттуда к стекловаренным печам. Физическое тепло и смоляные пары горячего газа повышают эффективность горения, а увеличенное влагосодержание его влияет в обратном направлении.

При выработке водяного газа для производства ламп горячей сырой газ поступает из газогенератора в цилиндрический стояк (искрогаситель), внутрь которого из форсунок вбрызгивается холодная вода под давлением 1—3 ат (рис. 4-2). Вода охлаждает проходящий газ, гасит в нем искры и одновременно захватывает с собой из газа мелкие частицы угля и шлака. Из охлажденного газа выделяются жидкая смола и сгустки, состоящие из частиц угля и шлака, перемешанных со смолой. Крупные частицы смолы стекают на дно искрогасителя и оттуда отводятся водой в канализацию.

Из искрогасителя газ направляют в холодильник-скруббер, состоящий из вертикального металлического сварного цилиндра и расположенных внутри него нескольких горизонтальных деревянных решеток, загруженных коксом. Кокс обильно орошается из разбрызгивателей холодной водой. Газ поступает в нижнюю часть скруббера и поднимается сквозь коксовую насадку вверх. Навстречу ему стекает по насадке вода, охлаждающая его до 20—30° С и отмывающая его от угольной пыли, золы и частично смолы, сероводорода и паров воды. Пористая

насадка увеличивает поверхность соприкосновения газа с холодной водой, ускоряя и улучшая его охлаждение и очистку. Грязная смоляная вода спускается в канализацию.

Мокрая скрубберная очистка освобождает газ лишь от 40—60% смолистых веществ. Для более тонкой очистки газа от

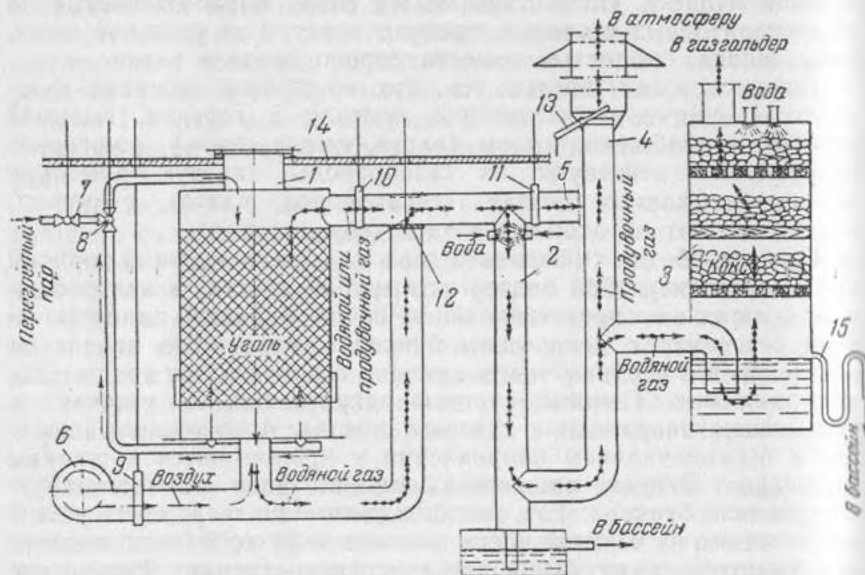


Рис. 4-2. Станция водяного газа.

1 — газогенератор; 2 — искрогаситель; 3 — скруббер с коксовой насадкой; 4 — выхлопная труба; 5 — отбор воздушного продувочного газа, используемого в котле-утилизаторе; 6 — воздуходувка; 7 — проходной паровой кран; 8 — трехходовой паровой кран; 9 — воздушная задвижка; 10 — задвижка верхнего газослива; 11 — задвижка продувочных газов; 12 — тарельчатый клапан нижнего газослива, заблокированный с задвижкой 10; 13 — крышка выхлопной трубы; 14 — площадка управления запорной арматурой; 15 — гидрозатвор.

смолы применяют центробежные механические или электростатические смолоотделители.

Охлажденный и очищенный газ поступает в газгольдер, который служит для хранения и накопления больших запасов газа, выравнивания давления и состава газа, сглаживания неравномерностей в производстве и потреблении газа и выдачи газа в сеть в случаях кратковременных перебоев в его производстве. Газгольдер пополняет свои запасы в часы наименьшего расхода газа и отдает свои запасы в часы наибольшего расхода. Чаще применяют жидкостный газгольдер колокольного типа (рис. 4-3), представляющий собой большой опрокинутый стальной колокол емкостью в несколько сотен или тысяч кубических метров, свободно погруженный в водяной бассейн. Под колоколом собирается газ. Выше уровня воды в колокол вводят одну трубу для поступления газа и другую для вывода его.

При превышении поступления газа над расходом колокол всплывает над водой, поднимаясь на роликах вдоль внешних вертикальных направляющих, а при превышении расхода газа над поступлением колокол опускается, погружаясь в воду. Газгольдер снабжают сигнализацией и автоматическими приспособлениями, предохраняющими его от переполнения и опорожнения.

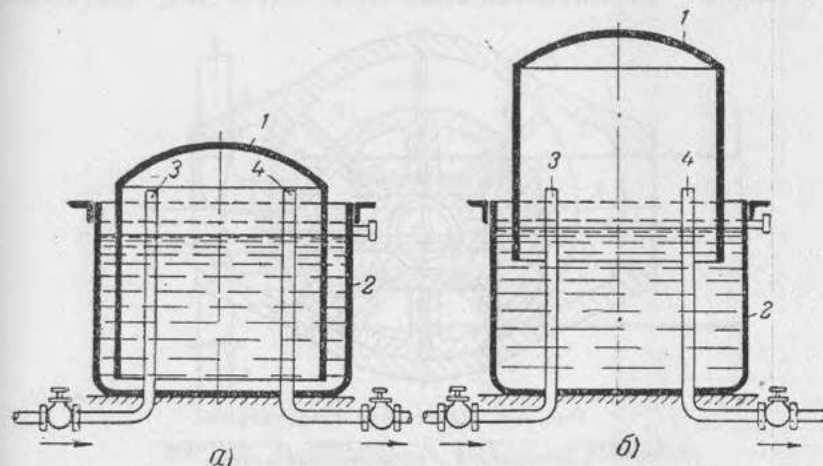


Рис. 4-3. Металлический жидкостный газгольдер.

а — опорожненный; б — наполненный; 1 — колокол; 2 — бассейн с водой; 3 — ввод газа; 4 — вывод газа.

Переполнение влечет за собой выброс избыточного количества газа в атмосферу, а опорожнение — смятие поверхности колокола атмосферным давлением.

Некоторые заводы, не имеющие металлического газгольдера, временно применяют переносные мягкие резинотканевые газгольдеры.

## 4-2. ГАЗОКОМПРЕССОРНАЯ СТАНЦИЯ

### а) ГАЗОРЕГУЛЯТОРЫ И ГАЗОДУВКИ

Электроламповые заводы, получающие газ из городской магистрали высокого или среднего давления, оборудуют у себя газорегулировочный пункт (ГРП), на котором давление газа снижают до требуемого значения. Применение регуляторов позволяет поддерживать на всем протяжении обслуживаемого участка сравнительно одинаковое давление, независимо от расхода газа.

Электроламповые заводы, получающие газ от собственной газостанции, устанавливают у себя газодувки, отсасывающие

газ из внешней сети низкого давления и нагнетающие его под повышенным давлением во внутреннюю сеть.

Пластинчатая газодувка (рис. 4-4) состоит из вращающегося в подшипниках ротора 1, эксцентрично установленного в статоре 2. Ротор имеет несколько узких продольно-радиальных прорезей прямоугольного сечения. В прорези свободно вставлены текстолитовые пластины 3, разделяющие серповидное

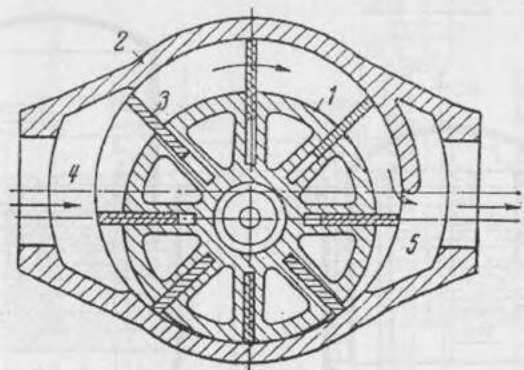


Рис. 4-4. Пластинчатая газодувка.

1 — ротор; 2 — статор; 3 — пластины; 4 — всасывающая камера; 5 — нагнетательная камера.

пространство между ротором и статором на отдельные ячейки. Действием центробежной силы, возникающей при вращении ротора, пластины выдвигаются из прорезей и плотно прижимаются к внутренней поверхности статора. Газ засасывается через впускное отверстие 4, заполняет ячейки между каждыми двумя смежными пластинами и выбрасывается через выпускное отверстие 5. Производительность газодувки повышается с увеличением внутреннего диаметра статора, длины ротора и статора, расстояния между осями статора и ротора и скорости вращения ротора. Производительность понижается при неплотном прилегании пластин к внутренней поверхности статора.

## 6) КОМПРЕССОРНЫЕ МАШИНЫ

Для работы газовых горелок необходим сжатый воздух, а иногда и сжатый кислород. Вдувание сжатого воздуха ускоряет смешение его с газом, увеличивает полноту горения газа и улучшает организацию пламени. В производстве ламп сжатый воздух применяют также для охлаждения, захвата и транспортирования деталей. Сжатый воздух получают компрессорными машинами, а сжатый кислород — на кислородных установках. Компрессорными машинами сжимают воздух до давления, превышающего атмосферное, и создают разность давле-

ний, используемую для перемещения его по внутризаводской сети.

В зависимости от развиваемого давления различают компрессорные машины низкого давления (воздуходувки) и высокого давления (компрессоры). В производстве ламп нашли наибольшее применение воздуходувки по типу описанной выше газодувки (рис. 4-4) и поршневые компрессоры.

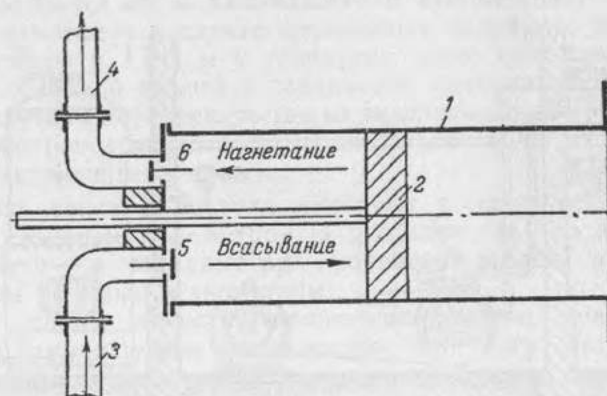


Рис. 4-5. Одноступенный воздушный компрессор.

1 — цилиндр; 2 — поршень; 3 — всасывающая труба; 4 — нагнетательная труба; 5 — всасывающий клапан; 6 — нагнетательный клапан.

Поршневые одноступенные компрессоры (рис. 4-5) состоят из цилиндра, в котором перемещается поршень, приводимый в возвратно-поступательное движение электродвигателем. В цилиндре имеются два автоматически действующих клапана — всасывающий, соединенный через фильтр с атмосферным воздухом, и нагнетательный, соединенный с внутризаводской сетью сжатого воздуха. При прямом ходе поршня всасывающий клапан открывается, и в разреженное пространство цилиндра засасывается воздух из атмосферы. Нагнетательный клапан в это время закрыт. При обратном движении поршня запертый в цилиндре воздух сжимается и выталкивается через открывающийся нагнетательный клапан в сеть сжатого воздуха. Всасывающий клапан в это время закрыт. Производительность компрессора зависит от диаметра и хода поршня и числа ходов в минуту.

Сжимаемый в цилиндре воздух нагревается и нагревает детали компрессора. Для предохранения от перегрева стенки и крышки цилиндра охлаждаются проточной водой.

Вырабатываемый поршневыми компрессорами сжатый воздух содержит до  $30 \text{ мг/м}^3$  масла, влаги и твердых пылевых частиц.

## в) ВОЗДУШНАЯ И ГАЗОВАЯ АППАРАТУРА

Сжатый компрессором воздух поступает в буферный резервуар (ресивер, рис. 4-6). В ресивере сглаживаются колебания давления, вызываемые пульсирующей подачей воздуха из компрессора и переменным его расходом, отделяются пыль, влага и смазочное масло, которые периодически удаляют через лаз и спускной кран. Для лучшего осаждения влаги ресивер уста-

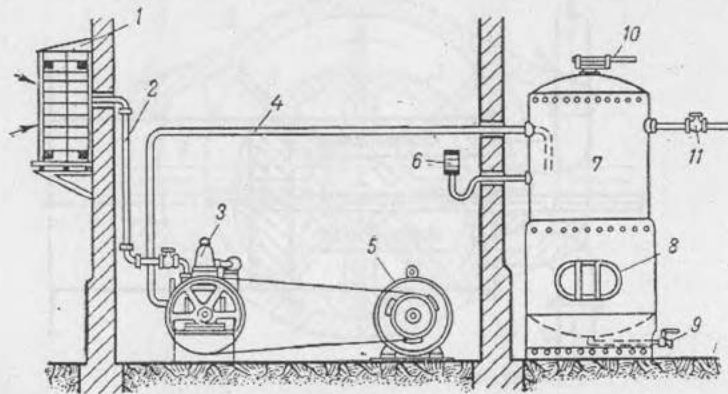


Рис. 4-6. Установка сжатого воздуха.

1 — воздушный фильтр; 2 — всасывающая труба; 3 — компрессор; 4 — нагнетательная труба; 5 — электродвигатель; 6 — манометр; 7 — ресивер; 8 — лаз для удаления грязи; 9 — кран для спуска воды; 10 — предохранительный клапан; 11 — запорный вентиль.

навливают в холодном месте на открытом воздухе, у стены компрессорной станции. Ресивером не удается полностью очистить сжатый воздух от масла и влаги, поэтому на тех операциях, где это необходимо, применяют местные очистители.

Из ресивера сжатый воздух направляют через фильтр, задерживающий пылевые частицы, в главный кольцевой воздухопровод и оттуда по ответвлениям к местам потребления.

Сжатый воздух и газ должны поступать в производство под постоянным давлением. Колебания давления бывают: 1) когда производительность компрессоров и газодувок не удовлетворяет потребностей всего производства в сжатом воздухе и газе; 2) когда неожиданно выключается одна из газодувок или один из компрессоров; 3) когда приборы контроля давления газа и сжатого воздуха испорчены или персонал станции невнимательно наблюдает за их показаниями; 4) когда проходное сечение газо- или воздухопроводов слишком мало и не соответствует объему газопотребления и 5) когда в газопроводы проникли пыль, вода или смола, вызвавшие их частичную закупорку. Наибольшие колебания давления обычно бывают в наиболее удаленном месте потребления.

Для сохранения в сетях постоянного давления газа применяют ручные или автоматические регуляторы. Такие регуляторы эффективно работают лишь при условии, что газ хорошо очищен от смолы. Для сохранения в сетях постоянного давления сжатого воздуха помимо упомянутого выше ресивера пользуются предохранительным клапаном, устанавливаемым на ресивере. Клапан ограничивает предельное наибольшее давление с точностью до 0,1 ат и автоматически выбрасывает излишек воздуха в атмосферу в случае превышения заданного давления.

Газопроводы в ГРП и у газодувок часто снабжают байпасом — обводной линией с задвижкой, позволяющей в необходимых случаях перепускать газ из газопровода высокого давления в газопровод низкого давления. Байпас облегчает регулирование давления газа в сети.

Давление сжатого воздуха измеряют в технических атмосферах пружинным манометром, а давление газа во внутризаводской сети — в миллиметрах водяного столба открытым U-образным водяным манометром.

Очень удобны регистрирующие манометры, снабженные часовым и самопишущим механизмами. Они могут автоматически записывать на дисковой картограммной бумаге, приводимой во вращение часовым механизмом, последовательное изменение давления сжатого воздуха и газа в течение круглых суток. Сточные картограммы наглядно показывают, какие колебания давления происходили в сети и в какие промежутки времени давление достигало наивысшего и наименьшего значений.

Для учета расхода газа применяют объемные и скоростные газовые счетчики (газомеры). Объемные показывают нарастающий расход газа и обладают малой пропускной способностью, а скоростные показывают мгновенный расход газа и обладают большой пропускной способностью. Объемные устанавливают перед отдельными приемниками для контрольного учета расхода газа в этих приемниках, а скоростные — перед газовым вводом для измерения общего расхода газа на заводе. Скоростные счетчики состоят из устанавливаемых в закрытых газопроводах дисковых диафрагм, создающих по обе стороны перепад давлений, величина которого пропорциональна расходу газа.

### 4-3. СЕТИ ГАЗА И ТЕХНИЧЕСКОГО ВОЗДУХА

Газо- и воздухопроводы, состоящие из соединенных между собой труб, служат для транспортирования и распределения газа и сжатого воздуха. Они условно делятся на внешние (вне зданий) и внутренние (в зданиях).

На электроламповых заводах, имеющих собственные газостанции, во внешних газовых сетях поддерживают избыточное давление 40—60 мм вод. ст. Оно зависит от давления газа



в газгольдере, которое в свою очередь зависит от веса плавающих в воде конструкций газгольдера. В городских газовых сетях низкого давления поддерживают давление до 130—150 мм вод. ст. К крупным промышленным потребителям подводят городской газ от централизованного источника газоснабжения по магистралям среднего давления (до 3 кг/см<sup>2</sup>) или высокого давления (до 6 кг/см<sup>2</sup>).

Во внутризаводских газовых сетях поддерживают давление природного газа 300—600 мм вод. ст., сжиженного 250—350 мм вод. ст. и водяного 1200—1500 мм вод. ст. С увеличением давления увеличивается пропускная способность газопроводов, но одновременно повышается опасность утечек. В сетях сжатого воздуха поддерживают давление при работе с природным и сжиженным газами 0,7—1 кг/см<sup>2</sup> и при работе с водяным газом 0,5—0,6 кг/см<sup>2</sup>.

Внешние газопроводы, транспортирующие влажный газ, прокладывают в траншеях ниже средней глубины промерзания грунта с целью уменьшения температурных напряжений в сварных стыках и уменьшения опасности замерзания водяных паров в снежно-ледяные пробки. При прокладке через каждые 100 м делают уклон в 0,5 м так, чтобы ось газопровода имела в профиле форму ломаной линии. В местах встречи уклонов устанавливают конденсатосборники для улавливания и периодического удаления из него скапливающейся влаги и смоляных отложений. Каждый конденсатосборник снабжают патрубком для присоединения манометра. Большой перепад давления в двух соседних конденсатосборниках служит признаком закупорки газопровода между ними. В зимнее время наружный газопровод, при выявлении ледяных или смоляных закупорок, продувают горячим водяным паром. Газопроводы, транспортирующие осушенный газ, можно укладывать в зоне промерзания грунта без уклонов. Трубы с целью предохранения от ржавления защищают несколькими слоями специальной промасленной бумаги и обмазывают нефтяным битумом.

На территории завода допускается прокладка надземного газопровода. Такой газопровод меньше подвержен коррозии, более удобен и безопасен в эксплуатации и требует меньших затрат на строительство, чем подземный.

Внутренние газо- и воздухопроводы состоят из магистралей и присоединенных к ним разводящих линий и ответвлений. Магистрали, во избежание деформаций под влиянием теплового расширения, снабжают компенсаторами — изгибами в виде петель. Трубы применяют тем большего диаметра, чем выше часовой расход газа, длиннее газопровод, больше удельный вес газа и меньше допускаемое падение давления.

Газовые трубы всех диаметров чаще всего соединяют сваркой. Трубы малых диаметров соединяют также муфтами на резьбе. Резьбовые соединения уплотняют льняной пряжей, про-

питанной суриком или белилами, замешанными на натуральной олифе.

Разводящую сеть газо- и воздухопроводов на всем протяжении от ввода до мест потребления прокладывают параллельно друг другу на общих металлических опорах. Прокладку ведут так, чтобы трубы не провисали и чтобы их можно было при необходимости осматривать, испытывать и ремонтировать. В труднодоступных местах, например, в проходах через стены и потолки, трубы заключают в футляр, в пределах которого не допускается никаких стыковых соединений. Перед монтажом трубы очищают от засорений.

Внутренние газо- и воздухопроводы снабжают запорными приспособлениями (задвижками), позволяющими открывать и закрывать проход газу и воздуху. Газопроводы снабжают, кроме того, продувочными свечами для отвода в необходимых случаях газа в атмосферу выше крыш окружающих зданий и пробкой в нижней части стояков для спуска влаги. Воздухопроводы снабжают маслоотстойниками.

Вновь присоединенные к действующей сети газопроводы испытывают на плотность. Испытываемый участок перекрывают вентилями или задвижками и медленно наполняют сжатым воздухом до давления 1000 мм вод. ст. Участок считается выдержавшим испытание, если падение давления в течение 1 ч не превышает 60 мм вод. ст. После испытания или длительного перерыва в работе газопроводы продувают газом через свечу для вытеснения из них воздуха. Из продутого участка берут «пробу на хлопок». Для этого в стеклянную пробирку, обращенную куполом кверху, набирают из сети газ и зажигают его. Если вспыхнувшее пламя втянется внутрь пробирки, газ считается чистым; если газ воспламенится с хлопком (легким взрывом), продолжают продувку через свечу до получения удовлетворительных результатов при следующей проверке. Газы, удельный вес которых близок к единице, проверяют на хлопок мыльным раствором. Для этого впускают газ в банку с мыльной водой и поджигают образующиеся мыльные пузыри. При чистом газе пузыри сгорают без хлопков.

Внутризаводские газопроводы для предохранения от коррозии и для отличия друг от друга окрашивают масляной краской в условные цвета: газ — желтый или светлорыжий, воздух — серый, кислород — голубой, водород — зеленый, азот — черный, аргон — оранжевый.

Газо- и воздухопроводы разводят по машинам двумя способами. При верхней (открытой) разводке трубопроводы прокладывают по кронштейнам на уровне выше роста человека, а ответвления спускают вниз к машинам. При нижней (скрытой) разводке трубопроводы закладывают в выдолбленных в полу бороздах и заливают цементным раствором или перекрывают настилом, а ответвления поднимают вверх к машинам.

Недостаток верхней разводки состоит в том, что большое число свисающих труб служит местом скопления пыли, затемняет помещение и затрудняет уборку, а недостаток нижней разводки — в том, что скрытая прокладка труб усложняет обнаружение мест утечек газа.

На вновь строящихся заводах отдают предпочтение нижней разводке.

Падение давления газа в любом пункте газопровода происходит за счет: 1) расхода газа в ответвлениях до рассматриваемого пункта; 2) трения газа о стенки газопровода, которое тем больше, чем больше скорость движения газа, длиннее газопровод и меньше его проходное сечение; 3) сопротивления, оказываемого струе газа различными деталями газопровода, изменяющими направление и скорость газового потока, как-то: угольниками, тройниками, вентилями; 4) сопротивления, оказываемого струе газа посторонними предметами, попавшими в газопровод (смола, вода, пыль). Резкие перепады давления на небольших участках газопроводов служат признаком местных закупорок. Колебание жидкости в жидкостных манометрах служит признаком наличия в газопроводах воды.

Для обеспечения устойчивости и равномерного распределения давления в газопроводах прибегают к следующим мерам: монтируют магистраль в виде замкнутого кольца без тупиковых участков; присоединяют газоприемники равномерно ко всему кольцу; собирают газовую сеть из труб возможно большего диаметра; максимально сокращают длину подводов газа к горелкам и число поворотов и сужений в газопроводах; не допускают скоплений в сети смолы, влаги и других посторонних веществ.

#### 4-4. СВОЙСТВА ГОРЮЧИХ ГАЗОВ

Свойства газового топлива зависят от того, какие простейшие газы входят в его состав и в каких соотношениях они в нем содержатся (табл. 4-1). От свойств газового топлива зависит производительность технологического оборудования. Знание свойств газа и понимание процесса его горения должны быть обязательными для всех работающих в области технологии производства ламп.

##### а) ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Все газовые топлива состоят, главным образом, из водорода, окиси углерода и углеводородов. В разных топливах эти составные части содержатся в различных соотношениях. Состав природных газов зависит от месторождения, а искусственных — от природы и качества исходного твердого или жидкого топлива и режимов выработки из него газа. Природный газ состоит

Таблица 4-1

Химический состав и пирометрические характеристики горючих газов

Наименование газа	Содержание в смеси по объему, %						Пирометрические характеристики									
	водорода	окиси углерода	метана	тяжелых углеводородов	углекислого газа	азота	теоретический расход воздуха, неокисляющий для полного сгорания 1 м <sup>3</sup> газа, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	объем продуктов сгорания на 1 м <sup>3</sup> газа, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	относительный вес (воздух = 1)	теплотворность, ккал/м <sup>3</sup>	теоретическая температура горения, °С	скорость распространения газовой смеси, м/сек	температура воспламенения в воздухе, °С	нижний предел воспламенения, % газ в смеси с воздухом	верхний предел воспламенения, % газ в смеси с воздухом	
Водород	100	—	—	—	—	—	2,4	2,9	0,07	2 580	2 210	4,9	510	4	74	
Окись углерода	—	100	—	—	—	—	2,4	2,9	0,97	3 020	2 470	1,2	610	12	74	
Метан	—	—	100	—	—	—	9,5	10,5	0,55	8 560	2 095	0,7	645	5	15	
Пропан	—	—	—	100	—	—	23,8	26,8	1,56	21 800	2 155	0,8	510	2	10	
Бутан	—	—	—	100	—	—	31,0	33,4	2,07	28 340	2 130	0,8	490	2	8	
Воздушный генераторный газ	6	23	2	1	6	62	0,9	1,9	0,92	930	1 560	0,5	750	18	72	
Смешанный генераторный газ	12	25	3	—	5	55	1,2	2,0	0,86	1 200	1 670	0,6	700	17	70	
Водяной газ из полуантрацита	50	38	2	1	5	4	2,2	2,9	0,52	2 500	2 200	3,0	680	7	72	
Природный (саратовский) газ	—	—	94	2	—	4	9,8	10,9	0,57	8 530	2 060	0,7	700	5	14	
Природный (лаванский) газ	—	—	98	1	—	1	9,6	10,5	0,56	8 500	2 040	0,7	700	5	17	
Природный (шебелинский) газ	—	—	93	6	—	1	10,0	11,2	0,60	8 540	2 060	0,7	700	5	17	
Природный (старовопольский) газ	—	—	98	1	—	1	9,6	10,5	0,56	8 500	2 040	0,7	700	5	17	

в основном из метана, поэтому и свойства его определяются свойствами метана. Кроме горючих составных частей, газовые топлива содержат балластные составные части — углекислый газ, азот и пары воды. Они в топливе не только бесполезны, так как не участвуют в процессе горения, но даже вредны, потому что отнимают у пламени тепло на собственный нагрев. Некото-

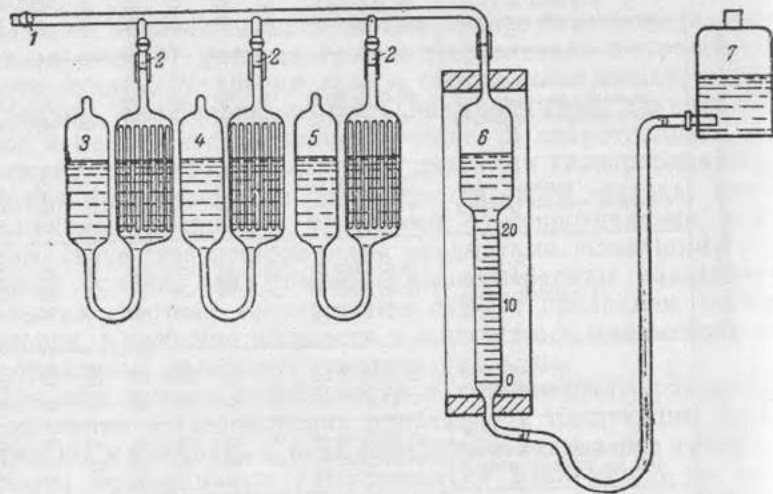


Рис. 4-7. Газоанализатор Орса.

1 — приемный кран; 2 — соединительные трубки; 3 — склянка с поглотителем окиси углерода; 4 — склянка с поглотителем кислорода; 5 — склянка с поглотителем углекислого газа; 6 — бюретка; 7 — сосуд с водой для перемещения газа в поглотительные сосуды и обратно.

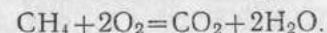
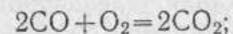
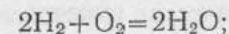
рые искусственные газы содержат сероводород, придающий им характерный неприятный запах. Сероводород в присутствии влаги вызывает коррозию газовой арматуры и газопроводов. Образующийся при его горении сернистый газ разъедает газовые горелки и металлические детали машин, вредно действует на нагреваемые в газе предметы (особенно на никель) и делает воздух в помещениях цехов вредным для здоровья людей. Содержание сероводорода в природном газе не должно превышать 2 г на 100 м<sup>3</sup> газа и в сжиженном — 5 г на это же количество газа<sup>1</sup>. Более высокое содержание сероводорода допускается только при работе на установках, отводящих продукты горения газа в дымовую трубу. Все искусственные газы, получаемые переработкой твердого топлива, даже после тщательной очистки содержат некоторое количество нафталина, смолы, угольной

<sup>1</sup> Саратовский природный газ содержит сероводород, от которого его очищают. Дашавский, ставропольский и шебелинский природные газы практически не содержат сероводорода. Водяной газ из кузнецкого полуантрацита содержит 0,5—1 г/м<sup>3</sup> сероводорода.

пыли и других веществ, способных скапливаться в пониженных местах и создавать пробки, затрудняющие или прекращающие движение газа.

Наиболее простым прибором для определения химического состава газа служит переносный газоанализатор ГХП-3 (аппарат Орса, рис. 4-7). Из определенного точно измеренного объема газовой смеси, заключенного в измерительный сосуд с делениями (бюретку), поочередно поглощают отдельные составные части газа пропуская его через склянки с различными растворами. После поглощения каждой составной части измеряют объем газа, оставшегося непоглощенным. Аппарат позволяет определять содержание в газе углекислоты, кислорода и окиси углерода. Поглотителями их служат 40%-ный раствор едкого кали (для CO<sub>2</sub>), щелочной раствор пирогалловой кислоты (для O<sub>2</sub>) и аммиачный раствор полухлористой меди (для CO). Количество остальных составляющих определяют методом сжигания в более сложных приборах.

Каждый из индивидуальных газов при сгорании образует углекислый газ, водяной пар, или то и другое вместе:



Для полного сгорания одного объема водорода требуется 0,5 объема кислорода; для полного сгорания одного объема окиси углерода — тоже 0,5 объема кислорода; для полного сгорания одного объема метана — два объема кислорода. Так как в воздухе содержится 21% кислорода, или, иначе, один объем кислорода содержится в 4,7 объема воздуха, то для сгорания одного объема водорода требуется  $0,5 \times 4,7 = 2,35$  объема воздуха; для сгорания одного объема окиси углерода  $0,5 \times 4,7 = 2,35$  объема воздуха и для сгорания одного объема метана  $2 \times 4,7 = 9,4$  объема воздуха. Зная состав газа, можно рассчитать количество воздуха, необходимое для его полного сгорания. Из табл. 4-1 видно, что природный газ, состоящий преимущественно из метана, требует для сгорания гораздо больше воздуха, чем водяной газ, не содержащий метана. Сгорая, природный газ выделяет значительно больше продуктов горения, чем водяной. В продуктах горения природного газа особенно много содержится водяного пара, повышающего влажность воздуха в производственном помещении.

## 6] ТЕПЛОТВОРНОСТЬ

Способность топлива выделять тепло при горении называют теплотворностью или калорийностью. Теплотворность газового топлива измеряют количеством тепла, выделяю-

щегося при полном сгорании всех горючих частей, содержащихся в  $1 \text{ м}^3$  газа ( $\text{ккал}/\text{м}^3$ ). За  $1 \text{ ккал}$  принято количество тепла, необходимое для повышения температуры  $1 \text{ кг}$  воды на  $1 \text{ град}$  при нормальном атмосферном давлении:

$$1 \text{ ккал} = 1,164 \text{ вт} \cdot \text{ч} = 427 \text{ кг} \cdot \text{м};$$

$$1 \text{ квт} \cdot \text{ч} = 860 \text{ ккал}.$$

Теплотворность — важнейший параметр всякого топлива, характеризующий количество скрытой в нем химической энергии. Например, при полном сгорании  $1 \text{ кг}$  угля его химическая энергия превращается в тепловую, равную около  $7000 \text{ ккал}$ . При газификации твердого топлива часть его энергии расходуется на процесс превращения в газ и часть переходит в химическую энергию газа. Чем выше теплотворность исходного твердого топлива, тем большей химической энергией обладает газ. Себестоимостью  $1000 \text{ ккал}$  оценивают экономичность всякого топлива.

Теплотворность газа (табл. 4-1) зависит от теплотворности его компонентов и количества содержащегося в нем балласта. С возрастанием содержания углеводородов теплотворность газа увеличивается, а с возрастанием содержания азота, углекислого газа и паров воды уменьшается. Газ, обладающий высокой теплотворностью, требует для своего полного сгорания большего количества воздуха. Если известна теплотворность газа  $Q$ , то количество воздуха  $L$ , необходимое для горения, можно подсчитать по формуле

$$L = \frac{1,09}{1000} Q - 0,25, \text{ м}^3/\text{м}^3. \quad (4-1)$$

Приближенно принимают, что расход воздуха на каждые  $1000 \text{ ккал}$  тепла, выделяемого при горении газа, равен  $1 \text{ м}^3$ . Высококалорийные газы требуют большего давления воздуха в подводящей сети, чем низкокалорийные.

Важное значение для эффективного использования газа имеет постоянство его свойств. Колебание теплотворности вызывает колебание температуры огня даже при неизменном количестве сжигаемого газа. Природный газ одного и того же месторождения отличается постоянной теплотворностью. Московский городской газ, состоящий из смеси нескольких природных и искусственных газов, отличается непостоянной теплотворностью.

Теплотворность водяного газа зависит от режима газификации. В начале фазы парового дутья газ имеет более высокую теплотворность, чем в конце. Теплотворность его возрастает при увеличении содержания в исходном угле летучих веществ, повышении температуры газификации и увеличении толщины слоя угля в газогенераторе. Теплотворность его уменьшается при

чрезмерно большому давлению водяного пара, образовании прогаров и перекосов зон в газогенераторе и недостаточной продувке газогенератора водяным паром после воздушного дутья. Тепловые свойства водяного газа несколько выравниваются при хранении газа в газгольдере.

Смешанный генераторный газ обладает теплотворностью, зависящей от соотношения воздуха и пара в паровоздушном дутье. Пар благоприятно влияет на теплотворность газа, так как оба его компонента участвуют в образовании газа. Избыток пара, как и избыток воздуха, понижает теплотворность газа. При большом избытке воздуха часть топлива не газифицируется, а сгорает в  $\text{CO}_2$ .

Природные газы, обладающие высокой теплотворностью, выгодно транспортировать по дальним газопроводам, а искусственные, обладающие низкой теплотворностью, — невыгодно.

Теплотворность газа определяют лабораторным газовым калориметром или путем вычисления по результатам химического анализа газа.

#### в) ТЕМПЕРАТУРА ГОРЕНИЯ

Температурой горения газа называют ту максимально возможную температуру пламени, которую способен развивать газ при полном сгорании с теоретически необходимым количеством воздуха. Эта температура — величина теоретическая. Она характеризует свойства газа при идеальных условиях, когда все тепло, выделяющееся при горении газа, расходуется на нагрев продуктов горения. Действительная же температура горения, или температура пламени, значительно ниже максимально возможной, так как часть тепла, выделяющегося при горении, рассеивается в окружающую среду или передается нагреваемым предметам.

Отношение температуры пламени к теоретической температуре горения называют пирометрическим эффектом горения. Величина его показывает, какую долю теоретической температуры горения составляет температура пламени.

Пирометрический эффект горения зависит не только от свойств газа, но и от соотношения газа и воздуха в смеси и условий сжигания газа. Например, при недостатке или избытке воздуха или плохом перемешивании газа с воздухом пирометрический эффект понижается, так как получающееся при горении тепло расходуется на нагрев избытка газа или избытка воздуха. При удлинении факела пламени увеличиваются потери тепла с отходящими газами и через лучеиспускание факела, что соответственно понижает пирометрический эффект горения. При сжигании газа в закрытых объемах (в печах) достигается более высокий пирометрический эффект, чем при сжигании в открытой среде (на автоматах).

Различные горючие газы имеют разную температуру горения. Она зависит от теплотворности газа, количества образующихся продуктов горения и их объемной теплоемкости. Объемной теплоемкостью газа называется количество тепла, необходимое для нагревания единицы объема газа на 1 град. Продукты горения любых видов топлива при температурах их горения имеют почти одинаковую среднюю объемную теплоемкость, равную около 0,4 ккал/м<sup>3</sup>.

Температуру горения определяют по уравнению

$$t = \frac{Q + Q_r + Q_a}{Vc}, \quad (4-2)$$

где  $t$  — температура горения, °С;

$Q$  — теплотворность газа, ккал/м<sup>3</sup>;

$V$  — объем продуктов горения на 1 м<sup>3</sup>, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;

$c$  — средняя объемная теплоемкость продуктов горения при температуре от 0 до  $t$ °С, ккал/м<sup>3</sup>·град;

$Q_r$  — тепло нагретого газа, ккал/м<sup>3</sup>;

$Q_a$  — тепло нагретого воздуха, ккал/м<sup>3</sup>.

Из (4-2) следует, что газ, имеющий низкую теплотворность, может обладать высокой температурой горения, если объем продуктов его горения мал. Из этого же уравнения следует, что температуру горения можно повысить предварительным подогревом воздуха или воздуха и газа.

При сравнении водорода и метана оказывается, что, хотя водород, сгорая, выделяет калорий в 3 раза меньше, чем метан, температура его горения значительно превышает температуру горения метана. Такое несоответствие получается, во-первых, потому, что водород требует меньше воздуха для сгорания и выделяет меньше продуктов горения, чем метан, и, во-вторых, потому, что метан требует около 8% тепла для расщепления своих молекул на углерод и водород, а водород не имеет этих потерь.

По этим же причинам водяной газ имеет температуру горения более высокую, чем природный, и продукты его горения нагреваются сильнее, чем продукты горения природного газа.

При сжигании одного и того же горючего газа в воздухе и кислороде количество тепла, выделяемое пламенем, получается одинаковым (калориметрический эффект одинаков), а температура пламени — различной (пирометрический эффект неодинаков). При горении на воздухе тепло расходуется не только на нагрев образующихся продуктов горения, но и на нагрев азота воздуха. При замене же воздуха кислородом балластный азот устраняется из горючей смеси, поэтому температура горения значительно повышается, хотя теплоотдача пламени сохраняется неизменной. К частичной или полной замене воздуха кислородом прибегают в тех случаях, когда требуется нагревать детали

до высокой температуры или в короткие промежутки времени, например, при сборке ножек и заварке ламп из молибденового или вольфрамового стекла, при газовой сварке электродов и др.

Обогащение воздуха кислородом повышает производительность технологического оборудования. Его особенно целесообразно применять при работе на сжиженном и природном газе.

При обработке деталей газовым пламенем высокая температура пламени имеет более важное значение, чем высокая теплотворность газа. Это объясняется низким к. п. д. открытых огней. Только ничтожный процент тепла, выделяющегося в открытых горелках при сгорании газа, используется на нагревание обрабатываемых предметов, а подавляющая часть тепла (около 99%) уходит на нагревание продуктов горения газа и рассеивается в окружающей атмосфере. При малых размерах обрабатываемых деталей и при малом поглощении ими тепла значение температуры пламени еще более возрастает.

Потери тепла пламенем происходят через конвекцию нагретых продуктов горения и лучеиспускание в окружающее пространство. Светящееся пламя излучает больше тепла, чем не светящееся. Накал частиц сажи повышает лучеиспускание пламени. Пламя метана излучает в 4,8 раза больше тепла, чем пламя водорода.

Температуру пламени измеряют платина-платинородиевой термопарой, обнаженный спай которой защищают тонким кварцевым колпачком.

## Г] СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ

Пусть открытая с обоих концов длинная труба наполнена смесью газа и воздуха в соотношении, необходимом для полного сгорания газа. Если поджечь смесь в начале этой трубы, то пламя достигнет конца трубы не мгновенно, а через некоторый промежуток времени. Расстояние, которое пламя пройдет через газоздушную смесь за 1 сек, называют скоростью распространения пламени.

Горение всегда происходит по какой-то поверхности. Для горелки поверхность горения есть поверхность конуса пламени. Скорость распространения пламени может быть определена как частное от деления объема сжигаемой в 1 сек горючей смеси на площадь поверхности пламени.

Скорость распространения пламени характеризует, как быстро газоздушная смесь нагревается до температуры воспламенения. Она зависит не от теплотворности газа, а от его теплопроводности. Из всех газов водород имеет наибольшую теплопроводность, и, соответственно, наибольшую скорость распространения пламени (4,9 м/сек). Горючие газы, содержащие много водорода, обладают большой скоростью распространения

пламени, например, водяной газ — 3 м/сек. Газы, не содержащие водорода, имеют малую скорость распространения пламени, например, природный газ — 0,7 м/сек, пропано-бутановая смесь — 0,8 м/сек. Газы, содержащие много балластных составных частей ( $N_2$  и  $CO_2$ ) тоже обладают малой скоростью распространения пламени, например, смешанный генераторный газ — 0,6 м/сек. Скорость распространения пламени уменьшается с уменьшением содержания воздуха в газозооной смеси и значительно увеличивается при применении газокислородной смеси вместо газозооной. Например, водород в смеси с воздухом горит со скоростью 4,9 м/сек, а в смеси с кислородом — со скоростью 30 м/сек. На увеличение скорости распространения пламени благоприятно влияет предварительный подогрев газа и воздуха.

Пламя медленно горящих газов имеет длинный факел и склонно к отрыву от устья горелки, а пламя быстро горящих газов — короткий концентрированный факел и склонно к проскакиванию в устье горелки. Явление проскока пламени наблюдается чаще при работе с газокислородной смесью, чем с газозооной.

Большая скорость распространения пламени благоприятно влияет на полноту горения газа, а малая, наоборот, служит одной из причин неполного сгорания газа.

#### д) ТЕМПЕРАТУРА И ПРЕДЕЛЫ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ

Горючее вещество не загорится до тех пор, пока не придет в соприкосновение с источником теплоты. Самую низкую температуру, которую требуется сообщить газу для его загорания на воздухе, называют температурой воспламенения газа. Чтобы газ загорелся, нужно нагреть его до температуры воспламенения хотя бы в одной точке. После загорания в этой точке внешний нагрев становится уже излишним, так как выделяющееся при горении тепло самопроизвольно передается всему объему горючей смеси путем распространения пламени. Температура воспламенения зависит от состава, давления и способа нагрева газозооной смеси.

Природный газ имеет более высокую температуру воспламенения, чем водяной. Пламя природного газа вследствие высокой температуры воспламенения и малой скорости распространения может отрываться и гаснуть, если не принимать против этого специальные меры при конструировании газовых горелок (стр. 126).

В присутствии некоторых металлических катализаторов, например, палладия и никеля, температура воспламенения газа понижается. Применение никелевых сеток в горелках для природного газа позволяет поджигать газ при более низкой температуре.

Пределами воспламенения газа называют то наименьшее и наибольшее содержание его в смеси с воздухом, выраженное в процентах от всего объема смеси, в пределах которого может произойти воспламенение. Нижний предел воспламенения есть наименьший процент газа, необходимый для горения смеси, а верхний предел есть наибольший процент газа, выше которого смесь без притока тепла извне уже гореть не может. При незначительном или слишком большом содержании газа смесь может оказаться негорючей, так как тепла, выделяющегося при горении одних частиц, может быть недостаточно для нагрева других до температуры воспламенения. Как видно из табл. 4-1, наибольшие пределы воспламенения имеют водород и водяной газ. Пределы воспламенения расширяются с увеличением мощности источника зажигания и повышением температуры газозооной смеси.

### 4-5. ПЛАМЯ ГАЗОВОЙ ГОРЕЛКИ

#### а) ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛАМЕНИ

Пламя состоит из раскаленных газов. Оно возникает при горении и сопровождается выделением тепла.

Различают кинетическое, диффузионное и смешанное горение газа. В кинетическом участвует полностью подготовленная газозооная смесь; в диффузионном участвует воздух только из окружающей среды; в смешанном участвует воздух частично из трубопровода, смешивающийся с газом перед поступлением в горелку (первичный воздух) и дополнительно воздух из окружающей среды, смешивающийся с газом после выхода из горелки (вторичный воздух). В производстве ламп кинетическое горение осуществляют в стекловаренных печах и печах отжига колб (лерах), а диффузионное и, главным образом, смешанное — на многочисленных операциях газопламенной обработки деталей ламп.

Горение, в зависимости от количества участвующего в нем воздуха, может быть полным или неполным. При полном продукты горения состоят только из негорючих газов  $CO_2$ ,  $N_2$  и  $H_2O$ , а при неполном они еще содержат некоторое количество  $CO$  и других недогоревших газов. При полном факел пламени получается сине-фиолетовым, прозрачным и несветящимся, а при неполном — желтым, непрозрачным и светящимся. При смешанном горении в открытых газовых горелках полное горение получается при объемном соотношении природного газа к первичному воздуху, как 1:5, а водяного, как 1:1, остальное количество воздуха, участвующего в горении (табл. 4-1), поступает из атмосферы в виде вторичного воздуха.

Вид, строение и размеры пламени зависят, главным образом, от способа смешения газа с воздухом, состава и скорости исте-

чения смеси и конструкции рабочего сопла горелки. При кинетическом и диффузионном горениях пламя получается одноконусным, а при смешанном — двухконусным (рис. 4-8). В двухконусном пламени внутренний конус (ядро) состоит из нагревающейся смеси газа и первичного воздуха. На поверхности этого конуса выгорает часть газа за счет соединения ее с кислородом первичного воздуха. Область, заключенная между внутренним и на-

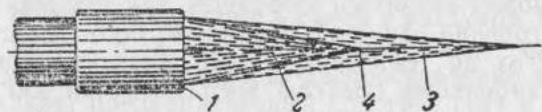


Рис. 4-8. Пламя газовой горелки при смешанном горении.

1 — горелка; 2 — внутренний конус пламени; 3 — наружный конус пламени; 4 — фокус пламени.

ружным конусами, состоит из смеси продуктов горения внутреннего конуса и недогоревшей на поверхности внутреннего конуса части газа. На поверхности наружного конуса газ догорает за счет соединения с кислородом вторичного воздуха. Толщина слоев горящего газа на поверхностях внутреннего и наружного конусов равна 0,1—1 мк. Тонкий газовый слой, в котором протекает реакция горения, носит название фронта пламени. Зона наружного конуса имеет температуру более высокую, чем зона внутреннего. Наивысшей температурой обладает фокус пламени, находящийся в вершине внутреннего конуса.

Различают два режима горения газа — ламинарный (слоистый) и турбулентный (вихревой). При ламинарном частицы газа перемещаются вдоль оси горелки как бы отдельными не смешивающимися между собой струйками; при турбулентном частицы газа перемещаются в горелке в виде беспорядочных вихрей. Движение одного и того же газа переходит от ламинарного к турбулентному в тот момент, когда его скорость превысит некоторое критическое значение, зависящее от диаметра горелки.

При ламинарном горении фронт пламени представляет собой как бы надетый на пламя тончайший конусообразный «колпачок», а при турбулентном этот «колпачок» разрывается на мелкие части, непрерывно меняющие свое положение.

При ламинарном горении длина пламени зависит от диаметра выходного отверстия горелки, скорости распространения пламени и скорости истечения газовой смеси. Эта зависимость выражается уравнением

$$h = \frac{d}{2} \sqrt{\frac{wv^2}{u^2} - 1}, \quad (4-3)$$

где  $h$  — длина пламени, мм;

$w$  — скорость истечения газовой смеси, м/сек;

$u$  — скорость распространения пламени, м/сек;

$d$  — диаметр выходного отверстия горелки, мм.

Из уравнения (4-3) вытекает, что с уменьшением скорости распространения пламени или увеличением скорости истечения смеси пламя удлиняется и, наоборот, с увеличением скорости распространения пламени или уменьшением скорости истечения смеси — укорачивается.

Когда скорость истечения смеси становится меньше скорости распространения пламени, происходит проскок пламени внутрь горелки. При гашении горелок или внезапном падении давления газа в газопроводе пламя быстро укорачивается и уходит с хлопком внутрь горелки.

Когда скорость истечения смеси намного превышает скорость распространения пламени, пламя отодвигается от горелки и охлаждается за счет обеднения смеси вторичным воздухом. При внезапном увеличении давления смеси пламя отрывается от устья горелки и частично или полностью гаснет.

При постоянных скоростях распространения пламени и истечения смеси длина пламени пропорциональна диаметру выходного отверстия горелки.

По мере увеличения скорости истечения смеси пламя удлиняется лишь до тех пор, пока не наступает переход к турбулентному горению, и тогда длина пламени перестает зависеть от дальнейшего увеличения скорости истечения смеси.

При ламинарном горении скорость частиц смеси увеличивается от нуля вблизи стенок горелки, где прилегающие слои тормозятся трением о стенки, до максимальной по оси горелки. В результате неодинаковой скорости движения отдельных частиц смеси при одинаковой скорости распространения пламени происходит образование приблизительно конической формы пламени. У основания пламени образуется некоторое расширение, вызванное сопротивлением атмосферного воздуха и отводом тепла в сторону горелки. При турбулентном горении вследствие вихреобразного выхода смеси из горелки образуется пушистое метлообразное пламя с бесформенными очертаниями. В ламинарном пламени поверхность раздела между внутренним и наружным конусами пламени четко разграничена, а в турбулентном — расплывчата.

Уравнение (4-3) действительно для кинетического горения при условии, что воздух подводится в горелку в количестве, требуемом для полного сгорания газа. В этом случае факел пламени получается коротким и горение совершается в минимальном объеме. При недостаточном поступлении воздуха или плохом перемешивании его с газом скорость распространения пламени уменьшается, и факел пламени соответственно удли-

няется. По мере увеличения поступления воздуха скорость распространения пламени возрастает, и пламя укорачивается.

Уравнение (4-3) действительно также для смешанного горения, но при таком горении за длину пламени принимают длину его внутреннего конуса (фокусное расстояние). При смешанном горении наиболее устойчивое пламя получается тогда, когда его внутреннему и наружному конусам приданы резкие очертания. При избытке газа или недостатке первичного воздуха количество газа, сгорающего за счет кислорода вторичного воздуха, увеличивается, пламя удлиняется и граница между конусами пламени становится расплывчатой. При недостатке газа или избытке первичного воздуха количество газа, сгорающего за счет кислорода вторичного воздуха, уменьшается, пламя укорачивается и граница между конусами пламени также становится расплывчатой. Чем больше избыток первичного воздуха в смеси, тем с большим шумом горит пламя. При слишком большом избытке первичного воздуха горение становится неустойчивым, а пламя — отрывающимся. Для поддержания такого пламени устье горелки снабжают поджигающим (запальным) устройством, в котором часть горючей смеси отвечает через небольшие отверстия в кольцевое пространство, окружающее устье. Эта часть смеси сгорает спокойным неотрывающимся пламенем, поджигающим основной поток газозвушной смеси.

При частичной или полной замене первичного воздуха кислородом скорость распространения пламени возрастает и длина внутреннего конуса пламени соответственно сокращается.

Водяной газ дает более короткое пламя, чем природный, так как скорость распространения его пламени больше, чем природного. Чтобы у водяного газа увеличить фронт пламени, нужно увеличить скорость его истечения, а чтобы у природного газа уменьшить фронт пламени, нужно уменьшить скорость его истечения. При работе с водяным газом требуется более высокое давление его во внутриводной сети, чем при работе с природным.

Подставляя в уравнение (4-3) значения скоростей распространения пламени водяного и природного газов (табл. 4-1, стр. 115), можно установить, что при прочих равных условиях газовые горелки для быстрогорящего водяного газа должны иметь диаметр выходного отверстия больший, чем для медленно горящего природного газа.

Пламя водорода и окиси углерода почти бесцветно, а пламя углеводородов имеет желтый оттенок. Слабое свечение пламени водорода и окиси углерода вызывается явлением люминесценции, а сильное свечение пламени углеводородов — излучением многочисленных раскаленных частиц сажи, выделяющихся при разложении углеводородов во внутреннем конусе пламени. Образование сажи повышает излучение пламени.

Различные вещества, вводимые в пламя горелки, придают ему разную окраску. Так, содержащаяся в стекле окись натрия придает пламени желтую окраску; соединения меди окрашивают пламя в зеленый или синий цвет.

## 6) ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛАМЕНИ

Водород и окись углерода — хорошие восстановители. Они содержатся внутри пламени в сильно нагретом состоянии. Если к внутреннему конусу пламени приблизить некоторые вещества, содержащие химически связанный кислород, то пламя восстановит эти вещества.

Кислород — хороший окислитель. Он содержится в избытке в сильно нагретом состоянии на поверхности наружного конуса пламени. Если приблизить к поверхности наружного конуса некоторые вещества, не содержащие кислорода, то пламя окислит эти вещества.

Восстановительные и окислительные свойства пламени можно наблюдать при нагреве свинцового стекла. Такое стекло, помещенное в начальный участок пламени, покрывается черным налетом восстановленного свинца, а помещенное в конце наружного конуса пламени, сохраняется прозрачным. Когда при обработке пламенем свинцового стекла образуется черный налет, можно заключить, что пламя содержит много газа или мало воздуха. Чтобы свинцовое стекло не чернело, надо отдалить от него горелку или сделать пламя более окислительным, т. е. прибавить воздух или кислород и убавить газ.

Горению газа предшествует нагрев его до температуры воспламенения. Водород и окись углерода при нагреве не претерпевают химических изменений, а углеводороды, в частности, метан, частично разлагаются на водород и углерод (сажу). В реакции горения, которая следует после нагревания, фактически принимают участие не только исходные углеводороды, но и продукты их разложения, т. е. водород и сажа. При избытке воздуха в горючей смеси сажа сгорает в двуокись углерода, а при недостатке — выделяется в виде копоти. Пламя сжиженного газа при недостатке первичного воздуха сильно коптит, пламя природного газа коптит меньше, а пламя водяного газа даже при полном отсутствии в смеси первичного воздуха почти совсем не дает копоти.

Для получения водородо-кислородного пламени не обязательно сжигать водород в атмосфере кислорода. Можно поступать наоборот, т. е. как бы сжигать кислород в атмосфере водорода. В первом случае пламя благодаря высокой температуре и содержанию свободного кислорода имеет окислительные свойства, а во втором случае благодаря высокой температуре и содержанию свободного водорода — восстановительные свойства. Пламенем кислорода в атмосфере водорода пользуются для удаления



окисных очагов и внутренних напряжений, возникающих при электрической приварке вольфрамовой спирали к никелевым электродам для некоторых специальных ламп (стр. 441).

#### в) РЕГУЛИРОВКА ОГНЕЙ

Многие технологические операции в производстве ламп выполняются с применением концентрированного нагрева открытыми огнями. Перед началом работы на таких операциях зажигают в горелках газоздушную смесь и по внешнему виду огня судят о характере процесса горения, регулируя его уменьшением или увеличением количества подводимых в горелку газа и сжатого воздуха.

Для обработки стекол различных составов требуются различные огневые режимы. Искусство квалифицированного наладчика заключается в том, что он, зная свойства стекла и понимая, как и какими огнями его следует обрабатывать, регулирует и тонко настраивает вентилями огня на глаз так, чтобы получился наилучший результат, т. е. хорошее качество обработанного изделия и отсутствие брака. Правильность настройки огня он оценивает по результатам проверки первых изготовленных изделий.

Огни служат важным рабочим инструментом при обработке стекла. Они могут быть сильными или слабыми, острыми или пушистыми, резкими или мягкими, длинными или короткими, светящимися или бесцветными, окислительными или восстановительными. Они могут быть приближены к обрабатываемой детали или отдалены от нее, опущены, приподняты или сдвинуты в сторону. Огнями можно осуществлять разнообразную обработку стекла, например, слабый предварительный подогрев, размягчение, формовку, оплавление острых краев, проколку отверстий, резку, сварку, замедленное охлаждение.

Предмет, помещенный в открытое пламя газовой горелки, подвергается не только тепловому воздействию, но и механическому давлению выходящей из горелки струи сгорающей газоздушной смеси. При разогреве стеклянных деталей до температуры, близкой к точке размягчения стекла, детали могут легко деформироваться давлением пламени. По этой причине во многих случаях избегают помещать стеклянный предмет в фокус пламени, хотя температура в нем наиболее высокая.

При работе с медленно горящими газами (природным или сжиженным) избегают разогревать стекло в той зоне пламени, где еще не завершилось горение газа, так как при этом недогоревшая часть газа догорает непосредственно на раскаленной поверхности стекла, вызывая его неравномерный нагрев и последующее растрескивание.

Произвольное изменение отрегулированного перед началом работы пламени вызывает перегрев или недогрев стекла и не-

правильную обработку изделия. Изменение пламени в процессе работы может привести к ненормальному увеличению или уменьшению вязкости стекла и возникновению в нем напряжений и трещин.

Изменение огня вызывается постепенным засорением горелок, колебаниями давления газа или сжатого воздуха и изменениями свойств газа, в частности, его теплотворности и температуры горения. При колебаниях свойств газа наладчики, обычно обслуживающие одновременно несколько машин, запаздывают с корректировкой огня и лишаются возможности поддерживать требуемое постоянство огневого режима. Они обнаруживают отклонения в настройке огня с запозданием, когда появляется брак продукции.

Для каждой данной горелки наивысшая температура пламени достигается определенным (оптимальным) соотношением газа и воздуха в смеси; поэтому любое изменение давления газа или давления воздуха в сторону увеличения или уменьшения вызывает понижение температуры пламени. Изменение теплотворности газа даже в сторону увеличения тоже вызывает понижение температуры пламени, так как для полного сгорания газа, обладающего повышенной теплотворностью, требуется увеличенное количество первичного воздуха.

Соблюдение определенных, заранее заданных температурного режима обработки и постоянства формы пламени имеет особо важное значение для автоматических машин, работающих без операционного персонала. Природный газ, состав и свойства которого отличаются наибольшим постоянством, позволяет лучше обеспечивать однородность огневого режима, чем сжиженный или водяной газы, отличающиеся недостаточным постоянством состава.

При работе с водяным газом изменение температуры и формы огня иногда наблюдается в результате постепенного засорения газовой арматуры смолой. Просветы в ventилях и узкие отверстия в горелках, забиваясь смолой, вызывают явление медленного исчезновения огня, т. е. постепенного укорочения пламени до его полного затухания. Для удаления смолы арматуру обогревают пламенем горелки. При обогриве смола частично сгорает и частично коксуется, образуя твердый остаток (пек), который требуется периодически очищать.

Резкие колебания пламени горелок иногда вызываются случаями проникновения в газовую сеть сжатого воздуха (стр. 144) и случаями скопления в газопроводах воды, вследствие несвоевременной откачки конденсатосборников. Колебания огня при водяных закупорках вызываются неравномерным притоком газа к газовым горелкам и поэтому носят характер ритмичных пульсаций.

На некоторых технологических операциях, требующих стабильного огневого режима, постоянство давления и расхода газа

тили с тарельчатым клапаном применяют при отсутствии кранов как запорное устройство. Каждый технологический станок снабжают одним запорным вентиляем или краном для газа и одним для воздуха<sup>1</sup>. Вентили с игольчатым клапаном применяют как регулировочное устройство. Каждую огневую позицию снабжают одним регулировочным вентиляем для газа и одним для воздуха.

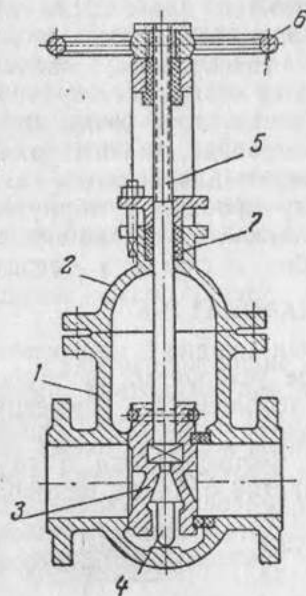


Рис. 4-12. Газовая дисковая задвижка.

1 — корпус; 2 — крышка корпуса; 3 — диски; 4 — клин; 5 — шпindel с червячной резьбой; 6 — штурвал; 7 — сальник.

Поворотом маховичка регулировочного вентиля можно тонко менять глубину посадки игольчатого клапана в проходном канале (седле) и тем самым плавно регулировать давление или расход газа. Различают вентили прямые и угловые. В прямых направление движения газа при выходе не меняется по отношению к направлению при входе, а в угловых меняется на 90°. Машины, оборудованные большим числом горелок, снабжают газовым и воздушным коллекторами, состоящими из собранных на одной гребенке нескольких угловых регулировочных вентиляей.

Газовая задвижка применяется как запорное устройство для присоединения к трубопроводам большого диаметра (обычно не менее 50 мм). Наибольшее распространение на электроламповых заводах получили дисковые задвижки типа «Лудло», состоящие из чугунного корпуса, двух параллельных дисков и центрального распорного клина с круглым хвостовым отверстием (рис. 4-12). При поворачивании штурвала по часовой стрелке шпindel опускается вниз, диски садятся на клин и прижимаются к уплотнительным поверхностям гнезда, закрывая проход. При поворачивании штурвала против часовой стрелки шпindel вместе с дисками поднимается вверх и открывает проход газу.

Преимущество задвижек перед вентилями состоит в том, что они позволяют открывать все проходное сечение трубопровода, имеют малое сопротивление протеканию газа и одинаково пропускают газ в обоих направлениях.

Приведение задвижек в положение «закрыто» требует длительного времени для поворачивания штурвала, что является их недостатком.

<sup>1</sup> По возможности следует избегать применять вентили в качестве запорных устройств, так как они не обеспечивают надежного отключения газа.

## 6) СМЕСИТЕЛИ

Чем лучше смешан газ со сжатым воздухом, или, иначе говоря, чем лучше контактируются частицы газа с частицами кислорода воздуха, тем полнее протекает горение и тем экономнее расходуется газ. Хорошее смешивание достигается тогда, когда потоки газа и сжатого воздуха подводятся под прямым углом друг к другу и когда при смешивании они встречаются на своем пути преграду в виде местного сужения. На технологическом оборудовании производства ламп газ и первичный воздух смешивают в специальных инжекционных смесителях, в качестве которых в большинстве случаев служит тройник

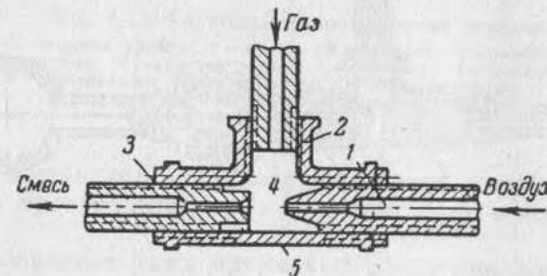


Рис. 4-13. Смеситель.

1 — впускной ниппель для воздуха; 2 — впускной патрубок для газа; 3 — выпускной ниппель для смеси; 4 — смесительная камера; 5 — корпус (тройник).

с двумя регулировочными ниппелями. Работа таких смесителей основана на засасывании (инжектировании) газа воздушной струей, осуществляемом за счет разности скоростей воздуха и газа, поступающих в смеситель. Сжатый воздух, подаваемый под большим давлением, подводят по прямому каналу, а газ, подаваемый под меньшим давлением, подводят через боковой патрубок.

Из сужающегося канала ниппеля 1 (рис. 4-13) сжатый воздух входит с большой скоростью в смесительную камеру 4. В камере создается разрежение, действием которого подсасывается газ из патрубка 2. Воздух и газ перемешиваются в камере и выходят из ниппеля 3 в виде однородной смеси. Отверстие ниппеля для смеси имеет больший диаметр, чем отверстие в ниппеле для воздуха. С увеличением расхода воздуха и увеличением теплотворности газа диаметры отверстий обоих ниппелей увеличивают.

Водяной газ, требующий для горения значительно меньше первичного воздуха, чем другие горючие газы, позволяет применять в качестве смесителя обыкновенный тройник без ниппелей.

Для технологических процессов, требующих горючую смесь из трех компонентов — газа, воздуха и кислорода, применяют трехпроводные смесители. Такими смесителями подсасывают

сначала кислород к воздуху, затем газ к воздушно-кислородной смеси.

Каждую огневую позицию технологического оборудования снабжают отдельным смесителем, устанавливаемым на расстоянии не более 2 м от горелок с целью уменьшения общего объема

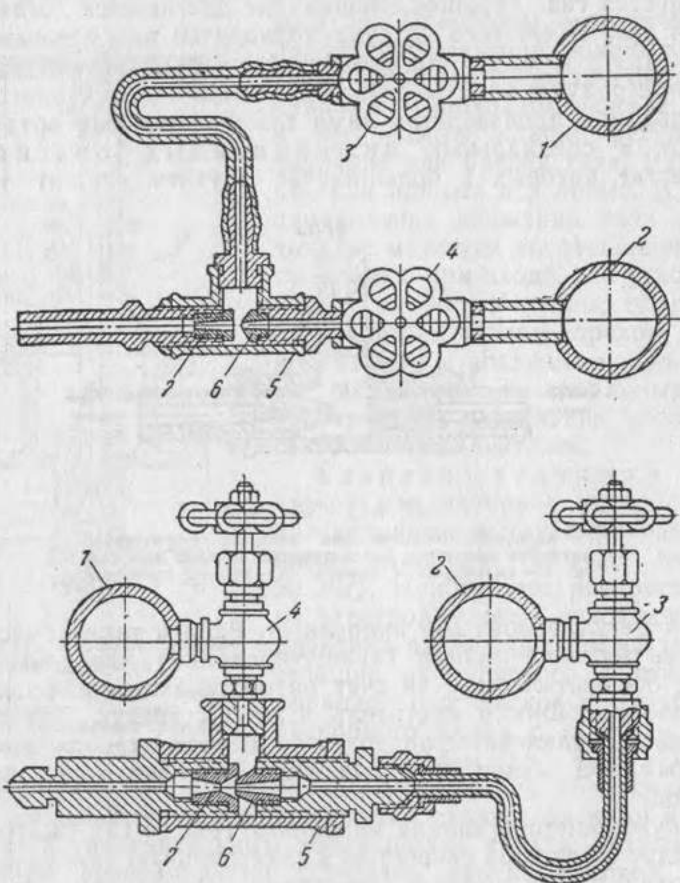


Рис. 4-14. Коллекторы, вентили и смеситель.

1 — газовый коллектор; 2 — воздушный коллектор; 3 и 4 — вентили; 5 — смеситель; 6 — воздушное сопло; 7 — смесительное сопло.

взрывчатой смеси в соединительной трубке. На машинах, оборудованных газовым и воздушным коллекторами, от каждой пары вентилей подводят газ и воздух к одному смесителю, монтируемому вместе с вентилями на трубах коллектора (рис. 4-14).

Узкие каналы и камеры смесителей периодически прочищают от пыли, грязи и смолы, заносимых сжатым воздухом и газом.

## в) ГОРЕЛКИ

Существуют газовые горелки, к которым первичный воздух поступает из окружающего пространства. К такой категории принадлежат инжекционные горелки Бунзена и Теклю, получившие распространение преимущественно в лабораториях. В них

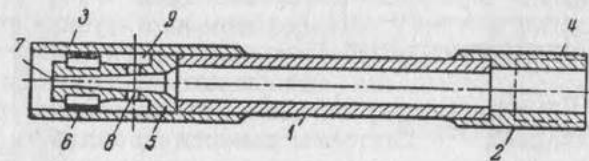


Рис. 4-15. Гнувшаяся одноотверстная горелка.

1 — медная трубка; 2 — приемный патрубок; 3 — выпускной патрубок; 4 — газовая резьба; 5 — сопло; 6 — звездочка; 7 — центральное отверстие сопла; 8 — боковые отверстия сопла; 9 — камера расширения.

не только доставляется газозвушная смесь к выходному отверстию, но и производится само смешение газа с первичным воздухом.

В производстве ламп применяют преимущественно горелки, к которым первичный воздух подается под давлением из воздухопровода. В такие горелки воздух и газ поступают после предварительного перемешивания в смесителе.

На рис. 4-15 изображена в разрезе наиболее распространенная в производстве ламп трубчатая гнувшаяся одноотверстная горелка. Один конец ее имеет наружную трубную резьбу для присоединения к арматуре, а другой — плотно запрессованное сопло с осевым каналом диаметром у выхода 1—2 мм и двумя или тремя боковыми каналами диаметром 0,4—0,6 мм. Входная часть осевого канала сопла имеет форму конуса, а выходная — цилиндра. Сопло окружено кольцевой стальной гофрированной звездочкой («гармошкой»). Газозвушная смесь проходит через корпус и выходит из осевого и боковых отверстий в сопле с различными скоростями. Благодаря сужающейся форме осевого канала и малому диаметру его выходного отверстия центральная струя смеси выходит из горелки с большой скоростью и образует при горении длинный конус пламени. Смесь же, выходящая из малых боковых отверстий, сразу попадает в сравнительно просторную кольцевую камеру, ограниченную корпусом горелки и соплом. Расширяясь в этой камере и разделяясь «гармошкой» на мелкие струйки, эта часть смеси выходит из горелки с малой скоростью. Мелкие струйки образуют при сгорании устойчивое незатухающее запальное кольцо пламени, равномерно окружающее центральную струю газозвушной смеси. Запальное пламя непрерывно подогревает и поджигает центральную струю смеси,

не давая ей гаснуть. Уменьшение диаметра осевого отверстия делает пламя более коротким, острым и менее устойчивым.

Одноотверстные горелки применяют в двух вариантах. Корпус гнущейся горелки (рис. 4-15) изготовляют из центральной частью из красно-медной трубки и концевыми частями из латунной трубки. Корпус негнущейся горелки (рис. 4-16) изготовляют целиком из латунной трубки. Некоторые негнущиеся горелки снабжают шарнирным соединением, позволяющим при необходимости придавать пламени разное направление (рис. 4-17).

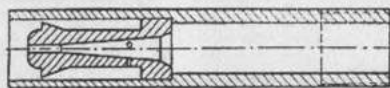


Рис. 4-16. Прямая негнущаяся одноотверстная горелка.

Так как длина пламени пропорциональна диаметру отверстия в сопле, то для укорочения пламени вместо сопла с одним большим центральным отверстием применяют латунные или чугун-

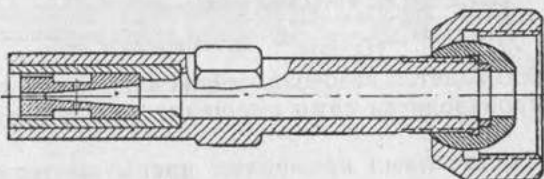


Рис. 4-17. Прямая горелка с шарнирным соединением.

ные сопла с несколькими малыми отверстиями. Центральную струю газозвоздушной смеси в таких горелках разделяют на несколько тонких конусов с общей суммарной поверхностью, равной поверхности одной большой струи. Высота таких конусов во столько же раз сокращается, во сколько уменьшается диаметр отверстий.

Многоотверстные короткопламенные горелки благодаря хорошему контакту между частицами газа и воздуха отличаются высокой теплопроизводительностью. В зависимости от числа, размеров и расположения отверстий в сопле пламя приобретает форму языка, призмы, цилиндра и т. д. Зажигательный пояс в таких горелках создается узкими щелями, располо-

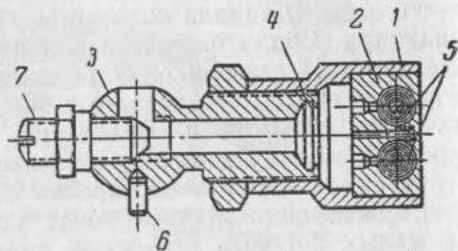


Рис. 4-18. Барабанная горелка для природного и сжиженного газов.

1 — корпус; 2 — сопло (вкладыш); 3 — хвостовик для присоединения к подводному газопроводу; 4 — сеточная ловушка обратного удара пламени (огнепреградитель); 5 — сеточные валики для запального пламени; 6 — штифт, ограничивающий поворот шаровой части горелки; 7 — винт, регулирующий подачу смеси в корпус горелки.

женными по обе стороны рядов основных отверстий. На рис. 4-18 изображена подобная, так называемая барабанная горелка. Она состоит из корпуса с запрессованным латунным или чугунным вкладышем (соплом) и хвостовика с шаровой частью для присоединения к газопроводу. Газовоздушную смесь подводят через отверстие шаровой части в корпус горелки. Там она разделяется на два потока. Первый устремляется в основные отверстия вкладыша и образует при выходе рабочий факел; второй идет через запальные отверстия и, замедляя скорость при проходе через камеру расширения, создает у выхода раздельные струйки запального факела. Сетки служат ловушкой для механических примесей и предохранителем против обратного проникновения пламени в трубопровод.

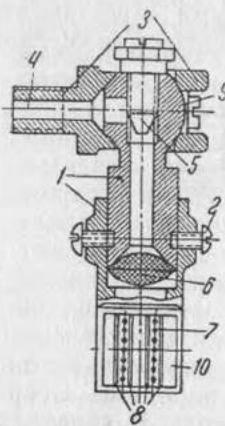


Рис. 4-19. Угловая прямоугольная многоотверстная горелка.

1 — корпус; 2 — винт для соединения частей корпуса; 3 — держатель горелки; 4 — отверстие для поступления газозвоздушной смеси; 5 — винт для регулирования подачи смеси; 6 — сеточная ловушка (огнепреградитель); 7 — рабочие отверстия; 8 — щели запала; 9 — шарнир; 10 — сопло.

На рис. 4-19 изображена угловая горелка, применяемая на автоматах сборки ножек. Сопло горелки, расположенное под углом 90° к оси корпуса, имеет два ряда отверстий, направленных под острым углом друг к другу. В двух пазах по обе стороны отверстий заложены валики из тонкой латунной сетки. Газовоздушная смесь, вытекающая через сеточные валики, создает запальное пламя. Горелка способна равномерно и интенсивно нагревать большую поверхность обрабатываемой детали. Корпус горелки имеет экран, отражающий тепло и защищающий пламя от колебаний окружающего воздуха. Как и у барабанной горелки, направление пламени у угловой горелки можно изменить перемещением корпуса в шаровом шарнирном гнезде.

На рис. 4-20 изображена отпайная горелка для отпайки лампы на откатных автоматах. Она имеет сопло с несколькими рабочими и запальными отверстиями и экран, предотвращающий колебания пламени.

Сжигание высококалорийных газов отличается рядом особенностей. К ним относятся: необходимость перемешивания малых количеств газа с большими количествами воздуха, большой расход газозвоздушной смеси на запал, узкие пределы взрываемости газа, высокая температура воспламенения газо-

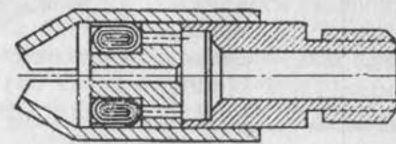


Рис. 4-20. Отпайная горелка на откатных автоматах.

воздушной смеси и малая скорость горения<sup>1</sup>. Эти особенности не позволяют применять для высококалорийных газов горелки такой же конструкции, как и для низкокалорийных. Так, горелки для природного газа изготавливают с запальными отверстиями большего диаметра и рабочими отверстиями меньшего диаметра,

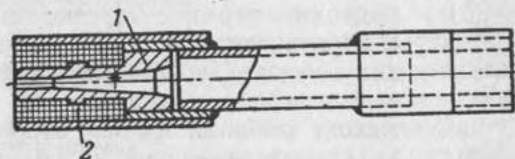


Рис. 4-21. Одноотверстная горелка для природного газа.

1.— сопло; 2 — никелевая сетка.

чем для водяного, а горелки для пропан-бутанового газа — с запальными отверстиями большего диаметра и рабочими отверстиями меньшего диаметра, чем для природного. В горелках для природного газа (рис. 4-21) камеру расширения заполняют

вместо звездочки неокисляющейся никелевой сеткой, замедляющей перемещение смеси и разделяющей зону запала пламени на более тонкие струйки, а в горелках для водяного газа не применяют ни звездочек, ни сеток (рис. 4-16).

На некоторых машинах получили применение радиационные горелки беспламенного поверхностного сжигания газа, снабженные пористой насадкой из огнеупорной керамики (рис. 4-22). В таких горелках газозвоздушная смесь обраспыливается из отверстий обласа на насадку и сгорает на ее поверхности почти без образования пламени. Керамическая

Рис. 4-22. Радиационная керамическая горелка.

1 — сопло; 2 — корпус; 3 — кожух; 4 — керамическая чаша; 5 — штуцер; 6 — винт.

насадка раскаляется до температуры, превышающей температуру воспламенения газа, обеспечивая тем самым постоянный запал смеси и полное ее сгорание. По свечению раскаленной насадки регулируют подачу газа и воздуха. В беспламенных горелках повышаются скорость и температура горения, что осо-

<sup>1</sup> Водяной газ требует расхода на запал около 5% общего количества смеси, подводимой к горелке, природный — около 25% и сжиженный — около 30%.

бенно важно при сжигании метана и тяжелых углеводородов. У пламенных горелок горение протекает постепенно, вследствие чего оно сопровождается образованием видимого факела, а у беспламенных горение происходит почти мгновенно, и так как продукты горения газозвоздушной смеси прозрачны, видимого факела пламени почти не получается. беспламенные горелки позволяют устранить химический недожог газа. Процесс горения в них происходит при минимальном или даже теоретически необходимом количестве воздуха. Передача тепла нагреваемым предметам у беспламенных горелок происходит преимущественно излучением раскаленной огнеупорной насадки.

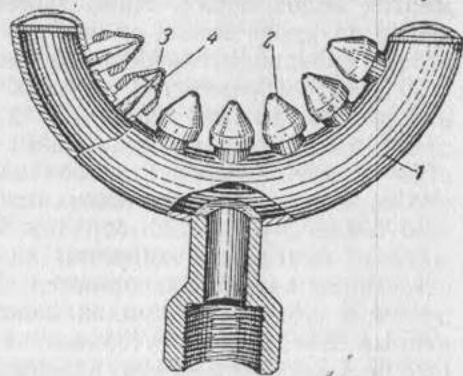


Рис. 4-23. Веерная горелка.

1 — коллектор; 2 — горелочные головки; 3 — основные рабочие отверстия; 4 — запальные отверстия.

При газопламенной обработке стекла на карусельных машинах бывает необходимо концентрировать в небольшом участке выделения большого количества тепла и быстро развивать высокую температуру нагрева. С этой целью применяют системы горелок (рис. 4-23) с огнями, радиально распределенными по окружности и скрещивающимися в ее центре. Горелки так закрепляют на машинах, чтобы во время периодических остановок карусели точка пересечения огней совпала с осью вращения рабочих гнезд. Противоположные горелки системы скрещивающихся огней размещают под некоторым углом вверх на таком расстоянии между собой, чтобы они не перегревали друг друга и чтобы при столкновении двух встречных потоков газозвоздушной смеси не получалось сильного завихрения пламени. Для монтажа системы горелок со скрещивающимися огнями применяют небольшие пустотелые колодки с одним входным и несколькими (по числу горелок) выходными отверстиями. Отверстия снабжены трубной резьбой для ввинчивания подводящей газ трубки и горелок.

Наряду с горелками, требующими предварительное смешение газа с первичным воздухом, в производстве ламп применяют диффузионные горелки, не требующие первичного воздуха. Такие горелки применяют в печах отжига ножек, печах откачных автоматов и других установках. Они представляют собой стальную прямую или изогнутую трубу с просверленными в ее стенках отверстиями. Выходящий из отверстий газ в виде отдельных струек, перемешиваясь с вторичным воздухом, сгорает отдельными мягкими слегка коптящими факелками. Шаг между отвер-

ствиями выбирают такой, чтобы не происходило слияния факелов и обеспечивалась беглость огня при зажигании горелки.

Газовые горелки имеют важное значение в производстве ламп. Плохие горелки с неправильными размерами или с нечисто обработанным соплом образуют пламя неправильных размеров, вызывают непроизводительные потери газа, создают неудовлетворительный тепловой режим и являются источниками многих видов брака. Наибольшее значение имеет правильный выбор размеров сопла, от которых зависят форма и направление огня и производительность горелки.

Выходные отверстия горелок постепенно обгорают, и их внутренние детали, окисляясь и покрываясь окалиной, перестают быть газонепроницаемыми в соединениях. Особенно быстро обгорают горелки, работающие на водяном газе, потому что короткое и горячее пламя этого газа развивает очень высокую температуру около горелки. Рабочие каналы с малым диаметром выходных отверстий и металлические сетки горелок с течением времени засоряются пылью, заносимой сжатым воздухом, и забиваются смолой, заносимой водяным газом. Загрязненные отверстия могут давать криво направленные огни, которые вызывают трещины в обрабатываемых стеклянных изделиях. Признаком засорения и обгорания горелок служат изменение формы и необычная окраска пламени. Засорившиеся горелки следует прочищать тонкой стальной иглой, а обгоревшие заменять на новые.

#### г) ШЛАНГИ

Гибкие резинотканевые шланги или шланги из плотной газостойкой резины со стенками толщиной не менее 2 мм в металлической оплетке или без нее применяют для соединения смесителей с горелками.

Под действием собственного веса шланги деформируются и слеживаются. Для предохранения от порчи их обсыпают на резиновых заводах тальком и при длительном хранении время от времени перевертывают.

На рабочих установках шланги не кладут на пол. При необходимости их прикрепляют к установкам металлическими хомутами. Для работы со сжиженным газом пользуются специальными шлангами из бензостойкой резины.

Всякая резина при нагреве теряет эластичность, трескается и перестает быть герметичной. Поэтому резиновые шланги не допускается применять в местах с высокой температурой.

#### 4-7. МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Несмотря на то, что горючий газ в производстве ламп — привычный вид технологического топлива, работа с ним требует строгого соблюдения мер предосторожности. К работе с горю-

чим газом можно допускать только лиц, обученных правилам обращения с газом и сдавших экзамен на знание этих правил.

Газовые топлива ядовиты. Многие горючие газы и продукты их неполного сгорания содержат высокотоксичную окись углерода. Атмосферный воздух, загрязненный окисью углерода, не только вреден для здоровья, но и опасен для жизни. Окись углерода при вдыхании соединяется с гемоглобином крови, вследствие чего кровь теряет способность доставлять кислород тканям тела. Длительное воздействие небольших количеств окиси углерода вызывает хроническое отравление. Признаком такого отравления служит общее ослабление организма, вялость, заболевание нервной системы, ослабление памяти. Кратковременное воздействие больших количеств окиси углерода вызывает острое отравление. Начальными признаками такого отравления служит головная боль, слабость рук и ног, шум в ушах, головокружение, тошнота, рвота, учащенное сердцебиение, в тяжелых случаях — потеря сознания, отсутствие пульса, остановка дыхания. Природный и сжиженный газы отличаются полным отсутствием окиси углерода и поэтому менее опасны, чем искусственные газы. Вдыхание воздуха, содержащего природный или сжиженный газ, вызывает головокружение и в тяжелых случаях — удушье.

При остром отравлении или удушьи пострадавшего выводят на свежий воздух или в хорошо проветренное помещение, освобождают от стесняющей одежды и немедленно оповещают медицинский пункт. В зависимости от степени отравления ему дают нюхать нашатырный спирт или вдыхать кислород из кислородной подушки, не дают засыпать до прихода врача и в случае потери сознания и отсутствия пульса делают искусственное дыхание.

Продукты полного сгорания очищенных горючих газов не ядовиты, но большая концентрация их в сочетании с высокой температурой производственного помещения вызывает повышенную утомляемость, головные боли, общую слабость.

Газовые топлива взрывоопасны. Если поднести к замкнутому объему газовой смеси открытое пламя, искру или другой источник нагрева, произойдет взрыв, сопровождающийся почти мгновенным выделением значительного количества сильно сжатых нагретых продуктов горения. Последние, стремясь расшириться, создают высокое давление в месте взрыва и вызывают сотрясение среды, способное достигать в некоторых случаях очень большой разрушительной силы.

Газы, имеющие низкий нижний предел воспламенения и низкую температуру воспламенения, например, сжиженный газ, наиболее взрывоопасны при эксплуатации, так как незначительные утечки их, особенно в закрытых, плохо вентилируемых помещениях, уже могут образовать смесь взрывоопасной концентрации. Воспламенение такой смеси может произойти даже при

отсутствии открытого огня. Газы, имеющие высокий верхний предел воспламенения, например, водород и водяной газ, наиболее взрывоопасны при хранении, так как незначительный подсос воздуха в резервуары для хранения (газгольдеры) может образовать взрывоопасную смесь.

Основная причина отравлений и взрывов — утечки газа и опасные накопления его в атмосферном воздухе. Поэтому борьба с утечками — важнейшее требование к эксплуатации газовых устройств.

Перед пуском газа в новую газовую сеть и перед возобновлением подачи газа в сеть после длительных перерывов необходимо тщательно осмотреть газопроводы и газовую арматуру и испытать их на плотность.

С уменьшением удельного веса газа и увеличением его давления возрастает опасность утечек. Особое внимание требуется при работе с водяным газом, так как помимо того, что он ядовит более других горючих газов, он находится в сетях под более высоким рабочим давлением и содержащаяся в нем окись углерода, обладающая почти таким же удельным весом, как воздух, распространяется непосредственно у мест выделения. Наибольшую опасность представляют утечки газа из подземных газопроводов, так как газ, просачиваясь под землей, может проникнуть в места, где его появление будет неожиданным.

Легкие газы (водород, метан) при утечках из газопровода сначала скапливаются под потолком, а тяжелые газы (пропан, бутан) — над полом. С течением времени, благодаря диффузии и конвекции, газы перемешиваются, образуя в разных местах смесь одинаковой концентрации.

Следует избегать работать на ярко светящемся пламени желтого цвета, указывающем на неполное сгорание газа.

При обнаружении запаха газа нужно немедленно заявлять об этом наладчику или мастеру. Последние обязаны быстро реагировать на такие заявления и, приняв сначала меры к предупреждению несчастных случаев, быстро устранять утечку газа. Чем раньше обнаружены и устранены утечки, тем менее вероятны несчастные случаи. Если по шуму выходящего газа или по его запаху не обнаруживается место утечки, нужно проверить газопроводы и соединительную арматуру обмыливанием. Для этого кистью или тряпкой, смоченной в мыльной воде, проводят по резьбовым, сварным и резиновым соединениям, запорной арматуре и другим подозрительным местам. В месте утечки газ выдувает мыльные пузырьки. Отыскивать место утечки с применением открытого огня опасно и недопустимо, так как это может привести к взрыву.

Помещение, в котором обнаружен газ, нужно проветрить. Для этого открывают окна, фрамуги, двери. При наличии в помещении запаса газа следует погасить все газовые горелки

и запретить включать и выключать электроосвещение, вентиляторы и другие электроприборы.

✓ Зажигая горелки, нужно соблюдать следующую последовательность: 1) открыть общие запорные газовый и воздушный краны на подводных газовой и воздухопроводах; 2) зажечь переносный запальник (спичку или бумажный жгут) и поднести пламя к горелке; 3) медленно открыть регулировочный газовый вентиль и быстро зажечь газ, наблюдая за тем, чтобы он загорелся во всех выходных отверстиях горелок; 4) плавно открыть регулировочный вентиль сжатого воздуха; 5) отрегулировать подачу газа и воздуха до получения пламени требуемых размеров. При соблюдении такой последовательности газ зажигается без отрыва пламени с легким хлопком, а не со взрывом. Нельзя выпускать газ из горелки, пока к устью ее не поднесен зажженный запальник. Нужно следить, чтобы при зажигании горелок открывались соответствующие им краны. В момент зажигания следует находиться сбоку от горелок. Несоблюдение этих простых правил может вызвать вспышку с болезненными последствиями для работающих. Особенно нужно быть осторожным при зажигании горелок с большим числом выходных отверстий в замкнутом объеме, например, в печах откачных установок или в печах отжига стеклянных изделий. Зажигая такие горелки, нельзя близко стоять к отверстиям печей или заглядывать в них, так как вырвавшееся пламя может обжечь лицо. Если горелки расположены близко друг к другу, запальник допускается применять только при зажигании первой горелки; газ в последующих горелках загорается от пламени предыдущих.

Для того чтобы прекратить горение газа, нужно соблюдать обратную последовательность: 1) закрыть регулировочный воздушный вентиль; 2) закрыть регулировочный газовый вентиль; 3) закрыть общие запорные воздушный и газовый краны. Горелка считается погашенной не тогда, когда пламя прекращено, а когда плотно закрыт в нее доступ газа. Разумеется, никогда нельзя гасить горелки, дую на пламя.

При зажигании горелок, питаемых тройной смесью, следует открывать краны в последовательности: газ — воздух — кислород, а при гашении горелок соблюдать обратный порядок.

На машинах, оборудованных коллекторами, после окончания работы следует закрывать только общие запорные краны, а местные регулировочные вентили можно оставлять открытыми. Это допускается с той целью, чтобы перед началом работы не регулировать каждый огонь в отдельности.

Резиновые шланги должны быть плотно надеты на патрубки газовых подводок. Они не должны иметь перегибов, затрудняющих проход газа. Перегибы шланга после смесителя могут привести к проникновению сжатого воздуха в газовый трубопровод. На резиновые шланги в местах возможных перегибов должны быть надеты металлические спирали.

В случае внезапного выключения электрической энергии или прекращения поступления сжатого воздуха следует немедленно погасить газовые горелки во избежание неполного сгорания газа. Неполное сгорание распознают по цвету пламени и по резкому и неприятному запаху, свойственному промежуточным органическим соединениям, образующимся при горении углеводородов.

В производстве бывают случаи, когда на машинах без видимых причин неожиданно гаснут огни. «Убегание» газа наблюдается тогда, когда в газовую сеть проникает сжатый воздух. В таких случаях, если быстро не закрыть на погасших машинах запорные краны, газ «убежит» из большого участка сети. Сжатый воздух может легко распространяться в газовой сети, так как он движется в воздухопроводе под значительно большим давлением, чем газ в газопроводе. Попадание воздуха в газовую сеть представляет опасность, так как может вызвать проникновение пламени в трубопровод. Воздух попадает в газовую сеть, когда выход газозвушной смеси через горелки почему-либо закрыт, например, когда между смесителем и горелкой пережат резиновый шланг или когда засорены смесители или горелки. Для определения места проникновения сжатого воздуха в газовую сеть следует установить, в какой последовательности гасли огни на машинах. Неблагополучное место нужно искать на той машине, на которой раньше погасли огни, т. е. в направлении, противоположном направлению движения сжатого воздуха в газовой сети. После перерыва, вызванного проникновением воздуха в газовую сеть, следует продуть газопровод через шланг на улицу и возобновить работу лишь после проверки газа «на хлопок».

Нельзя допускать горение газа без надобности и оставлять работающие горелки без присмотра. В любое время подача газа в горелки может неожиданно прекратиться и спустя некоторое время без предупреждения возобновиться. Кроме того, пламя горелок может погаснуть от сквозняка или случайного движения воздуха в помещении. В таких случаях к рабочим местам может проникнуть газ со всеми вытекающими последствиями. Необходимо взять себе за правило при уходе из помещения и по окончании работы проверять выключены ли газ, вода и ток.

Обнаружить утечку «невидимого» газа проще всего по его характерному запаху. Однако рабочие, постоянно работающие вблизи горелок, привыкают к этому запаху и теряют способность судить о степени насыщенности помещения газом. Они могут не почувствовать небольших утечек и незаметно для себя отравиться.

Природный и сжиженный газы, не обладающие собственным достаточно сильным запахом, одоризуют. Одоризация заключается в подмешивании к газу безвредных летучих веществ

(одорантов), обладающих резким неприятным запахом. К таким веществам относится например, этилмеркаптан  $C_2H_5SH$ . Его вводят в газ в таком количестве, чтобы вызвать запах атмосферного воздуха при содержании в нем более 1% газа. Природный газ одоризуют перед подачей в магистральный газопровод, а сжиженный — перед погрузкой в цистерны. Придание газу предупредительного запаха облегчает своевременное обнаружение его в помещениях и ускоряет нахождение утечек.

На электроламповых заводах всегда эксплуатируется много газовых горелок, потребляющих кислород из помещения и выделяющих в помещение продукты горения. Некоторое количество газа просачивается через соединительную резину, дефекты сварных швов, сальниковое уплотнение вентиля и изношенные горелки. Продукты неполного сгорания, содержащие  $CO$ , выделяются из мягких огней горелок и огней, соприкасающихся своими внутренними зонами с холодными поверхностями, которые они обогревают. Наибольшая загазованность бывает в помещениях газгольдерной, газодувной и газорегуляторной, содержащих много газовой аппаратуры. Анализы воздуха в помещениях цехов всегда обнаруживают некоторое количество окиси углерода, поэтому советским трудовым законодательством установлен порядок, по которому всем работающим у газовых горелок предоставляется ежегодно дополнительный отпуск, компенсирующий вредное действие на организм окиси углерода. По санитарным нормам проектирования промышленных предприятий содержание  $CO$  в воздухе рабочей зоны производственных помещений не должно превышать  $0,03 \text{ мг/л}$ .

Производственные помещения электролампового завода должны быть достаточно высокими и просторными. Они должны быть оборудованы исправно действующей приточно-вытяжной вентиляцией, удаляющей загрязненный и нагнетающий чистый воздух. На участках, опасных по выделению газа, следует проводить периодический лабораторный контроль за содержанием в воздухе окиси углерода.

— 0



## ИЗГОТОВЛЕНИЕ СТЕКЛЯННЫХ ДЕТАЛЕЙ

### 5-1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Для изготовления электрических ламп накаливания применяют штучное и весовое стекло. К штучному относятся колбы, к весовому — сплошные и полые дроты. Из сплошных дров изготовливают штабики, а из полых — штенгели, тарелки и малогабаритные колбы (см. рис. 1-3, стр. 8).

К электроламповому стеклу предъявляют ряд общих требований:

1. Стекло должно быть бесцветным и прозрачным. Световой поток, излучаемый телом накала, должен проходить через колбу с наименьшими потерями в стенках. Так как приготовить совершенно прозрачное стекло практически невозможно, то допускают изготовление колб с незначительными цветовыми оттенками. Иногда применяют колбы из глушеного, матированного или цветного стекла, намеренно уменьшая в этих случаях светопропускание, но выгадывая на других свойствах лампы.

2. Стекло должно быть прочным. Оно должно обладать некоторой упругостью и способностью противостоять небольшим сотрясениям и ударам. Колбы многократно подвергаются механическим воздействиям при транспортировании внутри и вне завода, при обработке на технологических операциях и при эксплуатации ламп. Кроме того, на каждый квадратный сантиметр внешней поверхности вакуумных ламп постоянно действует сила около 1 кг (атмосферное давление), а на каждый квадратный сантиметр внутренней поверхности газонаполненных ламп — сила, равная разности между внутренним и внешним давлением. Колбы должны выдерживать эти воздействия, не разрушаясь.

3. Колба ламп должна быть герметичной и газонепроницаемой; она должна сохранять вакуум или давление наполняющего газа в течение всего срока службы. Она не должна быть источником загрязнения рабочего пространства лампы.

4. Стекло должно быть легкоплавким, т. е. обладать способностью размягчаться при сравнительно низкой температуре (около 550° С). Легкоплавкие стекла быстро варятся и легко

обрабатываются. Кроме того, легкоплавкие стекла требуют для обработки меньше горючего газа, чем тугоплавкие. Однако стекло не должно быть слишком легкоплавким, иначе колбы могут деформироваться при нагреве, сопровождающем откачку ламп. Желательно, чтобы стекло для ножек размягчалось при более низкой температуре, чем стекло для колб. Ножки при сборке ламп нагреваются через стенки колбы и слой воздуха между колбой и ножкой. Более низкая температура размягчения ножки по сравнению с колбой облегчает их сваривание. Для изготовления некоторых специальных ламп применяют более тугоплавкое стекло, размягчающееся при температуре около 580° С. Такое стекло позволяет изготавливать мощные лампы относительно малых размеров без риска размягчения и вспучивания стеклянных деталей.

5. Стекло должно иметь коэффициент теплового расширения в строго установленных пределах. Коэффициентом теплового расширения называют число, показывающее, на какую часть увеличивается единица длины или объема материала при нагреве на 1 град. Для прочной сварки одних стеклянных деталей с металлическими, необходимо, чтобы они имели близкие по значению коэффициенты расширения.

6. Стекло должно быть термически стойким. Оно должно выдерживать большие перепады температур при изготовлении ламп и высокую тепловую нагрузку при эксплуатации ламп. Детали из стекла под влиянием многократного нагрева и охлаждения не должны растрескиваться. Высокая термическая стойкость стекла в первую очередь необходима для мощных ламп, подверженных при эксплуатации сильным и внезапным тепловым ударам.

7. Стекло должно быть химически стойким. Оно должно переносить без потускнения воздействие окружающей среды, в особенности влаги. Поверхность стеклянных деталей должна легко очищаться и быстро обезгаживаться при нагреве. Хранение стекла на складах не должно вызывать уменьшения его прозрачности.

8. Стекло должно иметь при рабочей температуре лампы минимальную электропроводность. Оно должно электрически изолировать друг от друга близко размещенные металлические детали. Несоблюдение этого требования вызывает электролиз стекла и натекание воздуха в лампу.

9. Колбы и дроты для одного того же типа ламп должны быть постоянными по форме и размерам. Они не должны иметь пороков, ухудшающих внешний вид ламп. Форма колбы в зависимости от конструкции тела накала и назначения ламп может быть шарообразной, цилиндрической, параболической и иной (рис. 5-1). Чем меньше она отличается от формы шара, тем лучше лампа противостоит внешнему давлению. Колбы в любом

поперечном сечении не должны быть овальными или разностенными. Диаметр горла колб должен соответствовать типу применяемого цоколя. Между диаметром и толщиной стенок колб и трубок должны соблюдаться известные соотношения для обеспечения механической прочности ламп.

Трубки должны быть прямолинейными с круглым поперечным сечением и одинаковой толщиной стенок по всей длине

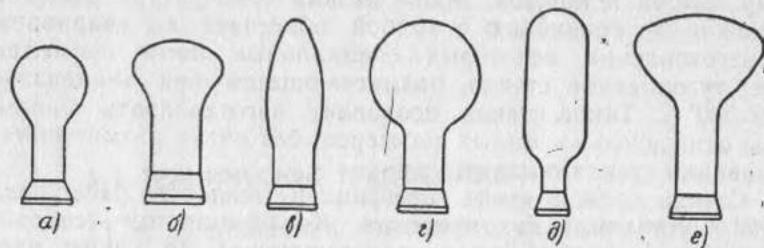


Рис. 5-1. Колбы для ламп накаливания.

а — каплеобразная; б — грибовидная; в — свечесобразная; г — шаровая; д — трубчатая; е — параболическая.

и в каждом поперечном сечении. Длина трубок должна быть не менее 1 м. При длинных трубках уменьшаются потери стекла и повышается производительность оборудования. Современные механизированные машины, предназначенные для обработки стекла, имеют точно установленные размеры своих рабочих и контрольных узлов и настраиваются на неизменный огневой режим, поэтому обработка стеклянных полуфабрикатов, размеры которых отклоняются от нормальных, вызывает брак. Однако стеклянные изделия не поддаются изготовлению с такой же точностью, как, например, металлические. Поэтому на каждый заданный номинальный размер устанавливают сравнительно большие допуски. Только из однородных по размерам стеклянных полуфабрикатов можно изготовлять лампы однородного качества.

## 5-2. СТЕКОЛЬНАЯ ШИХТА

### а) СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Стекло получают совместным сплавлением ряда сырьевых материалов, взятых в определенных весовых соотношениях. Однородную механическую смесь этих материалов, подготовленную для загрузки в стекловаренную печь, называют стекольной шихтой.

Состав шихты рассчитывают на основании заданного химического состава стекла. В табл. 5-1 приведено несколько рецептов шихты для варки электроламповых стекол.

Таблица 5-1

Состав шихты электроламповых стекол (в весовых частях)

Наименование материала и его химический состав	Удельный вес	Марка стекла			
		С89-1 (2)	С87-1 (3С-4)	С90-1 (БД-1)	С49-2 (3С-5К)
Песок $\text{SiO}_2$ . . . . .	2,65	100,0	100,0	100,0	100,0
Сода $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . . . . .	2,5	38,8	10,5	28,6	—
Поташ $\text{K}_2\text{CO}_3$ . . . . .	2,26	—	12,5	8,25	7,26
Сурик свинцовый $\text{Pb}_3\text{O}_4$ . . . . .	9,1	—	62,5	—	—
Сульфат $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . . . . .	2,7	—	—	3,0	—
Селитра калиевая $\text{KNO}_3$ . . . . .	2,11	3,0	21,66	—	6,34
Барит $\text{BaSO}_4$ . . . . .	4,5	4,3	—	—	—
Доломит $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ . . . . .	2,9	25,1	—	24,8	—
Витерит $\text{BaCO}_3$ . . . . .	4,4	—	—	9,6	—
Борная кислота $\text{H}_3\text{BO}_3$ . . . . .	1,43	—	—	—	31,50
Бура кристаллическая $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ . . . . .	1,73	—	—	—	25,62
Окись алюминия искусственная $\text{Al}_2\text{O}_3$ . . . . .	3,85	—	3,16	—	4,32

Главной составной частью шихты служит мелкозернистый кварцевый песок, которым в стекло вводят основной стеклообразующий окисел — кремнезем  $\text{SiO}_2$ . Для стекловарения наиболее подходит песок, содержащий 90—95% зерен размером 0,1—0,45 мм. Электроламповое стекло варят из песка с примесями глинозема не более 2% и окислов железа не более 0,2%. Песок, не отвечающий этим условиям, отмывают от глинистых примесей водой и освобождают от железосодержащих минералов электромагнитным сепаратором. Чистый стекольный песок имеет почти белый цвет. Загрязнения глиной придают ему желтый или серый оттенок, а загрязнения окислами железа — коричневый. При 1713°С кристаллический кремнезем плавится, превращаясь в стеклообразную массу — кварцевое стекло<sup>1</sup>. Такое стекло, приготовленное из природного кристаллического кварца, хотя и обладает некоторыми ценными свойствами, но очень вязко в расплавленном состоянии, сложно в обработке и очень дорого. Раньше оно не находило никакого применения в производстве ламп накаливания. В последнее время из него стали изготавливать лампы с йодным циклом.

Второй составной частью шихты служат вещества, с которыми в стекло вводят окись натрия. К таким веществам прежде всего относится кальцинированная (обезвоженная) сода  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , плавящаяся при 852°С. Она служит веществом, понижающим температуру размягчения стекла. Двухкомпонентное стекло, приготовленное из песка и соды, отличается низкой химической

<sup>1</sup> Температура начала размягчения кварцевого стекла 1200—1300°С.

стойкостью и хорошей растворимостью в воде.  $\text{Na}_2\text{O}$  повышает коэффициент расширения стекла.

Соду иногда частично заменяют другой щелочью, например поташом  $\text{K}_2\text{CO}_3$  (температура плавления  $897^\circ\text{C}$ ) или калиевой селитрой  $\text{KNO}_3$  (температура плавления  $336^\circ\text{C}$ ). Этими солями в стекло вводят окись калия, которая, как и окись натрия, понижает температуру размягчения стекла.  $\text{K}_2\text{O}$ , кроме того, улучшает цветовой оттенок стекла, придает ему блеск и при введении в небольшом количестве делает стекло химически более стойким, чем при введении одной окиси натрия.  $\text{K}_2\text{O}$ , как и  $\text{Na}_2\text{O}$ , повышает коэффициент расширения стекла.

По некоторым рецептам часть соды заменяют сульфатом натрия  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (обычно три части сульфата на 100 частей песка). При варке стекла сульфат разлагается и усиливает газообразование, способствуя лучшему осветлению стекла. Для быстрого и полного разложения сульфата его тщательно смешивают в отдельном смесителе с 6% тонко измельченного древесного угля или кокса, восстанавливающего при варке стекла сернистый ангидрид в сернистый газ.

Третьей составной частью шихты служат вещества, с которыми в стекло вводят окись кальция вместе с окисью магния, например, доломит  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ . Для варки электролампового стекла применяют доломит с постоянным соотношением  $\text{CaO}$  к  $\text{MgO}$ , равным около  $3/2$ , и содержанием примеси  $\text{Al}_2\text{O}_3$  не более 0,5% и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  не более 0,15%.  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$  придают стеклу химическую стойкость и механическую прочность.  $\text{MgO}$ , кроме того, понижает коэффициент расширения стекла и уменьшает склонность стекла к кристаллизации. Избыток  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$  становится вредным, так как стекло получается более тугоплавким.

По некоторым рецептам в шихту вводят окись свинца через свинцовый сурик  $\text{Pb}_3\text{O}_4$ . Окись свинца уменьшает электропроводность стекла при повышенных температурах и делает стекло блестящим, прозрачным и легкоплавким. Высокая стоимость и токсичность свинцового сурика заставили отказаться от применения свинцового стекла при изготовлении массовых типов ламп.

Из свинцового стекла изготавливают лишь ножки некоторых малогабаритных специальных ламп.

Заменителем  $\text{PbO}$  в бессвинцовых стеклах служит  $\text{BaO}$ , вводимая в шихту через углекислую соль бария или минерал барит  $\text{BaSO}_4$  или витерит  $\text{BaCO}_3$ . Окись бария в меньшей мере, чем окись свинца придает стеклу блеск и понижает его температуру размягчения.

Баритовое стекло химически более стойко, чем свинцовое. Барит с той же целью, что и сульфат натрия, перед введением в шихту смешивают с 6% размолотого древесного угля или кокса.

Для изготовления ламп, работающих в условиях тяжелого теплового режима, готовят специальное термостойкое стекло. Так, для ламп большой мощности в колбах относительно малых размеров и для ламп-фар готовят алюмоборосиликатное стекло по рецепту С49-2. Сокращение в этом рецепте щелочей, а также введение окиси бора (через борную кислоту или буру) уменьшает коэффициент расширения, повышает термическую стойкость и уменьшает электропроводность стекла. Летучесть окиси бора требует введения его в шихту на 15—20% больше расчетного. Применение борной кислоты значительно удорожает стекло.

Для получения цветного стекла в шихту вводят незначительное количество некоторых солей или окислов металлов, окрашивающих стекло в различные цвета. Так, для окраски стекла в красный цвет (лампы для фотопечати) в шихту вводят закись меди или селен, для окраски в синий цвет (железнодорожные лампы для спальных вагонов, медицинские лампы) — окись кобальта и окись меди, для окраски в желтый цвет (противотуманные автомобильные лампы) — сернистый кадмий. Для изготовления молочных (опаловых) колб вводят фтористые соли — криолит или плавиковый шпат. Окрашенное стекло, полученное введением в шихту красящих пигментов, носит название натурального цветного стекла.

Все щелочи и борная кислота легко впитывают атмосферную влагу, а в увлажненном состоянии слеживаются, образуя плотные комки. Для предупреждения загрязнения и намокания и для сохранения сыпучести их хранят в плотно закрывающихся бункерах.

## 6) СОСТАВЛЕНИЕ ШИХТЫ

Из всех поступающих на склад сырьевых материалов берут среднюю пробу, которую подвергают полному химическому анализу. По результатам анализа ежедневно корректируют состав шихты.

Все материалы перед составлением шихты подготавливают. Песок сушат во вращающихся сушильных барабанах при  $600^\circ\text{C}$ . Доломит и барит раздробляют в щековых дробилках на более мелкие куски, сушат в сушильных барабанах и измельчают в молотковых дробилках, шаровых мельницах или бегунах. Измельченные материалы просеивают на вибрационных ситах или ситах другого типа. Для просева песка, доломита и барита применяют сита со  $100 \text{ отв/см}^2$ , сульфата —  $64 \text{ отв/см}^2$ , соды, поташа, селитры и борной кислоты —  $36 \text{ отв/см}^2$ , свинцового сурика  $25 \text{ отв/см}^2$ . Просевом отделяют от шихты крупные зерна и неизмельченные частицы. Отсевы соды и поташа измельчают и снова просеивают.

Каждую составную часть шихты отвешивают на весах согласно заданному рецепту. Отвешенные количества перемешивают.

вают в смесителе с целью создания равномерной концентрации различных компонентов. Для предупреждения запыления воздуха и облегчения условий труда процессы обработки и транспортировки шихты механизмируют, а оборудование для приготовления шихты герметизируют.

От тщательности обработки, отвешивания и перемешивания материалов шихты зависят качество и однородность стекломассы. Чем тоньше измельчены компоненты, тем большей становится общая поверхность их зерен и тем быстрее сваривается стекломасса.

Содержание влаги в шихте должно быть не более 6%. Слишком сухая шихта плохо перемешивается, легко расслаивается и образует пыль. Чтобы шихта обладала постоянной влажностью, рекомендуется искусственно увлажнять пульверизатором заранее высушенный песок, и к увлажненному песку добавлять остальные сухие материалы. Щелочи лучше прилипают к увлажненному песку, чем к сухому.

Гранулометрических (зерновой) состав шихты должен быть однородным. Компоненты шихты должны быть тем тоньше измельчены, чем выше их удельный вес. Недостаточно измельченная шихта замедляет процесс стекловарения и служит источником образования в стекле пороков; слишком измельченная шихта при транспортировании и загрузке в печь сильно пылит.

Шихта должна иметь правильный и постоянный химический состав; она не должна содержать веществ, способных вызвать нежелательную окраску стекла; соотношение составных частей, взятых из произвольного места шихты, должно отвечать заданному рецепту, учитывающему потери на улетучивание при варке стекла. Однородность шихты не должна нарушаться при транспортировании. Шихту перед засыпкой в печь проверяют на однородность. Для этого ее анализируют на содержание растворимых в воде веществ (сода, сульфат, поташ, селитра, борная кислота, бура). В нескольких пробах, отобранных из одного отвеса шихты, содержание растворимых не должно давать разницы более 1,5%. Однородность шихты является одним из важнейших условий получения высококачественного стекла.

Кроме шихты, в состав для варки стекла вводят стеклянный бой из производственных отходов. Добавление боя, во-первых, обеспечивает его утилизацию, во-вторых, сокращает расход дорогостоящих шихтных материалов, в-третьих, дает экономию топлива, так как тепло, необходимое для образования стекла, на него уже было затрачено, в-четвертых, сокращает продолжительность варки стекломассы, так как бой плавится быстрее и чище, и, наконец, в-пятых, уменьшает разъедание шихтой стенок бассейна, в котором варится стекло. Содержание обратного боя в зависимости от его наличия может составлять от 40 до 70% веса шихты. Введение большего количества боя не рекомендуется, так как стекло от этого претерпевает неблагоприят-

ные структурные изменения и становится «сухим», т. е. лишенным части растворенных газов, что вызывает иногда некоторое уменьшение прочности стеклянных изделий. Принятое соотношение шихты и боя должно быть постоянным. Бой должен быть чистым, свободным от всяких, особенно металлических и огнеупорных загрязнений, и соответствовать по химическому составу шихте, к которой он добавляется. Загрязненный бой промывают в моечных барабанах. Крупные куски боя дробят в молотковых или вальцовых дробилках до кусков размером не более 3×3 см. Бой загружают в печь одновременно с шихтой или перемешивают с шихтой перед загрузкой в печь. Перемешивание уменьшает расслоение шихты, благоприятно влияет на провар стекломассы и облегчает работу загрузчиков шихты.

На современных стекловаренных заводах составной цех территориально размещают между складом хранения сырьевых материалов и стекловаренными печами. Обработанные сырьевые материалы и дробленый бой доставляют пневматическими или механическими транспортерами в бункера хранения. Из бункеров их отвешивают автоматическими весами на конвейерную ленту, транспортирующую их в смесители. От места смешения готовую шихту доставляют к стекловаренным печам в коштейнерах по подвесному однорельсовому пути (монорельсу) или другим способом.

### 5-3. ВАРКА СТЕКЛА

#### а) ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Варкой стекла называют процесс превращения стекловаренной шихты в чистую однородную стекломассу.

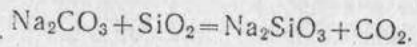
Стекловаренные печи строят периодического и непрерывного действия. К первым принадлежат горшковые и ваннные печи, а ко вторым только ваннные. Горшковые и периодические ваннные печи применяют для варки стекломассы при малом объеме производства, например для изготовления колб из натурального цветного стекла. Непрерывные ваннные печи применяют для варки стекломассы при большом объеме производства, например для выработки колб и дров массового применения. Горшковые печи работают периодически: вечером в несколько приемов загружают шихту и бой, ночью варят стекломассу, а днем выработывают изделия. Непрерывные ваннные печи работают круглосуточно: днем, вечером и ночью одновременно загружают шихту, варят стекломассу и выработывают изделия. Стеклomассу из горшковых печей применяют для выработки изделий только ручным способом, а из ваннных — преимущественно механизированным.

Стекловаренные печи состоят из: 1) рабочего пространства, в котором протекает варка, 2) устройств для подачи газооб-

разного или жидкого топлива и удаления отходящих газов и 3) устройств для использования тепла отходящих газов. Печи различают по размерам, форме, системе отопления и роду применяемого топлива. На заводах, вырабатывающих электроламповое стекло, применяют только пламенные печи, обогреваемые газом или жидким топливом.

Варка стекла состоит из четырех этапов: 1) образования силикатов; 2) образования стекломассы; 3) очистки (осветления) стекломассы и 4) охлаждения стекломассы до температуры выработки. Такое деление весьма условно, так как указанные этапы накладываются друг на друга и не имеют между собой строгого разграничения.

Шихту загружают в печь небольшими кучами, чтобы она не заглоблялась под своей тяжестью в стекломассу, а сваривалась на ее поверхности. Загруженная шихта некоторое время остается в печи в виде сыпучей массы. Сначала она подсушивается, затем ее компоненты под влиянием быстрого нагрева растрескиваются и постепенно вступают в химическое взаимодействие. При 600—800°С начинаются реакции образования силикатов, например



Содержащаяся в шихте влага создает вокруг зерен шихты атмосферу водяного пара, благоприятно влияющую на реакции силикатообразования; влага обволакивает зерна песка, хорошо растворяет щелочи и ускоряет взаимодействие между щелочами и песком. Силикатообразование сопровождается обильным выделением паров воды и газообразных окислов  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  и  $\text{NO}_2$ , которые образуются при разложении шихты и не участвуют в образовании стекла. Пары воды и газы вместе с продуктами горения топлива удаляются через дымоход в дымовую трубу. При 800—900°С шихта постепенно превращается в спекшуюся массу, состоящую из кремнезема и силикатов натрия, калия, кальция, магния и др.

По мере дальнейшего нагрева спекшаяся масса начинает плавиться и покрывается пеной.

Силикаты и кремнезем, продолжая взаимодействовать между собой, растворяются друг в друге и образуют массу, которую называют стеклом. При 1200°С стекло становится прозрачным, но неоднородным по составу и пронизанным большим количеством пузырьков различных газов. С уменьшением величины зерен песка длительность силикато- и стеклообразования сокращается.

При дальнейшем нагреве стекломасса раскаляется до ослепительно белого накала и совершенно разжижается. Содержащиеся в ней газовые пузырьки всплывают на поверхность,

вызывая энергичное перемешивание слоев. Чем жиже стекломасса, тем полнее из нее выделяются газы и тем лучше она «осветляется». Температуру стекломассы в зоне осветления поддерживают максимально высокой, насколько это допускает огнеупорный материал печи (1400—1450°С). При такой температуре разнородные части стекломассы проникают (диффундируют) друг в друга, хорошо перемешиваются восходящими газовыми пузырями и постепенно превращаются в химически однородный расплав. Небольшое количество газов, как бы высока ни была температура в печи, не всплывает на поверхность стекломассы и остается в стекле в виде невидимых включений.

В последней стадии стекловарения «осветленную» стекломассу остужают до 1100—1200°С. При этом она загустевает до такого состояния, какое требуется для выработки изделий.

Высокое качество стекломассы и бесперебойная выработка из нее изделий достигаются лишь при соблюдении на всех стадиях стекловарения заданного теплового режима и контроля за его постоянством. Температуру в отдельных зонах печи измеряют оптическим пирометром или платина-платинородиевыми термопарами, помещенными за защитные огнеупорные чехлы. Наряду с температурой контролируют давление газов над стекломассой, тягу перед шибером на дымовую трубу, температуру и состав дымовых газов. Современные стекловаренные печи оснащают аппаратурой и устройствами, автоматически контролирующими и регулируемыми технологический режим печи.

#### 6) ВАРКА В ГОРШКОВЫХ ПЕЧАХ

На рис. 5-2 показана в вертикальном разрезе круглая многогоршковая стекловаренная печь с регенераторами, служащими для подогрева горючего газа и воздуха. На боковой поверхности печи на равном расстоянии друг от друга проделаны окна для засыпки шихты и забора стекломассы. Против окон в рабочем пространстве печи установлены открытые горшки, изготовленные пневматическим трамбованием полусухой порошкообразной смеси огнеупорной глины и шамота. Горшки имеют круглое поперечное сечение и вмещают по 200—1000 кг стекломассы.

Для лучшего осветления стекломассы производят бурление, заключающееся в погружении в расплавленное стекло чурки из влажной древесины и перемешивании стекломассы выделяющимися пузырьками пара.

К приходу на работу рабочих-выдувальщиков температуру в печи понижают. Стеклomасса становится в требуемой степени вязкой и годной для выработки изделий. Перед началом работы верхний загрязненный тонкий слой стекломассы (хальмоз) снимают.

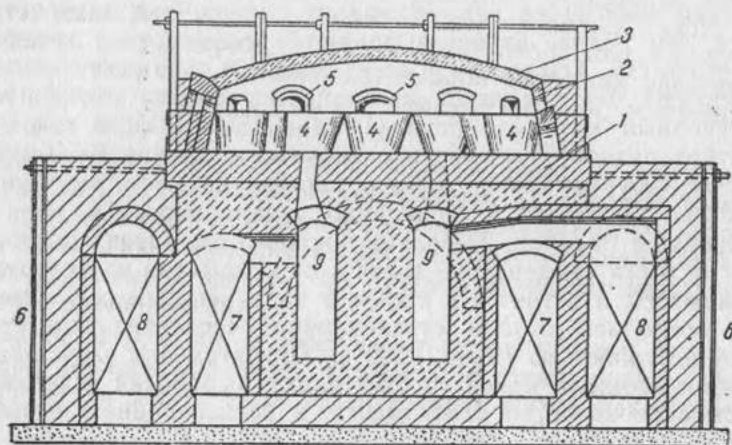


Рис. 5-2. Горшковая стекловаренная печь.  
1 — под; 2 — боковые стены; 3 — свод; 4 — горшки; 5 — рабочие окна; 6 — регенератор; 7, 8 — камеры с кирпичной насадкой; 9 — камеры смешения газа с воздухом.

#### в) ВАРКА В ВАННЫХ ПЕЧАХ

Пламенная ванная печь непрерывного действия представляет собой большой бассейн, выложенный впритирку из крупных огнеупорных брусьев без применения какого-либо раствора. Дно и нижнюю часть стен бассейна выкладывают на каркасе из двутавровых балок, покоящихся на кирпичных колоннах, а верхнюю часть стен и свод подвешивают над бассейном на металлических колоннах (стойках). Всю печь обвязывают полосовым железом и упрочняют связями, стягивающими колонны.

Бассейн печи состоит из двух частей: варочной и выработочной. Обе части разделены между собой пережимом и сообщаются закрытым каналом-протоком, выложенным на уровне дна печи. На стороне варочной части устроен загрузочный «карман», через который в печь засыпается шихта и бой. На стороне выработочной части устроены рабочие окна или каналы для питания стеклоформирующих машин расплавленной стекломассой. Варочная часть оснащена одной или несколькими парами огнеупорных газогорелочных устройств, попеременно подводящих горючее и воздух в печь и отводящих продукты горения в дымоход. Наклон этих устройств позволяет направлять горящую струю топлива на поверхность стекломассы.

Печи отапливают генераторным газом, природным газом или жидким топливом. При отоплении высококалорийным топливом (природным газом или мазутом) к влетам горелок прокладывают газо- или мазутопроводы, заканчивающиеся соответ-

венно газовой трубкой или нефтяной форсункой. Мазут нагревают паром до 70—75° С. Для распыления мазута к форсункам подводят воздух под давлением 4—4,5 ат. Тепло, излучаемое пламенем, воспринимается поверхностью стекломассы и передается конвекцией и теплопроводностью ее глубинным слоям. Теплопередача от факела к стекломассе увеличивается с повы-

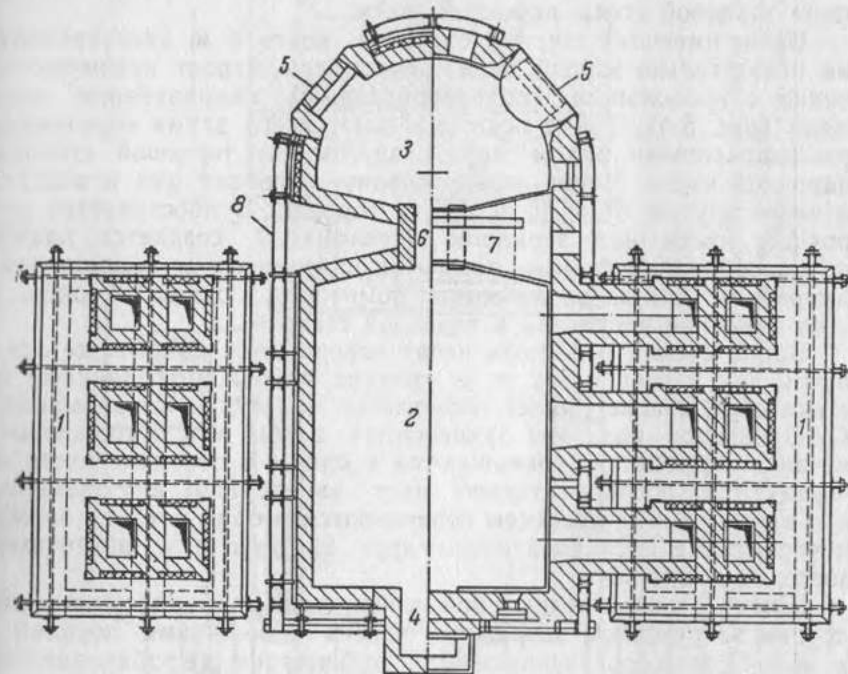


Рис. 5-3. Ванная печь с поперечным ходом пламени для механизированной выработки колб.

1 — регенераторы для подогрева воздуха и газа; 2 — варочный бассейн; 3 — выработочный бассейн; 4 — загрузочный карман; 5 — рабочие окна; 6 — проток; 7 — край; 8 — обвязка.

шением лучеиспускания (светимости) факела. При эксплуатации печи намеренно уменьшают скорость истечения газа и ухудшают смешивание газа с воздухом, чтобы замедлить горение газа, удлинить факел пламени и создать условия для разложения газа с выделением сажи, повышающей светимость факела.

Печи, имеющие ширину бассейна более 4 м и длину более 7 м, рассчитанные на относительно большой сьем стекломассы, строят с поперечным направлением пламени (рис. 5-3). Такие печи снабжают несколькими парами горелок, расположенными друг против друга в обеих боковых подвесных стенах бассейна. Регулировкой количества топлива, подводимого через горелки,

создают требуемый температурный режим в различных зонах печи. Через один ряд горелок подводят газ и воздух, а через другой отводят продукты горения. Пространство варочной части пересекается над зеркалом стекломассы несколькими поперечными огнями, разогревающими шихту или стекломассу. Устройство для загрузки шихты, как правило, помещают в середине торцовой стены варочной части.

Печи, имеющие ширину бассейна менее 5 м, рассчитанные на относительно малый съем стекломассы, строят преимущественно с продольным (подковообразным) направлением пламени (рис. 5-4). Такие печи снабжают всего двумя горелками, расположенными рядом друг с другом на торцовой стороне варочной части. Через одну горелку подводят газ и воздух, а через другую отводят продукты горения. В пространстве варочной части над зеркалом стекломассы создается пламя подковообразной формы, разогревающее шихту и стекломассу. Устройство для загрузки шихты помещают в одной из боковых стен варочной части или в торцовой стене.

Варка стекла в ваннах печах совершается такими же этапами, как в горшковых, т. е. сначала происходит силикато- и стеклообразование, далее осветление и студка стекломассы. Существенное различие заключается в том, что в горшковых печах эти процессы совершаются в одном и том же месте и чередуются последовательно друг за другом во времени, а в ваннах — эти процессы совершаются в одно и то же время и чередуются последовательно друг за другом в различных зонах по длине печи.

Шихту и измельченный бой гребенчатым, вибрационным или другим загрузчиком загружают в печь небольшими порциями в количествах, согласованных с количеством вырабатываемой стекломассы так, чтобы уровень зеркала стекломассы оставался постоянным. Работу загрузчика связывают с пневматическим, поплавковым или электроконтактным уровнемером. С получением от уровнемера через соответствующие приборы импульса, загрузчик включается и проталкивает шихту в загрузочный карман.

При варке стекла рецептов С89-1 и С90-1 температуру в зоне осветления поддерживают 1420—1450°С или немного выше, а в зоне студки 1150—1200°С. Перепад температуры между этими зонами осуществляют установленным над протоком решетчатым экраном и самим протоком, пропускающим в выработочную часть нижние более холодные слои стекла. Экран выкладывают из dinasового кирпича со свободными промежутками между отдельными кирпичами. Температуру в выработочной части регулируют высотой экрана и размерами свободных промежутков, через которые пламенные газы проникают из варочной части в выработочную. Для выдувания, мелких изделий требуется более горячая стекломасса, чем для выдувания крупных, и поэтому экран выкладывают более низкий.

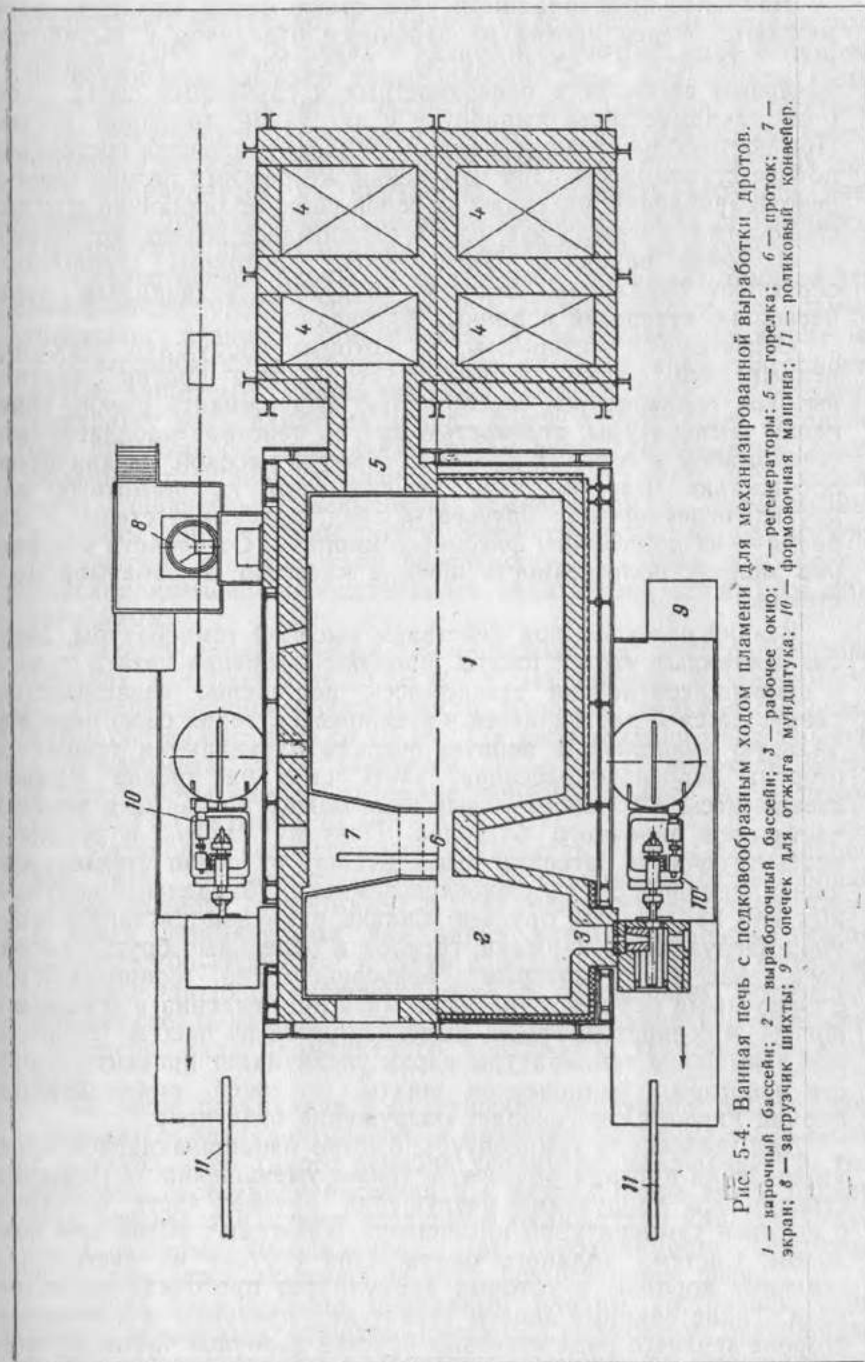


Рис. 5-4. Ванная печь с подковообразным ходом пламени для механизированной выработки дровтов.

1 — варочный бассейн; 2 — выработочный бассейн; 3 — рабочее окно; 4 — регенераторы; 5 — горелка; 6 — проток; 7 — экран; 8 — загрузчик шихты; 9 — опечек для отжига мушкетука; 10 — формовочная машина; 11 — роликковый конвейер.

Наиболее проварившиеся слои стекломассы медленно перемещаются через проток из варочного отделения в выработочное. Движение стекломассы побуждается неодинаковым удельным весом ее в поверхностных и глубинных слоях, отбором стекломассы на выработку и загрузкой холодной шихты. При постоянном технологическом режиме создаются постоянные потоки стекломассы. При изменении же режима потоки меняют свое направление, увлекают за собой слои, обладающие другими свойствами, в результате чего в стекломассе возникают пороки.

В конце варочной части (перед протоком) стекломассу освещают бурлением сжатым воздухом, подводимым через несколько отверстий в донных брусках.

Огнеупорные материалы, из которых сооружают стекловаренные печи, должны обладать стойкостью против действия высокой температуры, способностью выдерживать резкие изменения температуры, стойкостью против действия расплавленной стекломассы и горячих дымовых газов и высокой механической прочностью. Бассейн печи выкладывают из шамотных или других огнеупорных брусков, а свод, подвесные стены и горелки — из dinasового фасонного кирпича. От свойств огнеупоров зависят долговечность печи и качество вырабатываемого стекла.

Всякий огнеупор под действием высокой температуры, летучих составных частей шихты, продуктов горения газа и трения о движущиеся потоки стекломассы постепенно изнашивается, разрушается и растворяется в стекломассе, теряя свою первоначальную толщину. В первую очередь разъедаются проток со стороны варочного бассейна, часть стен на уровне зеркала стекломассы и горизонтальные швы между брусками в верхней части стен варочного бассейна. Поэтому проток и верхнюю часть варочного бассейна выкладывают из особо стеклоустойчивых малопористых высокоглиноземистых бадделенто-корундовых или каолиновых брусков. Сильно разъедаются также огнеупор загрузочного кармана, горелок и отдельные бруска варочного бассейна, которые непосредственно соприкасаются с щелочными парами, образующимися при пылении и испарении шихты, и сернистым газом, выделяющимся из шихты. Чрезмерное повышение температуры варки увеличивает процент летучести некоторых компонентов шихты (щелочей, окиси свинца, борной кислоты) и ускоряет разрушение огнеупора.

Для понижения температуры быстро изнашивающихся мест, уменьшения прогара брусков, а также уменьшения загрязнения стекломассы продуктами разрушения брусков части бассейна с высокой температурой интенсивно охлаждают водой или воздухом. Система водяного охлаждения состоит из пустотелых стальных коробок, в которых циркулирует проточная холодная вода. Такие водяные завесы ставят над протоком и к внешней стороне верхнего ряда стеновых брусков варочной части. Проток

охлаждают постоянно, а стеновой брус после уменьшения толщины до 100 мм. В печах с ручной выработкой колб водяными завесами обкладывают также рабочие окна для защиты выдувальщиков от теплового излучения печи. Система искусственного воздушного охлаждения состоит из центробежного вентилятора и воздухоотводов со щелевыми соплами. Холодный воздух направляется на наружную поверхность верхнего ряда стеновых брусков несколько ниже уровня зеркала стекломассы. Проток тоже иногда охлаждают воздухом, а не водой.

Искусственное наружное охлаждение понижает температуру поверхности бруска, обращенной к стекломассе, и тем самым повышает вязкость стекломассы и замедляет движение ее в пристенном слое. Образующийся на внутренней поверхности бруска защитный малоподвижный вязкий слой стекломассы замедляет разъедание материала бруска и уменьшает загрязнение стекломассы продуктами разъедания. Применение бруска большой толщины позволяет сохранять на внешней стороне печи сравнительно невысокую температуру. С уменьшением толщины бруска повышается эффективность искусственного охлаждения его наружной поверхности. В случае покраснения бруска применение искусственного охлаждения становится обязательным.

Емкость ванн печей, применяемых на электроламповых заводах, колеблется от 20 до 150 т стекломассы. В зависимости от требуемой производительности площадь зеркала варочной части составляет от 6 до 40 м<sup>2</sup>. Для работы одного колбовыводного автомата ВК24 требуется около 10 м<sup>2</sup> варочной части, а для работы одного автомата горизонтального вытягивания трубок ГВТ — около 12 м<sup>2</sup>.

Основной технологический показатель работы стекловаренной печи, характеризующий ее производительность, определяется съемом стекломассы с 1 м<sup>2</sup> площади варочной части. В печах, применяемых для варки электролампового стекла, снимают 700—800 кг/м<sup>2</sup> в сутки и более. При одной и той же величине площади варочной части и неизменном химическом составе стекла удельный съем стекломассы зависит от стойкости огнеупора, вида применяемого топлива и теплового режима печи.

По мере разъедания и разрушения огнеупора работа печи становится затруднительной, а качество стекломассы низким. С наступлением такого периода усиливают наблюдение за техническим состоянием бассейна и в местах покраснения отдельных брусков усиливают воздушное охлаждение или устанавливают водяные холодильники. При необходимости некоторые виды ремонта выполняют на ходу, без остановки печи.

Когда брак изделий, вызванный плохим состоянием огнеупора, становится слишком высоким, выработку прекращают и печь останавливают на холодный ремонт. Из печи спускают



стекломассу, ускоренно охлаждают кладку, после чего меняют весь изношенный огнеупор. После окончания холодного ремонта медленно и постепенно поднимают температуру до рабочей или, как говорят, «выводят» печь. При выводке тщательно наблюдают за тепловым расширением огнеупора, особенно динасового свода, возмещая изменения его размеров и формы своевременным ослаблением металлических связей. Особенно внимательно следят за сводом в периоды критических температур (117, 230 и 575°С), когда происходит максимальное расширение динаса. После окончания выводки наваривают печь сначала одним боем для «остекления» брусьев и предохранения их стыков от разъедания шихтой, а затем на «постель» из боя засыпают шихту, перемешанную с боем.

Непрерывная работа печи в межремонтный период в зависимости от состава шихты, качества огнеупоров и условий эксплуатации может длиться от 12 до 30 мес. Увеличение межремонтного срока эксплуатации повышает рентабельность печи. Для холодного ремонта требуется 20—30 суток и для выводки 7—10 суток.

#### г) ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛА ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ

Отношение количества полезно затраченного тепла на варку стекломассы к фактически израсходованному теплу, заключенному в газе, носит название коэффициента полезного действия печи. Для повышения к. п. д. путем использования тепла отходящих дымовых газов на предварительный подогрев поступающих в печь наружного воздуха и горючего газа строят под горелками особые нагревательные устройства, называемые регенераторами. Применение их позволяет экономить топливо, пользоваться для отопления печей низкокалорийным топливом, поднимать температуру печи выше 1400°С и увеличивать производительность печи.

При варке электролампового стекла в регенеративных ваннах печах требуется 80 000—100 000 ккал на 1 м<sup>2</sup> отапливаемой поверхности или около 4 000 ккал тепла на 1 кг сваренной стекломассы. Из этих значений исходят при выборе рода топлива, установлении норм его расхода, а также при расчете конструктивных элементов печи.

Коэффициент полезного действия стекловаренных печей очень низок и составляет для непрерывных ванн печей с регенераторами 10—30%. Основное количество тепла у них теряется через ограждающие поверхности печи (более 40%) и с дымовыми газами (более 20%).

Регенераторы представляют собой камеры объемом 1,5—1,8 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> площади зеркала варочной части. В печах с поперечным ходом пламени эти камеры выкладывают вдоль

обеих продольных стен варочной части, а в печах с подковообразным ходом пламени — перед торцевой стеной варочной части.

Камеры снизу выложены шамотным, а сверху динасовым кирпичом и заполнены решетчатой кладкой (насадкой) из шамотного кирпича. Насадку выкладывают с таким расчетом, чтобы поверхность ее нагрева составляла приблизительно 25—30 м<sup>2</sup> на каждый квадратный метр площади зеркала варочной части. Она образует большое число поперечных и продольных каналов для движения газов и служит для увеличения поверхности, поглощающей тепло отходящих из печи газов.

Стекловаренные печи, отапливаемые низкокалорийным газом (воздушным или смешанным), сооружают с двумя парами регенераторов: одной для подогрева газа и другой для подогрева воздуха. Горячие продукты горения при 1300—1400°С поступают из печи в две камеры (одну газовую и одну воздушную). Там они отдают часть своего тепла кирпичной насадке и охлажденные до 300—500°С удаляются через дымоход в дымовую трубу. Одновременно газ из газогенератора и поступающий естественной тягой холодный атмосферный воздух проходят раздельно через две другие камеры (соответственно одну газовую и одну воздушную), нагреваются в них до 900—1000°С за счет тепла, аккумулированного насадкой, и оттуда проходят к горелкам печи. Когда насадка в первых двух камерах достаточно нагреется, а в двух других остынет, меняют направление движения газов; в насадку, через которую проходили газ и воздух, пропускают отходящие газы, а в насадку, через которую проходили отходящие газы, пропускают газ и воздух. При правильном соблюдении теплового режима печи средняя температура насадки на половине ее высоты составляет 700—800°С. Для периодического изменения направления потока газа, воздуха и отходящих газов устанавливают клапаны или шиберы, переводом которых производят соответствующее переключение через каждые 20—30 мин.

Стекловаренные печи на жидком топливе (мазуте) и на газообразном высококалорийном безбалластном топливе (природном газе) строят с регенераторами, предназначенными только для подогрева воздуха. В таких печах предварительный подогрев газа экономически себя не оправдывает потому, что относительно малый объем газа вносит в печь мало физического тепла.

Стабильность теплового режима регенераторов поддерживают соблюдением постоянства количества поступающего в печь газа и воздуха и тяги дымовой трубы. Разрежение в канале, идущем на дымовую трубу, создают такое (10—16 мм вод. ст.), чтобы в печном пространстве поддерживалось слабо положительное давление без выбивания дымовых газов через рабочие окна и швы в кладке и без подсосывания в печь холодного воз-

духа. При правильной работе регенераторов температура отходящих газов у шиберы дымовой трубы составляет примерно 250° С.

Одновременно с холодным ремонтом печи производят холодный ремонт регенераторов; при ремонте меняют обгоревшую засорившуюся и обвалившуюся насадку на новую. Выводку печи после холодного ремонта начинают с разогрева регенераторов. Для этого под насадками сжигают дрова или другое топливо, постепенно подымая температуру до 700° С. Дальнейший подъем температуры производят газом через горелки.

Регенеративные ванные печи имеют существенный недостаток, заключающийся в невозможности соблюдения в них строго стабильного теплового режима. Во время переводов направления пламени горелки отключаются, и печь в течение 1—2 мин остывает, а когда горелки включаются, температура в печи резко повышается. При длинных периодах между изменением направления пламени подогрев газа и воздуха в регенераторах становится недостаточным и температура в печи понижается; при коротких периодах — продукты горения газа уносят в дымоход много тепла, и температура в печи тоже понижается. На тепловой режим печи отрицательно влияет шихтная пыль, заносимая в регенераторы вместе с отходящими газами. Эта пыль разрушает и оплавляет материал насадки и образует стеклообразную массу, которая заполняет каналы в насадке и постепенно стекает в нижнюю часть регенераторов, создавая там непроходимые пробки для газов.

На отечественных электроламповых заводах в последние годы стали строить так называемые печи прямого нагрева, отапливаемые высококалорийным (природным) газом. Вместо регенераторов такие печи имеют металлический рекуператор, состоящий из внутренней и наружной толстостенных стальных труб. Воздух под давлением 350 мм рт. ст. проходит по наружной трубе и нагревается в ней до 400—450° С теплом отходящих газов, выносимых из печи по внутренней трубе. Отходящие газы отводятся в дымовую трубу, а воздух под давлением 150 мм вод. ст. проходит по двум трубам диаметром 300 мм, проложенным над сводом с правой и левой сторон печи, и далее к 12 горелкам беспламенного горения, расположенным по 6 шт. на каждой стороне варочной части.

Печь прямого нагрева не нуждается в переводных устройствах. Она позволяет выдерживать стабильный температурный и газовый режимы в варочном и выработочном бассейнах.

Отсутствие вредного влияния шихтной пыли на верхний ряд брусев позволяет повышать температуру в варочном бассейне. Это в свою очередь дает возможность строить печи с меньшими размерами площади и глубины бассейнов и поднять съем стекломассы до 1 100—1 200 кг с 1 м<sup>2</sup> варочной части.

#### д) ПОРОКИ СТЕКЛА

К самым распространенным видам пороков стекла относятся камень, свиль и пузырь. Камнем называют твердые кристаллические включения, оставшиеся в стекле в процессе варки и не растворившиеся в стекломассе. Свилью называют стеклообразные неоднородности в стекле и более или менее резкие стекловидные прозрачные нити и полосы, беспорядочно распределенные по изделию. Пузырем называют заполненные газом видимые полости внутри стекла.

К общим мерам предупреждения этих пороков относятся наблюдение за однородностью шихты, соблюдение постоянства теплового режима печи, обеспечение постоянства уровня зеркала стекломассы и применение доброкачественного огнеупора.

Пороки получаются тем крупнее, чем ближе они возникают к выработочным окнам. Для выявления участка, зараженного пороками, отбирают стеклодувной трубкой пробу стекломассы из различных мест печи. В раздутом из пробы тонкостенном пузыре пороки становятся хорошо заметными.

Шамотный камень образуется от попавших в стекломассу крупных зерен шамота, особенно когда материал брусев или горшков недостаточно огнеупорен, порист, непрочен, неустойчив против действия щелочей или изношен длительной эксплуатацией. Благоприятными условиями для разъедания и выкрашивания шамота служат большое содержание щелочей и свинцового сурьки в шихте, чрезмерно высокая температура (малая вязкость) стекломассы, колебания уровня стекломассы в бассейне печи и резкие колебания температуры при выводке печи. Шамот имеет коэффициент теплового расширения  $52 \cdot 10^{-7}$ , т. е. меньший, чем стекло. Поэтому при охлаждении стекла вокруг шамотного камня возникают напряжения, которые невозможно снять никаким отжигом. Чем тоньше изделие, тем опаснее камень. Крупный шамотный камень дает трещину сразу после выдувания изделия. Камень шамотного происхождения может быть устранен применением высококачественного плотного стеклоустойчивого огнеупора, применением брусев больших размеров, позволяющих вести кладку с малой протяженностью швов, воздушным обдуванием стен бассейна на уровне зеркала стекломассы, снижением температуры варки стекломассы, повышением дозировки боя и применением некоторых мер, позволяющих шихте при загрузке в печь не распыляться и не касаться стенок огнеупора (например, увлажнением и брикетированием шихты). Шамотный камень всегда всплывает на поверхность стекломассы, поэтому одним из способов его устранения служит хальмирование стекла.

Шихтный (материальный) камень образуется от нерасплавившихся и не перешедших в стекло отдельных круп-

нок песка, барита и других тугоплавких компонентов шихты. Такой камень может образоваться при недостаточном измельчении и плохом просеивании материалов шихты, например, когда сита слишком крупные или дырявые. Шихтный камень может также получаться, если шихта плохо перемешана, расслоена или образует комя. Шихтный камень часто образуется при заниженной температуре в зоне варки и большом стекломасе; в этих условиях стекломасса перемещается из варочного отделения в выработочное, не успевая достаточно провариться. В отличие от шамотного камня шихтный камень обычно не вызывает растрескивания стекла. Камень шихтного происхождения может быть устранен применением тонкоизмельченного песка, повышением температуры варки, уменьшением стекломасе, тщательным контролем за соблюдением технологии приготовления шихты и за загрузкой ее в печь.

Камень бывает непрозрачным и прозрачным. Непрозрачный получается в том случае, когда он попадает в изделие после кратковременного пребывания в стекломасе и не успевает в ней раствориться, а прозрачный — когда он попадает в изделие после продолжительного пребывания в стекломасе и успевает частично в ней раствориться. Совершенно остеклованный прозрачный камень носит название штира.

Свиль имеет другой химический состав, чем основная масса стекла. В готовых изделиях свиль резко выделяется на общем фоне разницей в преломлении света и искажает форму предметов, на которые смотрят через стекло. Попавшая в набор свиль может при выдувании растянуться в виде прожилок по всему изделию. Свиль часто берет свое начало от прозрачного шамотного камня и тянется от него в виде более или менее длинных усов. Свиль получается при низкой температуре в стадии осветления. Она может также получаться при неточном отвешивании материалов шихты и применении «чужого» боя при варке стекла. Кроме того, свиль, как и камень, получается в результате расслаивания или плохого перемешивания шихты, недостаточного проваривания стекломасе в печи, плохого качества огнеупора и действия на огнеупор паров щелочей и свинцового сурика. Щелочи и сурик, соединяясь в варочной части с глиноземом шамота и кремнеземом динаса, образуют стеклообразные соединения, неравномерно растворяющиеся в стекломасе. В случае снижения уровня зеркала стекломасе с оголяемых участков стен варочного бассейна стекают слои стекломасе, отличающиеся по составу от общей массы стекла и порождающие свиль. Значительные свилистые прослойки часто вызываются разъемом огнеупора в выработочной части печи. При варке стекла С49-2 поверхностный слой стекломасе вследствие улетучивания борного ангидрида и щелочных окислов обогащается кремнеземом, что приводит к образованию свили и штира в большем количестве, чем на других стеклах.

Пузырь получается главным образом при плохом проваривании шихты и разъедании огнеупора расплавленной стекломасой. В стекломасу попадает заключенный между зернами шихты воздух и адсорбированные шихтой пары воды. Кроме того, в стекломасе собираются газообразные продукты реакции —  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  и др. Наконец, в стекломасу попадают газы, освобожденные огнеупором при его разъедании в процессе варки. Все эти пары и газы всплывают в виде некрупных лопающихся пузырей на поверхность стекломасе и оттуда уносятся с продуктами горения в дымоход. Объем выделяющихся газов более чем в 100 раз превышает объем готовой стекломасе. Пузыри тем легче и быстрее всплывают, чем они крупнее, чем меньше вязкость стекломасе и чем меньше давление среды в печном пространстве. При подплывании к зоне осветления несварившихся куч шихты, недостаточно высокой температуре в зоне осветления и слишком большой скорости продвижения стекломасе газы застревают в стекломасе и попадают в набор в виде круглых или овальных включений. При вытягивании дровтов пузырь превращается в капиллярный канал.

Иногда в изделиях получается скопление многочисленных мелких пузырьков размером менее 0,8 мм, называемых мошкой. Этот порок получается чаще всего в результате вторичного подогрева стекла в зоне выработки и нарушения газового режима в зоне осветления. При недостатке подводимого в зону осветления воздуха газ сгорает неполностью, и копоть, выделяющаяся при неполном сгорании, попадает в стекломасу и «вспенивает» ее. Изделия, изготовленные из «вспенившегося» стекла, получают негодными из-за мошки. Такое же явление наблюдается, если генераторный газ плохо очищен от твердых горючих включений. Попадая в набор, эти включения сгорают, образуя пузырь. При резко положительном давлении среды в зоне осветления стекломасса насыщается мелкими газовыми пузырьками (мошкой) из атмосферы печи.

Камень, свиль и пузырь нарушают однородность, прозрачность и прочность стекла и портят внешний вид изделий. Однако не все изделия с такими пороками следует браковать. Например, колбы с небольшим числом маленьких пузырей, расположенных не близко друг от друга и не продавливающихся стальными острием, не следует относить к браку. Не следует также браковать колбы с мягкой, нерезко выраженной свилью и колбы с любыми пороками стекла, кроме трещин, расположенными в нижней части горла, т. е. в той ее части, которая отрезается при заварке ламп. Колбы с камнем, даже самым маленьким, расположенным выше зоны заварки, следует браковать.

В колбах ламп, работающих в оптических приборах, не допускаются никакие различимые невооруженным глазом неоднородности и пороки, искажающие направление световых лучей.

Стекломассу для заливки цоколей варят в малогабаритных стекловаренных печах непрерывного действия из боя чистого стекла рецептов С89-1 и С90-1, который всегда имеется в производстве ламп в виде отходов и бракованных полуфабрикатов. Для ускорения варки и уменьшения вязкости стекло­массы, а также для окраски стекла в темно-фиолетовый, почти черный цвет на 100 весовых частей боя добавляют 15 весовых частей размельченной природной марганцовой руды  $MnO_2$ , 0,5 весовых частей железной окалины  $Fe_2O_3$  и 3—5 весовых частей кальцинированной соды  $Na_2CO_3$ . В процессе варки железная окалина диссоциирует с образованием закиси железа  $FeO$ , а марганцовая руда разлагается и переходит в окись марганца  $Mn_2O_3$ , которая собственно и служит красителем. Сваренную стекломассу сливают из ванной печи в стальные короба, в которых она охлаждается и растрескивается на мелкие куски. Перед применением для заливки цоколей стекло, содержащее много мелочи, просеивают, а загрязненное — промывают водой.

#### 5-4. СВОЙСТВА СТЕКЛА

В табл. 5-2 приведены значения величин, характеризующие основные свойства стекла.

Таблица 5-2

Физико-химические свойства электроламповых стекол

Марка стекла		Коэффициент линейного расширения $\times 10^{-7} \text{ см/град}$	Температура размягчения, °С		Термическая стойкость, °С не менее	Удельный вес, г/см <sup>3</sup>	Границы зоны отжига, °С		Т <sub>крит</sub> °С не ниже	Класс химической стойкости
старая	новая		наименьшая	наибольшая			верхняя	нижняя		
2	С89-1	87—91	550	570	105	2,50	520	410	140	V
ЗС-4	С87-2	85—89	490	510	100	3,05	450	360	325	III
БД-1	С90-1	88—92	540	560	110	2,55	505	400	210	IV
ЗС-5К	С49-2	48—50	575	595	180	2,29	535	410	285	V
23	С89-2	87—91	570	590	115	2,50	530	410	200	II
С88-13	С89-6	87—91	560	580	125	2,50	515	405	240	IV
ЗС-11	С40-1	38,5—41,5	610	630	260	2,30	520	385	300	IV

#### а) ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Каждому химическому составу шихты соответствует определенный химический состав сваренного стекла. Изменением состава шихты можно в широких пределах регулировать физические, химические и технологические свойства стекла.

Химический состав электроламповых стекол в весовых процентах

Марка стекла		Наименование составных частей									
старая	новая	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	BaO	PbO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Всего
2	С89-1	71,9	5,5	3,5	2,0	—	16,1	1,0	—	—	100
ЗС-4	С87-1	55,0	—	—	—	30,0	3,8	9,2	—	2,0	100
БД-1	С90-1	69,5	5,5	3,5	5,0	—	12,5	4,0	—	—	100
ЗС-5К	С49-2	68,2	—	—	—	—	4,8	4,5	19,0	3,5	100
23	С89-2	69,6	6,9	—	—	—	9,0	7,7	2,8	4,0	100
С88-13	С89-6	69,5	5,5	3,0	2,0	—	11,0	6,5	2,0	—	100
ЗС-11	С40-1	74,8	—	—	—	—	4,2	1,6	18,0	1,4	100

Вводимые в стекло окислы (табл. 5-3) разделяются на следующие группы: 1) кислотные или стеклообразующие окислы  $SiO_2$ ,  $B_2O_3$ , которые служат основой стекла и без одного из которых стекло не может образоваться; они придают стеклу прочность, термическую стойкость и уменьшают его коэффициент теплового расширения; 2) щелочные окислы  $Na_2O$ ,  $K_2O$ , которые понижают температуру варки и размягчения стекла; они уменьшают вязкость и твердость, понижают термическую и химическую стойкость, повышают электропроводность и увеличивают коэффициент расширения стекла; 3) щелочноземельные окислы  $CaO$ ,  $MgO$ , которые уменьшают некоторые отрицательные свойства, придаваемые стеклу окислами первых двух групп, и позволяют заключать свойства стекла в требуемые рамки; они увеличивают вязкость и повышают химическую стойкость стекла; 4) окислы тяжелых металлов  $PbO$  и  $BaO$ , которые повышают удельный вес стекла, понижают его электропроводность, уменьшают его вязкость и твердость и придают ему блеск.

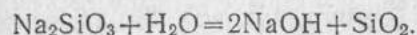
Практические составы стекол несколько отличаются от теоретических вследствие отклонений в составе шихты и загрязнения сырьевых материалов посторонними веществами, особенно окислами железа и алюминия. Эти окислы попадают в сваренное стекло вместе с песком, который всегда их содержит как примеси. Окись алюминия, кроме того, попадает в стекло из разрушающегося шамотного припаса печи. Окислы железа уменьшают прозрачность изделий, а окись алюминия повышает вязкость стекла. Окись алюминия шамотного происхождения образует в стекломассе и готовых изделиях камень и свиль.

В зависимости от химического состава стекло обладает большей или меньшей химической стойкостью, выражающейся в его способности сохранять в течение известного срока прозрачность и блеск.

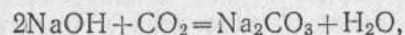
Стекло хорошо противостоит действию серной, соляной и азотной кислот и хуже — действию водных растворов щелочей.

Плавиковая кислота хорошо растворяет стекло. С повышением температуры химическая стойкость стекла понижается.

Наиболее вредное влияние на стекло оказывают адсорбированные пары воды. Длительное воздействие атмосферной влаги вызывает гидролиз стекла, заключающийся в химическом присоединении к стеклу воды и распаде силикатов натрия и калия на свободную щелочь и коллоидный кремнезем,



Щелочь, реагируя с углекислотой воздуха, переходит в кристаллическую углекислую соль, уменьшающую прозрачность стекла,



а коллоидный кремнезем, разбухая во влаге, повышает склонность стекла к растрескиванию. Образование на поверхности стекла сплошной водяной пленки (пленки набухания) вызывает выщелачивание или выветривание стекла, т. е. обеднение его щелочами, обнаруживаемое на глаз в виде отдельных кристалликов или сплошных мутных налетов, портящих внешний вид изделия. В конечном счете стекло с течением времени становится тусклым и непрочным. Эта особенность стекла заставляет избегать длительного его хранения.

На выветрившемся стекле образуется после огневой обработки шероховатый непрозрачный матовый налет. Такой налет в форме кольца часто образуется на горле ламп при заварке колб, хранившихся длительное время под открытым небом.

Стекла с большим содержанием  $\text{V}_2\text{O}_5$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  и особенно  $\text{Na}_2\text{O}$  отличаются низкой химической стойкостью. Стекла, содержащие один щелочной окисел, химически менее устойчивы, чем содержащие два таких окисла.  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SiO}_2$  и особенно  $\text{Al}_2\text{O}_3$  повышают химическую стойкость стекла. Приведенное в табл. 5-2 стекло рецепта С89-2 отличается высокой химической стойкостью. Его применяют для изготовления лабораторной посуды и вакуумной аппаратуры.

Химическую стойкость стекла определяют кипячением стеклянного порошка в дистиллированной воде, последующим выпариванием жидкости и взвешиванием сухого остатка. По потере в весе порошка стекло относят к одному из пяти классов химической стойкости. Чем выше номер класса, тем стекло менее устойчиво к действию влаги.

## 6) МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Удельный вес бесвинцовых стекол лежит в пределах от 2,3 до 2,6 г/см<sup>3</sup> и достигает у свинцовых стекол 3 г/см<sup>3</sup> (табл. 5-2). Высокое содержание ВаО и особенно РbО делает стекло тяжелым. Постоянство удельного веса служит признаком

постоянства его химического состава. С возрастанием удельного веса повышаются издержки на изготовление и транспортирование стекла.

Прочность стекла характеризует способность его сопротивляться разрушению под действием механической нагрузки. Прочность больше зависит от размеров, формы, состояния поверхности и режима термической обработки стекла, чем от его химического состава. Прочность поверхностного слоя стекла меньше прочности внутренних слоев. Прочность стекла при сжатии в 10—12 раз больше, чем при растяжении. Колбы лучше противостоят внешнему давлению, чем внутреннему.

Лампы в колбе диаметром 65 мм разрываются при наполнении газом до давления от 3 до 12 кг/см<sup>2</sup>. С уменьшением поверхности и увеличением толщины стенок увеличивается прочность колб и уменьшается опасность раздавливания ламп внешним или внутренним давлением. Стенкам колб стремятся придать такую оптимальную толщину, при которой они получают достаточно прочными без излишнего неоправданного расхода стекломассы и усложнения технологии изготовления ламп. Большие лампы изготавливают из более толстостенных колб, чем малые.

Толщину стенки любого места колбы измеряют электромагнитным стенкомером (рис. 5-5). Колбу с вложенным в нее маленьким стальным шариком подносят к вертикально установленному датчику так, чтобы шарик притянулся сквозь стекло к середине его рабочего конца. Чем тоньше стенка колбы, тем сильнее притягивается шарик к датчику и тем больше отклоняется стрелка прибора, косвенно измеряющего ток в электрической цепи электромагнита. Шкалу прибора градуируют в долях миллиметра.

Хрупкость, или малая сопротивляемость удару, — характерная особенность стекла при обычных температурах. Хрупкость стекла вызывается наличием на его поверхности и в его толще огромного числа невидимых глазу микротрещин и микрощелей, которые под влиянием внешних усилий становятся центрами разрушения стекла.

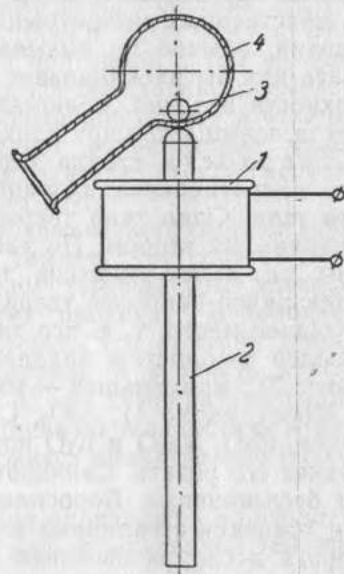


Рис. 5-5. Электромагнитный стенкомер.

1 — электромагнит; 2 — датчик; 3 — стальной шарик; 4 — измеряемое изделие.

Когда стеклянные изделия растягивают, наиболее опасные поверхностные микротрещины быстро распространяются внутрь, разрушая стекло сразу во многих местах. Чем тоньше стекло, тем более оно хрупко. Наличие микрощелей объясняет причину большого разброса значений механической прочности стекла. Иногда бывает достаточно легкого удара, чтобы стекло раскололось с образованием многочисленных острых осколков. Искусственно нанесенные тонкие поверхностные царапины, отличаясь от естественных микротрещин, зародившихся при изготовлении изделия, обычно не вызывают уменьшения прочности стекла. Влага как бы расклинивает мелкие трещинки и песочки на поверхности изделия, облегчая растрескивание стекла. Хрупкость стекла повышается при плохом отжиге его.

Твердость стекла характеризуется способностью оказывать сопротивление вдавливанию в него другого, более твердого тела. Одно тело тверже другого, если первое оставляет царапины на втором. По такому признаку твердые тела разделены на десять классов твердости (шкала Мооса). Алмаз, являющийся наиболее твердым телом, занимает в этой шкале последнее место, т. е. его твердость равна 10. Из стекол наибольшей твердостью обладает кварцевое стекло (твердость по Моосу 7), наименьшей — мягкое свинцовое стекло (твердость по Моосу около 4).  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$  и  $\text{B}_2\text{O}_3$  повышают твердость стекла,  $\text{PbO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{K}_2\text{O}$  понижают ее. Чем тверже стекло, тем труднее его резать. Свинцовые стекла режутся легче и быстрее, чем бессвинцовые. Боросиликатные стекла режутся медленно. При хранении стеклянных изделий не допускают трения их друг о друга и соприкосновения их со стальными предметами, способными наносить царапины.

## в) ВЯЗКОСТЬ

Стекло в отличие от кристаллических веществ, например металлов, не имеет резко выраженной определенной точки плавления. В некотором сравнительно широком интервале температур стекло находится в состоянии, при котором нельзя точно сказать, твердое оно или жидкое. Формование стеклянных изделий при изготовлении ламп производят как раз тогда, когда стекло приведено в такое промежуточное состояние, характеризующееся некоторой пластичностью и вязкостью. Пластичностью называют свойство твердых тел принимать под давлением любую форму без нарушения связи между частицами, а вязкостью или внутренним трением — свойство жидких тел оказывать сопротивление перемещению своих соприкасающихся слоев относительно друг друга. Вязкость жидких тел показывает, с каким усилием один слой жидкости сопротивляется перемещению по другому слою. С повышением темпе-

ратуры вязкость жидкостей уменьшается<sup>1</sup>. Величину, обратную вязкости, называют текучестью. По текучести жидкости под влиянием силы тяжести судят о ее вязкости. Жидкость обладает вязкостью тем большей, чем медленнее она вытекает из отверстия. За единицу вязкости принят пуаз. При 20°С вода имеет вязкость 0,01 пз (1 *спз*), вазелин — около 1 пз, касторовое масло — около 10 пз, глицерин — около 15 пз.

Вязкость стекла зависит от его химического состава.  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  увеличивают вязкость стекла,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{PbO}$  и  $\text{BaO}$  уменьшают ее. Стекла, отличающиеся при одной и той же температуре малой и большой вязкостью, соответственно называют мягкими и твердыми. Электроламповое стекло в отличие от большинства других стекол обладает сравнительно малой вязкостью. При одной и той же температуре стекло рецепта С87-1 менее вязко, чем стекло рецепта С90-1.

Вязкость стекла одного и того же химического состава зависит только от температуры. Каждой температуре соответствует определенная вязкость. С изменением температуры вязкость непрерывно меняется в очень широких пределах. В холодном состоянии стекло очень хрупко и вязкость его огромна (около  $10^{15}$  пз). При нагреве хрупкость исчезает, и вязкость стекла уменьшается. При 1 400—1 500°С, т. е. при температуре варки, стекло приобретает текучесть, свойственную жидкостям, и вязкость его при этой температуре становится сравнительно низкой (около 100 пз).

Вязкость стекла в зоне размягчения определяют по скорости удлинения штабика, растягиваемого при определенной температуре под постоянной нагрузкой.

Процессы, протекающие при выработке колб и дров и изготовлении ламп, тесно связаны с рабочей вязкостью стекла, под которой подразумевают интервал вязкости, требуемый стеклоформирующим машинам (или стеклодувам при ручной работе) для обработки стекла и придания ему нужной формы. У стекол различных составов требуемая рабочая вязкость может быть достигнута при различных интервалах температур.

При охлаждении размягченного стекла вязкость его увеличивается и стекло затвердевает. Стекла различных составов затвердевают с большей или меньшей скоростью, т. е. быстрее или медленнее наращивают свою вязкость. Стекла, быстро твердеющие при охлаждении, называют короткими, а медленно твердеющие при охлаждении — длинными.  $\text{MgO}$  и  $\text{CaO}$  делают стекло коротким,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  и особенно  $\text{PbO}$  — длинным.

Электроламповые стекла не должны быть слишком короткими или слишком длинными. Стекло для дров должно быть

<sup>1</sup> Газы тоже обладают вязкостью, но вязкость газов ничтожно мала по сравнению с вязкостью жидкостей. В отличие от жидкостей вязкость газов растет с повышением температуры.

несколько «длиннее» стекла для колб. Изделия из короткого стекла требуют быстрой выработки и быстрой обработки на огнях. При работе с такими стеклами промежутки времени между обработкой на огневых позициях автоматов должны быть непродолжительными, иначе стекло при переходе с одной огневой позиции на другую будет остывать.

Если бы для выдувания колб и особенно для вытягивания дровот применяли слишком короткое стекло, то его не успевали

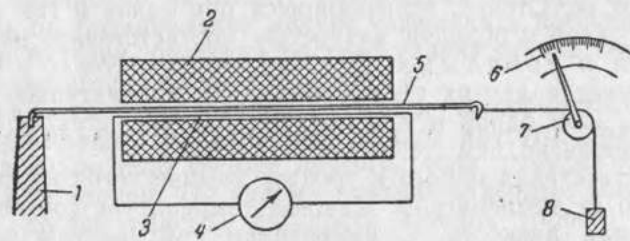


Рис. 5-6. Установка для измерения температуры размягчения стекла.

1 — стойка; 2 — электрическая печь; 3 — спай термопары; 4 — миллиамперметр; 5 — нить из испытываемого стекла; 6 — шкала; 7 — блок; 8 — груз.

бы выдувать и вытягивать, так как вязкость быстро увеличивалась бы и стекломасса теряла бы свою пластичность, прежде чем изделию будет придана требуемая форма. Для выработки тонкостенных колб малых размеров желательна длинная и менее вязкая стекломасса, а для выработки толстостенных колб больших размеров — короткая и более вязкая.

Длинные стекла находятся в пластичном состоянии при большем интервале температур, чем короткие. При медленно твердеющих стеклах легче регулировать огнями вязкость стекла и меньше ощущаются последствия колебания огня, чем при быстро твердеющих стеклах.

Длинные стекла требуют более продолжительного разогрева в начале огневой обработки и более длительного остывания после окончания ее. Неостывшая деталь из длинного стекла при сьеме с машины легко деформируется. Слишком длинные стекла влекут за собой уменьшение выработки на огневых операциях. Свинцовые стекла длиннее бессвинцовых, поташные — длиннее содовых, цветные — длиннее бесцветных.

При постепенном нагревании стекла наступает момент, когда вязкость его настолько уменьшается, что оно размягчается и деформируется. Температура, при которой в стекле появляются заметные признаки размягчения (деформации), носит название температуры размягчения стекла.

Температура размягчения зависит от химического состава стекла (табл. 5-2).  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  повышают ее, а  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{PbO}$  понижают.

Температуру размягчения стекла определяют методом растяжения нити под нагрузкой. Из испытуемого стекла готовят нить толщиной 0,6—0,7 мм, длиной около 0,5 м. Нить помещают внутрь горизонтальной трубчатой электрической печи (рис. 5-6), снабженной реостатом для постепенного повышения температуры. Один конец нити закрепляют в неподвижной стойке, а за другой конец, которому предварительно придают форму крючка, зацепляют тонкую хлопчатобумажную нитку, переброшенную через блок со стрелкой. На конец нитки подвешивают груз (20 г). С повышением температуры печи стеклянная нить постепенно нагревается и удлиняется. По мере ее удлинения стрелка, укрепленная на блоке, начинает медленно перемещаться по шкале. Вблизи температуры размягчения движение стрелки резко ускоряется. Температура, зафиксированная прибором в момент быстрого поворота стрелки, есть температура размягчения стекла.

#### г) ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Термические свойства стекла показывают, как стекло изменяется при нагревании или охлаждении. К этим свойствам относятся теплоемкость, теплопроводность, тепловое расширение и термостойкость.

Теплоемкостью называют количество тепла, необходимое для нагревания тела на 1 град. Стекло, обладающее малой теплоемкостью, требует меньшего расхода тепла и, следовательно, меньшего расхода газа для нагрева до определенной температуры.  $\text{PbO}$  и  $\text{BaO}$  снижают теплоемкость стекла,  $\text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{MgO}$  повышают ее.

Теплопроводностью называют способность тела передавать тепло в направлении более низких температур. Стекло обладает незначительной теплопроводностью. Переход тепла от горячей части стекла к холодной совершается очень медленно. Разогретое стекло отдает свое тепло окружающей среде тоже медленно. Чем стекло менее теплопроводно, тем оно «длиннее» и меньше подвержено растрескиванию. Теплопроводность стекла зависит от его химического состава.  $\text{PbO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  и  $\text{BaO}$  понижают ее, а  $\text{CaO}$  повышает. Свинцовые стекла менее теплопроводны, чем бессвинцовые.

Тепловое расширение тела зависит не только от температуры нагрева, но и от природы вещества этого тела. Способность различных веществ в большей или меньшей степени расширяться от нагревания или сжиматься от охлаждения характеризуется их коэффициентом теплового расширения.

Различают коэффициенты линейного и объемного расширения в зависимости от того, рассматривается ли расширение

в длину или в объеме. Коэффициент объемного расширения в 3 раза больше линейного.

От коэффициента расширения стекла зависят прочность и газонепроницаемость спаев стекла со стеклом и стекла с металлом, а также стойкость стекла к резким переменам температур.

Спаиваемые между собой стеклянные и металлические детали должны иметь в пределах требуемого одного и того же температурного интервала близкие коэффициенты расширения, иначе спай будет ненадежным и негерметичным. В соответствии с этим требованием коэффициент линейного расширения стекла должен укладываться в пределы, приведенные в табл. 5-2. С повышением температуры за пределом  $300^{\circ}\text{C}$  коэффициент расширения стекла резко возрастает.

Электроламповые стекла разделяются на две основные группы: мягкие «платинитовые», предназначенные для спаев с платинитом и обладающие коэффициентом линейного расширения около  $90 \cdot 10^{-7}$  (рецепты С89-1, С90-1 и др.), и твердые «молибденовые» и «вольфрамовые», предназначенные для спаев с молибденом или вольфрамом и обладающие коэффициентом линейного расширения примерно от  $40 \cdot 10^{-7}$  до  $55 \cdot 10^{-7}$  (рецепты С49-2, С40-1 и др.). Мягкие стекла иногда условно называют легкоплавкими, а твердые — тугоплавкими.

Тепловое расширение стекла зависит от его химического состава.  $\text{K}_2\text{O}$  и в особенности  $\text{Na}_2\text{O}$  сильно увеличивают коэффициент расширения стекла, а  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  и  $\text{B}_2\text{O}_3$  уменьшают его. Прозрачное кварцевое стекло, состоящее из одной  $\text{SiO}_2$ , имеет коэффициент линейного расширения в интервале от 0 до  $1000^{\circ}\text{C}$  —  $5,8 \cdot 10^{-7}$ .

Неудовлетворительная постановка контроля за приготовлением шихты, например применение доломита с непостоянным соотношением  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$  или неправильное отвешивание сырьевых материалов приводит к получению стекла с неоднородным коэффициентом расширения.

Бессвинцовые стекла изготавливают с большим количеством щелочей с целью понижения их температуры размягчения.

Чтобы высокое содержание щелочей не вызывало чрезмерного увеличения коэффициента расширения, в состав стекла вместо части  $\text{CaO}$  вводят  $\text{MgO}$ , уменьшающую коэффициент расширения стекла без влияния на температуру размягчения.

Боросиликатные стекла изготавливают с малым количеством щелочей с целью уменьшения их коэффициента расширения. Чтобы уменьшение щелочей не вызывало увеличения вязкости стекла и не требовало повышения температуры варки стекла, в состав стекла вводят  $\text{B}_2\text{O}_3$ , уменьшающий вязкость стекла в интервале высоких температур. Боросиликатные стекла, несмотря на их высокую стоимость, получили широкое применение в производстве мощных ламп.

Стеклозные и электроламповые заводы во избежание массового брака систематически проверяют у себя коэффициент расширения стекла. Для его быстрого определения применяют метод прогиба двойной нити. Берут два стекла сходного химического состава — эталонное, коэффициент расширения которого известен, и испытываемое, коэффициент расширения которого требуется определить. Из обоих стекол изготавливают

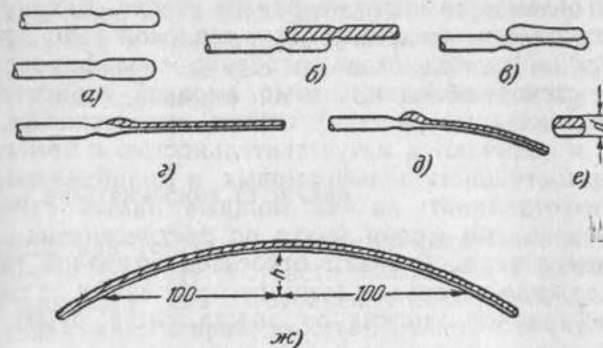


Рис. 5-7. Схема определения коэффициента расширения стекла методом прогиба двойной нити.

а — «лопатки»; б, в — спай лопаток; г — двойная нить при равенстве коэффициентов расширения; д — двойная нить при разных коэффициентах расширения; е — поперечное сечение нити; жс — образец нити для измерения коэффициента расширения.

лопаточки (рис. 5-7), накладывают их друг на друга и спаивают в пламени горелки. Приваренный участок, состоящий из двух различных стекол, сильно нагревают и вытягивают в общую тонкую нить, не допуская перекосов и перекручивания. Если коэффициенты расширения обоих стекол одинаковы, то вытянутая нить получится прямой, если различны, то вытянутая нить изогнется дугой, причем внутренняя (вогнутая) сторона будет принадлежать стеклу с большим коэффициентом расширения. Отрезок нити кладут на лист миллиметровой бумаги так, чтобы прямая, соединяющая концы дуги, образовала хорду длиной 200 мм. Зная высоту дуги  $h$ , которую определяют при наложении нити на миллиметровую бумагу, и толщину нити  $d$ , которую измеряют микрометром, находят по таблицам или по графику разницу в коэффициентах расширения эталонного и испытываемого стекла. Эту разницу прибавляют к значению коэффициента расширения эталонного стекла, если нить изогнулась в сторону испытываемого стекла, и вычитают, если нить изогнулась в сторону эталонного стекла.

Термостойкость стекла характеризует способность его выдерживать без разрушения резкие перепады температур. О термостойкости судят по максимальной разности температур, которую стекло способно выдерживать, не растрескиваясь. Тер-



мостойкость стекла зависит прежде всего от его коэффициента теплового расширения и в меньшей степени от его теплоемкости и теплопроводности (табл. 5-2). Компоненты, уменьшающие коэффициент расширения стекла ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ ), понижают его чувствительность к температуре и, наоборот, увеличивающие коэффициент расширения стекла ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ) повышают его чувствительность к температуре. Исключительно высокой термостойкостью отличается чисто кварцевое стекло. Кварцевые лампы с йодным циклом легко переносят тепловой удар, превышающий  $800 \text{ град}$ . «Молибденовое» и особенно «вольфрамовое» боросиликатные стекла обладают тоже высокой термостойкостью. Лампы, изготовленные из таких стекол, выдерживают длительный нагрев и отличаются нечувствительностью к брызгам воды. Высокая термостойкость вольфрамовых и молибденовых стекол позволяет изготавливать из них мощные лампы относительно малых размеров при малом браке по растрескиванию. Мягкие платинитовые стекла обладают относительно низкой термостойкостью. Наружная установка ламп, изготовленных из платинитового стекла, требует защиты от дождя, снега, брызг морской воды и т. п.

Для определения термостойкости изготавливают из стекла штабик диаметром 4—5, длиной 30 мм, нагревают его 10 мин в электрической печи и затем быстро переносят в холодную воду. По разности температур нагревания и охлаждения и отсутствию трещин судят о термостойкости.

Различают термостойкость стекла и термостойкость изделия. Последняя зависит от термостойкости стекла, от толщины и формы изделия и от прочности поверхностного слоя изделия. Тонкостенные и округлые изделия более термостойки, чем толстостенные и с острыми углами. Царапины, мелкие посечки и микротрещины на поверхности стекла уменьшают термостойкость изделий.

При использовании ламп под водой принимают следующие меры предосторожности: 1) не допускают применения ламп с царапинами на колбе; 2) защищают цоколь и патрон водонепроницаемой резиной; 3) погружают лампу в воду перед включением.

#### д) КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ

Все твердые тела имеют кристаллическое строение. В кристаллах молекулы и атомы располагаются в определенном порядке относительно друг друга, образуя геометрические правильные симметричные системы, называемые кристаллическими решетками.

Некристаллические или аморфные тела, к каким относится стекло, наука не причисляет к твердым телам. Их считают сильно переохлажденными или застывшими жидкостями, в которых

молекулы и атомы потеряли подвижность, не успев образовать правильной кристаллической решетки, и поэтому обладающими вязкостью, твердостью и постоянством формы, свойственными твердым телам.

По мере понижения температуры стекломасса непрерывно твердеет, не кристаллизуясь. Однако если расплавленное стекло охлаждать очень медленно, то часть молекул может собраться в правильную решетку, и тогда стекло самопроизвольно превратится из гладкого и прозрачного в шероховатое и мутное. Про такое стекло говорят, что оно кристаллизуется или «расстекловывается». Кристаллизация повышает склонность стекла к растрескиванию.

#### е) ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

При комнатной температуре стекло имеет ничтожную электропроводность, поэтому его часто применяют в качестве электрической изоляции. Для изготовления ламп применяют стекла с минимальной электропроводностью. Высокие электроизоляционные свойства стекла необходимы для предотвращения утечки тока и электрического пробоя между находящимися под напряжением металлических деталями ламп.

Проводимость стекла понижается с увеличением содержания стеклообразующих окислов  $\text{SiO}_2$  и  $\text{B}_2\text{O}_3$  и окислов тяжелых металлов  $\text{PbO}$  и  $\text{BaO}$  и повышается с увеличением содержания щелочных окислов  $\text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{K}_2\text{O}$ . Замена части окиси натрия окисью калия улучшает электроизоляционные свойства стекла. Еще лучшие результаты дает частичная замена окиси натрия двумя другими щелочными окислами — калия и лития. Наименьшей электропроводностью обладает кварцевое стекло.

Электропроводность стекла быстро растет с повышением температуры (табл. 5-4). Расплавленное стекло хорошо проводит ток. Для суждения об электрических свойствах стекла при повышенных температурах определяют, до какой температуры нужно нагреть стекло, чтобы его удельное сопротивление понизилось до  $100 \text{ Мом} \cdot \text{см}$ . Эту величину называют температурным коэффициентом удельного сопротивления и обозначают  $\text{Тк}_{100}$ . Чем меньше  $\text{Тк}_{100}$ , тем хуже стекло противостоит повышенной электрической нагрузке (табл. 5-2 стр. 168). При изготовлении ряда ламп, работающих с тепловой и электрической перегрузкой, применяют многосвинцовое стекло рецепта С87-1, отличающееся большим значением  $\text{Тк}_{100}$ .

Стекло обладает ионной проводимостью. Под влиянием высокой температуры и постоянного тока происходит электролиз стекла, при котором легкоподвижные ионы щелочных металлов (главным образом натрия) перемещаются в направлении от анода к катоду. В результате электролиза стекло теряет однородность; прикатодные слои обогащаются щелочами, а прианод-

Таблица 5-4

Удельное сопротивление электроламповых стекол  
(ом·см·10<sup>7</sup>)

Температура, °С	Марка стекла		
	С89-1	С90-1	С87-1
150	6,31	224,0	—
175	1,59	42,7	—
200	0,44	9,33	—
225	0,14	2,29	389,0
250	0,05	0,69	89,2
275	0,02	0,25	24,5
300	0,01	0,09	6,3

ные — кремнеземом. Накопление щелочей вокруг одного электрода и обеднение вокруг другого вызывает увеличение коэффициента расширения стекла вблизи первого и уменьшение вблизи второго. Изменение коэффициента расширения приводит в свою очередь к нарушению плотности спаев. В лампах с высокой температурой тела накала электрическое разложение стекла может служить причиной пробоя между близко расположенными молибденовыми держателями и электродами. В высоковольтных лампах электролиз вызывает сначала образование на линзе вокруг держателей темных пятен и затем растрескивание линзы и короткое замыкание. Электролиз стекла особенно опасен в двухцветных автомобильных лампах, имеющих малое расстояние между электродами и высокую рабочую температуру ножки (300°С и выше). Такие лампы лучше изготавливать из стекла с большим значением  $T_{к100}$ . Признаком электролиза стекла ножки служит изменение цвета впаи при горении лампы и медленное натекание воздуха в лампу после выключения. Свинцовые стекла, содержащие мало щелочей и обладающие поэтому лучшими изоляционными свойствами, меньше подвержены электролизу.

Стекло лучше проводит электричество на поверхности, чем в объеме, что объясняется влиянием щелочей, растворенных в адсорбированной стеклом водяной пленке. Длительное хранение стекла во влажной атмосфере резко повышает его поверхностную проводимость.

#### ж) ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Оптические свойства стекла показывают, как стекло относится к падающему на него лучистому потоку. Падая на стеклянный предмет, лучи отражаются, поглощаются, пропускаются и преломляются. При отражении лучи отбрасываются обратно от стеклянной поверхности. При поглощении лучи проникают в стекло и больше из него не выходят. При пропускании лучи пронизывают стекло насквозь и выходят с противоположной сто-

роны. При преломлении лучи изменяют свое направление и выходят с противоположной стороны стекла под углом, отличающимся от первоначального.

Отражение, поглощение и пропускание зависят от угла падения лучей на стеклянную поверхность, вида поверхности, толщины стекла и его химического состава. Стекло в зависимости от состава характеризуется определенными коэффициентами отражения, поглощения и пропускания. Сумма этих коэффициентов равна единице.

Отражение может быть зеркальным и диффузным. Зеркальное дают стекла с гладкой поверхностью; такие стекла, если они отражают много лучей, называют блестящими. Диффузное дают стекла с шероховатой (матовой) поверхностью и стекла, содержащие в своей массе инородные частицы; такие стекла называют рассеивающими.

Стекла, преимущественно пропускающие свет (без рассеивания), называют прозрачными. Идеально прозрачного стекла, т. е. пропускающего все падающие на него лучи, не существует. Коэффициент пропускания самых лучших стекол не превышает 0,90. Запыление и загрязнение уменьшают светопропускание и увеличивают светорассеяние стекла. Стекло, нагретое до размягчения, вследствие увеличения подвижности своих частиц, становится непрозрачным.

Прозрачное стекло, одинаково хорошо пропускающее лучи по всему видимому спектру и потому не имеющее никаких цветовых оттенков, называется бесцветным. Некоторые вещества, введенные в состав стекла, делают его прозрачным в одних участках спектра и непрозрачным в других. В этом случае стекло принимает цвет лучей, которые оно пропускает. Например, синее стекло потому кажется синим, что оно поглощает большинство лучей, кроме синих. Приготовление стекольной шихты из недостаточно чистых сырьевых материалов приводит к уменьшению прозрачности стекла в некоторых участках спектра. Самое незначительное количество окислов железа окрашивает стекло в зеленоватый цвет. Углеродистые вещества с примесями серы придают стеклу желтоватую «сульфидную» окраску. Чем толще стенка, тем заметнее окраска.

Цвет стекла зависит не только от химического состава стекла, но и от спектрального состава падающих на него лучей. При дневном свете цвет стекла определяется смешением всех лучей солнечного спектра, за вычетом поглощенных.

Стекла рецептов С89-1, С90-1 и С49-2 хорошо пропускают инфракрасные лучи с длинами волн менее 2,5 мк, плохо пропускают лучи с длинами волн 2,5—3,5 мк и совершенно не пропускают этих лучей с длинами волн более 3,5 мк. Стекла этих же рецептов хорошо пропускают ультрафиолетовые лучи с длинами волн более 0,35 мк, плохо пропускают эти лучи с длинами волн от 0,35 до 0,3 мк и совершенно не пропускают их с длинами волн

менее 0,3 мк. Окислы железа и двуокись титана, содержащиеся как примеси в сырьевых материалах, уменьшают прозрачность стекла для ультрафиолетовых лучей. Чистое кварцевое стекло, как никакое другое, хорошо пропускает инфракрасные, видимые и ультрафиолетовые лучи<sup>1</sup>.

В электрических лампах видимые и невидимые лучи раскаленного тела накала, переходя из газообразной среды в стекло, частично отражаются, частично поглощаются и большей своей частью пропускаются стеклом. Поглощенная стенками колбы лучистая энергия перестает существовать как электромагнитное колебание и превращается в теплоту, рассеивающуюся в окружающее пространство. Колба нагревается тем сильнее, чем меньше ее общая поверхность, чем менее она прозрачна и чем хуже условия охлаждения ее окружающей средой. Отраженные и поглощенные видимые лучи составляют потери светового потока. В лампах из бесцветного прозрачного стекла потери на отражение составляют 8% и на поглощение, в зависимости от толщины стенок и площади поверхности колбы, 0,5—1%.

Стекланные пластинки, пропускающие лучи с заданной длиной волны и изменяющие спектральный состав проходящего через них света, называют светофильтрами. В производстве ламп ими пользуются при световых измерениях ламп. Светофильтрами из темнокрасного стекла можно почти полностью поглощать видимый спектр и получать источник невидимых инфракрасных лучей.

### з) ГАЗОПОГЛОЩЕНИЕ И ГАЗООТДЕЛЕНИЕ

Стекло, несмотря на влагонепроницаемость, хорошо адсорбирует влагу и хорошо смачивается водой. Внутренняя поверхность колб покрыта сплошной тонкой пленкой водяного пара. Наружный слой молекул в такой пленке слабо связан со стеклом, а внутренний мономолекулярный слой связан очень прочно. Значительное количество водяного пара и небольшое количество газов содержится также и в самом стекле в растворенном виде и в виде невидимых глазом разрозненных включений. При нагреве пары и газы выделяются из стекла и загрязняют среду внутри лампы.

С повышением температуры количество выделяющегося пара сначала возрастает, затем, пройдя через максимум (при температуре около 200°С для легкоплавкого стекла), начинает постепенно убывать и далее, пройдя через минимум (при температуре около 300°С для того же стекла), снова начинает возрастать. В начальной стадии нагрева выделяются пары воды, слабо связанные с поверхностью стекла, затем они выделяются

<sup>1</sup> В инфракрасной части спектра кварцевое стекло пропускает около 90% лучей с длинами волн 4 мк и менее, 40—25% лучей с длинами волн 6 мк и более.

из адсорбированного мономолекулярного слоя и, наконец, при дальнейшем повышении температуры выделяются из объема стекла. Объемное выделение не прекращается, как бы долго стекло ни нагревалось. Повторное налипание водяного пара к поверхности обезгаженного стекла происходит лишь постепенно в течение довольно значительного времени (нескольких часов).

Стекла различных химических составов, нагретые до одной и той же температуры, обладают различным газоотделением. С уменьшением химической стойкости стекла возрастает способность его поглощать и выделять газ. Из стекол платинитовой группы наибольшим газоотделением отличается стекло С89-1 и наименьшим — С87-1. Стекло С87-1 при нагреве обезгаживается быстрее стекла С90-1, а стекло С90-1 быстрее стекла С89-1. Применение тугоплавких стекол позволяет повысить температуру обезгаживания деталей ламп.

Выделяющийся из стекла газ на 80—90% состоит из водяного пара. Газоотделение зависит от состояния поверхности и продолжительности хранения стекла. Чем стекло больше выветрилось и дольше хранилось, тем больше оно выделяет газы при нагреве. В теплое время года, когда атмосферный воздух более влажен, стекло больше выделяет газы, чем в холодное. Газоотделение стекла влияет на скорость распыления вольфрама при эксплуатации ламп. Во время горения лампы стекло нагревается и выделяет водяной пар, вызывающий перенос атомов вольфрама с поверхности тела накала на внутреннюю поверхность колбы. Темнеющие стенки колбы сильнее нагреваются и еще больше выделяют водяной пар. Непрерывно нарастающая цепь явлений, состоящая из газоотделения стекла, распыления вольфрама и потемнения и нагрева колбы, приводит к перегоранию лампы.

Колбы из окрашенного или натурального цветного стекла больше поглощают тепло, нагреваются при работе ламп до более высокой температуры и выделяют больше паров воды, чем колбы из бесцветного прозрачного стекла.

### и) ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Стекло обладает рядом ценных технологических свойств, определяющихся его химическими и физическими особенностями. Эти технологические свойства позволяют вырабатывать из него различные по размерам и форме изделия самыми разнообразными методами тепловой, механической и химической обработки. В одних случаях обработку производят, когда стекло находится в твердом состоянии, в других — когда оно доведено нагревом до требуемой пластичности. Процесс превращения пластичной стекломассы в твердое изделие называют формованием стекла.

В производстве ламп стекло чаще всего формуют на машинах, оборудованных системой газовых горелок и снабженных рабочим столом — «каруселью», вращающимся с постоянной скоростью или с периодическими остановками. На таких машинах обрабатываемые изделия приводят во вращение в пламени горелок для равномерного распределения температуры.

Поверхностные частицы размягченного стекла прижимаются к находящимся под ними глубинным частицам силами притяжения, направленными внутрь стекла. Под влиянием этих сил на поверхности стекла образуется как бы молекулярная пленка, стремящаяся сократиться по своей площади. Это явление, называемое поверхностным натяжением, объясняет, почему размягченные стеклянные изделия стремятся самопроизвольно принимать шарообразную или цилиндрическую форму и становятся после формования гладкими и блестящими. Острые кромки и грани стеклянных изделий при кратковременном высокотемпературном нагреве оплавляются и под действием сил поверхностного натяжения округляются.

Стекло может легко принимать и сохранять любую форму. Его можно отливать в форме (заливка цоколей), прессовать (сборка ножек, запрессовка цоколей, изготовление тыльных и передних стекол для ламп-фар), выдувать (выдувание колб, изготовление вакуумной арматуры), вытягивать (изготовление дров), резать в холодном состоянии (резка дров), резать в горячем состоянии (заварка ламп, обрезка колб), разворачивать (изготовление тарелок), гнуть (изготовление вакуумной арматуры), прокалывать (продувка откачного отверстия в ножках), травить кислотой (матирование колб), шлифовать (изготовление кранов), сверлить (сверление отверстий в отражателях ламп-фар).

Стекло можно сваривать со стеклянными же деталями (сборка ножек, заварка ламп) и с металлическими деталями (сборка ножек).

При выдувании стеклянных изделий изменяющаяся вязкость стекла автоматически регулирует равномерность толщины стенок. Когда при выдувании стекло в каком-либо месте становится тонким, то под влиянием ускоренного остывания в этом месте возрастает его вязкость и повышается сопротивляемость дальнейшему растягиванию.

Для одних технологических операций бывает необходимо, чтобы размягченное стекло хорошо прилипало к металлу, а для других, наоборот, не прилипало. В первом случае металл нагревают, во втором — охлаждают. К металлу, окисленному непосредственно перед сплавом со стеклом, стекломасса хорошо прилипает, а к холодному металлу и металлу, не имеющему на своей поверхности окисной пленки, стекломасса не прилипает. Чем лучше стекло растворяет образующиеся на металле окислы, тем лучше оно к нему пристаёт. Между металлом и стеклом об-

разуется промежуточный слой, состоящий из растворенных друг в друге окислов металла и стекла и способствующий хорошему сцеплению металла со стеклом.

Стекло обладает рядом ценных свойств, важных для вакуумной технологии: оно имеет ничтожно малую упругость насыщенного пара, легко моется и обезгаживается, практически газонепроницаемо и способно давать прочные герметичные металлостеклянные спаи. Спаи стекла с металлом могут быть «согласованными», когда коэффициенты теплового расширения стекла и металла почти одинаковы (например, спай молибденовых вводов в ножку из стекла С49-2), и «несогласованными», когда коэффициенты теплового расширения стекла и металла сильно отличаются друг от друга (например, спай молибденовых держателей в ножку из стекла С90-1).

К наиболее прочным и вакуумно-плотным спаям принадлежат такие, в которых металл окислен до его низшего окисла ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ,  $\text{MoO}_2$ ,  $\text{WO}_2$  и др.).

На одном и том же технологическом оборудовании можно изготавливать или обрабатывать детали из «платинитового», «молибденового» и «вольфрамового» стекла. При переходе с платинитового стекла на молибденовое или вольфрамовое уменьшают скорость вращения карусели и добавляют кислород в газовые горелки.

## 5.5. ВНУТРЕННИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В СТЕКЛЕ

### а) ВОЗНИКНОВЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ

Под влиянием механических воздействий (сжатия или растяжения), а также тепловых воздействий (нагревания или охлаждения) в стекле возникают соответственно механические и термические внутренние напряжения, которые представляют собой невидимый скрытый порок, всегда сопутствующий в большей или меньшей мере всем стеклянным изделиям. Как механические, так и термические напряжения измеряются силами взаимодействия между частицами стекла, отнесенными к единице площади сечения. Когда напряжения достигают некоторой критической величины, превышающей предел прочности стекла, зарождается и распространяется трещина. Немедленно после образования трещины напряжения исчезают. Любую трещину в стекле можно рассматривать как результат местного снятия механических или термических напряжений. Для производства ламп, сопряженного больше с термической обработкой стекла, чем с механической, наибольшую опасность составляют термические напряжения.

Внутренние напряжения могут носить временный и постоянный характер. Напряжения, связанные с наличием разности температур в изделии и исчезающие после выравнивания температур между отдельными частями изделия, называют времен-

ными. Такие напряжения возникают при быстром охлаждении или нагреве стекла в пределах температур намного ниже точки размягчения, т. е. когда стекло остается твердым. Стекло, в котором возникают большие временные напряжения, отличается малой термической стойкостью.

Напряжения, сохраняющиеся после выравнивания температур между отдельными частями изделия и постоянно существующие в нем, называют постоянными или остаточными. Такие напряжения возникают при быстром охлаждении стекла в интервале температур, начинающемся вблизи или выше точки размягчения стекла, т. е. когда частицы стекла становятся подвижными.

Поскольку сжатие при охлаждении происходит тем сильнее, чем выше коэффициент расширения стекла, то в стеклах с высоким коэффициентом расширения возникают более значительные и опасные внутренние напряжения, чем в стеклах с низким коэффициентом расширения. Поэтому платинитовые стекла более подвержены самопроизвольному растрескиванию, чем молибденовые, а молибденовые — более, чем вольфрамовые.

При остывании сплавов стекла с металлом создаются внутренние напряжения в стекле и металле. Величина напряжений зависит от разницы коэффициентов расширения стекла и металла. Если коэффициент расширения стекла больше, чем металла, спай при охлаждении может дать трещину.

Напряжения возрастают с увеличением толщины изделий. На поверхности разогретого до размягчения и затем быстро охлажденного толстостенного изделия образуется твердая стеклянная корка, препятствующая сжатию внутренних слоев стекла. Эти слои остаются в растянутом состоянии и в них возникают напряжения растяжения. Внешние слои стремятся прижаться к внутренним. Они остаются в сжатом состоянии, и в них возникают напряжения сжатия. Тонкостенные изделия в отличие от толстостенных могут быть нагреты и охлаждены без образования напряжений. Изделия с неравномерной толщиной стенок или с резкими переходами толстых стенок в тонкие легко подвержены возникновению напряжений.

Таким образом, напряжения могут быть растягивающими и сжимающими. Растягивающие более опасны, чем сжимающие, потому что стекло хуже переносит растяжение, чем сжатие. Если при обработке стекла к существующей величине напряжений прибавятся новые напряжения, такого же направления, то в сумме они усилятся и могут оказаться достаточными, чтобы вызвать разрушение стекла. Если же к существующей величине напряжений прибавятся новые напряжения, имеющие противоположное направление, то в сумме они могут компенсировать друг друга и тем самым повысить прочность стекла.

Опасные напряжения могут возникать, например, при укладке горячих колб на холодные, при попадании на горячее стекло

случайных брызг воды, при соприкосновении горячего стекла с холодным металлическим предметом или, наоборот, холодного стекла с горячим металлическим предметом. Любой из подобных случаев может породить мелкие посечки и трещины. На операциях термической обработки стеклянных деталей рекомендуется перед началом работы зажигать огни для прогрева рабочих частей машины. Неудовлетворительная регулировка огня газовых горелок или засорение горелочных отверстий твердыми частицами, искривляющими направление огня, часто служат причиной возникновения разрушающих напряжений.

Самопроизвольное растрескивание стекла без видимой причины — распространенный брак в производстве ламп. Он особенно опасен тем, что может обнаруживаться неожиданно через самое неопределенное время после возникновения напряжений.

## 6) СНЯТИЕ НАПРЯЖЕНИЙ

Размягченное стекло свободно от напряжений, так как его частицы находятся в легкоподвижном состоянии. Если нагреть стекло до температуры размягчения, то напряжения в нем обязательно исчезнут. Однако, как только стекло остынет, в нем снова возникнут остаточные напряжения. Каждое нагревание стекла до температуры размягчения приводит к уничтожению старых напряжений, а каждое охлаждение — к возникновению новых.

При обработке стекла огнями стремятся предупреждать возникновение напряжений. Для этого горелки на машинах располагают так и огни устанавливают такие, чтобы стекло постепенно нагревалось до размягчения, подвергалось заданной технологической обработке, дополнительно нагревалось до выравнивания температур и затем медленно остывало. В тех случаях, когда стекло требуется подвергать двум последовательным операциям, связанным с нагревом, вторую операцию выполняют тотчас же после первой, пока стекло не успело остыть.

Часто такие предупредительные меры оказываются недостаточными или неприемлемыми, например, бывают случаи, когда технологический процесс не позволяет медленно охлаждать стекло или когда нецелесообразно занимать оборудование медленным охлаждением стекла. В таких случаях изделия, разгружаемые с машины при температуре, близкой к точке размягчения, освобождают от напряжений медленным и равномерным охлаждением, а изделия, разгружаемые с машины уже отвердевшими, освобождают от напряжений нагревом до температуры, близкой к точке размягчения, выдержкой при этой температуре и постепенным охлаждением. Частицы стекла в разогретом состоянии приобретают подвижность и при замедленном остывании равномерно сжимаются, не оказывая давления друг на друга. Такой способ предупреждения внутренних напряжений или уменьше-

ния их до степени, безопасной для прочности изделий, называют отжигом.

Наинизшую температуру стекла, при которой напряжения начинают медленно исчезать, называют нижней температурой отжига или точкой трансформации, а наинизшую температуру стекла, при которой напряжения быстро и почти полностью исчезают, называют верхней температурой отжига. Состояние стекла при нижней температуре отжига характеризуется тем, что вязкость его еще слишком велика и его частицы еще не приобрели достаточной подвижности. Состояние стекла при верхней температуре отжига характеризуется тем, что оно еще не изменяет своей формы, но его частицы достаточно подвижны, их скорость одинакова во всем объеме и они могут перемещаться в стекле без образования напряжений. Нижнюю температуру отжига можно охарактеризовать как температуру, при которой исчезают первые 5% напряжений, а верхнюю — как температуру, при которой исчезают 95% напряжений. Интервал температуры между верхней и нижней температурами отжига, составляющий около 75 град, называют зоной отжига. Чтобы правильно отжечь стеклянное изделие, нужно выдержать его некоторое время при температуре не ниже верхней температуры отжига, пока напряжения не исчезнут, и затем, чтобы при остывании остаточные напряжения не возникли вновь, медленно остудить его до температуры не выше нижней температуры отжига. Дальнейшее охлаждение в зависимости от толщины стенок изделия можно вести со значительно большей скоростью, которая ограничивается лишь величиной возникающих при этом временных напряжений. Остаточные напряжения здесь уже возникнуть не могут, а образующиеся временные напряжения исчезнут, как только во всех слоях стекла установится окружающая температура.

Так как верхняя температура отжига стекла лежит близко к температуре его размягчения (обычно на 10—15 град ниже), то для установления правильного режима отжига и предупреждения деформации изделий при отжиге нужно знать температуру размягчения стекла. Чем более тугоплавко и вязко стекло, тем выше должна быть зона и длительнее время отжига. Те же составные части шихты, которые повышают вязкость стекла, одновременно повышают верхнюю температуру отжига. Бессвинцовые стекла требуют более высокой зоны и большего времени отжига, чем свинцовые. Молибденовые и вольфрамовые стекла требуют более высокой зоны и большего времени отжига, чем платинитовые. Благодаря тому что молибденовые и вольфрамовые стекла обладают более низким коэффициентом расширения и соответственно большей термостойкостью, чем платинитовые, их можно сравнительно быстро охлаждать после затвердевания без опасения возникновения разрушающих временных напряжений.

Печи, специально предназначенные для отжига стеклянных изделий, называют печами отжига. Они имеют разнообразные устройства. В печах отжига периодического действия отжигаемые изделия помещают неподвижно в обогреваемые камеры, а температуру изделий регулируют изменением нагрева камер во времени; в печах отжига непрерывного действия отжигаемые изделия пропускают через туннель, у которого разные участки имеют различную температуру, а температура отжигаемых изделий регулируется движением их на конвейере от горячей к холодной части туннеля. Печи отжига периодического действия обычно применяют с электрическим нагревом, а непрерывного — с газовым. В электрических печах нагрев осуществляется элементами сопротивления, а в пламенных — горелками в виде труб с отверстиями. Электрические печи не выделяют вредных газов и не потребляют кислорода из помещения, как пламенные, но имеют значительную тепловую инерцию, и поэтому нагреваются и остывают медленнее. Пламенные печи не имеют малостойких нагревательных элементов, но их рабочее пространство всегда заполнено продуктами горения газа, которые осаждают на отжигаемых изделиях тончайший налет твердых загрязнений. В пламенных печах легче регулируется, но и легче нарушается температурный режим, чем в электрических.

Изделия проходят в печах отжига четыре последовательных стадии тепловой обработки: 1) нагрев, 2) выдержку, 3) медленное охлаждение и 4) быстрое охлаждение. Вторая и третья стадии составляют зону отжига. Если отжигу подлежат изделия, только что прошедшие огневую обработку, то первую стадию сокращают или вовсе опускают и отжиг начинают сразу с выдержки при максимальной температуре.

На всех стадиях отжига изделия выдерживают тем дольше, чем они крупнее и массивнее. При отжиге толстостенных холодных изделий начальный подъем температуры в стадии подогрева замедляют, чтобы возникающие временные напряжения не вызывали растрескивания стекла.

Отжигом нельзя полностью уничтожить все напряжения. Без напряжений получается только оптическое стекло, которое отжигают в течение многих суток. В стеклянных деталях электрических ламп не удается снять все напряжения в короткий промежуток времени. В полном уничтожении напряжений и нет необходимости, так как стекло выдерживает равномерно распределенные умеренные напряжения, не растрескиваясь. Напряжения достаточно снизить лишь настолько, чтобы они не превысили предела прочности стекла. Оставление некоторых безопасных напряжений позволяет сократить время отжига.

Напряжения в спаях стекла со стеклом и стекла с металлом, вызванные неодинаковым тепловым расширением, никаким отжигом снять невозможно. Такие «коэффициентные» напряжения составляют наибольшую опасность.

Иногда горячие стеклянные изделия помещают в печь с температурой, промежуточной между той, которая была во время их горячей обработки, и температурой производственного помещения. Длительной выдержкой при относительно низкой температуре достигается легкий отжиг или отпуск изделия. К отпуску прибегают в случаях, когда напряжения в изделиях не слишком сильны и могут быть ослаблены лишь более замедленным охлаждением.

Неправильно проведенный отжиг может не только не устранить старых напряжений, но даже вызвать возникновение новых. В результате такого отжига качество изделий может не улучшиться, а ухудшиться. Тонкостенные изделия предпочитают вовсе не отжигать, так как затраты на их отжиг удорожают стоимость ламп, не принося заметной выгоды. Колбы, выдутые из дров, и небольшие колбы, выдутые вручную из стекломассы, обычно не отжигают.

### в) ОЦЕНКА НАПРЯЖЕНИЙ

Для обнаружения внутренних напряжений стеклянные изделия просматривают в поляризованном свете.

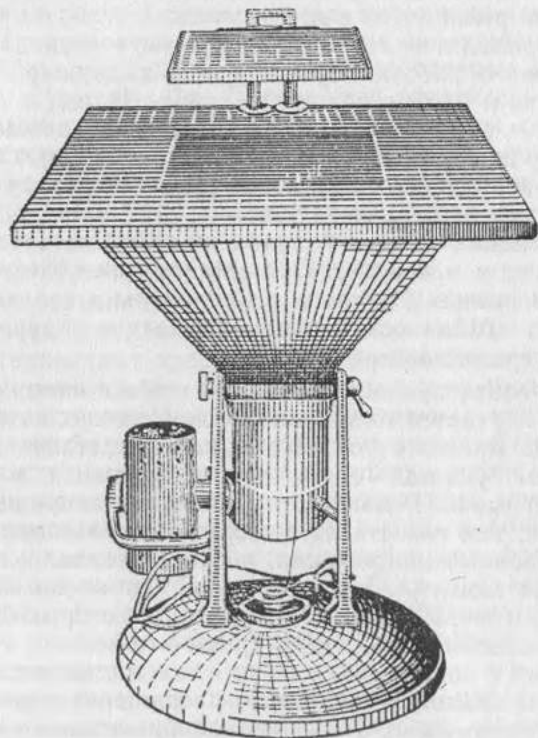


Рис. 5-8. Полярископ ПКС-500.

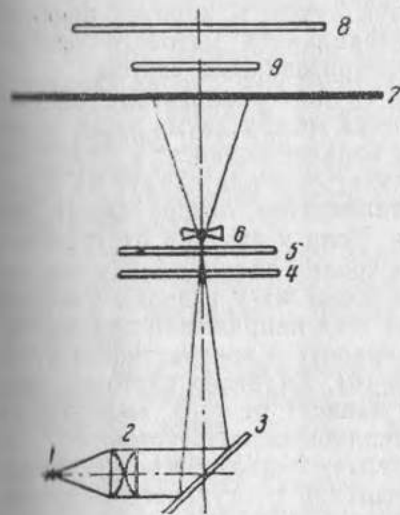


Рис. 5-9. Оптическая схема полярископа.

1 — лампа накаливания; 2 — конденсор; 3 — зеркало; 4 — поляризатор; 5 — кварцевая пластинка; 6 — объектив; 7 — матовое стекло; 8 — анализатор; 9 — проверяемое изделие.

рассматривать предметы в поляризованном свете. Поляризованным называют такой свет, у которого колебания электромагнитных волн происходят только в одной определенной плоскости, проходящей через направление луча. В отличие от поляризованного естественный неполяризованный свет представляет собой колебания электромагнитных волн во всех направлениях пространства, перпендикулярных направлению луча.

На рис. 5-8 и 5-9 изображены полярископ ПКС-500 и его оптическая схема. Естественный свет лампы накаливания проходит две плоско-выпуклые линзы (конденсор), концентрирующие его в сходящийся пучок. Далее пучок отражается от наклоненного зеркала и изменяет свое направление на 90°. Проходя через поляризатор — особую поляроидную пленку, заклеенную между двумя защитными стеклами, свет поляризуется. За поляризатором установлена слюдяная или кварцевая пластинка и двояковогнутая линза (объектив). Первая повышает чувствительность

Стекло, не содержащее внутренних напряжений (ненапряженное стекло), представляет собой однородное, изотропное тело с одинаковыми свойствами во всех направлениях. Оптические свойства такого стекла в любых направлениях одинаковы. Стекло же, содержащее механические или термические напряжения (напряженное стекло), является средой анизотропной, т. е. его физические свойства, в том числе оптические, в разных направлениях различны. Для того чтобы установить, является ли данный образец стекла изотропным или анизотропным, т. е. ненапряженным или напряженным, пользуются, поляриiscopом — оптическим прибором, превращающим естественный свет в поляризованный и позволяющим рас-

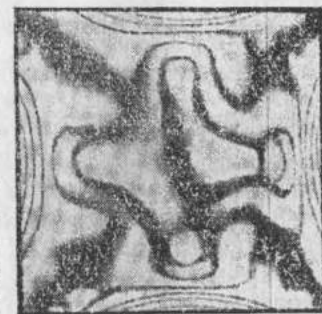


Рис. 5-10. Напряженное стекло в полярископе.

прибора, а вторая рассеивает пучок лучей. К корпусу прибора крепится предметный стол из зеркального матового стекла, освещаемого снизу рассеянным поляризованным светом.

Для обнаружения поляризации служит анализатор — другая поляроидная пленка, тоже заклеенная между двумя защитными стеклами. Исследуемое стеклянное изделие подносят в пространство между поляризатором и анализатором или кладут на предметный стол и, наблюдая через анализатор, поворачивают его до получения наибольшей яркости. Если у изделия отсутствуют напряжения, то его окраска в поле зрения полярископа совпадает с окраской окружающего фона. Если же у изделия имеются напряжения, то его окраска вблизи этих напряжений приобретает пестрый радужный оттенок, по яркости и контрастности которого судят об их величине (рис. 5-10). Характер цветовой картины, видимой в полярископе, не зависит от того, вызваны ли напряжения механическими или тепловыми воздействиями.

При проверке полярископом следует одинаково остерегаться пропускания плохо отожженных изделий и огульного бракования изделий с умеренными напряжениями.

Полярископом пользуются для приблизительной качественной оценки напряжений; для точной же количественной оценки пользуются другим прибором — поляриметром.

Поляризационными приборами можно определять напряжения только в прозрачных бесцветных изделиях, имеющих одинаковую температуру с окружающей средой.

## 5-6. ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОЛБ

### а) РУЧНАЯ ВЫРАБОТКА

При выработке колб вручную основным инструментом мастера-выдувальщика служит цельнотянутая стальная трубка диаметром 10—20 мм, длиной около 1200 мм. Трубка с одного конца имеет сосок для дутья, а с другого — приваренный стальной конический наконечник для набора стекломассы. При изготовлении колб выдувальщик придерживается следующей последовательности операций:

1) подносит трубку к поверхности стекломассы в печи и поворачиванием ее вокруг оси набирает на наконечник комок стекломассы требуемой величины;

2) закатывает комок о гладкую поверхность чугунной катальной плитки и придает ему правильную симметричную форму, одновременно доводя его до требуемой пластичности;

3) поднимает трубку вверх и выдувает «баночку»; при подъеме трубки следит, чтобы стекло не свисало набок; поворачивая трубку вокруг оси, управляет стекломассой и симметрично распределяет ее в баночке;

4) опускает трубку вниз и встряхивает ее, отчего баночка принимает удлиненную форму;

5) при изготовлении малых колб на этом заканчивает подготовку набора; при изготовлении больших колб снова поднимает трубку вверх и производит второе выдувание; это второе выдувание, или, как его называют, продувание, не дает стеклу накапливаться в куполе колбы и облегчает равномерное распределение стекла по всей колбе;

6) опускает трубку вниз; комок стекла под влиянием силы тяжести удлиняется и принимает форму бутылочки (пульки);

7) выждав несколько секунд, пока пулька примет длину, приблизительно равную длине колбы, вставляет ее в форму (рис. 5-11);

8) закрывает педалью форму и дует в трубку, одновременно быстро вращая ее обеими руками;

9) продолжая вращение и выдувание, медленно подтягивает трубку вверх, чтобы выдулся и отпечатался рант колбы;

10) открывает педалью форму и передает колбу вместе с трубкой помощнице (отшибальщице).

Отшибальщица делает пожнищами в конце колбы надрез, смачивает место надреза стальной полоской (косариком), кладет колбу на деревянный лоток и отбивает ее от трубки легким ударом деревянной колотушки. Далее она сбивает косариком с наконечника трубки остаток остывшего стекла (набель) и погружает наконечник в бачок с водой, взмученный тонко измельченной глиной. Погружение наконечника в глинистую воду предохраняет трубку от перегрева и облегчает сбивание набеля. При погружении наконечника отшибальщица зажимает пальцами отверстие в соске, чтобы внутрь трубки не попадала вода, чтобы канал трубки не засорился глиной и чтобы трубка не перегревалась горячим водяным паром.

Применяемые для выдувания колб формы состоят из двух скрепленных между собой раскрывающихся одинаковых половинок. Внутренняя поверхность каждой полуформы имеет очертания колбы. Выдувальщик вводит стеклянную пульку в раскрытую форму, сводит обе полуформы и дутьем в трубку сближает стенки колбы со стенками формы.

Формы отливают из чугуна или алюминия, обрабатывают на токарном станке и перед применением наводят изнутри лаком,

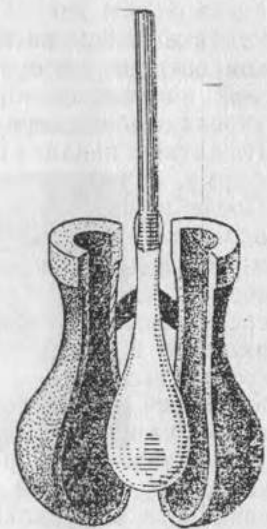


Рис. 5-11. Выдувание колбы в форме.



приготовленным из разведенных на натуральной олифе цинковых белил или железного сурика. Поверхность, наведенную лаком, обсыпают сухой просеянной березовой (беззольной) пылью. Затем формы сушат в сушильной печи при 130—150° С. Такая подготовка предохраняет формы от чрезмерного нагрева и делает их внутреннюю поверхность бархатно гладкой. От толщины наводки лаком зависит размеры колб. При недостаточной гладкой наводке на вращаемых горячих колбах образуются прозрачные концентрические круги — «темное черчение». Крупинки загрязнений на форме образуют на колбе «белое черчение». Форму укрепляют на специальном станке с двумя ножными педалями. Нажатием педалей выдувальщик может открывать и закрывать форму, опускать ее в бачок с водой и поднимать ее из бачка. После каждого выдувания форму замачивают водой с целью охлаждения и предотвращения выгорания лака (лак впитывает в себя воду). При выдувании колб вода превращается в пар и создает «паровую подушку», предохраняющую колбу от непосредственного соприкосновения со стенками формы и обеспечивающую высокую чистоту поверхности колб. Избыток пара и воздух, вытесняемые колбой, выходят из формы через просверленные в ней отверстия-душники. Благодаря вращению выдуваемой колбы на ней не остается следов стыков формы и душников.

Выдувальщики работают на деревянном настиле, проложенном вокруг рабочей части печи. Производительность квалифицированного выдувальщика при выработке колб диаметром 60—65 мм составляет около 170 шт. в час. С увеличением габаритных размеров и толщины стенок колб производительность уменьшается. Бригада состоит из двух выдувальщиков и одной отшибальщицы. Пока один выдувальщик набирает стекломассу и приготавливает баночку, другой выдувает колбу. Каждый член бригады координирует свою работу с работой остальных членов бригады.

Выдутые колбы откладывают от лотков отшибальщиц и направляют в переборную. Браковщицы просматривают их в рассеянном свете и отделяют брак, подразделяя его на брак по вине стекломассы и брак по вине выдувальщиков.

Выдувание стеклянных изделий ртом — трудная работа. Она требует от выдувальщика высокого мастерства. Выдувальщик должен обладать навыками, профессиональной ловкостью и физической выносливостью. Он должен уметь координировать свои приемы и движения с интенсивным охлаждением и изменяющейся вязкостью стекломассы. Только опытный выдувальщик выдувает колбы с однородной толщиной стенок и минимальным браком.

Ручная выработка целесообразна при изготовлении колб из «молибденового», «вольфрамового» и цветного стекла, колб очень больших размеров и колб специальных типов, применяемых в небольших количествах.

Механизированная выработка значительно производительнее ручной. При ней достигается постоянство размеров и качества колб и устраняются тяжелые и вредные условия труда, какими отличается ручная выработка.

#### б) ОБРЕЗКА КОЛБ РУЧНОЙ ВЫРАБОТКИ

У выдутых колб, как у всяких выдувных изделий, выступает некоторое количество стекла в виде избыточного придатка (колпачка), который требуется удалить, чтобы при заварке ламп можно было свободно поместить ножку внутри колбы.

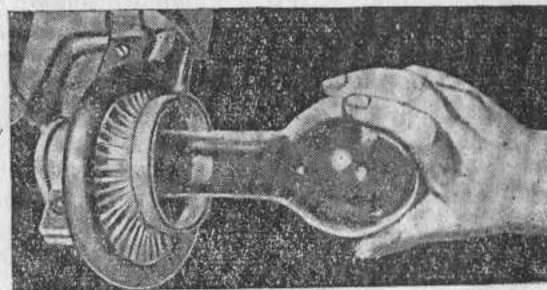


Рис. 5-12. Обрезка колб вручную.

Большие колбы ручной выработки из стекла рецепта С89-1 обрезают в холодном состоянии. Колпачок вставляют в углубление чугунного конуса, нагреваемого кольцевой газовой горелкой (рис. 5-12). Прикосновение холодной колбы к раскаленным стенкам конуса вызывает в ранте временные напряжения сжатия, под влиянием которых возникает круговая трещина по периметру ранта. Если колпачок не отколется, прикасаются рантом к увлажненному фитилю, при этом в стекле возникают временные напряжения растяжения и колпачок откалывается.

Малые колбы ручной выработки из стекла рецепта С89-1 обрезают концентрированным нагревом острым газо-кислородным пламенем. При таком нагреве создается интенсивная узкая полоса временных напряжений, порождающая ровную трещину.

Колбы из стекла С49-2 обрезают накаливаемым током петлей из нихромовой проволоки. Прижатую к петле колбу вращают вокруг оси, пока не образуется трещина. Накал петли регулируют реостатом.

Подводимое к зоне обрезки тепло должно быть достаточным и концентрированным, иначе трещина получается неровной или вовсе не получается. Обрезанные колбы с долевыми трещинами или выбоинами, берущими свое начало от ранта, а также колбы с отбитым больше чем на 20% рантом, бракуют. Обрезанные колбы ручной выработки требуют осторожного обращения.

головок. Падая с небольшой высоты, они садятся на мундштуки дутьевых трубок. Наборный аппарат далее возвращается в исходное положение и снова набирает четыре порции стекломассы для следующей секции автомата.

Получив порцию стекломассы (пульку), губки дутьевых трубок закрываются и оседают на мундштуки дутьевых трубок. В момент оседания особые пуансоны (грибки) выдавливают в пуляках небольшое углубление, прижимая тем самым пульки к мундштукам и фиксируя направление раздувания пулек. Далее начинается постепенное выдувание пулек сжатым воздухом сначала в вертикальном положении куполом вверх, затем в горизонтальном и, наконец, в вертикальном — куполом вниз. В последнем положении пульки вытягиваются под влиянием собственного веса и закрываются двустворчатыми чугунными формами, покрытыми внутри пористой массой, пропитанной водой. В дутьевые трубки усиливается дутье для окончательного оформления колбы. Формы в раскрытом состоянии обильно поливаются охлаждающей водой, избыток которой перед сведением полуформ сдувается сжатым воздухом для предотвращения подмачивания купола колб.

Дутьевые трубки вращаются со скоростью около 10 оборотов в минуту. Вращение трубок облегчает равномерное распределение стекла и препятствует образованию шва при выдувании в форме. На последней стадии цикла формы и губки дутьевых трубок раскрываются, и колбы соскальзывают по четырем металлическим лоткам на приемный конвейер, по которому они доставляются к автомату обрезки и оплавки.

Формы перед установкой в колбовыдувной автомат «наводят»: внутреннюю поверхность их смазывают олифой, обсыпают пробковой пылью, сушат в печи и обжигают путем выдувания в ней одной колбы. Размерами внутренней полости наведенной формы определяются наружные размеры колб. Несвоевременная и неоднородная наводка вызывает отклонения размеров, колб от установленных норм.

Колбовыдувной автомат приводится в действие двумя электродвигателями постоянного тока. Один вращает карусель, а другой — дутьевые трубки. Применение двигателей постоянного тока позволяет в широких пределах плавно регулировать реостатом скорость вращения карусели, которая должна быть тем больше, чем меньше размеры колбы, чем больше рабочая вязкость стекломассы и чем ниже температура воздуха в помещении цеха.

Корпус автомата установлен на четырех колесах с эксцентричными осями. Приведение в действие колес позволяет откатывать автомат от заборного окна печи в периоды настройки или перерывов в работе и опускать или поднимать автомат для точной установки наборных головок по уровню стекломассы в печи.

К автомату подводят: постоянный ток для двух электродвигателей, 99%-ный вакуум для вакуумного питателя<sup>1</sup>, воздух от компрессора давлением 3 ат для подачи вакуумного питателя в заборное окно и обратно, воздух от Вентилятора давлением 300 мм вод. ст. для выдувания колб, воздух от вентилятора давлением 100 мм вод. ст. для охлаждения губок дутьевых трубок и шейки выдуваемых колб, воздух от компрессора для сдувания воды с форм, воду для охлаждения вакуумного питателя и воду для охлаждения и смачивания форм. Воду для вакуумного питателя применяют такую, которая не содержит кислых солей, вызывающих коррозию стальных деталей наборных головок, и которая обладает незначительной жесткостью, ухудшающей отвод тепла образующейся накипью<sup>2</sup>. Местную водопроводную воду, содержащую много растворенных минеральных солей, выпадающих при кипячении в виде осадка или накипи, очищают от части солей в ионнообменной установке.

Для бесперебойной работы колбовыдувных автоматов требуется строгое соблюдение постоянства высоты уровня стекломассы в стекловаренной печи и стабильности рабочей вязкости стекломассы. Суточная производительность автомата при выработке колб диаметром 50—65 мм составляет около 100 000 шт. и колб диаметром 80 мм—80 000 шт. Колбы, выдутые на автомате, имеют набель, отличающийся от колб ручной выработки (рис. 5-14).

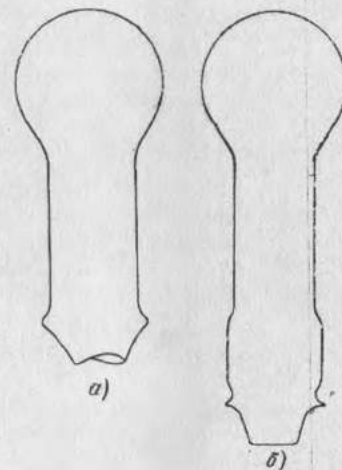


Рис. 5-14. Колба, выдутая вручную (а) и выдутая на автомате (б).

#### г) ОБРЕЗКА, ОПЛАВКА И ОТЖИГ КОЛБ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ВЫРАБОТКИ

Колпачки колб механизированной выработки обрезают в горячем состоянии. Автомат обрезки и оплавки (рис. 5-15) состоит из равномерно вращающейся карусели с 24 колбодержателями и подковообразными горелками. Колбы попадают из приемного конвейера колбовыдувного автомата сначала на 8-гнездный поворотный круг и оттуда перегружаются в колбодержатель 1-й

<sup>1</sup> % вакуума =  $\frac{760-p}{760} \cdot 100$ , где  $p$  — вакуум, мм рт. ст.

<sup>2</sup> Жесткостью называют свойство воды, обусловливаемое присутствием в ней кальциевых и магниевых солей.

позиции. На 3-й позиции пламя постоянно действующей одноотверстной «дежурной» горелки зажигает огни в дюзах подковообразной горелки. Одновременно колбодержатель и подковообразная горелка начинают вращаться. На позициях с 3-й по 14-ю колбы постепенно разогреваются и обрезаются огнями; отделившиеся колпачковые части падают через воронку в тележку или ящик для боя. Далее обрезанные края колб равномерно оплавляются и утолщаются, что придает им прочность и защищает их от растрескивания. При недостаточности сильных и острых огней образуются наплывы; при слишком сильных и острых огнях края колбы стягиваются внутрь. С 15-й позиции колбы перестают вращаться, подковообразная горелка гаснет, и колбы остывают. На 19-й и 20-й позициях две колбы одновременно сбрасываются на ленточный конвейер из асбестового полотна. При изношенных или плохо отцентрированных

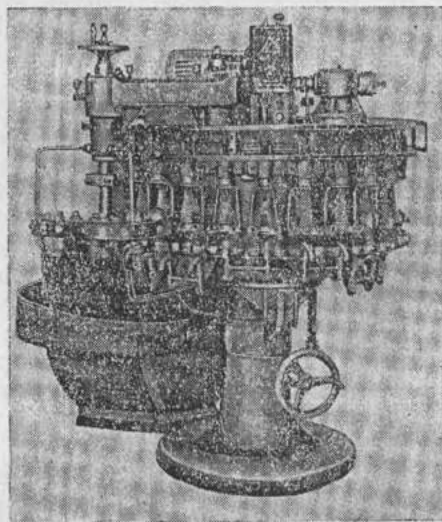


Рис. 5-15. Автомат обрезки и оплавки колб.

колбодержателях обрезка получается косой. Колбодержатели периодически смазывают коллоидно-графитовым препаратом.

На станине автомата имеется барабан, к которому подводится горючая смесь для горелок. При работе на природном или сжиженном газе к газозооной смеси добавляют кислород. Для предотвращения взрыва автомата, в случаях проникновения в барабан смазочного масла, в стенках барабана просверлены три отверстия, которые закрывают предохранительными пробками. При внезапном взрыве горючей смеси пробки выбрасываются без нанесения повреждения автомату.

Обрезанные и оплавленные колбы сбрасываются с ленточного конвейера колбообрезного автомата во входное отверстие туннельного конвейерного лера (печи отжига) длиной 670 см, шириной и высотой 22,5 см. Колбы перемещаются в туннеле на бесконечном сетчатом конвейере через зоны отжига и охлаждения. Лер нагревают газом, мазутом или электричеством. В последнее время предпочтение стали отдавать электрическому нагреву, не засоряющему рабочего пространства лера продуктами горения газа или мазута и позволяющему точно регулировать режим отжига. Электрический лер оборудуют спиральным нагревателем

с переменным шагом, обусловленным заданной кривой отжига. Плохо отожженные колбы дают повышенный бой при транспортировке.

Отожженные колбы передаются на охлаждающий конвейер, где они, передвигаясь к рабочему месту технического контроля, полностью остывают. Браковщики проверяют колбы непосредственно у конвейера. Отбракованные колбы укладывают полойно в короба из гофрированного картона.

#### д) ВЫРАБОТКА НА АВТОМАТЕ КОНВЕЙЕРНОГО ТИПА

Колбовдувной конвейерный автомат предназначен для производства колб диаметром 60 и 65 мм из непрерывной ленты стекломассы (рис. 5-16). Основные рабочие органы автомата размещены на трех конвейерах — стеклоформирующем, дутьевых головок и форм, размещенных друг над другом и двигающихся с одинаковой скоростью (до 1,2 м/сек) от общего приводного двигателя постоянного тока.

Пластичная стекломасса при температуре около 1000°С вытекает непрерывной струей диаметром до 30 мм из питателя стекловаренной печи. Струя захватывается двумя прокатными валками колбовдувной машины и превращается в ленту толщиной 3 мм. Валки охлаждаются умягченной проточной водой, чтобы стекломасса к ним не прилипала. Один из валков имеет гладкую поверхность, а другой — круглые углубления высотой 6—7 мм. Благодаря углублениям стеклянная лента выходит из валков с выступающими утолщениями в виде дисков.

Лента с дисками укладывается на средний стеклоформирующий бесконечный конвейер, состоящий из пластинчатых звеньев с круглыми отверстиями, точно совпадающими со стеклянными дисками. Под действием силы тяжести каждый диск, обладающий сравнительно небольшой вязкостью, медленно провисает сквозь отверстие в пластине и постепенно образует пульку. Пос-

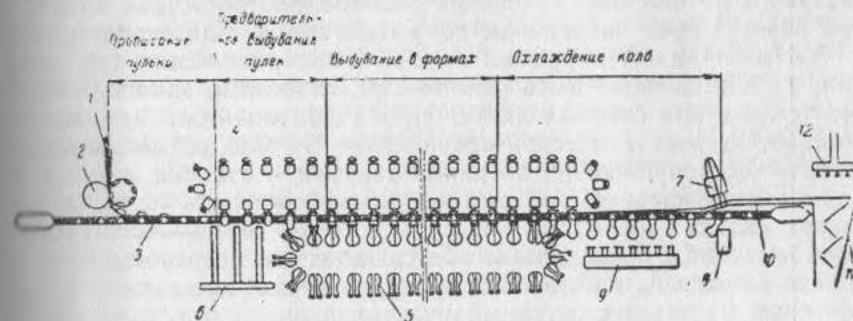


Рис. 5-16. Колбовдувной автомат конвейерного типа.

1 — струя стекломассы; 2 — прокатные валки; 3 — стеклоформирующий конвейер; 4 — конвейер дутьевых головок; 5 — конвейер форм; 6 — охладитель пулек водяным туманом; 7 — отделитель ленты; 8 — упор для отломки колб; 9 — воздушный охладитель колб; 10 — лоток для ленты; 11 — бункер для стеклбоя; 12 — водяной охладитель ленты.

ле провисания пульки на заданную глубину стеклоформирующий конвейер встречает на своем пути верхний конвейер с дутьевыми головками, каждая из которых точно совпадает с осью пулек. Давлением сжатого воздуха из дутьевых головок начинается последовательное выдувание, заставляющее пульку продолжать провисание в отверстиях среднего конвейера. Окончательное выдувание колб совершается в раздвижных формах, движущихся на нижнем бесконечном конвейере. Конвейер подводит очередные формы в раскрытом виде к соответствующим пулькам. Формы автоматически сдвигаются и начинают вращаться со скоростью около 200 оборотов в минуту. После окончания выдувания вращение форм прекращается, полуформы раздвигаются и колбы обдуваются воздухом для охлаждения.

Движение колб продолжается до тех пор, пока неподвижный упор не отобьет их от ленты. Тогда они падают на вращающийся транспортер, на котором горелками оплавливают их края. Оплавленные колбы партиями по 9 шт. передаются на промежуточный транспортер, а отработанная остывшая лента стекла раздробляется и транспортируется в «составную» для использования.

С промежуточного транспортера колбы поступают на сетку туннельного газового лера длиной 30 м. Колбы отжигаются в течение 4—6 мин и после выхода из лера поступают сначала на охлаждающий, а затем разбраковочный транспортер, за которыми их проверяют и упаковывают.

Производительность агрегата — 750 тыс. колб в сутки.

## 5-7. ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ КОЛБ

### а) ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

На внутреннюю поверхность колб наносят различные покрытия с целью уменьшения слепящей яркости, перераспределения светового потока или изменения спектрального состава излучения ламп. Перед нанесением покрытий колбы тщательно моют.

Ко всем видам покрытий предъявляют ряд общих требований: 1) они должны быть сплошными, гладкими, однородными, без темных или светлых пятен; 2) они должны обладать светостойкостью и механической прочностью; 3) они должны выдерживать без повреждения операции заварки и откачки ламп, сопряженные с нагревом; 4) они не должны изменять своих физических свойств и внешнего вида в течение нормального срока службы ламп; 5) они должны обезгаживаться прогревом и не выделять газов при рабочей температуре ламп; 6) они должны быть нанесены на строго заданный участок поверхности, зависящий от назначения ламп; 7) их границы должны быть четкими и не иметь перекосов, нарушающих симметрию кривой светораспределения.

Внутреннее покрытие колб имеет ряд преимуществ перед наружным: его нанесение легче поддается механизации; оно позволяет работать с дешевой колбой, а не с дорогой лампой; наружная поверхность колб остается гладкой, не так быстро загрязняется и легко очищается от пыли.

Колбы с нанесенными покрытиями без задержки направляются на сборку ламп.

### б) МОЙКА

Проникающие в колбы пыль и влага загрязняют стекло. Загрязнение увеличивается при влажных упаковочных материалах, хранении колб в сырых помещениях и неудовлетворительной химической стойкости стекла. Образование пятен, жировых полос, налетов, зачатков выветривания, а также оседание различных механических загрязнений заставляют мыть колбы перед сборкой ламп. Мойка необязательна, если производство колб находится на одной территории с производством ламп и если колбы доставляются в производство ламп, минуя длительное хранение.

Ручную мойку производят в двух ваннах, футерованных полиэтиленом или винилпластом. Первую ванну заполняют подогретой водой, подкисленной соляной кислотой до концентрации 0,03%, а вторую — подогретой проточной водой. Колбы прополаскивают в первой ванне, затем повторяют эту операцию во второй. В первую ванну периодически добавляют кислоту для восстановления кислотности, постепенно падающей из-за вносимых вместе с колбами щелочей. Вымытые колбы сушат в лотках естественным путем или в сушильном шкафу.

Колбы диаметром 40—80 мм моют на 18-позиционном 72-гнездном полуавтомате карусельного типа. На 1—4-й позициях колбы разгружают и загружают. На 5-й позиции колбы промывают снаружи и изнутри кислотным раствором, фонтанирующим через сопла коллектора. Раствор после промывки сливается обратно в бак для многократной циркуляции. На 6—8-й позициях колбы промывают теплой водой, фонтанирующей через сопла другого коллектора. Отработанная вода уходит в канализацию. На 9-й позиции наружную поверхность колб обдувают воздухом. На 10—18-й позициях цикл повторяется. Производительность полуавтомата при двух обслуживающих рабочих — 5 000 колб в час.

Старые колбы, имеющие следы выветривания, отмывают от пятен слабым раствором плавиковой кислоты. Если после отмывки колбы не становятся чистыми, их исключают из дальнейшей обработки.

Короба с вымытыми и высушенными колбами открывают только перед заваркой ламп.

## в) ХИМИЧЕСКОЕ МАТИРОВАНИЕ

Стекло способно травиться фтористоводородной (плавиковой) кислотой или ее солями. Различают светлое и матовое травление. Светлое получается тогда, когда образующиеся кремнефтористые соли растворяются в воде, а матовое, когда не растворяются. Поверхность стекла, подвергнутого матовому травлению, покрывается пленкой многочисленных нерастворимых в воде кристаллов кремнефтористых солей, препятствующих проникновению в стекло плавиковой кислоты и придающих ему характерную матовость (рис. 5-17). Эти кристаллы прозрачны, как и вся масса стекла, но их беспорядочное распределение делает стекло непрозрачным. Чем мельче кристаллы и чем больше их число на единице площади, тем полнее и равномернее достигается рассеяние света. При очень мелких кристаллах, приближающихся по размерам к длине волны света, матирование получается почти прозрачным, «шелковым».

Травильную смесь для матирования можно готовить раствором в воде кислотой фтористоводородной соли или насыщенным раствором плавиковой кислоты поташом, углекислым аммонием или содой до нейтрализации. Калиевые соли дают нежную матовую поверхность, аммонийные соли — более грубую, а натриевые — самую грубую. Характер матовой поверхности зависит также от состава самого стекла. Лучше всего матируются химически нестойкие стекла, содержащие много щелочей. Хуже матируются боросиликатные стекла. Травильную смесь для матирования колб из стекла рецепта С89-1 можно готовить по следующему рецепту: плавиковой кислоты 7 л, углекислого калия 3,2 кг, углекислого аммония 1 кг, водопроводной воды 5,5 л.

На матированном стекле образуется бесчисленное количество острых выступов и микроскопических трещин, придающих стеклу хрупкость. Этот недостаток устраняют обработкой колб закрепителем, приготовленным из разбавленного раствора плавиковой кислоты (1 л кислоты на 1 л воды). Закрепитель растворяет тонкий поверхностный слой стекла и сглаживает мельчайшие острия и выступы. Такая обработка восстанавливает проч-

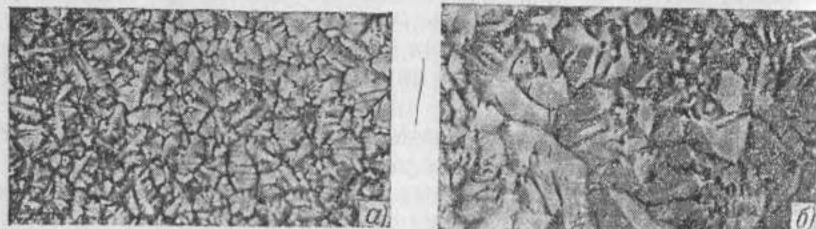


Рис. 5-17. Микроснимки поверхности матированного стекла.  
а — увеличено в 200 раз; б — увеличено в 600 раз.

ность колб без существенного ухудшения их светорассеивающих свойств.

Химическое матирование сопряжено с незначительным утоншением стенок колб. Поэтому для такого матирования следует применять колбы со стенками не тоньше 0,25—0,30 мм.

Матирование колб диаметром 45—95 мм производят фонтанным методом на 18-позиционном 72-гнездном полуавтомате карусельного типа. На 1—5-й позициях такого полуавтомата колбы вручную разгружают и загружают. На 6-й позиции колбы промывают 3—8%-ным раствором HF и на 7-й — горячей водой. На 8—9-й — вода стекает с колб. На 10-й — в колбы вводят матирующий состав. На 11—12-й — с колб стекает матирующий состав. На 13-й — колбы промывают горячей водой. На 14-й — в колбы подают закрепитель. На 15—17-й — колбы снова промывают горячей водой. На 18-й — колбы продувают сжатым воздухом. Все растворы нагнетаются в колбы из баков через сопла коллектора. И использованные растворы самотеком стекают через сливные отверстия обратно в баки для многократной циркуляции. Производительность полуавтомата 2 000 шт. в час.

Неправильное ведение процесса вызывает брак — пятнистые и хрупкие колбы. Пятнистые получаются при охлаждении, перегреве или ослаблении матирующего раствора, при засорении сопел, подводющих матирующий раствор и при работе с долголежавшими выветрившимися колбами. Хрупкие получаются при истощении закрепителя или засорении отдельных сопел, подводющих закрепитель. Хрупкость оценивают легким постукиванием одной колбы о другую. При постукивании хрупкие разбиваются.

Внутреннее матирование вызывает дополнительное поглощение светового потока лампы до 2%.

При нагреве матированных колб до температуры, близкой к точке размягчения стекла, шероховатая непрозрачная поверхность стекла оплавляется и становится прозрачной. С этим нужно считаться на операциях, связанных с нагревом колб, например, при обжиге клейма на колбах и при заварке и откачке ламп.

Плавиковая кислота ядовита и вызывает болезненные ожоги. При работе с ней следует соблюдать осторожность: все операции выполнять в защитных очках, резиновых перчатках и резиновом фартуке, растворы готовить только в вытяжном шкафу с хорошей вентиляцией, баки с растворами заключать в кожух под вытяжкой; в случаях попадания на кожу кислоты немедленно смывать ее 10%-ным раствором углекислого аммония или сильной струей проточной воды.

## г) МАТИРОВАНИЕ КОЛЛОИДНЫМ КРЕМНЕЗЕМОМ

Некоторые электроламповые заводы для придания лампам слабых светорассеивающих свойств вместо матирования фтористыми соединениями покрывают внутреннюю поверхность колб

слоем двуокиси кремния белого цвета очень тонкой структуры. Через такое покрытие раскаленная нить просвечивается в виде размытого светового пятна. Матирование двуокисью кремния освобождает персонал от необходимости соприкасаться с ядовитой плавиковой кислотой и не нарушает механической прочности колб, как при матировании фтористыми соединениями.

Исходным материалом для нанесения на колбу слоя  $\text{SiO}_2$  служит кремнийорганическое соединение — тетраэтилсиликат  $(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_4\text{Si}$  (этиловый эфир ортокремневой кислоты). Оно представляет собой прозрачную жидкость, полученную взаимодействием четыреххлористого кремния и этилового спирта. При сжигании паров тетраэтилсилката (эфира) образуется обильный белый дым, состоящий из аморфных частиц  $\text{SiO}_2$  размером 0,03—0,3 мк.

Испарение и сжигание эфира, а также введение в колбу дыма  $\text{SiO}_2$  производят специальной горелкой, состоящей из испарителя эфира и трех концентрически вставленных друг в друга металлических трубок. Во внутреннюю трубку подводят из испарителя пары эфира, в среднюю сжатый воздух и в наружную — кислород. Подачу регулируют игольчатыми вентилями. Эфир в испарителе нагревается электрической спиралью до кипения (167° С). Та же спираль нагревает пары эфира во внутренней трубке для предупреждения конденсации его на стенках трубки.

Горелка снабжена двумя соплами: одно имеет отверстие для выхода воздуха, а другое — отверстие для выхода эфира и несколько отверстий для выхода кислорода.

Смесь паров эфира и воздуха зажигают и так регулируют пламя дозировкой воздуха, чтобы оно оторвалось от горелки на 5—10 мм. Отрыв пламени препятствует быстрому засорению выходных отверстий горелки осаждающимися хлопьями  $\text{SiO}_2$ . Кислород подают с избытком, чтобы обеспечить полное сгорание эфира, иначе углерод несгоревшего эфира окрашивает колбу в желтый цвет.

Колбу, помещенную в шаблоне, надвигают на пламя так, чтобы сопло горелки поместилось на уровне перехода цилиндрической части колбы в шаровую. При слишком низком положении колбы купол покрывается более толстым слоем  $\text{SiO}_2$ , чем горло, а при слишком высоком — горло покрывается более толстым слоем, чем купол. Вихревое движение продуктов горения эфира содействует равномерному распределению дыма  $\text{SiO}_2$  по поверхности колбы. При чрезмерно большом пламени покрытие перегревается и после закрепления становится полупрозрачным с красноватым оттенком. Перегрев устраняют сбиванием пламени в сторону струей кислорода, выходящей из наклонно просверленных боковых отверстий кислородного сопла. Осаждение ведет до такой толщины, чтобы через двойной слой осадка еле видна была спираль горячей лампы мощностью 25 вт.

Колба нагревается пламенем примерно до 300° С. Перед следующей операцией ее охлаждают.

Слой  $\text{SiO}_2$  легко стирается рукой и при постукивании осыпается. Его закрепляют вдуванием перегретого водяного пара до приобретения светлосерого цвета.

После обработки паром колбы немедленно переносят под струю горячего воздуха до полного восстановления белого цвета. Такая обработка превращает слой разрозненных частиц  $\text{SiO}_2$  в прочную пористую пленку коллоидного кремнезема (силикагеля), поглощающую не более 2% светового потока лампы.

Пленка  $\text{SiO}_2$  имеет высокую температуру плавления. Она плохо растворяется в расплавленном стекле и препятствует при заварке колбы с ножкой образованию вакуумно-плотного шва. Ее счищают с горла колбы так, чтобы в готовой лампе ширина прозрачной полосы между цоколем и матированным стеклом не превышала 10 мм. Если пленка тонка, зачистку горла не производят.

На приведенной технологии основано устройство 16-позиционного 48-гнездного автомата карусельного типа. На 1-й позиции этого автомата колбы загружают в рабочие гнезда карусели. На 2-й позиции их центрируют и продувают сжатым воздухом для удаления соринок. На 3—7-й позициях колбы приводят во вращение и вводят внутрь них горелки, сжигающие эфир и осаждающие дым  $\text{SiO}_2$ . На 8—11-й позициях колбы охлаждают снаружи и изнутри сжатым воздухом. На 12-позиции в колбы вдувают перегретый пар для закрепления нанесенного слоя. На 13-й позиции зону заварки очищают от пленки  $\text{SiO}_2$  резиновой пластинкой. На 14-й и 15-й позициях колбы сушат нагретым до 80—100° С воздухом при одновременном наружном обогреве пламенем горелки. На 16-й позиции колбы выгружают из рабочих гнезд.

Производительность автомата 1 800 шт. в час. Для матирования 1 000 колб диаметром 65 мм требуется 1,6 кг эфира и 4 м<sup>3</sup> кислорода.

#### д) ОКРАСКА

Внутреннюю поверхность колб окрашивают в молочно-белый цвет с той же целью, с какой изготавливают колбы из натурального опалового стекла, т. е. для уменьшения яркости и придания лампам почти полных светорассеивающих свойств. Белую нитрокраску приготавливают из порошкообразной двуокиси титана  $\text{TiO}_2$  и 5%-ного раствора коллоксилина в бутилацетате или амилацетате. Краску размалывают в шаровой мельнице 24—48 ч и процеживают через слой ваты между ситами.

Колбы окрашивают фонтанным методом на специальной красильной установке (рис. 5-18). Струю краски вводят в колбы из рабочего бака через сопла коллектора под давлением сжато-

колпаком и резиновой прокладкой создается давлением атмосферы на поверхность колпака. Для ускорения откачки под колпак закладывают несколько открытых склянок с фосфорным ангидридом. После достижения требуемого разрежения (не менее  $10^{-3}$  мм рт. ст.), не отключая вакуумного насоса, включают на напряжение один из распылителей и несколько секунд прокалывают его током до ярко-белого накала. Алюминиевый гусарик плавится и собирается под действием сил поверхностного натяжения в капельку. Последняя равномерно растекается по нижней части спирали и быстро испаряется в вакууме<sup>1</sup>. Пары алюминия конденсируются тонким слоем на стенках колбы, образуя непрозрачное зеркало. Когда весь алюминий испарится, переключают напряжение на следующий распылитель и алюминировать следующую колбу. После алюминирования последней колбы колпак отключают от насоса, заполняют атмосферным воздухом и поднимают. Нанесенный слой алюминия закрепляют в сушильной печи при 180—200° С.

Крупные колбы алюминировать по одной штуке без применения съемного колпака. Колбу прижимают конической частью к уплотняющему резиновому кольцу аппарата и откачивают до  $10^{-3}$  мм рт. ст. Атмосферное давление прижимает колбу к кольцу, обеспечивая этим хорошую герметизацию. Далее напыляют на внутреннюю поверхность колбы алюминий при продолжающейся откачке. Перед впуском воздуха распылителю дают остыть. Эластичная резина при поступлении воздуха выпрямляется, колба приподнимается и без труда извлекается.

Участки колб, которые должны оставаться прозрачными (в месте заварки с ножкой и «световом окне») стравливают слабым раствором NaOH или KOH. Колбы, у которых световое окно должно находиться со стороны цоколя, погружают горлом вниз в сосуд с травителем на определенную глубину. Колбы, у которых световое окно должно находиться со стороны купола, заливают травителем по специальной трубке до заданной отметки и после растворения слоя отсасывают травитель по той же трубке. Протравленные колбы промывают водопроводной и дистиллированной водой и сушат при комнатной температуре или в сушильном шкафу.

Для изготовления крупных зеркальных ламп диаметром 175 мм создана полуавтоматическая линия, состоящая из трех отдельных карусельных машин, соединенных между собой подогревными конвейерами. Первая машина промывает колбы и наносит на купольную часть внутреннюю шелковую матировку (если она требуется), вторая алюминировать под вакуумом всю внутреннюю поверхность колб и третья стравливает на ку-

<sup>1</sup> Алюминий плавится при 660° С и начинает быстро испаряться при 1 100—1 200° С.

поле световое окно щелочным раствором. Производительность линии 200 колб в час.

Структура и чистота напыляемой алюминиевой пленки зависят от давления остаточных газов в колбе. Для получения чистого блестящего зеркала необходимо, чтобы средняя длина свободного пути молекул газа в откачиваемом объеме была больше расстояния между распылителем и колбой. При таком разрежении атомы алюминия разлетаются во все стороны прямолинейными лучами и достигают стенок колбы без столкновения с молекулами остаточного газа. В случаях, когда внутри колбы создано недостаточное разрежение, атомы алюминия, сталкиваясь с молекулами газа, утрачивают свое прямолинейное движение; достигая колбы с уменьшенной скоростью, они плохо закрепляются на ее поверхности. Кроме того, пары алюминия, окисляясь и загрязняясь примесями из атмосферы, образуют темный слой. Признаком достаточного разрежения может служить отсутствие синеватого или темного налета смеси окислов вольфрама и алюминия на поверхности зеркала. О наличии требуемого разрежения можно судить еще по резкой «молекулярной тени», которую отбрасывают на алюминиевый слой препятствия, помещенные между колбой и распылителем. Проникновение в колбу паров масла из вакуумного насоса загрязняет зеркало.

Слой алюминия точно сохраняет рельеф поверхности колбы и отражает все ее неровности. Если поверхность гладкая, слой получается как бы полированным, хорошо отражающим свет. Если поверхность матированная, слой получается шероховатым и способным несколько рассеивать свет. Отражатели для ламп-фар, отпрессованные плохо полированным пуансоном, частично рассеивают свет. Наилучшими отражающими свойствами обладает зеркало, у которого высота неровностей меньше длины волны падающего света.

Толщина слоя определяется весом алюминиевых гусариков, который назначают в зависимости от размеров поверхности колбы. Для получения слоя равномерной толщины стремятся чтобы все участки поверхности колбы, на которых должно быть нанесено зеркало, находились бы примерно на одинаковом расстоянии от распылителя и чтобы все колбы устанавливались в одинаковом положении относительно распылителя. Слой должен получаться такой толщины (около 1 мк), чтобы сквозь него не проходили лучи света введенной внутрь колбы малогабаритной лампы накаливания. Недостаточная толщина слоя влечет за собой уменьшение коэффициента отражения зеркала.

Качество алюминиевого зеркала и прочность сцепления алюминия со стеклом зависят от чистоты колб. Для алюминирования применяют, по возможности, колбы свежей выработки, промывные разбавленной соляной кислотой и дистиллированной водой. Малые колбы для ускорения сушки споласкивают спиртом. Высушенные колбы оберегают от запыления. Пылевые частицы,

удерживаемые на поверхности колбы электрическими зарядами, образуют в зеркале просветы.

Качество алюминиевого зеркала зависит от чистоты применяемого алюминия. Так, при содержании алюминия в сплаве 99,9% коэффициент отражения зеркала достигает 0,88, а при 99,2% — снижается до 0,6. Лучше всего применять алюминий с чистотой 99,99%.

Алюминиевые гусарики перед использованием промывают 10—15%-ным раствором щелочи, дистиллированной водой и спиртом и обезгаживают в сушильной печи.

Металлы, склонные к образованию окислов, лучше соединяются со стеклом. Поэтому алюминиевая пленка лучше, чем серебряная, прилипает к стеклу. В нормальных атмосферных условиях свеженанесенная алюминиевая пленка покрывается тончайшим плотным прозрачным слоем  $Al_2O_3$  толщиной 0,01—0,1 мк, обладающим хорошими защитными свойствами. При повышенной влажности в производственном помещении, а также при плохой подготовке колб перед покрытием алюминий отслаивается от стекла («отпотевает»). Этот же недостаток наблюдается при очень высоком накале распылителя, вызывающем повышение температуры колбы и усиление газоотделения стекла.

Вольфрамовые распылители перед применением освобождают от графитовой смазки и перед алюминированием первой колбы прокаливают в вакууме. Вольфрам способен хорошо смачиваться и обволакиваться расплавленным алюминием. В процессе алюминирования поверхностный слой распылителя постепенно насыщается алюминием, который поэтому начинает плохо растекаться по спирали, растворять некоторое количество вольфрама, измельчать его кристаллическую структуру и создавать местные наплывы, обладающие повышенной проводимостью. Спираль начинает неравномерно накаливаться и неравномерно распылять алюминий, в результате чего колбы местами получаются полупрозрачными, а местами перегреваются и «запотевают».

Срок службы распылителей весьма мал. Одной спиралью можно произвести всего лишь 30—50 распылений. Если спираль долго не менять, продукты распыления загрязняются вольфрамом. Склонность алюминия и вольфрама к сплавлению друг с другом требует применения в качестве распылителя достаточно толстой вольфрамовой проволоки. Толстая проволока требуется и для того, чтобы расплавленная навеска алюминия держалась на ней, не стекая. С увеличением скорости распыления возрастает плотность и отражательная способность алюминиевой пленки. Чрезмерно сильный нагрев распылителя может вызвать выбрасывание на колбу мелких брызг алюминия. Применение вольфрама с присадкой тория значительно замедляет действие жидкого алюминия на распылитель.

Детали аппарата в процессе работы постепенно обрастают алюминиевым шламом, который необходимо периодически удалять.

При обнаружении на алюминиевом зеркале белых полос, прозрачных точек и других дефектов, вызванных плохой промывкой, а также «черного зеркала», вызванного недостаточным прогревом или плохим вакуумом, колбы регенерируют стравливанием зеркала раствором щелочи и последующей тщательной промывкой.

Для получения хорошего зеркала необходимо соблюдать чистоту на всех операциях, сопряженных с алюминированием. Помещение сушки колб должно быть оборудовано хорошей вентиляцией.

## 5-8. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДРОТОВ

### а) МЕХАНИЗИРОВАННОЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ ВЫТЯГИВАНИЕ

Размягченное стекло способно сохранять при растягивании подобие своего сечения. Нагревом и растягиванием можно получать стеклянные дроты (трубки и палочки) малого диаметра и большой длины с пропорциональным уменьшением всех размеров поперечного сечения исходной стеклянной заготовки.

Линия горизонтального вытягивания трубок ГВТ (рис. 5-19 и 5-20) состоит из формовочной машины, роликового конвейера и тянульно-резальной машины. К выработочной части ванной печи пристроена обогреваемая очищенным газом закрытая рабочая камера с шамотным желобом. Сваренная стекломасса стекает из печи по желобу на помещенный в рабочей камере медленно вращающийся в наклонном положении шамотный мундштук формовочной машины. Стеклянная струя наматывается на верхнюю часть мундштука в виде ленты, которая под действием собственного веса непрерывно сползает книзу, сливаясь в сплошную массу и образуя в выходном конце мундштука утолщение, называемое луковицей. В пределах луковицы стекломасса переходит от жидкого состояния к пластичному и почти затвердевшему. Луковица служит началом тянувшегося дрота.

Мундштук насажен на трубу из жароупорной стали, через которую передается ему вращение от электродвигателя постоянного тока и производится установочная регулировка, т. е. подъем, опускание и поворот. В эту же трубу подводят очищенный от твердых частиц сжатый воздух для раздувания луковицы и образования внутренней полости дрота. Сжатый воздух препятствует сплющиванию стенок дрота под действием собственного веса. Давление воздуха регулируют по манометру. При выработке штабиков отверстие в трубе мундштука закрывают глухо наконечником.



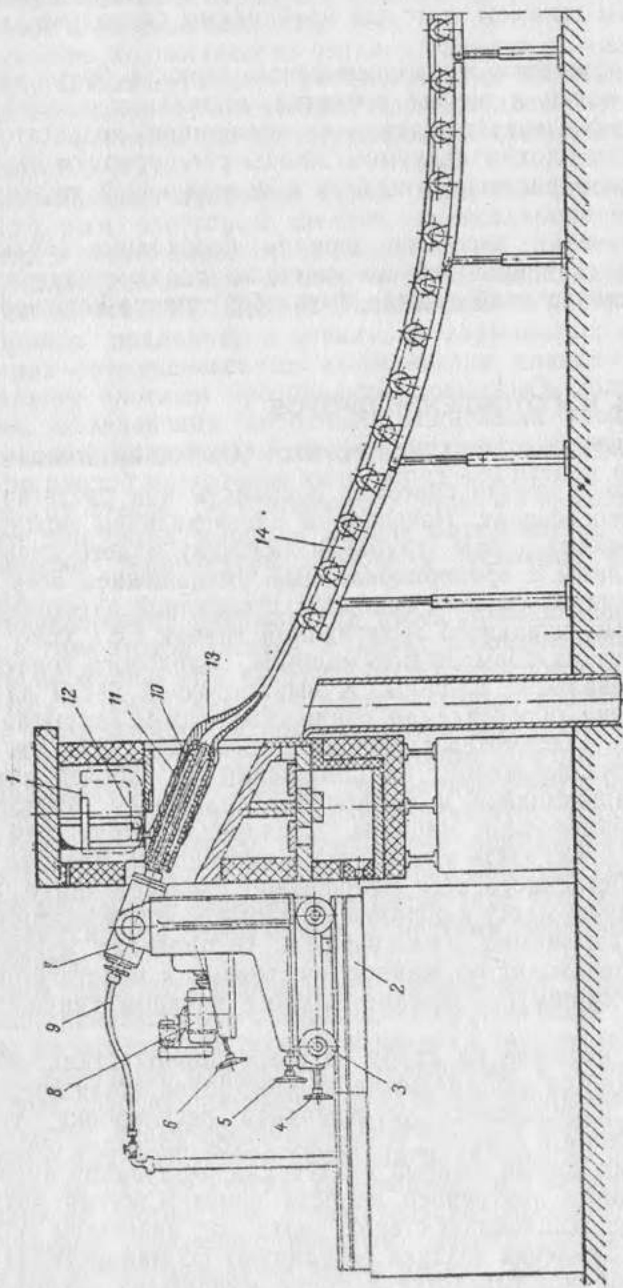


Рис. 5-19. Формовочная машина линии горизонтального вытягивания дровот.  
 1 — фидер печи; 2 — корпус машины; 3 — колеса для перемещения машины по рельсам; 4, 5, 6 — ручные маховики для регулировки машины; 7 — шпindelь машины; 8 — электродвигатель постоянного тока, приводящий во вращение шпindelь; 9 — гибкий шланг, подающий воздух внутрь вытягиваемой трубки; 10 — труба из жароупорной стали; 11 — вращающийся керамический мундштук; 12 — струя стекломассы, льющаяся из фидера на мундштук; 13 — «луковница»; 14 — роликовый конвейер.

В начале работы или после обрыва дрота стекло захватывают при помощи стального крючка, подтягивают вручную в горизонтальном направлении к тянульно-резальной машине и вводят в тянульные цепи этой машины. Дальнейшее вытягивание совершается механически с постоянной скоростью. Тянульно-резальную машину устанавливают на расстоянии 30—50 м от формовочной машины с таким расчетом, чтобы стекло успело остыть и полностью затвердеть.

Тянущийся бесконечный дрот поддерживается конвейером (рольгангом) со свободно вращающимися гладкими асбоцементными роликами, направляющими пластичное стекло по оси вытягивания. Конвейер состоит из отдельных разъемных звеньев, изменением числа которых можно его удлинить или укорачивать. Он должен быть тем длиннее, чем больше диаметр вытягиваемого дрота. Направляющие ролики в начале конвейера могут быть подняты или опущены для регулирования угла наклона конвейера и предохранения пластичного стекла от деформации на начальной стадии вытягивания. Сначала путь движения дрота изогнут, затем постепенно выпрямляется и переходит в горизонтальный. Ролики конвейера строго центрируют дрот по горизонтали и вертикали. Для уменьшения в стекле внутренних напряжений конвейер оснащают подогревными камерами или закрывают на две трети длины кожухом.

При переходе с одного сортамента стекла на другой меняют шамотный мундштук и регулируют количество поступающей на него стекломассы. Мундштук устанавливают под таким углом к горизонтали (8—12°), чтобы стекломасса с него стекла достаточно быстро. При выработке трубок диаметром 12—17, 8—12 и 2—8 мм устанавливают мундштук диаметром соответственно 170, 140 и 120 мм. Неправильная установка мундштука влечет за собой образование в стекле капиллярных каналов. Перед установкой мундштук «выводят», т. е. медленно и постепенно нагревают его в отдельной печи.

Регулировку диаметра и толщины стенок дрота производят изменением скорости оттягивания стекла тянульной машиной, увеличением или уменьшением давления воздуха, подаваемого в мундштук, и регулировкой шибера количества стекломассы, стекающей на мундштук в единицу времени. На размеры трубок влияют также угол наклона и скорость вращения мундштука, температура (вязкость) стекломассы в луковнице и постоянно температуры в камере фидера. При слишком высокой температуре луковницы дрот получается овальным (сплюснутым), а при слишком низкой — «граненым».

Разностенные трубки получаются чаще всего вследствие вибрации вала, на который насажен мундштук, и непостоянства давления поддувочного воздуха. Регулировку и стабилизацию дутья осуществляют детандером.

Некоторые заводы применяют на машинах ГВТ приборы,

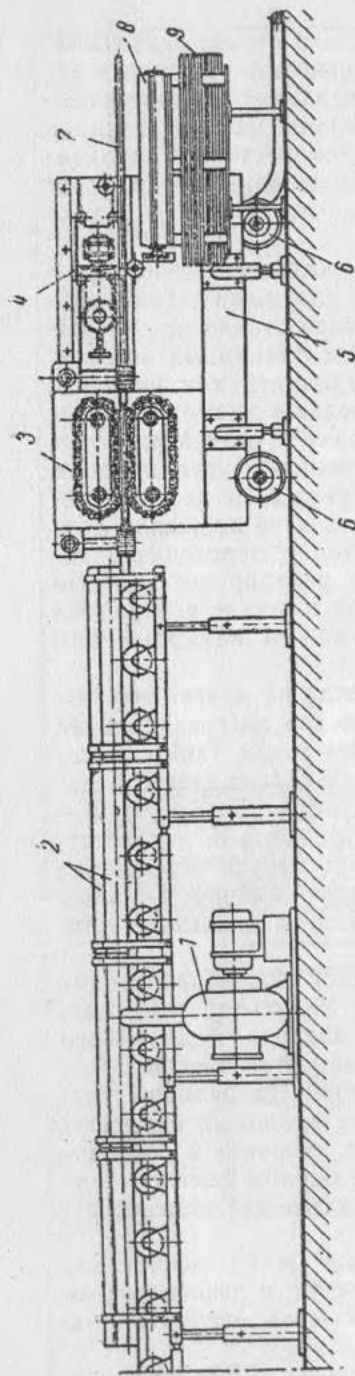


Рис. 5-20. Тянульно-резальная машина линии горизонтального вытягивания дротов.

1 — вентилятор для охлаждения дрота; 2 — воздуховоды охлаждающей системы; 3 — тянущие механизмы; 4 — механизм резки; 5 — корпус машины; 6 — колеса для перемещения машины; 7 — конец стекляющей машины; 8 — конец стекляющего дрота перед резкой; 9 — шестиугольное колесо, принимающее отрезанный дрот и передающее его на приемный лоток; 9' — отрезанные дроты в лотке.

автоматически замеряющие диаметр вытягиваемого дрота при движении его по рольгангу.

Тянульно-резальная машина (рис. 5-20) имеет механизм тяги дрота, приводимый в действие электродвигателем постоянного тока. Механизм состоит из двух движущихся с одинаковой скоростью и расположенных одна над другой бесконечных роликовых цепей, снабженных металлическими пластинами с асбестовыми или фибровыми накладками. Верхние и нижние накладки зажимают охлажденный дрот и затягивают его в машину. Верхнюю цепь можно перемещать по высоте в зависимости от диаметра вытягиваемого дрота. Механизм тяги подводит бесконечный дрот к механизму резки, который разрезает его пламенем газовой горелки или надрезает увлажненным абразивным ножом и отламывает крыльчаткой на куски постоянной длины (100—1250 мм).

Привод формовочной и тянульно-резальной машины от электродвигателей постоянного тока позволяет менять их скорость в широких пределах. Суточная производительность всей линии при выработке штенгелей диаметром 3,9—4,2 мм составляет около 3 т, а при выработке трубок диаметром 14—15 мм — около 5 т. Для обеспечения такой производительности скорость

Установочные размеры калибровочного автомата

Номер щели	Ширина щелей, мм		Номер щели	Ширина щелей, мм	
	Левый ряд	Правый ряд		Левый ряд	Правый ряд
1	10,75	×	7	11,25	×
2	×	10,75	8	×	11,25
3	11,0	11,0	9	11,50	11,50
4	11,0	×	10	11,50	×
5	×	11,0	11	×	11,50
6	11,25	11,25	12	11,75	11,75

вытягивания штенгелей должна быть 75 м/мин, а трубок — 20 м/мин. Технико-экономические показатели линии повышаются при минимальном числе перестроек с одного размера на другой.

В линию ГВТ включают калибровочный автомат, сортирующий дроты по наружному диаметру и отбраковывающий их по конусности. Нарезанные дроты автоматически перемещаются от одного ряда калибровочных щелей к другому и сортируются по номинальным диаметрам. В табл. 5-5 приведены установочные размеры калибровочных щелей для стекла 11—11,75 м.м. Крестами обозначены щели свободного размера. В щели № 1, 4, 7 и 10 проходят конусные дроты, имеющие в правых концах диаметр, меньший чем в левых. В щели № 2, 5, 8 и 11 проходят конусные дроты, имеющие в правых концах диаметр, больший, чем в левых. В щели № 3, 6, 9 и 12 проходят годные дроты, имеющие в обоих концах диаметры в пределах установленных допусков.

Дроты, предназначенные для транспортирования, перевязывают шпагатом в пачки по 4—5 кг. В одну пачку упаковывают стекло только одного номинального диаметра. Пачки обертывают бумагой для предохранения внутренних стенок трубок от влаги и пыли. При транспортировании максимально сокращают число перевалок. Дроты хранят в закрытых помещениях или под навесом.

#### б) МЕХАНИЗИРОВАННОЕ ВЕРТИКАЛЬНО-ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ ВЫТЯГИВАНИЕ

К наиболее современным установкам для изготовления стеклянных трубок принадлежит автоматическая линия АЛТ. Отличительной особенностью ее является формование дрота в вертикальном положении с последующим переводом его в горизонтальное и вращение на всем протяжении от формовочной машины до тянульно-резальной.

Расплавленная стекломасса вытекает из питателя печи в кольцевую щель между вращающимся мундштуком и очком маши. В мундштук подается воздушное дутье. Стекающая вер-

тикально с мунштука формирующаяся стеклянная трубка получает вращение, переводится постепенно в горизонтальное положение и попадает на роликовый конвейер, где она постепенно остывает и затвердевает. Ролики тягового механизма не только тянут трубку, но и медленно вращают его вокруг оси. Вращение придает трубкам прямолинейность.

Производительность линии в зависимости от диаметра дрота 8—12 т в сутки.

## 5-9. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ДРОТОВ

### а) КАЛИБРОВКА

На электроламповых заводах стеклянные трубки распаковывают и калибруют по толщине стенок и диаметру. На рис. 5-21 изображен пружинный стенкомер.

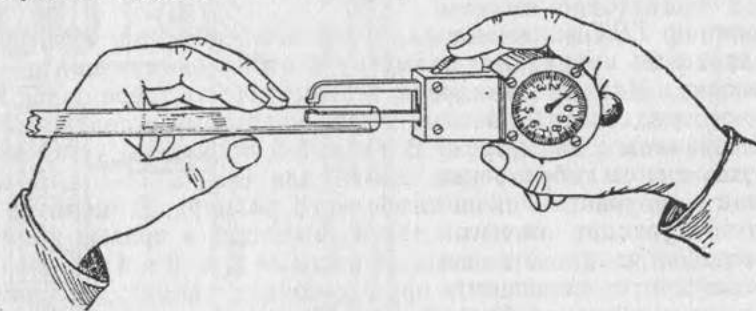


Рис. 5-21. Пружинный стенкомер.

Толщина стенок не должна отличаться более чем на 0,1 мм. Разностенность в любом поперечном сечении трубок допускается, если она не превышает пределов допусков на толщину стенок.

Опытные работницы, просматривая трубки с торцевой стороны, раскальчивают их с достаточной точностью на глаз. Одновременно с разборкой по толщине стенок отбирают по внешнему виду технический брак — капиллярные, граненые (полосные), грязные и пр.

Калибровку стекла по диаметру производят на двухточечном калибровочном станке (рис. 5-22).



Рис. 5-22. Калибровка дротов по диаметру.

Дроты перемещают настанке так, чтобы они без усилий прошли в ближайшую пару калибровочных щелей в одном горизонтальном ряду. Ширина каждой пары отличается от смежной на 0,20 мм для дротов диаметром менее 6 мм и на 0,25 мм для дротов диаметром более 6 мм. Ширину щелей устанавливают стальными пластинчатыми калибрами (сухарями).

Одновременно с калибровкой по диаметру отбраковывают конусные, овальные и кривые дроты. Конусным считается дрот, имеющий отклонения в диаметре по длине больше допустимых отклонений для данного номинального диаметра. Овальным считается дрот, имеющий отклонения в наружном диаметре по окружности больше допустимых отклонений для данного номинального диаметра. Кривым считается дрот, имеющий стрелу прогиба (больше 0,5% измеренной длины).

### б) РЕЗКА

Раскальцованное стекло для штабиков и штенгелей разрезают на отрезки длиной, задаваемой конструкцией ламп.

Стеклорезный станок представляет собой надетый на горизонтальный вал дисковый, закаленный и заточенный на конус нож из быстрорежущей стали. Вал с ножом вращается в двух шариковых подшипниках со скоростью 4 000—6 000 об/мин. При резке диаметром 200 мм такая угловая скорость соответствует окружной скорости режущей кромки ножа 40—60 м/сек. Станок накрыт металлическим столом с узкой прорезью. Лезвие ножа выступает в прорези над поверхностью стола на 8—10 мм.

Работница кладет 6—12 дротов на нож и легко прокатывает их по режущей кромке против вращения ножа. Лезвие режется в стекло и наносит на нем тонкие глубокие царапины. По линии царапин стекло дает трещину. Если царапина образовалась недостаточно глубокой или с пологими стенками, обрез получается неровным. При чрезмерно сильном прижимании стекла к лезвию трещина распространяется в произвольном направлении.

Стеклорезные станки снабжают переставляемой упорной ланкой, к которой стекло прижимают торцами и которая позволяет разрезать его с соблюдением точно заданной длины.

Механизированные стеклорезные станки имеют вращающийся загрузочный барабан, автоматически подводящий дроты к лезвию ножа. Такие станки оснащают щелевой газовой горелкой, пламя которой направляют по одной прямой с лезвием ножа. Вращающийся дрот нагревается острым огнем и при легком прикосновении к ножу надрезается и отламывается.

Стеклянную пыль, образующуюся при резке, отсасывают от стеклорезных станков через систему местных отсосов и направляют по общему воздуховоду в особые шкафы-фильтры.

Нарезанные штабики и штенгели должны отвечать следующим условиям: 1) плоскости их срезов должны быть ровными, гладкими, без заусенцев, выбоинок, трещин и окалины; 2) отклонения в длине не должны превышать у штабиков 0,5 мм и штенгелей 1 мм и 3) в одной таре должно содержаться стекло только одного типоразмера.

Для получения ровной плоскости среза следят, чтобы станок во время работы не дрожал. Нож перед установкой так затачивают на шлифовальном станке, чтобы надрез стекла получался тонким, а стенки надреза крутыми, почти перпендикулярными оси дроба. Во время работы нож периодически заправляют абразивным камнем. Ножи, изготовленные из нетвердой или плохо закаленной стали, сильно нагреваются от трения, быстро тупятся, неровно режут стекло и оставляют в стекле «калину». Ножи из быстрорежущей стали не имеют этих недостатков, так как такая сталь сохраняет свою твердость даже при «красном» нагреве. При повышении окружной скорости режущей кромки ножа до 100—110 м/сек можно заменить диски из быстрорежущей стали дисками из мягкой стали толщиной 0,2—0,25 мм. Для работы на повышенной скорости требуется, чтобы станок имел массивную станину и высококачественные подшипники.

Штенгели и штабики после резки калибруют второй раз по диаметру. На калибровочном автомате они автоматически перемещаются из загрузочного бункера в конусные калибровочные щели двух пар вращающихся дисков и входят в щели тем глубже, чем меньше их диаметр. Особые упоры, прикрепленные по сторонам дисков, выталкивают их из щелей. Стекло каждого номинального диаметра выталкивается своим упором и скатывается по своему лотку в соответствующий приемный ящик. На калибровочном автомате другой конструкции штенгели продвигаются вдоль наклонных вращающихся валиков, и, проскальзывая между ними сверху, проваливаются в участок щели соответствующей ширины.

Перед калибровкой штенгелей производят оплавление их огнями горелок. При перегреве штенгели заплываются, а при недогреве — на них остаются острые ребра срезов, которые, впоследствии могут повреждать откачную резину.

#### в) ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТАРЕЛОК

Тарелкой называют короткую стеклянную трубку с конусообразным расширением (рис. 5-23). Диаметр основания конической части тарелки устанавливают в зависимости от диаметра горловины колбы, а диаметр и длину цилиндрической части — в зависимости от габаритных размеров лампы.

На станине автомата развертки тарелок поворачивается с периодическими остановками горизонтальная алюминиевая карусель, оснащенная 12 зажимными патронами. Исходную стеклянную

трубку длиной около 1,25 м загружают в отверстие патрона 1-й позиции. Трубка свободно проходит в патрон и упирается своим нижним концом в неподвижную круглую упорную площадку, покрытую нетеплопроводной пластинкой из асбестоцемента.

Каждый патрон снабжен направляющей втулкой, не позволяющей трубке смещаться от оси, и тремя кулачками, сжимающими трубку, пока она проходит рабочие позиции автомата. На всех позициях, кроме первой, патроны вращаются, обеспечивая равномерный нагрев трубок.

Во время второго и последующего циклов трубка поступает на 1-ю позицию с предыдущей 12-й позиции. В этом случае на конце трубки имеется уже готовая развернутая тарелка, свободно опускающаяся на упорную площадку, когда кулачки патрона перестают сжимать трубку. Подъемом и опусканием площадки регулируют длину тарелки.

На 2—5-й позициях огни горелок нагревают участок трубки, подлежащий обрезке.

На 6-й позиции установлена система двух встречно-вращающихся в горизонтальной плоскости стальных дисковых ножей, из которых один внутренний малый вводится в трубку и прижимает ее стенку к другому внешнему большому ножу. Ножи отрезают концевую часть трубки или развернутую тарелку. Отрезанная концевая часть падает на стол автомата, а отрезанная тарелка соскальзывает по наклонным направляющим в печь отжига и оплавления. После отрезки стойка с малым ножом опускается в гнездо станины, позволяя подойти на 6-ю позицию следующей трубке.

На 7—9-й позициях свободный концевой участок трубки постепенно доводится огнями многоотверстных горелок до размягчения.

На 10-й позиции в размягченный конец трубки вводится вращающаяся чугунная шпилька (райбер) и отбортовывает его на конус. При этом трубка и шпилька подогреваются огнями.

На 11-й и 12-й позициях тарелка остывает. При переходе на 1-ю позицию кулачки, сжимающие трубку в патроне, расходятся, и освобожденная трубка с развернутой тарелкой опускается под действием собственного веса на упорную площадку.

Печь оплавления и отжига, в которую спускаются развернутые тарелки с 6-й позиции автомата, представляет собой длинный прямоугольный железный кожух, изолированный изнутри толстым асбестовым картоном. Внутри кожуха установлена горелка в виде газовой трубы с отверстиями. Над горелкой помещены параллельно друг другу два длинных цилиндрических

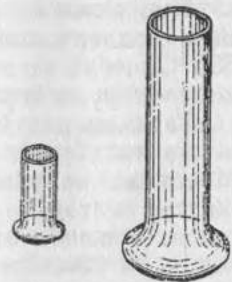


Рис. 5-23. Тарелки для гребешковых ножей.

винта, вращающихся приводом от распределительного вала автомата. Нагретые тарелки продвигаются в щели между винтами, слегка поворачиваясь вокруг своей оси. Одновременно со снятием напряжений огни оплавливают концы трубок. Оплавление обезвреживает мелкие посечки в стекле.

Из печи отжига и оплавления тарелки попадают сначала на верхнюю, потом на нижнюю ленту двухъярусного транспортера, на которых они постепенно остывают, не прикасаясь друг к другу.

При отжиге тарелок из стекла С90-1 температуру в начале печи поддерживают около  $400^{\circ}\text{C}$ , затем круто поднимают до  $550^{\circ}\text{C}$ , после чего плавно снижают до  $300\text{--}320^{\circ}\text{C}$ . Температуру контролируют термопарой, а результат отжига — полярископом.

Тарелки для малогабаритных ламп после отжига и оплавления калибруют по диаметру развертки через каждые 0,5 мм. Механизм калибровки, состоящий из двух стальных вращающихся винтов, пристраивают к автомату развертки тарелок рядом с печью отжига и оплавления. Тарелки спускаются по лотку на калибрующие винты и поступательно перемещаются вдоль них до тех пор, пока не провалятся в бункер через щель между винтами.

Производительность 12-гнездного автомата при стекле диаметром 11,5—13 мм составляет около 1800 шт/ч. Один рабочий обслуживает одновременно несколько автоматов. В его обязанности входит загрузка трубок в патроны, периодическая проверка размеров и формы тарелок, наблюдение за работой механизмов и огней и их настройка.

К наиболее распространенным видам брака тарелок, обнаруживаемым внешним осмотром, относятся следующие:

1. Кривой конус получается при овальном, разностенном или «граненом» стекле, несимметричном прогреве трубки перед разверткой, неправильной центровке или биении патронов и неправильной установке развертывающей шпильки.

2. Мелкий или глубокий конус (высота конуса мала или велика) получается при неправильной настройке узла развертки, плохой центровке или биении патронов и низкой или высокой установке огней.

3. Большая или малая развертка (диаметр основания конуса велик или мал) получается при плохо раскалиброванном стекле по диаметру и неправильно отрегулированном узле развертки.

4. Большая или малая длина тарелки получается при неправильном открытии и закрытии патронов, неотрегулированной упорной площадке и изношенной или засоренной асбоцементной пластинке на упорной площадке.

5. «Дранные» тарелки (заметные невооруженным глазом продольные поверхностные мелкие трещины и риски в шейке и

конусе тарелки) получают при недостаточном прогреве стекла и узла развертки и при изношенной шпильке.

6. «Темное черчение» (сплошные или прерывистые концентрические линии в конической части тарелок) получают при сильном перегреве шпильки.

7. «Белое черчение» (концентрические поверхностные царапины в конической части тарелок) получают при холодной шпильке, заусенцах на шпильке и непрогретом стекле.

8. Трещины в тарелках получают при нарушении огневого режима на автомате и в печи отжига, плохом состоянии винтов в печи отжига, соприкосновении горячих тарелок друг с другом и с холодными предметами и падении тарелок.

9. Овальная, мятая или кривая обрезка трубки получается при некрутых (овальных), тупых или выщербленных дисковых ножках, неправильной установке ножей, плохой центровке или биении патронов, перегреве стекла перед резкой и при тонкостенном или разностенном стекле.

10. «Холодная» резка (с посечками и выщербинами) получается при толстостенном стекле, недостаточном прогреве стекла на позиции, предшествующей резке, затуплении дисковых ножей и остывании тарелок на спуске в печь отжига и оплавления.

#### г) ИЗГОТОВЛЕНИЕ МИНИАТЮРНЫХ КОЛБ

Миниатюрные колбы изготавливают двух типов: без ранта и с рантом. Колбы без ранта заваривают с штенгелем (рис. 5-24), а колбы с рантом — с тарелкой (рис. 5-25). К первому типу принадлежат короткогорлые колбы диаметром менее 20 мм, применяемые для изготовления миниатюрных ламп с бусиновой ножкой, а ко второму — длинногорлые колбы диаметром 19—25 мм, применяемые для изготовления малогабаритных ламп с гребешковой ножкой.

Двадцатипозиционный двусторонний автомат выдувания колб диаметром 18—25 мм из длинных стеклянных трубок диаметром 14—15 мм состоит из: 1) станины, служащей основанием автомата и масляным резервуаром для централизованной системы смазки; 2) редуктора и кулачково-рычажной системы, передающих вращение от электродвигателя к распределительному валу и от распределительного вала к рабочим механизмам; 3) карусели, периодически поворачивающейся на  $1/20$  часть окружности; 4) патронов, закрепленных на карусели, служащих для зажимания и вращения стеклянных трубок; 5) узлов открытия и закрытия разъемных чугунных форм; 6) узлов опу-

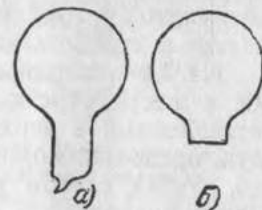


Рис. 5-24. Колба для заварки со штенгелем. а — выдутая колба; б — обрзанная колба.

скания трубок после выдувания колб; 7) узлов подсадки размягченных концов трубок для придания стенкам купольной части колб заданной толщины; 8) золотниковой системы подачи сжатого воздуха для выдувания колб и отрезания колб от трубки; 9) газозвушной огневой системы и 10) систем централизованной смазки и водяного охлаждения карусели, патронов и смазочного масла.

Изготовление колб происходит на десяти позициях за полуоборота карусели. На других десяти позициях операции дублируются. За каждый оборот распределительного вала снимаются две колбы.

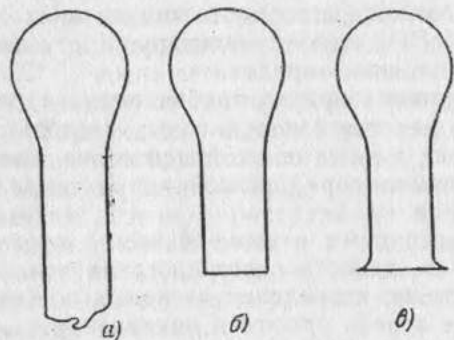


Рис. 5-25. Колба для заварки с тарелкой.

а — выдутая колба; б — обрезанная колба; в — развернутая колба.

до упора, помещенного на станине. После загрузки очередной трубки или опускания под влиянием собственного веса ранее загруженной трубки кулачки зажимают ее, сообщают ей вращение и перемещаются с ней на следующую позицию.

На 2-й позиции производится разогрев и размягчение трубки в месте отрезки. При этом через резиновый наконечник, вставленный в верхний конец трубки, подводится сжатый воздух, предохраняющий разогреваемый участок от сужения. Стенка трубки в этом участке становится тоньше и в дальнейшем легко разрезается. Кроме того, на 2-й позиции ранее выдутая колба отжигается беспламенной горелкой.

На 3-й позиции колба отрезается (отплавляется) острыми огнями и падает в лоток. Одновременно с отделением выдутой колбы происходит подготовительный нагрев нового конца трубки для выдувания следующей колбы.

На 4—6-й позициях разогреваются и заплавляются концы трубок; стекло становится пластичным и подготовленным к подсадке.

На 7-й позиции стекло подсаживается профилированной тарелочкой механизма подсадки с одновременным разогревом заплавленного конца трубки. Эту операцию выполняют лишь при выдувании колб, диаметр которых невелик в сравнении с диа-

метром исходной трубки. Величину подсадки регулируют подвижными упорами на кулачке распределительного вала.

На 8-й и 9-й позициях производится разогрев конца трубки, преобразованного в пульку.

На 10-й позиции полуформы охватывают разогретую пульку. Одновременно в трубку вводится сжатый воздух, сближающий стенки пульки со стенками формы (рис. 5-26).

Автомат снабжен двумя парами золотниковых дисков, из которых одна расположена над каруселью и предназначена для последовательной подачи воздуха на 2-ю (12-ю) и 10-ю (20-ю) позиции, а вторая расположена на вспомогательном распределительном валу и включена в воздушный канал, по которому воздух поступает только на 10-ю (20-ю) позицию. Назначение второй пары состоит в ограничении момента начала и конца дутья с тем чтобы воздух поступал только после закрытия форм.

Для предупреждения возникновения в колбах сильных напряжений формы нагревают пламенем горелок до 230—250°С. Перед началом работы формы подогревают только до 60—80°С, после чего наносят кисточкой на их внутреннюю поверхность равномерный слой водного коллоидно-графитового препарата (аквадага, см. стр. 403). Пленка графита толщиной около 0,1 мм служит разделяющей средой между стеклом и формой. Она уменьшает трение между ними, предохраняет размягченное стекло от прилипания к форме, придает колбам блестящую поверхность и препятствует образованию на форме нагара и окалины. В процессе работы, в случаях получения колб пороками поверхности, форму дополнительно подмазывают пастой, приготовленной из тонко просеянного графита (1 весовая часть) и парафина (3 весовые части).

Около автомата установлены два ленточных конвейера, принимающие горячие выдутые колбы с 3-й и 13-й позиций. При движении на конвейере колбы не касаются друг друга.

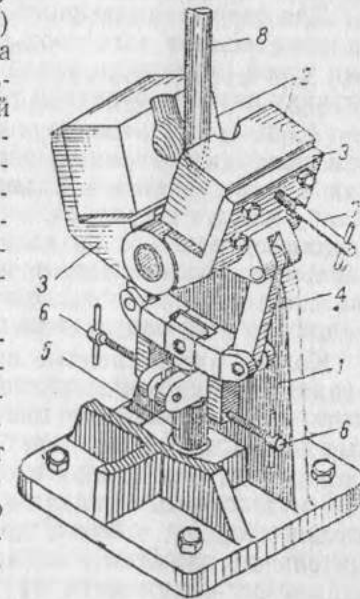


Рис. 5-26. Узел формы колбовывудного автомата.

1 — корпус узла; 2 — полуформы; 3 — шарнирные держатели полуформы; 4 — тяга привода полуформ; 5 — шток привода полуформ; 6 — регулировочные винты для установки формы по оси шпинделя автомата; 7 — ручка для ручного раскрытия формы; 8 — стеклянная заготовка (пулька) перед выдуванием колбы.

Конвейеры переносят колбы в закрытые ящики, где завершается их охлаждение.

Производительность автомата 1100 шт. в час. С уменьшением диаметра стенок трубок производительность повышается.

Некоторые конструкции автоматов позволяют изготавливать колбы для миниатюрных ламп не из длинных дротов, а из предварительно нарезанных коротких трубок или использованных штенгелей, снятых с откачных автоматов. В последнем случае колбы выдуваются из той части штенгеля, в которой был отпай.

Для сверхминиатюрных ламп изготавливают колбы методом оплавки концов заготовок из штенгельного стекла и вытягивания узкой перетяжки около купола, облегчающей последующую отпайку ламп от откачной установки.

Колбы, предназначенные для стыковой заварки со штенгелем проходят операцию обрезки заплавленного конца на станках с вращающимся дисковым стальным ножом (стр. 219). Колбу кладут шарообразной частью в углубление шаблона. Последний укрепляют на таком расстоянии от ножа, чтобы обрезанные колбы получались требуемой длины. Шейку колбы прижимают к острию ножа, и колбу вращают так, чтобы получился надрез по всей окружности шейки.

Колбы, изготовленные из нарезанных трубок, проходят операцию обрезки концевой части. Из загрузочного бункера автомата колбы попадают цилиндрической частью в прямоугольные гнезда вращающегося барабана. Барабан подводит их к позициям, где они входят в соприкосновение с бесконечным ремнем и дисковым стальным ножом. Так как ремень движется в одну сторону, а нож в другую, колбы получают в пазах вращательное движение, во время которого лезвие ножа делает надрез по окружности трубки и отделяет лишнюю концевую часть от колбы.

Колбы, предназначенные для заварки с ножкой, проходят операции огневой обрезки и развертки. Развертка преследует цель придания обрезанному концу колбы формы конического ранта, необходимого для наложения оттяжки при заварке ламп.

Загруженные в карусельный станок колбы сначала нагреваются острым пламенем щелевой газовой горелки, затем нагретое место обрезается ножом из твердого сплава.

При работе на водяном газе обрезку производят в пламени газозооной смеси, а при работе на природном — в пламени газокислородной смеси. Обрезанную концевую часть колбы нагревают до размягчения и плавно разворачивают на конус.

На некоторых заводах малогабаритные колбы выдувают на колбовывудном автомате с одновременным формованием ранта и отрезкой колб по линии ранта.

Качество готовых колб проверяют внешним осмотром. К наиболее распространенным видам брака относятся следующие:

1. Тонкостенные и толстостенные колбы получают при работе с тонкостенными, толстостенными и разностенными трубками. При отпайке каждой колбы создают в донышке пульки наплыв стекла, необходимый для образования следующей колбы. При высоко установленных отпаячных огнях наплывает мало стекла, и колба получается с тонкостенным куполом. При низко установленных отпаячных огнях наплывает много стекла, и колба получается с толстостенным куполом. При перегреве донышка пульки нижнее полушарие (у купола) получается толстостенным, а верхнее — тонкостенным.

2. Горизонтальное черчение на колбах образуется при изношенном слое графита в форме и при попадании посторонних предметов в форму; вертикальный шов на колбах образуется при сильном дутье воздуха и при попадании между половинками формы частиц стекла или соринки, препятствующих их плотному закрыванию.

3. Кривые колбы (с неодинаковыми плечиками) получают при перекошенных формах, при неправильно нанесенном или изношенном слое графита в форме, при работе с кривыми и разностенными трубками и трубками малого диаметра и при неправильной центровке патрона.

4. Колбы малого диаметра получают при толстом слое графита в форме, недостаточной подаче воздуха для выдувания, засорении воздухопроводов в золотниках и неисправности резиновых наконечников (пропускают воздух).

5. Колбы с трещиной получают при недостаточном прогреве формы и при соприкосновении только что выдутых горячих колб с ранее выдутыми холодными колбами или при падении горячих колб на металлическую станину автомата.

6. Пузыри на колбе образуются при работе с трубками, имеющими полосы и капилляры. При нагревании таких трубок воздушный капилляр в нагреваемом месте заплывает, а содержащийся в нем воздух собирается в пузырек. Пузырьки уменьшают прочность колб.

Для некоторых специальных ламп, эксплуатируемых в оптических приборах, требуется, чтобы на участках колб, противолежащих телу накала, не было никаких пузырей, утолщений, свилей и других изъянов, различимых невооруженным глазом.

Колбы с рантом хранят и транспортируют упакованными в картонные коробки с решетками, а колбы без ранта — уложенными навалом в ящики или коробки.

— 0

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ ВОЛЬФРАМОВОЙ И МОЛИБДЕНОВОЙ ПРОВОЛОК

### 6-1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Тело накала — самая ответственная деталь электрической лампы, определяющая ее важнейшие технико-экономические и эксплуатационные характеристики. Оно собственно и выполняет основные рабочие функции лампы, в то время как другие детали выполняют только вспомогательные функции, направленные на обеспечение нормальной работы тела накала. Обрыв или перегорание тела накала делает лампу неработоспособной, хотя остальные детали ее могут оставаться в целости.

Требования, предъявляемые к лампам накаливания, обусловили высокие технические требования к материалу тела накала:

1. Материал тела накала должен быть тугоплавким. Высокая температура плавления позволяет повышать рабочую температуру тела накала и тем самым увеличивать яркость и световую отдачу ламп.

2. Материал тела накала должен обладать при высокой рабочей температуре малой скоростью испарения и низким давлением пара. Замедление испарения позволяет повысить стабильность светового потока и увеличить срок службы ламп.

3. Материал тела накала должен быть проводником электричества, но его удельное электрическое сопротивление при рабочей температуре лампы должно быть как можно более высоким. Высокое удельное сопротивление позволяет применять короткое тело накала, что облегчает изготовление ламп на высокие напряжения и малые токи.

4. Материал тела накала должен обладать высокой излучательной способностью. В общем излучении тела накала должно быть как можно больше лучей в видимой части спектра и меньше — в инфракрасной. Цветность света раскаленного тела накала должна быть близка цветности дневного света.

5. Материал тела накала должен иметь высокие механические свойства. Он должен обладать способностью к пластиче-

ской деформации, позволяющей изготавливать из него проволоку с незначительным поперечным сечением. Проволока не должна рваться или расслаиваться при изготовлении спиралей. Тело накала в готовых лампах при комнатной и рабочей температуре должно обладать достаточной прочностью.

6. Материал тела накала должен быть формоустойчивым при рабочей температуре. Форма, приданная телу накала в холодном состоянии, должна сохраняться при первом зажигании и последующем горении ламп. Формоустойчивое тело накала удлиняет срок службы ламп.

7. Материал тела накала должен отличаться высокой чистотой, т. е. быть свободным от вредных примесей, сокращающих срок службы ламп. В материале тела накала допускаются специальные примеси, намеренно вводимые для придания ему некоторых полезных физических и технологических свойств.

8. Материал тела накала должен быть однородным по составу, свойствам и размерам и не иметь местных дефектов. Свободное от дефектов однородное тело накала работает до большего процента потери в весе и, следовательно, более длительное время.

9. Материал тела накала должен быть по возможности доступным и дешевым в производстве.

Лучше и полнее всего приведенным требованиям отвечает металл вольфрам. Поэтому современные лампы накаливания во всех странах мира изготавливают с телом накала только из вольфрамовой проволоки.

Большинство металлов, как-то: железо, никель, медь, свинец, цинк, олово и др., получают методом выплавки руд или других исходных материалов. При таком методе металл получают в жидком виде и отливают в формах в твердые слитки. Современные электрические дуговые печи, снабженные мощными вакуумными агрегатами, позволяют и вольфрам получать в виде слитков. Однако высокая температура плавления вольфрама, способность его легко окисляться при нагреве на воздухе и отсутствие подходящих материалов для тиглей и литейных форм создают большие технические трудности получения вольфрама методом плавки и отливки. Поэтому для производства компактного вольфрама прибегают к методу, позволяющему обойти эти трудности. Он состоит в том, что сначала химической переработкой вольфрамовой руды приготавливают металлический порошок вольфрама. Затем порошок сжимают в пресс-форме под большим давлением в прямоугольные четырехгранные бруски (штабики). Далее отформованные пористые бруски спекают электрическим током в защитной атмосфере при температуре, близкой к температуре плавления вольфрама. Под влиянием нагрева бруски претерпевают усадку и уплотняются, превращаясь в прочные ковкие штабики, хорошо поддающиеся механической обработке и обладающие всеми свойствами, присущи-



ми литому металлу. Метод получения компактного металла из металлических порошков путем их прессования и стекания (без расплавления) называют металлокерамикой или порошковой металлургией.

## 6-2. ХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ВОЛЬФРАМА

### а) ПРИГОТОВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ВОЛЬФРАМОВОЙ КИСЛОТЫ

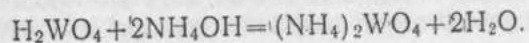
Вольфрам принадлежит к числу редких металлов. Он содержится в природе преимущественно в рудах: вольфрамите  $\text{FeMn}(\text{WO}_4)$  и шеелите  $\text{CaWO}_4$ .

Добытую руду отделяют от пустой породы и перерабатывают в техническую вольфрамовую кислоту  $\text{H}_2\text{WO}_4$  в виде рассыпчатого порошка желтого или зеленовато-желтого цвета с размерами частиц от 0,5 до 1 мк.

В зависимости от исходного сырья техническая вольфрамовая кислота (ГОСТ 2197-43) содержит примеси соединений кальция, железа, алюминия, марганца, молибдена, фосфора, мышьяка, серы, кремнезема и щелочей. Суммарное содержание кремнезема и щелочей характеризуется остатком после хлорирования, представляющим собой нелетучий остаток, образующийся при прокаливании вольфрамовой кислоты в струе сухого хлористо-водородного газа. Техническая вольфрамовая кислота признается годной, если содержание каждой из примесей не превышает 0,01—0,02% к количеству  $\text{WO}_3$ , содержащемуся в кислоте, и если остаток после хлорирования не превышает 0,1%. Однако и эти примеси вредно влияют на прочность и обрабатываемость металла. Поэтому перед переработкой на металл техническую вольфрамовую кислоту очищают от них. Ниже описан аммиачный метод очистки, основанный на способности вольфрамовой кислоты и неспособности основной части примесей растворяться в аммиачной воде. Все операции очистки выполняют в сосудах с прочным защитным покрытием стенок, исключающим возможность загрязнения вольфрама железом или другими примесями.

### б) РАСТВОРЕНИЕ ВОЛЬФРАМОВОЙ КИСЛОТЫ В АММИАЧНОЙ ВОДЕ

В чан с горячей дистиллированной водой засыпают вольфрамовую кислоту и перемешиванием получают жидкую массу. Эту массу сливают тонкой струей в другой чан с водным раствором медичинского аммиака (нашатырным спиртом) с одновременным перемешиванием. Вольфрамовая кислота при этом переводится в раствор в виде вольфрамата аммония:

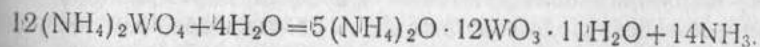


Наиболее полное растворение достигается, если вольфрамовая кислота вводится в раствор в виде суспензии (кашицы). Растворяясь в аммиаке, она очищается от кремнезема и соединений железа, алюминия, марганца и кальция, которые оседают на стенки и дно чана в виде твердого нерастворившегося осадка.

После отстаивания в течение 12 ч раствор вольфрамата аммония в виде прозрачной жидкости желтоватого цвета перекачивают через ватный тампон в специальный отстойник и оттуда после вторичного отстаивания в течение 12 ч передают на следующую операцию. Загрязненный примесями осадок, содержащий 30—50%  $\text{WO}_3$ , извлекают из отстойника для использования после дополнительной химической обработки.

### в) ВЫПАРИВАНИЕ РАСТВОРА ВОЛЬФРАМАТА АММОНИЯ

Полученный водный раствор вольфрамата аммония перекачивают в выпарной аппарат, представляющий собой чугунную эмалированную чашу или сосуд из нержавеющей стали, оборудованные паровой рубашкой и пропеллерной или рамной мешалкой. При нагреве паром, подводимым в рубашку, и непрерывном перемешивании, из раствора улетучивается часть аммиака и воды. Чтобы выделяющийся аммиак не распространялся в помещении цеха, внутреннее пространство чаши сообщают с вакуумным насосом. По мере выпаривания на дне и стенках чаши выпадают белые кристаллы не растворимого в воде паравольфрамата аммония:

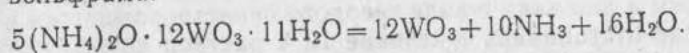


Выпаривание производят до тех пор, пока в чаше останется небольшая часть раствора (около 20% первоначального объема). В этом остатке раствора (маточнике) остаются растворенными примеси молибдена и солей натрия, магния, фосфора, мышьяка, серы и частично железа. После охлаждения маточник вместе с примесями удаляют из чаши для использования после дополнительной химической обработки, а освобожденные от примесей кристаллы паравольфрамата аммония переносят в нутч-фильтр — сосуд для фильтрации под вакуумом. В нутч-фильтре отсасывают остатки маточного раствора и промывают паравольфрамат аммония 2%-ным раствором аммиака и дистиллированной водой.

### г) СУШКА И ПРОКАЛКА ПАРАВОЛЬФРАМАТА АММОНИЯ

Промытые белые или светло-голубые кристаллы паравольфрамата аммония перекладывают в фаянсовые глубокие тарелки и сушат при 180—200° С в течение 8 ч на полках электроу сушильного шкафа, оборудованного вытяжкой.

Высушенные кристаллы прокаливают в кварцевых трубчатых электрических печах при 500°С в течение 4 ч. При этом паравольфрамат теряет аммиак и воду, превращаясь в трехокись вольфрама.



Во время проковки кристаллы несколько раз перемешивают скребком для лучшего удаления аммиака из внутренних слоев. Полученная трехокись (вольфрамовый ангидрид) представляет собой тяжелый зеленовато-желтый порошок с весьма малым содержанием посторонних примесей (молибдена не более 0,02%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> не более 0,005% и СаО не более 0,002%).

#### д) ПРОПИТКА ВОЛЬФРАМОВОГО АНГИДРИДА ПРИСАДКОЙ

Для придания вольфрамовой проволоке некоторых особых свойств, а также для дополнительной очистки вольфрама от загрязнений в вольфрамовый ангидрид вводят в количестве нескольких десятых или сотых долей процента от веса чистого металла присадку одного, двух или трех из нижеследующих окислов: окиси тория ThO<sub>2</sub> (через азотнокислый торий), окиси кремния SiO<sub>2</sub> вместе с окисью калия K<sub>2</sub>O (через силикат калия) и окиси алюминия Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (через хлористый или азотнокислый алюминий). Чтобы присадка равномерно распределилась между частицами вольфрама, ее вводят в суспензию вольфрамового ангидрида в виде водного раствора соли.

Прокаленный вольфрамовый ангидрид перемешивают с дистиллированной водой в выпарном эмалированном аппарате, оборудованном паровой рубашкой. После образования однородной суспензии в аппарат сливают тонкой струей при непрерывном перемешивании мешалкой растворенную в воде присадку заданного состава. Образующуюся при этом густую кашеобразную массу продолжают равномерно перемешивать и выпаривать до полного загустевания. Далее массу сушат в электрическом сушильном шкафу, размалывают в шаровой мельнице, просеивают через вибросито с размером отверстий 0,45 мм и перемешивают в барабанном смесителе в зеленовато-желтый порошок сухого вольфрамового ангидрида с равномерно распределенной присадкой.

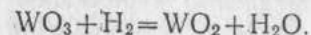
### 6-3. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ВОЛЬФРАМА

#### а) ВОССТАНОВЛЕНИЕ

Вольфрамовый ангидрид состоит из химического соединения вольфрама и кислорода. Для получения металлического вольфрама его восстанавливают проточным водородом. При восстановлении кислород вольфрамового ангидрида связывается водо-

родом и образует пары воды, которые уносятся с поверхности частиц током избыточного водорода.

Процесс проводят в две стадии: сначала удаляют из ангидрида часть кислорода, а затем полученный продукт восстанавливают до металла. Первое восстановление ведут при температуре, плавно нарастающей до 670°С, а второе — до 820°С. После первого восстановления получается бурая двуокись вольфрама WO<sub>2</sub> с размерами частиц около 0,1 мк.



После второго восстановления получается матово-серый металлический порошок вольфрама с размерами частиц от долей микрона до 4 мк.



Из 1 кг вольфрамового ангидрида получается около 800 г порошка вольфрама.

Восстановление проводят в горизонтальных многозонных многотрубных электрических печах сопротивления (рис. 6-1). Подготовленный для восстановления порошок засыпают по 300—350 г слоем 15—20 мм в лодки из никель-молибденового сплава и медленно проталкивают сквозь нагретые трубы печи.

Печь с механизированной передвижкой лодок имеет 11 жароупорных стальных труб внутренним диаметром 67 мм и длиной 0,7 м, помещенных с целью лучшего использования тепла и экономии производственной площади в общий прямоугольный кожух в два яруса. Концы труб закрыты резиновыми пробками. Электрические нагреватели труб состоят из спиральной нихромовой проволоки диаметром 5 мм, уложенной в каналах огнеупорной кладки. Мощность печи 50 квт. Трубы нагреваются лучистым теплом огнеупора. Лодки с вольфрамовым ангидридом (или бурой окисью) загружают во входное отверстие каждой трубы и равномерно передвигают со скоростью 20 мм/мин механическим толкателем через все зоны печи. Выходные части труб протяженностью 0,6 м окружают холодильником с проточной водопроводной водой, циркулирующей между двойными стенками. Параллельно во все трубы навстречу движению ло-

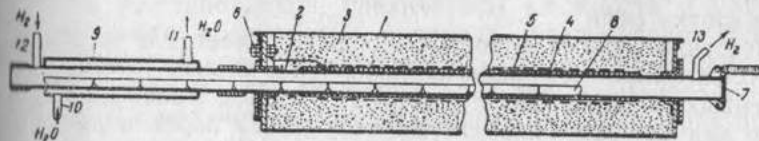


Рис. 6-1. Печь восстановления вольфрама.

1 — стальная кожух; 2 — стальная асбестированная труба; 3 — тепловая изоляция; 4 — электрическая изоляция; 5 — обмотка из нихромовой ленты; 6 — входной контакт; 7 — крышка с замком; 8 — никелевые лодки; 9 — холодильник; 10 — подача воды; 11 — спуск воды; 12 — подача водорода; 13 — выход водорода.

док подводят сухой электролитический водород. Благодаря подаче водорода противотоком вольфрамовый порошок, восстановление которого подходит к концу, сообщается только с чистым водородом и не окисляется парами воды, выделяющимися в начале печи.

Внутренний объем печи разделен на пять температурных зон. Каждая зона имеет самостоятельную электрическую цепь и снабжена индивидуальным автоматическим терморегулятором. Загруженные лодки медленно перемещаются друг за другом через все зоны печи. По мере перемещения температура лодок постепенно повышается, доводится до максимума, затем после некоторой выдержки при максимуме постепенно понижается и достигает у выхода из холодильника комнатной температуры. Высокая теплопроводность водорода благоприятно влияет на быстрое нагревание вольфрамового ангидрида (или бурой окиси) после загрузки в печь и быстрое охлаждение бурой окиси (или металлического порошка) перед выгрузкой из печи. Охлаждение порошка в атмосфере водорода требуется во избежание нового окисления. Водороду сообщают скорость из расчета 2,5—3 м<sup>3</sup>/ч на одну трубу. Такая скорость значительно превышает теоретически требуемую для реакции восстановления. Избыток водорода необходим для уменьшения концентрации паров воды в зоне высоких температур и быстрого удаления их из печи. Расход водорода в каждой трубе регулируют индивидуальным ротаметром.

Увлажненный отработанный водород отводят через коллектор и регенерируют в циркуляционной установке, состоящей из холодильника, цилиндра седким натром, газодувки и снова цилиндра с едким натром. Очищенный водород разветвляется через газосборник по всем трубам печи, не выходя нигде на воздух. Газодувка обеспечивает его принудительную циркуляцию. Новый водород добавляют только для пополнения расхода на реакцию восстановления и на утечки при загрузке и выгрузке лодок.

Кроме подводки водорода, каждую печь снабжают подводкой азота, которым пользуются для экономии водорода в периоды, когда печь не загружена лодками. Операцию восстановления стремятся вести круглосуточно, останавливая ее только на период чистки печи.

Восстановленный порошок иногда получается с частично недовосстановленными включениями. Это бывает тогда, когда, во-первых, его засыпают в лодки слишком толстым слоем и в его нижних слоях концентрируется много паров воды, во-вторых, когда лодки продвигают слишком быстро, и водород не успевает восстановить весь порошок, в-третьих, когда водород поступает в рабочую часть печи в недостаточном количестве (например, при засорившихся ротаметрах) и, наконец, в-четвертых, когда температура восстановления низка. Каждую

лодку восстановленного порошка проверяют на наличие включений бурой окиси. Если таковая обнаруживается, порошок повторно восстанавливают. Если порошок даже хорошо восстановлен, его зерна частично остаются покрытыми тончайшими пленками поверхностных примесей (главным образом окислов и адсорбированных газов), объем которых вследствие большой удельной поверхности порошка составляет довольно заметную долю объема металла. По этой причине в технических условиях на восстановленный порошок приходится допускать сравнительно высокое содержание окислов (до 0,25% O<sub>2</sub> к весу металла) с расчетом на то, что они будут восстановлены при последующем спекании. Чем мельче порошок, тем больше он содержит окислов. Содержание окислов более 0,25% вредно влияет на способность порошка к последующему прессованию.

Для дальнейшей обработки важно, чтобы в порошке не было вредных примесей, особенно железа и никеля. Партию порошка признают удовлетворительной, если содержание железа в ней не превышает 0,01%, а содержание никеля составляет лишь следы. Общая сумма примесей молибдена, железа, алюминия, окиси кремния и окиси кальция не должна превышать 0,1%.

Восстановленный порошок состоит из смеси кристаллических зерен различных размеров. С уменьшением размеров возрастают силы сцепления между зернами. Под действием этих сил и высокой температуры зерна частично слипаются в агломераты. От величины зерен зависит последующая обрабатываемость металлического вольфрама. Грубый порошок с размерами зерен от 1 до 13 мк при средней величине зерна 8—10 мк, а также мелкий порошок с размерами зерен менее 2 мк непригодны для изготовления проволоки. Наилучшей обрабатываемостью обладает порошок, состоящий из разнородных по величине зерен от 0,5 до 4—5 мк при средней величине зерна 1,5—2,5 мк. Такой порошок хорошо прессуется, металл из него сваривается с меньшим числом пор и не расслаивается при механической обработке.

Величина зерен металлического порошка зависит от условий восстановления и величины зерен исходного вольфрамового ангидрида. Средняя величина зерна растет с повышением температуры восстановления, увеличением влажности и уменьшением скорости поступления водорода, увеличением толщины слоя порошка в лодках, увеличением скорости передвижения лодок и ростом средней величины зерна вольфрамового ангидрида. Порошок получается с непостоянным набором зерен при колебаниях температуры в печах первого и второго восстановления (например, когда отсутствуют терморегуляторы) и при немеханизированной загрузке лодок. Чрезмерно высокая температура восстановления влечет за собой повышенные потери окислов вольфрама и щелочной части присадки в виде паров, уносящихся с током водорода.

Каждую партию порошка подвергают двум контрольным испытаниям: 1) проверке величины зерен и 2) определению насыпного веса. Величину зерен проверяют под микроскопом, снабженным окуляром с микрошкалой. Пробу порошка сначала измельчают в виброистирателе с целью разрушения конгломератов и отделения зерен друг от друга. Затем ее замачивают в спирте, наносят на предметное стекло микроскопа и после испарения спирта рассматривают в проходящем свете при 800-кратном увеличении. Шкалу окуляра поворачивают в такое положение, чтобы она пересекала отдельные зерна и позволяла их измерить. После измерения ста — двухсот зерен определяют керамический состав порошка, т. е. подсчитывают содержание зерен каждого размера в процентах к общему числу зерен. Ниже приведен примерный керамический состав порошка, принятый в отечественном производстве вольфрамовой проволоки марки ВА.

Размеры частиц, мк	% зерен
< 0,8	35—50
0,8—1,7	30—40
1,7—2,5	14—25
2,5—3,4	4—6
3,4—4,2	0—3

Насыпным весом называют вес единицы объема свободно насыпанного порошка. По насыпному весу косвенно оценивают крупность порошка и плотность укладки его частиц. Вольфрамовый ангидрид имеет насыпной вес 24—36 г в кубическом дюйме, или 1,5—2,2 г/см<sup>3</sup>, а металлический порошок вольфрама — 30—35 г в кубическом дюйме, или 1,8—2,1 г/см<sup>3</sup>. Насыпной вес зависит от размеров и, главным образом, формы частиц. Чем крупнее частицы и глаже их поверхность, тем больше насыпной вес. Шероховатость частиц и большая суммарная поверхность мелких порошков в единице веса препятствуют уплотнению порошков. Наибольшим насыпным весом и наиболее полным заполнением объема обладает порошок, состоящий из набора разных по величине зерен. В этом случае частицы меньшего диаметра заполняют промежутки между частицами большего диаметра.

Для придания вольфрамовому порошку и вольфрамовой проволоке однородных свойств несколько сот килограммов просеянных порошков перемешивают в смесительном барабане емкостью 500 кг и составляют одну однородную по физическому составу производственную партию. Составляющие порошки берут такие, чтобы вся партия получила требуемый набор зерен. Перед пуском на дальнейшие операции качество партии оценивают по результатам разведочного контроля пробной проволоки («разведки»). Если разведка показала при механической обра-

ботке достаточно высокий процент выхода годного металла и при металлографическом исследовании — хорошую микроструктуру, партию порошка пускают в производство для изготовления проволоки всех размеров; в противном случае партию исправляют смешением с порошком других партий или бракуют.

## б) ПРОСЕИВАНИЕ, СМЕШИВАНИЕ И УВЛАЖНЕНИЕ

Восстановленный металлический порошок вольфрама просеивают через вибрационное сито с размером отверстий 0,09—0,07 мм для отделения посторонних включений и комков, спекшихся при восстановлении частиц вольфрама, а также для придания порошку однородной зернистости.

Затем порошок тщательно перемешивают в барабанном смесителе, облицованном изнутри медью. Смещение оси барабана от оси вращения заставляет порошок за каждый оборот барабана перемещаться с одной его стороны на другую и обратно. Перемешанный порошок снова просеивают через сито с размером отверстий 0,09—0,07 мм с целью его разрыхления.

Подготовленный таким образом однородный порошок распределяют ровным слоем по никелевому противню и обрызгивают из лейки пластификатором — смесью одной части дистиллированного глицерина и одной части спирта ректификата, из расчета 3 см<sup>3</sup> смеси на 1 кг порошка. Тончайшая пленка спиртового раствора глицерина, обладающая высокой смачивающей способностью, создает слабую связь между частицами порошка. Увлажненный порошок перемешивают в медной или фарфоровой мельнице и просеивают через сито с размером отверстий 0,45 мм. Просевом отделяют слипшиеся комки, способные вызывать на последующих операциях местное повышение плотности металла.

На всех операциях просеивания следят, чтобы сетки механических сит не имели повреждений.

Вольфрамовый порошок стремятся использовать без задержки. Его хранят не более 24 ч в плотно закрытых сосудах, так как присадки делают его гигроскопичным.

## в) ПРЕССОВАНИЕ

На операции прессования бесформенный рассыпчатый вольфрамовый порошок превращают в штабики квадратного сечения, обладающие необходимой для последующей обработки прочностью и формоустойчивостью. Прессование производят при комнатной температуре на тихоходном гидравлическом прессе, медленно и плавно повышающем и снимающем давление.

Штабики изготавливают различных размеров. Наиболее употребительные — 12×12×450 мм при весе 730 г.

Порошок вольфрама отвешивают в заданном количестве на один штабик и засыпают совком в разборную пресс-форму, со-

стоящую из пяти закаленных стальных брусков с отшлифованными рабочими поверхностями (рис. 6-2). Засыпанный порошок распределяют равномерным слоем по всей длине пресс-формы и закрывают стальным шлифованным пуансоном.

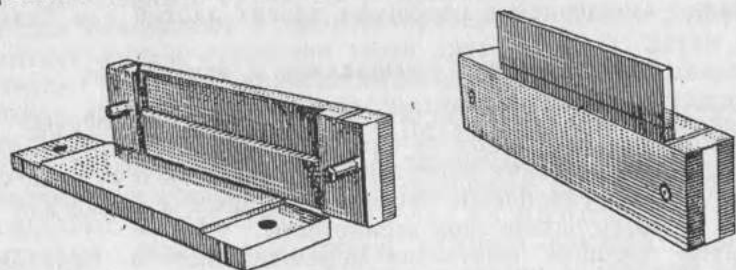


Рис. 6-2. Пресс-форма для формирования вольфрамовых штабиков.

Гидравлический пресс двустороннего давления (рис. 6-3) снабжен двумя расположенными под прямым углом друг к другу рабочими цилиндрами, в которых двигаются поршни. В ци-

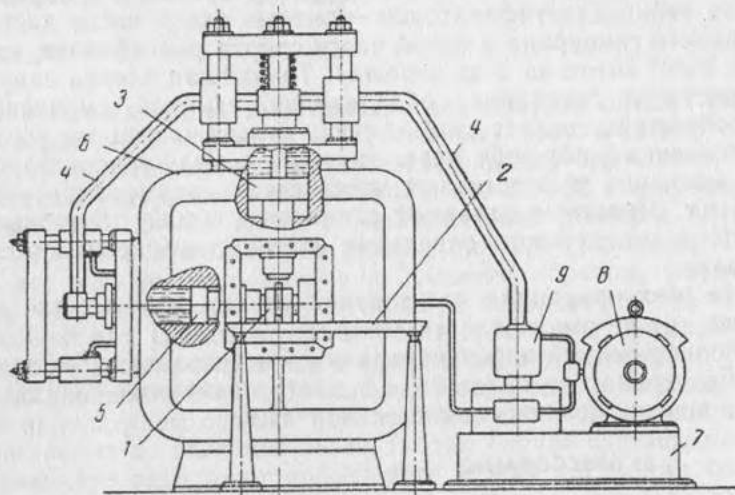


Рис. 6-3. Гидравлический пресс для прессования штабиков.

1 — пресс-форма; 2 — рабочий стол для сборки и разборки пресс-формы; 3 — поршень вертикального давления; 4 — маслопровод; 5 — поршень бокового давления; 6 — станина; 7 — бак с маслом; 8 — электродвигатель; 9 — компрессор.

линдры с помощью компрессора подается масло из масляного бака. Пресс-форму с порошком закладывают под верхний поршень. Сначала создают боковым поршнем горизонтальное давление, при котором пресс-форма зажимается до упора. Потом

создают верхним поршнем вертикальное давление, при котором пуансон вдвигается глубоко внутрь пресс-формы и сдвигает порошок при давлении до  $4 \text{ Т/см}^2$ . Боковым давлением обеспечивается будущему штабику постоянство толщины, а вертикальным — постоянство плотности. При недостаточном вертикальном давлении уменьшается общая контактная поверхность порошка, ослабляется связь между порошинками, увеличивается пористость штабиков и понижается их прочность. При чрезмерно большом вертикальном давлении увеличивается сила трения и уменьшается способность зерен к передвижению относительно друг друга, что влечет за собой возникновение трещин. Излишне большое давление затрудняет испарение примесей при последующей сварке штабиков.

Уплотнение штабика при прессовании происходит не за счет деформации зерен, а за счет уменьшения объема пор между ними и заполнения мелкими зернами промежутков между крупными. Зерна легко перемещаются и плотно заполняют свободные промежутки. Содержащийся в порошке пластификатор (спиртовой раствор глицерина) смазывает зерна, облегчает скольжение их по стенкам пресс-формы и друг по другу, способствуя увеличению плотности и прочности штабика. Применение пластификатора препятствует быстрому износу деталей пресс-формы.

На прочность прессованного штабика вредно влияют окисные пленки и другие загрязнения на поверхности зерен. Они препятствуют образованию металлического контакта между зернами. Благодаря равномерной по высоте засыпке порошка, плавному нарастающему давлению, выдержке порошка под давлением и равномерному распределению давления по длине пресс-формы штабики получаются однородными по плотности и размерам.

После завершения прессования сначала снимают вертикальное давление, а потом горизонтальное. Пресс-форму извлекают из пресса, разбирают ее и осторожно передвигают штабик на ровную молибденовую пластинку. Вместе с пластинкой штабик доставляют на следующую операцию. Механические силы сцепления между порошинками препятствуют рассыпанию штабика после раскрытия пресс-формы.

При прессовании иногда получают расслоенные трещины, заключающиеся в нарушении сцепления между частицами вольфрама по каким-либо плоскостям внутри штабика. Этот брак возникает от сильных внутренних напряжений, вызываемых неравномерным распределением давления прессования, например, при работе со слежавшимся и окисленным порошком, плохом разравнивании порошка в пресс-форме, плохом состоянии пресса, чрезмерно большом вертикальном давлении и перекосе боковых стенок пресс-формы. Штабики из мелкозернистого порошка и штабики из слишком увлажненного порошка расслаиваются

при более низком давлении. Порошки, в которых преобладают мелкие зерна, дают штабики с большой остаточной пористостью, склонные к расслою, а крупнозернистые порошки ввиду малой поверхности контакта между зернами дают плохо спекающиеся штабики, ломающиеся при последующей ковке.

Для придания прессованным штабикам строго постоянного квадратного сечения вольфрамовый порошок засыпают в пресс-форму в таком количестве, какое образует при установленном давлении штабик требуемого сечения. Так как порошок может состоять из зерен различных размеров, то одно и то же весовое количество его может заполнить различный объем, в результате чего штабики могут получаться нестандартного сечения. Поэтому для каждой партии порошка подбирают навеску его с таким расчетом, чтобы сечение штабика при заданном неизменном давлении получилось квадратным. Чем больше насыпной вес порошка, тем больше должна быть навеска. Применением порошков с постоянным насыпным весом и установлением для каждой партии порошка нормы засыпки избегают получения штабиков нестандартных размеров.

#### г) ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ СПЕКАНИЕ

Спеканием называют процесс увеличения прочности и плотности штабика за счет улучшения контактов между его зернами под действием высокой температуры. Различают предварительное (низкотемпературное) и окончательное (высокотемпературное) спекание.

Прессованные штабики способны сохранять приданную им форму, но не отличаются сколько-нибудь значительной прочностью. Хорошему сцеплению зерен препятствует наличие на их поверхности неметаллических пленок и проявление упругих свойств зерен, выражающееся в уменьшении их контактной поверхности после снятия давления прессования. Для удобства обращения со штабиками и придания им минимальной прочности, необходимой для закрепления их в щипцах аппарата высокотемпературного спекания, их сначала подвергают низкотемпературному спеканию.

Прессованные штабики на молибденовых пластинах укладывают по 20—24 шт. в стальную лодку и помещают в алуновую муфельную электрическую печь с водоохлаждаемым холодильником<sup>1</sup>. Сначала их выдерживают 30 мин в зоне накала муфеля при 1100—1200°С, затем 30 мин в холодильнике. Действием нагрева и поверхностных сил сцепления зерна вольфрама сбли-

<sup>1</sup> Алунд — техническое название плавной твердой огнеупорной термостойкой массы, содержащей 95—98% глинозема. При высоких температурах алунд обладает большим электрическим сопротивлением и хорошей газонепроницаемостью.

жаются и слипаются в многочисленных точках соприкосновения. Одновременно снимаются внутренние напряжения, полученные штабиками при прессовании.

В зону нагрева и охлаждения подводят противотоком электролитический водород, не содержащий кислорода и водяных паров. Водород предохраняет штабики от окисления и восстанавливает тонкие окисные пленки на поверхности вольфрамовых зерен.

Во время предварительного спекания из штабика испаряются спирт, глицерин, 10—12% присадки и некоторая часть вредных примесей. Промежутки между зернами вольфрама уменьшаются, и штабик становится более плотным и прочным.

Предварительным спеканием достигают не только уменьшения пористости и повышения прочности штабиков, но и уменьшения их электрического сопротивления, необходимого для последующего высокотемпературного спекания.

Громадная удельная поверхность частиц спрессованного штабика делает его очень чувствительным к окислению. Поэтому низкотемпературное спекание штабиков производят сразу после прессования, а высокотемпературное — без задержки после низкотемпературного.

Перед высокотемпературным спеканием каждый штабик проверяют на отсутствие расслоев, раковин, трещин, отколотых граней, отклонений в размерах и других дефектов.

#### д) ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЕ СПЕКАНИЕ (СВАРКА)

Вольфрамовые штабики после предварительного спекания еще не настолько прочны, чтобы можно было их подвергать механической обработке. Для придания штабикам свойств плотного и прочного компактного металла, а также для очистки штабиков от загрязнений их подвергают высокотемпературному спеканию (сварке) прямым пропусканием через них переменного тока низкого напряжения (рис. 6-4). Концы штабика зажимают на глубину 2,5—3 мм в щипцы двух вертикальных токоподводящих стоек сварочного аппарата. На штабик опускают противовесом или пневматическим механизмом медный колоколообразный колпак с двойными стенками. В пространство под колпаком впускают проточный водород. После полного вытеснения воздуха водородом штабик включают в цепь понижающего трансформатора и медленно разогревают его электрическим током. Подводимую мощность постепенно увеличивают автотрансформатором со ступенчатой регулировкой или индукционным регулятором — электрическим двигателем с заторможенным ротором, приспособленным для плавного регулирования напряжения переменного тока. После завершения сварки и последующего охлаждения штабика проточным водородом колпак поднимают и штабик извлекают из аппарата.

ную конденсацию восстановленных окислов на наиболее холодных местах. Такой процесс вызывает укрупнение зерен вольфрама, неблагоприятно влияющее на последующую обработку штабиков. При чрезмерно большом содержании влаги или наличии течи в колпаке штабик получается с «осеребренными» гранями от образовавшихся на их поверхности крупных блестящих разрозненных кристаллов вольфрама. Проволока, изготовленная из штабика, сваренного в недостаточном сухом водороде, отличается хрупкостью и неудовлетворительной формоустойчивостью.

На качество сваренного штабика оказывает влияние величина исходных зерен порошка вольфрама. Штабики из слишком мелкозернистых порошков хуже очищаются при сварке, а из слишком крупнозернистых — хуже провариваются. При одном и том же температурном режиме тонкие порошки придают сваренному штабику крупнозернистую структуру, а грубые — мелкозернистую. Присадки  $\text{ThO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{SiO}_2$  замедляют рост зерен, а окись вольфрама  $\text{WO}_2$  и присадка  $\text{K}_2\text{O}$ , наоборот, способствуют росту зерен. Хорошо сваренный штабик из вольфрама с алюминиевой присадкой имеет в  $1 \text{ мм}^2$  не менее 12 000 зерен.

Под влиянием охлаждающего действия щипцов сварочного аппарата концы штабиков получаются непроваренными. Эти контактные концы, не имеющие металлического блеска, длиной, определяемой по впитыванию чернил (обычно не более 10 мм), обрубает. После обрубки просматривают излом невооруженным глазом. Если излом мелкозернист, увеличивают ток сварки или выдержку на максимум; если крупнозернист — поступают наоборот.

Готовые сваренные штабики не должны иметь внутренних перепадов, трещин, расслоев, пузырей, пятен, вздутий, оплавленных концов. Разность между сторонами не должна превышать 0,4 мм и разность в толщине концов (конусность) не должна превышать 0,7 мм.

#### 6.4. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ВОЛЬФРАМА

##### а) КОВКА

Как и большинство металлов, вольфрам способен коваться, т. е. сплющиваться в нагретом состоянии под ударами. Сваренные вольфрамовые штабики квадратного сечения доводят многократной ковкой до круглых прутков диаметром 2,75 мм.

В чугунном корпусе ротационной ковочной машины (рис. 6-6) помещается закаленный стальной фигурный вал, вращающийся в подшипниках со скоростью около 1000 об/мин. Вдоль оси головки вала высверлен сквозной канал. В выемку передней части вала вставлена пара опорных плашек (бакенов) из быстрорежущей закаленной жароупорной стали или твердого

сплава. Бакены упираются в свободно перемещающиеся стальные ударные молоточки (шлагбакены), касающиеся двух стальных цилиндрических роликов. По окружности корпуса располо-

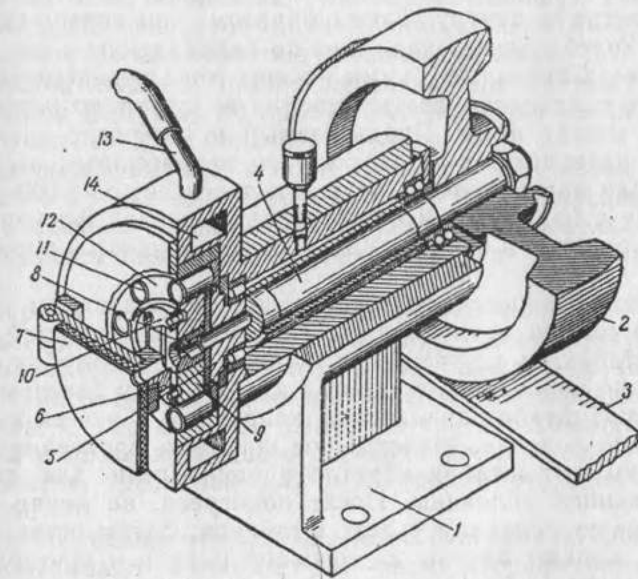


Рис. 6-6. Ротационная ковочная машина.

1 — корпус; 2 — шкив; 3 — ремень к электродвигателю; 4 — фигурный вал; 5 — головка вала; 6 — направляющая втулка; 7 — дверца; 8 — бакены (плашки); 9 — шлагбакены (молоточки); 10 — мостик для крепления молоточков; 11 — ролики, передающие удары на молоточки; 12 — обойма с роликами; 13 — трубка водяного охлаждения; 14 — камера охлаждения.

жено в кольцевой обойме 10—12 таких роликов. Сложенные вместе бакены образуют суженный посредине канал (рис. 6-7).

Штабики перед ковкой разогревают до  $1450^\circ\text{C}$  в одной из двух электрических печей, установленных рядом с ковочной машиной. Рабочая часть этих печей состоит из огнеупорной алундовой трубы с 10 или 12 параллельными каналами. В каждый канал вставляют для разогрева по одному штабику. Для предохранения штабиков от окисления, а также для восстановления окисленных частиц вольфрама печь заполняют чистым проточным водородом. Постоянство температуры в печи поддерживают терморегулятором.

После включения электродвигателя разогретый дымящийся вольфрамовый штабик вставляют длинными щипцами в отверстие, образованное двумя баке-

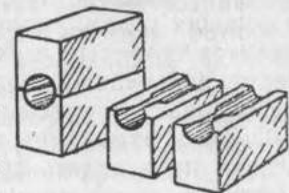


Рис. 6-7. Ковочные бакены.

нами. Под действием центробежной силы бакены и шлагбакены стремятся раздвинуться, но ролики отталкивают их обратно. Благодаря цилиндрической поверхности роликов шлагбакены то попадают в промежутки между роликами, то отбрасываются ими обратно к центру. Таким образом, они совершают непрерывное колебательное движение по направлению к оси машины и обратно. Связанные с ними бакены тоже попеременно то сходятся, то расходятся, соответственно то сужая, то расширяя отверстие между ними. Продвигаемый в отверстие раскаленный штабик подвергается со всех сторон непрерывным легким ударами, число которых очень велико и достигает от 5 000 до 10 000 в минуту в зависимости от скорости вращения фигурного вала и числа роликов в обойме. Удары сопровождаются характерным стуком.

Рабочий процесс ковки совершают следующим образом: вручную плотно захватывают щипцами выступающий из печи конец штабика и, не разжимая щипцов, вводят штабик с легким усилием до половины его длины в канал между бакенами. Далее вытягивают штабик из машины, кладут его в ручеек маленькой поворотной лодочки, захватывают щипцами прокованный конец и закладывают штабик обратно в канал печи для подогрева непрокованной половины. После подогрева, не меняя бакенов, кууют вторую половину у всех штабиков. Затем останавливают машину, меняют бакены на меньший размер и повторяют весь процесс снова.

Рабочий-ковщик подает штабик в машину через направляющую втулку в строго горизонтальном положении с постоянной скоростью, не допуская ударов бакенов по одному и тому же месту. С такой же скоростью он извлекает штабик из машины.

Штабик проковывают не более чем до половины длины, чтобы деформация его средней части не происходила при пониженных температурах.

Во время короткого пути от печи до ковочной машины штабик несколько окисляется. Поверхностные окислы, действуя как смазка, замедляют износ бакенов.

На первой ковочной машине квадратные штабики сначала превращают в круглые прутки, затем прутки постепенно уменьшают в диаметре. Под влиянием деформации штабик, особенно в бывших углах, упрочняется и при дальнейшей обработке становится склонным к расслоению. Для снятия упрочнения, облегчения дальнейшей механической обработки и предотвращения расслаивания прутки при диаметре 10 мм отжигают при 2 000—2 050° С в атмосфере водорода с выдержкой в течение 3 мин. Отжиг производят прямым нагревом в таком же сварочном аппарате, какой применяется для высокотемпературного спекания, но снабженном высоким колпаком. При отжиге поднимают ток до 70% тока переплавки.

При диаметре 6,5 мм увеличившаяся длина прутков позволяет производить последующую ковку с одного нагрева «на проход». Вольфрамовый пруток вставляют в установленную перед второй ковочной машиной трубчатую газовую печь и, не извлекая из печи, продвигают дальше в машину. Роликовый механизм, расположенный сзади машины, захватывает пруток и протягивает его со скоростью вращения роликов.

Со второй машины прутки передают на третью машину непрерывного действия, но приспособленную для ковки прутков меньшего диаметра и с большей скоростью.

Чтобы вольфрамовый штабик сечением 12×12 мм довести до круглого прутка диаметром 2,75 мм, его пропускают через ковочные машины около 30 раз. С каждым последующим переходом площадь поперечного сечения прутка уменьшается на 12—15%.

На первых переходах прутки нагревают до 1 400—1 450° С, а на последних — до 1 100° С. Температуру контролируют оптическим пирометром или на глаз по цвету накала прутков. Косвенно о температуре судят по интенсивности испарения окислов вольфрама. С уменьшением диаметра прутки становятся менее крупными и после последнего перехода приобретают пластические свойства, требуемые для дальнейшего утонения методом волочения.

Перед последним переходом сильно окисленную поверхность прутка смазывают аквадагом—водным графитовым препаратом, состоящим из коллоидного раствора искусственного графита в воде (см. стр. 403). Смазанный пруток нагревается в воздушной атмосфере и далее проковывается до 2,75 мм. При нагреве вода из аквадага испаряется, а мельчайшие частицы сухого графита вкочкуются в поверхностные окислы прутка, образуя плотную тонкую оболочку, облегчающую последующее волочение.

Ковка квадратных штабиков сечением 12×12 мм до круглых прутков диаметром 2,75 мм сопровождается убылью в весе около 2%, вызываемой окислением вольфрама при переносе штабиков из печи к ковочной машине и при самой ковке. После последней ковки концы прутков обламывают щипцами, пока не исчезнут расслойные трещины, образовавшиеся на них при подачах в канал ковочных бакенов и при захватах роликовым механизмом. В процессе ковки прутки уплотняются за счет устранения содержащихся в них пор. На поверхности прутков остаются многочисленные следы ударов в виде неровностей, которые постепенно сглаживаются последующим волочением.

Кованые штабики и прутки иногда получают с поперечными, продольными и поверхностными трещинами. Поперечные трещины получаются в штабиках, содержащих вредные примеси, и в штабиках плохо проваренных при высокотемпературном спекании. Продольные или расслойные трещины получают



при ковке недостаточно прогретых или сильно обжатых штабиков, а также при ковке штабиков, получивших расслойные трещины при прессовании. Расслаиванию прутков обычно предшествует возникновение сильных внутренних напряжений, которые влекут за собой образование сначала микротрещин, а затем длинных продольных трещин. Скрытые небольшие расслойные трещины в первоначальной заготовке резко повышают брак на большой длине проволоки при последующих операциях вплоть до изготовления спиралей. Поверхностные (волосные) трещины получаются при ковке сильно нагретых пористых штабиков с квадратного сечения на круглое, а также при ковке плохо проваренных штабиков, не выдержавших испытание чернильной пробой. Поверхностная сетка трещин вызывает при спирализации отслоение волокон вольфрама и образование заусенцев.

### б) ВОЛОЧЕНИЕ

Вольфрамовую проволоку диаметром более 10 мк изготавливают многократным волочением исходных кованых прутков диаметром 2,75 мм. Микропроволоку диаметром 5—10 мк изготавливают электролитическим травлением исходной тянутой проволоки диаметром 10—12 мк.

Обработка волочением состоит в последовательном протягивании проволоки через все более узкие круглые отверстия в твердом инструменте, пока она не вытянется в нить требуемого диаметра (рис. 6-8). Так как при волочении объем проволоки почти не меняется, то при каждом протягивании она,

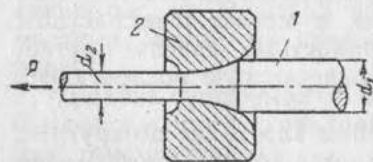


Рис. 6-8. Схема процесса волочения.

1 — протягиваемая проволока; 2 — волочильный глазок;  $d_1$  — диаметр проволоки до волочения;  $d_2$  — диаметр проволоки после волочения;  $P$  — усилие волочения.

обжимаясь, удлиняется во столько же раз, во сколько уменьшается площадь ее поперечного сечения. Инструмент, имеющий постепенно сужающееся в направлении волочения воронкообразное отверстие, через которое протягивается проволока, называют волокой или фильерой. Волоки изготавливают из очень твердого и прочного материала, чтобы их отверстие при волочении быстро не изнашивалось.

Из всех известных в природе материалов наибольшей твердостью обладает алмаз. В десятичной шкале твердости он занимает предельное (десятое) место. Для волочения тонкой вольфрамовой проволоки применяют волоки из естественных технических алмазов (тип Т, ГОСТ 6271-60), а для волочения толстой — волоки из твердых сплавов (марка ВК-6, ГОСТ 3882-61).

Ввиду малых размеров алмазов нельзя изготавливать из них больших волок, поэтому для волочения толстой проволоки

применяют волоки из твердых сплавов. Такие волоки способны сохранять свою твердость при высокотемпературном нагреве, хотя значительно уступают по твердости алмазу. Для волочения тонких проволок твердосплавные волоки не применяют, так как они быстро разрабатываются, выходят за пределы допусков, дают проволоку неравномерной толщины и с недостаточно гладкой поверхностью.

Перед заправкой в волоку конец проволоки стравливают на конус одним из трех способов: 1) погружением раскаленного конца проволоки в сухую селитру (на толстом волочении); 2) погружением холодного конца проволоки в расплавленную селитру (на среднем волочении); 3) погружением холодного конца проволоки в качестве анода в 15—20%-ный раствор едкого натра (на тонком и тончайшем волочении).

Каждую волочильную машину оснащают тяговым устройством, предназначенным для создания силы волочения, и приемным устройством, предназначенным для приема протянутой проволоки. Сила волочения, т. е. продольная сила, приложенная к проволоке, способная преодолеть ее сопротивление деформации и заставить ее проходить через волоку, зависит от механических свойств и диаметра проволоки, величины обжатия, скорости волочения, величины обратного натяжения, размеров канала волоки, рабочей температуры волоки и качества смазки. С уменьшением силы волочения понижается расход энергии на волочение, сокращается износ волок и уменьшается опасность обрывов проволоки.

Волочильные машины бывают с прямолинейным и круговым движением. У первых обрабатываемый металл после протягивания через волоку движется прямолинейно; у вторых — прижимается через вращающееся тяговое устройство. Первые применяют для волочения относительно толстых коротких прутков (цепные станы), вторые — для волочения тонкой длинной проволоки (барабанные машины).

Цепной волочильный стан (рис. 6-9) состоит из 25-метровой станины, по которой катится каретка с самозахватывающими клещами и тяговым крюком. В головном конце станины последовательно установлены коробка со смазочным материалом, газовая печь и упор с твердосплавной волокой. В хвостовом конце станины установлены электродвигатель и механизм привода бесконечной пластинчатой цепи. Верхняя часть цепи непрерывно движется в одном направлении от волоки к приводу. Нагретый заостренный конец вольфрамового прутка смазывают аквадагом и заправляют в нагретую волоку. По другую сторону волоки клещи захватывают заправленный конец и зацепляются крюком подвижной каретки за одно из звеньев бесконечной цепи. Последняя тянет за собой каретку с клещами и протягивает пруток по прямой линии через смазку, печь и волоку. После завершения протягивания каретка отделяется от тяговой цепи

и автоматически возвращается в исходное положение для захвата следующего прутка. Протянув всю партию прутков, меняют волоку на другую с меньшим диаметром отверстия.

Барабанные машины волочат проволоку, начиная с диаметра 1,45 мм, когда проволока приобретает достаточную гибкость,

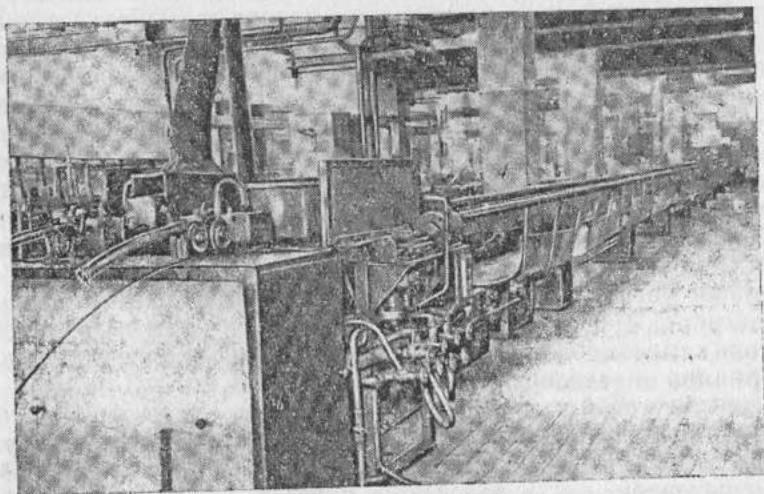


Рис. 6-9. Цепной волочильный стан.

необходимую для наматывания на деревянные конусные мотвила с механическим приводом. Первое волочение производят на так называемых блочных станах с диаметром ведущего барабана (блока) 620 мм. По мере утонения проволока становится еще более гибкой и способной наматываться на тару меньшего диаметра. Готовую проволоку диаметром больше 0,35 мм наматывают в бухты, а более тонкую — на катушки.

В машинах барабанного типа тяговым устройством служит либо приемная катушка, на которую непосредственно наматывается готовая проволока, либо специальный тяговый барабан. В первом случае по мере заполнения катушки скорость поступательного движения проволоки через волоку постепенно увеличивается, а во втором случае — остается неизменной. В первом случае намотка получается более тугой и более подверженной натяжке.

Машины барабанного типа без тягового барабана построены по технологической схеме, изображенной на рис. 6-10. Исходную проволоку смазывают со спускного барабана или катушки, покрывают смазкой в смазочной коробке, нагревают в муфеле газовой или электрической печи, обжимают в волоке и наматывают на приемную катушку, связанную с механизмом раскладки проволоки.

Машины барабанного типа с тяговым барабаном построены по такой же технологической схеме с тем лишь изменением, что после обжатия в волоке проволока сначала делает один оборот вокруг тягового барабана или тягового ролика, затем наматывается через раскладочный ролик на приемную катушку.

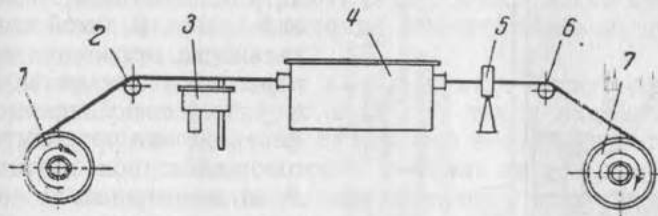


Рис. 6-10. Схема однократной машины волочения вольфрамовой проволоки без тягового барабана.

1 — спускная катушка; 2 — поддерживающий ролик; 3 — смазочная коробка; 4 — печь; 5 — волока; 6 — поддерживающий ролик; 7 — приемная катушка.

На машинах без тягового барабана приемная катушка помимо вращения вокруг своей оси имеет возвратно-поступательное движение вдоль оси, осуществляя тем самым раскладку проволоки по всей ширине катушки. На машинах с тяговым барабаном приемная катушка только вращается вокруг своей оси, а раскладку проволоки от одного борта катушки до другого

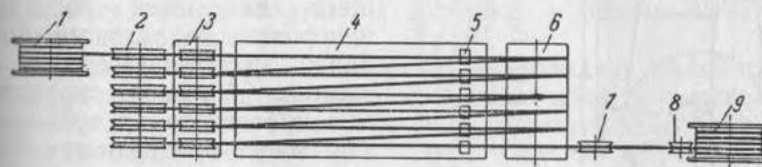


Рис. 6-11. Шестикратная машина волочения.

1 — спускная катушка; 2 — направляющий ролик; 3 — смазочная коробка; 4 — электрическая муфельная печь; 5 — волока; 6 — тяговый барабан; 7 — направляющий ролик; 8 — раскладочный ролик; 9 — приемная катушка.

осуществляет ролик, имеющий возвратно-поступательное движение вдоль оси катушки. На тех и других машинах раскладку ведут в шахматном порядке с шагом, равным около 1,2 диаметра проволоки.

Машины барабанного типа бывают однократного и многократного действия. На однократных проволоку обрабатывают только одной волокой, на многократных — одновременно несколькими волоками. На рис. 6-11 изображена технологическая схема волочения вольфрама на шестикратной машине. Проволока сматывается со спускной катушки и проходит через первый направляющий ролик, смазочную коробку, муфелю электрической печи и волоку. Сделав полтора оборота вокруг тягового

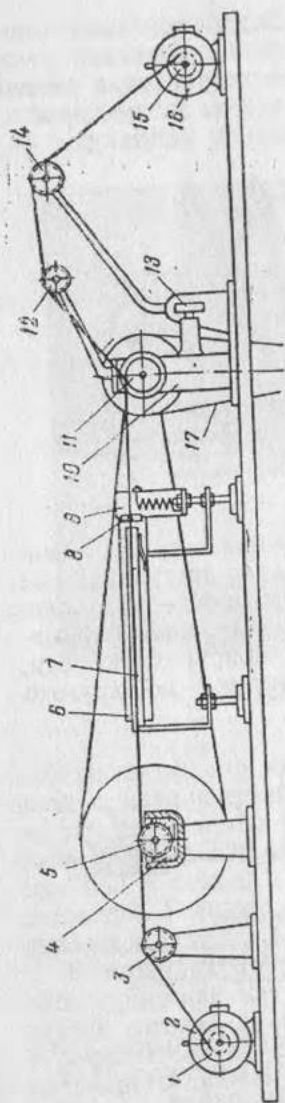


Рис. 6-12. Волоочильная машина с обратным натяжением.

1 — спускная катушка; 2 — электродвигатель обратного натяжения; 3 — направляющий ролик; 4 — смазочная коробка с аквалатом; 5 — смазочная электрическая печь; 7 — нагревательный муфель печи; 8 — ролик; 9 — нагреватель; 10 — пружина; 11 — редуктор; 12 — направляющий ролик; 13 — кулак прижима; 14 — направляющий ролик; 15 — приемная катушка; 16 — электродвигатель; 17 — механизм раскладки; 18 — механизм раскладки; 19 — механизм раскладки.

барабана, проволока возвращается на второй направляющий ролик, снова проходит смазочную коробку, печь, другую волоку с меньшим диаметром отверстия, чем у первой и т. д. В такой последовательности проволока проходит через все элементы машины 6 раз. На последнем шестом переходе она проходит направляющий и раскладочный ролик и наматывается на приемную катушку, приводимую во вращение отдельным электродвигателем. Непременным условием нормальной работы машин многократного волочения является прохождение в единицу времени через каждую волоку одинакового объема проволоки. На машинах шестикратного волочения соблюдение этого условия обеспечивается применением общего для всех переходов шлифованного тягового барабана, вращающегося с несколько большей скоростью, чем протягиваемая проволока. На гладкой поверхности барабана происходит плавное скольжение проволоки, позволяющее с каждым переходом увеличивать скорость волочения.

На машинах барабанного типа участок проволоки между спускной катушкой и волокой поддерживают в состоянии постоянного

натяжения, необходимого для придания проволоке строго прямолинейного положения при прохождении через смазочную коробку, печь и волоку. Натяжение перед волокой, кроме того, препятствует смещению наружных слоев проволоки от внутренних и возникновению вследствие этого сильных внутренних напряжений. Натяжение осуществляется торможением спускной катушки роликом, через который переброшен шнур

с грузом, или винтом, зажимающим ось спускной катушки, или тормозной колодкой. Вес груза тем больше, или зажим винта и колодки тем сильнее, чем толще проволока. Слишком сильное торможение вызывает обрывы проволоки, а слишком слабое — сматывание проволоки рывками, соскакивание с роликов и тоже обрывы. Неравномерная, с рывками протяжка, когда проволока находится в пластичном состоянии, может явиться причиной образования местных сужений.

Тонкие проволоки волочат на машинах с электродинамической тормозной системой (рис. 6-12). На таких машинах спускную катушку крепят на валу отдельного электродвигателя или электротормозной стойки, которые создают постоянное натяжение проволоки перед волокой, направленное в сторону, противоположную направлению волочения. Приемную катушку, установленную после тягового ролика и механизма раскладки, приводят во вращение другим электродвигателем. Обратное натяжение регулируют реостатом, включенным в обмотку статора третьего электродвигателя. Величину обратного натяжения периодически контролируют пружинным динамометром. На машинах с электродинамической системой торможения давление на волоку равно силе волочения за вычетом величины обратного натяжения. С увеличением обратного натяжения уменьшается давление на волоку. Растягивание проволоки двумя силами, действующими в противоположных направлениях, замедляет износ волок, позволяет применять высокие скорости волочения, уменьшает расход энергии на волочение и повышает качество тянутой проволоки.

Холодная вольфрамовая проволока обладает малой тягучестью, рвется или расслаивается при волочении и быстро изнашивает канал волок. Пластичность и тягучесть проволоки повышают нагревом ее в газовой или электрической муфельной печи, установленной непосредственно перед волокой. Нагрев уменьшает обрывность проволоки, снижает мощность, требуемую для проведения деформации, увеличивает срок службы волок и повышает производительность волочильного оборудования. Температуру нагрева понижают с 1000°С при грубом волочении до 600°С при тончайшем волочении. В газовых печах температуру контролируют термопарой, вставленной в прорезь муфеля, или на глаз по цвету накала проволоки и муфеля, а в электрических — по величине тока, проходящего через нагреватель. От режима нагрева зависят механические свойства протянутой проволоки. При недостаточном нагреве проволока упрочняется, а при слишком сильном — становится хрупкой. При неравномерном нагреве проволока приобретает неоднородную прочность и неоднородный диаметр. Применение муфеля улучшает равномерность нагрева.

Во время волочения одновременно с проволокой нагревают до 500—550°С твердосплавную и до 450—500°С алмазную

волоку. Нагрев осуществляют пламенем газовой горелки или электрическим нагревательным элементом. Температуру нагрева контролируют гермомчувствительным карандашом. Нагревом волокна предупреждают охлаждение проволоки стенками волоочильного канала и уменьшают трение между проволокой и волокой. Нагретая волока медленнее изнашивается. Проходя нагретую волоку, проволока реже обрывается.

На волоочильных машинах с электрическим нагревом температурный режим поддерживается более стабильным, тепло меньше рассеивается в окружающую среду и условия труда создаются более благоприятными. Электрический нагрев особенно полезен при тонком и тончайшем волочении, при которых проволока наиболее чувствительна к колебаниям температуры. Стабильностью и равномерностью электрического нагрева создают необходимые условия для проведения многократного волочения. Размещение электрического нагревателя в откидной крышке печи позволяет заправлять проволоку в машину, не выключая нагревателя, и начинать волочение сразу при заданной температуре.

На всех стадиях волочения в качестве смазки, уменьшающей трение в волоке, применяют аквадаг, разбавленный водопроводной водой. Плотный слой аквадага, возобновляемый при каждом очередном волочении, закрепляется под действием высокой температуры на поверхности проволоки, предохраняя ее от окисления при нагревании в печах и защищая волоку от быстрого износа. Трение при волочении происходит, главным образом, между слоями графита, а не по рабочей поверхности волоки. Вода, содержащаяся в аквадаге, испаряется, а роль смазки выполняют сухие продолговатые зерна графита и адсорбированная между ними остаточная влага. Зерна графита при трении легко расщепляются на еще более тонкие чешуйки, которые препятствуют непосредственному контакту металла с волокой и налипанию частиц металла на стенки волоки. С уменьшением размера чешуек возрастает сила их прилипания к проволоке. Чешуйки частично вытесняются стенками волоки и частично вдавливаются в неровности между проволокой и волокой, облегчая скольжение проволоки вдоль канала волоки и способствуя получению гладкой глянцевой поверхности проволоки. Высокий аквадаг скапливается перед волокой и сыпается в коробку. Хорошая смазка позволяет увеличивать обжатие за один проход, уменьшать силу волочения и получать проволоку равномерного диаметра. Чем лучше смазка, тем большее количество проволоки можно протянуть через одну волоку. Относительно низкая температура волочения препятствует химическому взаимодействию между аквадагом и проволокой.

С уменьшением диаметра проволоки применяют аквадаг с более тонким зерном и с большим разведением водой. На тонком и тончайшем волочении разведенный аквадаг заливают

в бачок и оттуда при помощи циркуляционной системы, состоящей из центробежного насоса и труб, подводят к смазочной коробке каждой волоочильной машины. Автоматическая непрерывная циркуляция аквадага и протягивание проволоки через погруженный в аквадаг ролик или через бьющую фонтанчиком струю аквадага облегчает равномерное распределение смазки по поверхности проволоки. Аквадаг придает проволоке темносерый, почти черный цвет. При последующем изготовлении спиралей слой аквадага удаляют.

Высокие механические свойства заставляют волочить вольфрамовую проволоку при меньших скоростях, чем другие металлические проволоки. С уменьшением диаметра скорость волочения увеличивается. Повышенная скорость позволяет уменьшить удельный расход энергии и волок, однако чрезмерно высокая скорость повышает обрывность проволоки, увеличивает потерю металла и понижает производительность волоочильного оборудования. Алмазное волочение на 25—35% производительнее твердосплавного.

Уменьшение площади поперечного сечения проволоки после очередного волочения, выраженное в процентах к площади поперечного сечения до волочения, носит название относительного обжатия.

$$\delta = \frac{d_0^2 - d_1^2}{d_0^2} 100 = \frac{P_0 - P_1}{P_0} 100, \quad (6-1)$$

где  $\delta$  — относительное обжатие, %;  
 $d_0$  и  $P_0$  — диаметр и вес отрезка проволоки длиной 200 мм до волочения;  
 $d_1$  и  $P_1$  — диаметр и вес отрезка проволоки длиной 200 мм после волочения.

Вольфрамовую проволоку волочат с относительно небольшими обжатиями (10—20%) и, следовательно, со значительным числом переходов. При чрезмерно большом относительном обжатии проволока расслаивается, рвется и приобретает неравномерный диаметр. С уменьшением диаметра уменьшают относительное обжатие.

Для изготовления проволоки диаметром 0,010 мм кованые прутки диаметром 2,75 мм протягивают на волоочильных машинах через 77 волок.

В промежутках между волочением проволоку подвергают 4 раза отжигу с перемоткой, в том числе 1 раз окислительному при диаметре 0,52 мм и 3 раза структурному при диаметрах 0,30; 0,12 и 0,05 мм. При окислительном отжиге проволоку нагревают в газовой печи до 800°С, чтобы сделать ее поверхность шероховатой и способной хорошо вбирать в себя аквадаг; затем ее покрывают аквадагом и подсушивают при 500°С. При

структурном отжиге проволоку нагревают в трубчатой электрической печи до 600—750°С в атмосфере проточного водорода с одновременным волочением через одну волоку. Структурный отжиг снимает с проволоки часть внутренних напряжений и возвращает ей первоначальную пластичность. Он позволяет проволоке лучше принимать последующую обработку волочением и, главное, спирализоваться в дальнейшем с меньшим числом обрывов.

На обрабатываемость проволоки волочением оказывает влияние состав присадки. Проволока из вольфрама ВА больше подвержена раслаиванию, чем из вольфрама ВК. Вольфрам ВА легче обрабатывается, чем вольфрам ВМ.

В производстве ламп применяют вольфрамовую проволоку разного диаметра (примерно от 0,010 до 1,25 мм). Диаметр проволоки, полученный после промежуточного волочения, называют переходным, а после последнего волочения — выходным.

Выходное волочение производят при меньшем обжатии и при температуре на 50—100 град более низкой, чем переходное. Это позволяет получать проволоку с более равномерным диаметром по длине.

В табл. 6-1 приведены режимы волочения проволоки марки ВА.

Самый распространенный брак при волочении — обрывы. Высокая обрывность уменьшает длину проволоки и требует увеличения числа катушек. Каждый обрыв означает прерывание процесса волочения и потерю рабочего времени. Применение малометражной проволоки снижает производительность волочильных и спирализационных машин. Оборвавшиеся куски проволоки малой длины непригодны к дальнейшей обработке и составляют потери. Обрывы зависят от разных причин: качества проволоки, режимов волочения, технического состояния и настройки волочильного оборудования, качества волок и качества катушек. Обрывы, в частности, могут вызываться перегревом или недогревом проволоки или волоки, большим обратным натяжением, изношенностью или неправильностью профиля канала волоки, искривлением проволоки перед поступлением в канал волоки, большим относительным обжатием, плохим качеством аквадага, различными пороками проволоки, вызванными предшествующей обработкой (раслаивание, хрупкость, окисление, неравномерный диаметр, заусенцы и пр.), образованием на поверхности проволоки карбида вольфрама и др. Карбиды и неметаллические включения сильно ослабляют проволоку. Наибольшая обрывность наблюдается при тонком и тончайшем волочении.

При волочении прутков или проволоки, имеющих поверхностные поперечные волосные трещины, от металла отслаиваются короткие заусенцы, которые при дальнейшем волочении частично обламываются, а частично остаются.

Таблица 6-1

Режимы волочения вольфрамовой проволоки

Наименование оборудования или операции	Система нагрева проволоки и волок	Диаметр проволоки, мм	Число переходов	Температура нагрева проволоки, °С	Скорость волочения, м/мин	Графитовая смазка			Диаметр приемного барабана или катушки, мм
						Марка	Разбавление	Удельный вес после разбавления, г/см <sup>3</sup>	
Цепной стан	Газовая	2,75—1,45	5	1 000—950	7—10	В-1	1:0	—	—
МВ-3000	То же	1,45—0,88	4	850—800	10—13	В-1	1:1	—	620
МВ-1000	"	0,88—0,52	5	800—750	10—13	В-1	1:2	—	400
МВ-500	"	0,52—0,30	7	750—700	10—13	В-1	1:2	—	200
Отжиг	"	0,30—0,28	1	750—700	15—20	В-1	—	1,030	100
М6В-300	Электрическая	0,28—0,120	12	750—700	30—40	ВКГС-0	—	1,018	100
Отжиг	То же	0,120—0,112	1	650—600	30—40	В-0	—	1,023	70
М6В-100	"	0,112—0,0494	12	750—700	60—70	ВКГС-0	—	1,013	70
Отжиг	"	0,0494—0,0463	1	650—600	30—40	В-0	—	1,023	70
М6В-40	"	0,0463—0,024	12	650—600	80—100	ВКГС-0	—	1,010	40
МВ-30	"	0,024—0,010	17	650—600	80—100	ВКГС-0	—	1,010	40

К браку готовой вольфрамовой проволоки относятся выходящая и рвущаяся проволоки. Брак первого вида заключается в завивании проволоки в кольца малого диаметра. Такой брак особенно часто получается при низкой температуре волочения, неправильной геометрической форме рабочей части канала волоки, неправильном положении волоки в оправе, недостаточном обратном натяжении проволоки при волочении и плохой настройке волочильных машин. Брак второго вида получается при высокой температуре волочения, высокой температуре промежуточного отжига и плохой смазке аквадагом. Выходящую проволоку можно несколько выпрямить перематкой через печь с водородной атмосферой со скоростью 3—4 м/мин при 600—700°С и обратном натяжении, равном 40—50% разрывного усилия при комнатной температуре. Рвущуюся проволоку, если она не имеет расслоя, исправляют последующим волочением на меньший диаметр.

К распространенным видам отклонений проволоки от требований технических условий относятся дефекты по диаметру. С уменьшением диаметра увеличивается неравномерность проволоки. Отклонения диаметра по длине получаются при волочении через переход, колебаниях температуры нагрева, неплавном ходе волочильных машин, ошибочно поставленной волоке на выходном волочении, разработке канала волок и др. Отклонение диаметра проволоки в начале катушки часто вызывается неустановившимся температурным режимом при пуске волочильной машины. Повторное определение диаметра после сматывания примерно 20 м проволоки зачастую уже дает удовлетворительные результаты.

Овальность проволоки получается при неправильном изготовлении или неравномерном износе канала волок и при несопадении направления усилия волочения с осью канала волоки. Местное утонение проволоки бывает при плохо отполированных волоках, несоблюдении режима смазки, большом обратном натяжении, больших обжатиях (волочении через переход) и неравномерном ходе волочильной машины; во всех таких случаях проволока, выходя из волоки, дополнительно растягивается и становится тоньше. Местная неравномерность диаметра проволоки возрастает с повышением температуры нагрева муфели и волоки, в особенности если оно сочетается с сильным обжатием. При алмазном волочении проволока получается с более жесткими допусками по сечению, чем при твердосплавном.

Решающее влияние на процент выхода и качество вольфрамовой проволоки оказывает соблюдение постоянства технологического процесса на всех стадиях ее производства, начиная от обработки вольфрамовой кислоты, кончая волочением. При выходе, равном 60%, из одного обрубленного штабика весом 700 г можно получить около 120 км проволоки диаметром 15 мкм.

## в) ПРИГОТОВЛЕНИЕ ВОЛОК

Волоки служат рабочим инструментом, при помощи которого совершается процесс волочения. Проходя через отверстие волоки, проволока обжимается и становится тоньше и длиннее.

Для переходного волочения вольфрамовой проволоки диаметром менее 0,30 мм и выходного волочения диаметром менее 0,40 мм применяют волоки из естественных светлых технических

алмазов неправильной формы весом от 0,08 до 0,60 каратов (1 карат равен 200 мг). Алмазный кристалл весом 1 карат — довольно крупный камень. Он может не пройти в отверстие диаметром 4,3 мм. Алмазы отличаются высокой сопротивляемостью износу и способностью сверлиться и полироваться. Прозрачность их облегчает контроль за обработкой волочильного канала и позволяет обнаруживать

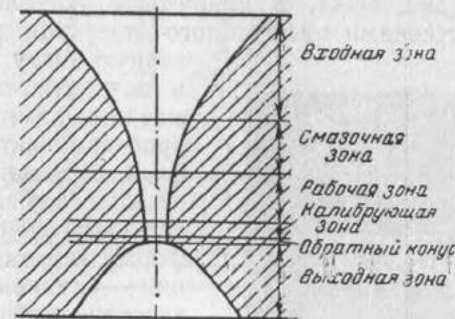


Рис. 6-13. Канал алмазной волоки.

в поляризованном свете внутренние напряжения, а под микроскопом — мельчайшие трещины, пузыри, раковины и посторонние включения. Алмазы, имеющие трещинки и посторонние включения близко от рабочей зоны, не применяют для изготовления волок.

Канал волоки состоит из пяти зон (рис. 6-13): 1) входной зоны, облегчающей ввод проволоки в волоку, предохраняющей проволоку от задиранья о входные края волоки и облегчающей попадание смазки в волоку; 2) смазочной зоны, подводящей смазку в рабочую зону и задерживающей избыточный смазочный материал; 3) рабочей зоны, осуществляющей деформацию проволоки; 4) калибрующей зоны, придающей размерам поперечного сечения проволоки заданную точность и 5) выходной зоны, предохраняющей проволоку от задиранья о выходные края волоки, а края волоки от выкрашивания проволокой.

Изготовление алмазных волок состоит из операций огранки, центровки, сверления, полирования и вставления в оправу.

Огранка заключается в образовании на алмазе произвольной формы двух строго параллельных и одной перпендикулярной им граней. Параллельные грани служат опорными плоскостями, необходимыми для правильной установки камня на операциях разделки канала, а перпендикулярная — смотровым окошком, через которое ведут наблюдение и контроль под микроскопом за процессом разделки канала. Огранку производят на специальном станке вращающимся чугуном диском, на

котором предварительно втирают абразивную пасту, состоящую из взвеси алмазной пудры в оливковом масле.

Центровка заключается в нанесении острым осколком алмаза в центре одной из параллельных граней небольшого конического углубления.

Сверление состоит в изготовлении основной части волоочильного канала. Его производят на специальных миниатюрных сверлильных станках тонко заостренной стальной иглой (рис. 6-14). В коническое углубление между острием иглы и стенками намеченного отверстия закладывают алмазную абразивную пасту.



Рис. 6-14. Сверление алмазной волоки.

При быстром вращении иглы и возвратно-поступательной вибрации алмазного камня частицы пасты постепенно просверливают отверстие. Требуемый профиль будущего канала достигается постепенным изменением формы заточки иглы. В начале сверления острию иглы придают форму короткого конуса, а в конце сверления — удлиненного. После образования отверстия глубиной  $\frac{2}{3}$  толщины камня производят острым алмазным осколком встречное сверление с другой стороны до образования маленькой овальной лунки. Затем оба углубления соединяют тонко заточенной иглой с почти цилиндрическим острием в сквозной канал. Алмазы обыкновенно сверлят только на наименьший диаметр с тем, чтобы по мере износа можно было шлифовать их на больший диаметр.

В последнее время получил распространение электронский способ сверления алмазов, основанный на воздействии на

алмаз пучка электронов. По этому способу цилиндрическую часть канала диаметром менее 80 мк сверлят в жидком электролите кратковременными искровыми (импульсными) электрическими разрядами, возникающими при размыкании контактов под током. Разряд в электролите аналогичен разряду в газе, так как высокая температура вызывает превращение жидкости в зоне разряда в газ. В качестве электролита служит 1%-ный водный раствор  $KNO_3$ , в качестве одного электрода — погруженный в электролит виток никелевой проволоки и в качестве другого электрода — заточенная на конус вольфрамовая игла (рис. 6-15). При пропускании через электроды импульсного тока в месте соприкосновения алмаза и вибрирующей иглы образуются следующие друг за другом искровые разряды. В зоне разряда развивается очень высокая температура, вызывающая испарение алмаза. Игла постепенно проникает в тело алмаза и за несколько часов прошивает в нем узкое отверстие,

Полировка не заключается в доведении рабочего конуса и калибрующей части волоочильного канала до заданных размеров, придании профилю канала требуемой формы и сглаживании неровностей, получившихся при сверлении. Эту операцию выполняют на полировочном станке стальной иглой с примене-

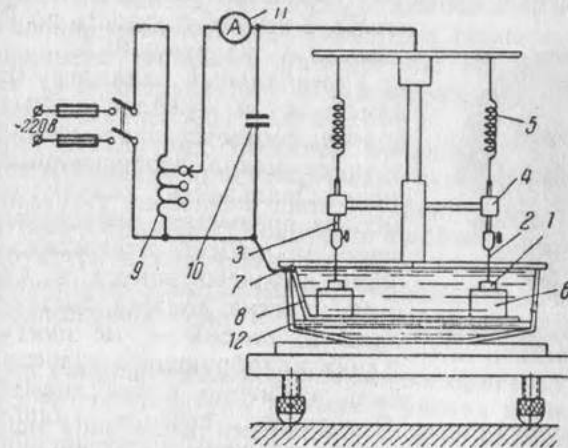


Рис. 6-15. Установка электронского сверления алмазов.

- 1 — алмаз; 2 — вольфрамовая игла; 3 — иглодержатель; 4 — направляющая втулка; 5 — токоподводящая спираль; 6 — подставка; 7 — пластина; 8 — никелевый электрод; 9 — автотрансформатор; 10 — конденсатор; 11 — амперметр; 12 — стеклянная ванна.

нием тонкой абразивной пасты. Приданием волоочильному каналу зеркально гладкой поверхности увеличивают стойкость волок и снижают усилие волочения.

Вставление в оправу требуется для увеличения прочности стенок алмаза и облегчения обращения с ним при волочении. Без прочного закрепления в оправе мелкие алмазы легко теряются и ломаются. Алмазный камень вставляют в стальную оправу, кладут на него латунный капсюль и центрируют его иглой, чтобы ось канала была строго перпендикулярна торцу оправы. Далее разогревают капсюль пламенем горелки до размягчения и впрессовывают его в оправу ручным прессом. Капсюль плотно охватывает стенки алмаза и увеличивает его сопротивление действию расклинивающих сил. Перед вставлением в оправу проверяют профиль канала и качество полировки.

Волоки из твердого сплава ВК-6 изготавливают металлокерамическим методом. Сначала готовят шихту из порошковой абразивной смеси карбида вольфрама (94%) и цементирующего вещества — металлического кобальта (6%). Затем шихту прессуют в прессформе. Отформованные волокна спекают при 1500° С. Заводы — изготовители твердых сплавов выпускают

волокни в черновом виде с входной и выходной зонами и сквозным отверстием диаметром 0,1 мм (ГОСТ 9453-60), а на электроламповых (проволочных) заводах их шлифуют и полируют до заданных размеров (рис. 6-16). Каналу твердосплавных волок придают такую же форму, как и алмазных. Волоки из сплава ВК-6 имеют твердость по Роквеллу (шкала А) не менее 88,5.

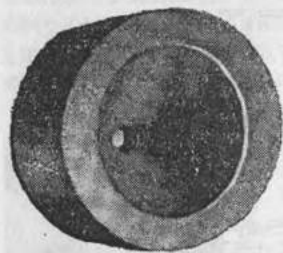


Рис. 6-16. Твердосплавная волока (увеличено).

Номинальный диаметр отверстия алмазных и твердосплавных волок должен соответствовать нижнему пределу диаметра протягиваемой проволоки. Овальность канала волок не должна превышать допустимых отклонений на диаметр отверстия. Поверхность рабочего конуса и калибрующего участка должна быть отполирована до блеска и не иметь колец. Длина калибрующего участка должна быть примерно равна диаметру протягиваемой проволоки.

Поперечное сечение калибрующего участка периодически проверяют плавным протягиванием отрезка проволоки через волоку и замером его диаметра и овальности. Волоки, вышедшие из строя по размерам, располировывают на ближайший больший диаметр.

Стойкость волок оценивают количеством метров проволоки, протянутой через волоку до выхода размеров ее канала из поля допусков. Стойкость алмазных волок в 10—12 раз больше стойкости твердосплавных. С уменьшением величины зерен аквадага стойкость волок увеличивается. Через одну алмазную волоку протягивают 20—100 км вольфрамовой проволоки. Одна волока может проходить до девяти переполировок.

## 6-5. СВОЙСТВА ВОЛЬФРАМА

### а) МИКРОСТРУКТУРА

Твердые металлы имеют кристаллическое строение. Они состоят из видимых под микроскопом кристаллов, каждый из которых плотно прилегает всей своей поверхностью к соседним, образуя границу. Для исследования металла под микроскопом готовят долевой или поперечный шлиф — тщательно выровненный, отшлифованный и отполированный участок среза образца металла. Шлиф протравливают слабым раствором специальной травильной жидкости. Такая обработка позволяет увидеть и сфотографировать под микроскопом отдельные кристаллы и четко разделяющие их тонкие граничные участки, протравливающиеся сильнее, чем кристаллы. Неодинаковая отражательная способность этих элементов структуры позволяет отчетливо различать их друг от друга.

Форма, размеры и расположение кристаллов зависят от природы металла, условий его охлаждения, содержания в нем примесей и механической и термической обработки, которой он был подвергнут. От формы, размеров и расположения кристаллов зависят прочность, твердость, пластичность и электрическое сопротивление металлов и не зависят их температура плавления и коэффициент теплового расширения. Изучение внутреннего строения (микроструктуры) металлов составляет предмет особой науки — металлографии.

Всякий металл под влиянием механической обработки претерпевает изменение кристаллической структуры. Одновременно он накапливает энергию в виде внутренних напряжений и становится более прочным. Волочение придает металлам волокнистую структуру и упрочняет их. При волочении беспорядочно ориентированные кристаллы вытягиваются в направлении действия приложенных сил и превращаются в длинные тонкие волокна.

Нагрев напряженных и упрочненных проволок до некоторой определенной температуры вызывает распад волокон на отдельные мелкие кристаллы, имеющие примерно одинаковые размеры во всех направлениях. При этом с проволок снимаются напряжения и упрочнение, и внутреннее строение их превращается из волокнистого в мелкокристаллическое. Места с наибольшими напряжениями служат центрами, вокруг которых зарождаются кристаллы. Под влиянием дальнейшего нагрева резко возрастает подвижность атомов. Стремясь занять наиболее устойчивое положение, они перемещаются с одного кристалла на другой. При этом мелкие кристаллы поглощают друг друга, одни кристаллы исчезают, а другие за их счет растут. В конечном счете средняя величина кристаллов значительно возрастает и мелкокристаллическое строение металла превращается в крупнокристаллическое.

Изменение внутренней структуры металла при нагреве, связанное с образованием и ростом одних кристаллов за счет других, называют рекристаллизацией. Возникающие при рекристаллизации новые крупные кристаллы имеют ту же кристаллическую решетку, что и старые, но отличаются от них размерами, формой и ориентировкой. Кроме того, новые кристаллы характеризуются полной свободой от внутренних напряжений.

В процессе рекристаллизации растущие соседние кристаллы сталкиваются своими границами и препятствуют своему свободному росту. Под влиянием такого взаимодействия кристаллы приобретают неправильные очертания. Неровные кристаллы с криволинейными поверхностями раздела называют кристаллитами или зернами. Искаженная внешняя форма кристаллитов не влияет на их правильное внутреннее строение и не нарушает упорядоченного расположения составляющих их атомов. Даже когда строение металла сильно искажено кривой



и волочением, подавляющее большинство атомов занимает в кристаллической решетке правильное положение.

Самую низкую температуру, при которой под микроскопом обнаруживаются новые зерна, называют температурой рекристаллизации или порогом рекристаллизации. В одних и тех же условиях температура рекристаллизации технически чистых металлов, выраженная в градусах абсолют-

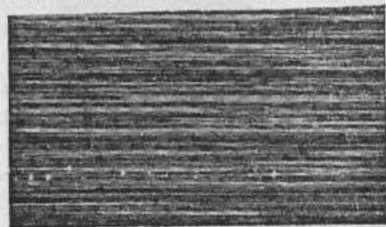


Рис. 6-17. Волокнистая структура вольфрамовой проволоки (после волочения).

ной шкалы, равна 0,3—0,4 температуры их плавления, выраженной в тех же градусах. В общем случае чем меньше примесей содержит металл, тем ниже температура, при которой в нем с заметной скоростью происходит рекристаллизация. Температура рекристаллизации большинства металлов понижается с увеличением предшествующей холодной механической обработки, и поэтому тонкие проволоки рекри-

сталлизуются быстрее, чем толстые. Под «холодной» обработкой в данном случае понимают и такую, которая производится с нагревом, но при температуре ниже температуры рекристаллизации.

Рекристаллизацию разделяют на две стадии: первичную или рекристаллизацию обработки, при которой происходит распад волокон и образование мелких кристаллов, и вторичную, или собирательную, при которой завершается рост кристаллов и получается стабильная структура, присущая данному металлу. Образовавшиеся после вторичной рекристаллизации скопления большого числа беспорядочно расположенных и сросшихся вместе мелких зерен называют поликристаллами, а одиночные крупные зерна — монокристаллами. Границы между кристаллами состоят из тонких прослоек различных, главным образом неметаллических примесей. Большие монокристаллы могут быть выращены только в металлах исключительной чистоты.

Все приведенные особенности металлов относятся и к вольфраму. Восстановленный порошок вольфрама состоит из кристаллических зерен размером от долей микрона до нескольких микрон. В процессе прессования штабиков зерна-кристаллы, не деформируясь, плотно «упаковываются» за счет вытеснения воздуха и уменьшения объема межкристаллических пор. Далее в процессе предварительного и высокотемпературного спекания зерна-кристаллы слипаются, уплотняются и растут за счет интенсивной перегруппировки подвижных атомов с одних кристаллов на другие. Сваренный штабик приобретает равноосную зернистую структуру с относительно большой величиной зерен,

зависящей от зернистости исходного порошка вольфрама, режима высокотемпературного спекания и чистоты водорода, применяемого при спекании.

В процессековки кристаллы вольфрама дробятся на части. При этом крупные кристаллы, обуславливающие хрупкость вольфрама, становятся мелкими. Далее в процессе волочения измельченные кристаллы поворачиваются, вытягиваются и удлиняются, превращаясь во взаимно переплетающиеся тонкие длин-



Рис. 6-18. Мелкозернистая (строчная) структура вольфрамовой проволоки. а — в начале первичной рекристаллизации; б — в конце первичной рекристаллизации.

ные волокна, одинаково ориентированные вдоль оси проволоки (рис. 6-17). Толщина волокон уменьшается с диаметром проволоки, а длина, напротив, увеличивается. Одновременно с деформацией кристаллов происходит уменьшение объема пор между ними. Чем сильнее дробятся и вытягиваются кристаллы и чем длиннее и тоньше образуются волокна, тем больше упрочняется проволока. Длинные волокнистые зерна обуславливают гибкость вольфрамовой проволоки при обычных температурах.

Если нагреть вольфрамовую проволоку до 1100—1300°С, произойдет первичная рекристаллизация. Волокна вольфрама распадутся с образованием мелких равноосных зерен, одинаково ориентированных в направлении обработки (рис. 6-18). По мере дальнейшего нагрева мелкие зерна начинают сливаться друг с другом, сохраняя ту же ориентировку. В этой стадии нагрева кристаллы освобождаются от значительной части напряжений, вызванных волочением.

Если продолжать нагрев проволоки до 2400—2500°С, произойдет вторичная рекристаллизация. Атомы вольфрама станут настолько подвижными, что начнут легко перемещаться с одних зерен на другие. При этом мелкие зерна будут срашиваться в крупные. Перегруппировка атомов будет продолжаться до тех пор, пока те из них, которые составляли малые кристаллы, целиком не окажутся включенными в объем больших (рис. 6-19). Проволока со сформированными крупными кристаллами становится полностью свободной от внутренних напряжений, вызванных механической обработкой.

Рекристаллизация может развиваться только в такой про-

локе, которая была предварительно подвергнута деформации и приобрела энергию остаточных напряжений. Иначе никакая рекристаллизация ни при какой температуре не произойдет. Например, если квадратный штабик превратить посредствомковки в круглый пруток и после этого нагреть пруток до 1500° С, то рекристаллизация произойдет только в тех участках прутка, которые находились в углах штабика. В участках же, не подвергшихся деформации, структура останется исходной.

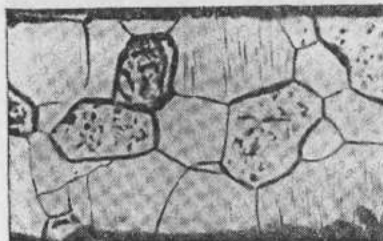


Рис. 6-19. Крупнозернистая структура вольфрамовой проволоки (после вторичной рекристаллизации).

В отличие от других металлических проволок тонкие проволоки из вольфрама (в особенности с присадкой) рекристаллизуются при более высоких температурах, чем толстые. Спирализованные же проволоки рекристаллизуются при более низких температурах, чем прямые, а биспирали при более низких температурах, чем моноспирали.

Скорость рекристаллизации может быть одинаковой или различной в разных направлениях. Кристаллы, растущие вдоль проволоки с такой же скоростью, как и поперек ее, приобретают после завершения рекристаллизации прямые стыки, а кристаллы, растущие вдоль проволоки с большей скоростью, чем поперек, встречаются преимущественно своими боковыми поверхностями и поэтому приобретают после завершения рекристаллизации косые извилистые стыки. Во втором случае кристаллы получаются более крупными и прочнее связанными, чем в первом. Проволока, у которой вторичная рекристаллизация сопровождается сильным ростом кристаллов в поперечном направлении, обладает малой прочностью. Спирали, изготовленные из такой проволоки, отличаются хрупкостью и неудовлетворительной формоустойчивостью.

У большинства рекристаллизованных чистых металлов, в частности меди, никеля и молибдена, прочность зерен меньше прочности их стыков, поэтому при растяжении проволок из этих металлов разрыв происходит в объеме самих зерен, а не в стыках. Этой особенностью меди, никеля и молибдена объясняется их пластичность и тягучесть после первичной рекристаллизации. У рекристаллизованного же вольфрама прочность зерен значительно превышает прочность их стыков, поэтому при растяжении рекристаллизованной вольфрамовой проволоки разрыв происходит не в самих зернах, а в прослойках между ними. Эти межзеренные прослойки образуют поверхности легкого отрыва. Такой особенностью вольфрама объясняется его повышенная прочность после рекристаллизации.

Температура рекристаллизации и структура рекристаллизованной проволоки в сильной степени зависят от присутствия в вольфраме случайных примесей в особенности углерода, железа, алюминия и никеля. Чем сильнее загрязнен металл, тем больше затруднен в нем рост зерен. Обрывки загрязнений вытягиваются при волочении вдоль волокон металла и распределяются по их поверхности. При рекристаллизации они ограничивают свободную диффузию между кристаллами и искажают их форму. Размещаясь по границам зерен, они образуют легкоплавкие прослойки, ослабляющие связи между зернами и препятствующие их срастанию. Пограничные участки зерен обладают повышенным электрическим сопротивлением. При горении лампы примеси, окружающие зерна, перекаливаются и улетучиваются, оставляя в нити следы своего влияния в виде измельченной структуры.

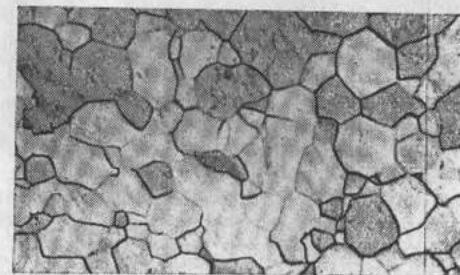


Рис. 6-20. Структура рекристаллизованной проволоки из вольфрама ВЧ.

Проволока, приготовленная из очень чистого вольфрама, не содержащая никаких примесей, тоже имеет неудовлетворительную микроструктуру. В такой проволоке рекристаллизация совершается при пониженной температуре, сопровождается неравномерным ростом кристаллов и образованием границ между ними поперек оси проволоки (рис. 6-20). Сочетание ненормально крупных и мелких кристаллов овальной или почти равноосной формы с округлыми или плохо связанными между собой границами создает в работающей лампе условия для смещения кристаллов, которое в свою очередь приводит к провисанию спирали. Проволока из чистого вольфрама имеет низкую температуру первичной рекристаллизации, обладает неудовлетворительной формоустойчивостью, недостаточной прочностью и повышенной скоростью испарения в лампах. Раньше такую проволоку применяли в вакуумных лампах с прямой нитью. Теперь от применения ее в лампах накаливания отказались.

Роль специально вводимых в вольфрам полезных примесей (присадок) заключается в регулировании роста, формы, взаимного расположения и сцепления кристаллов во время рекристаллизации. Одни присадки способствуют бурному росту кристаллов, а другие, наоборот, распределяясь по границам кристаллов, сдерживают их рост. Некоторые присадки, например,  $Al_2O_3$ , почти не испаряются при высокотемпературном спекании, а другие, например,  $K_2O$ , легко испаряются. Некоторые присадки

Таблица 6-2

Температура рекристаллизации вольфрамовой  
и молибденовой проволок

Марка металла	Диаметр проволоки, мм	Температура начала первичной рекристаллизации, °С	Температура вторичной рекристаллизации, °С
ВЧ	—	1 000—1 100	2 800—2 900
ВТ	—	1 300—1 400	2 700—2 800
ВК	>0,3	1 100—1 200	2 400—2 500
ВК	>>0,3	1 400—1 500	2 400—2 500
ВМ	>0,1	1 300—1 400	2 700—2 800
ВМ	>>0,1	1 700—1 800	2 700—2 800
ВА	>0,3	1 400—1 500	2 600—2 700
ВА	>>0,3	1 600—1 700	2 600—2 700
МЧ	0,05—2	1 000—1 100	1 800—1 900
МК	0,05—2	1 600—1 700	2 000—2 100

действуют в вольфраме своим присутствием, а другие — более легким испарением из него. Для придания проволоке желательных технологических свойств, а также некоторых физических свойств, требуемых различными условиями эксплуатации ламп, готовят вольфрам с различными искусственными присадками, позволяющими управлять процессом рекристаллизации. Состав присадки определяет марку вольфрама. Он не оказывает никакого влияния на структуру вольфрама до рекристаллизации, но в то же время оказывает решающее влияние на структуру рекристаллизованного вольфрама. В табл. 6-2 приведена температура рекристаллизации вольфрама различных марок.

Ториевая присадка в вольфраме ВТ ( $\text{ThO}_2$ —1,0%) не растворяется в вольфраме, а содержится в нем как механическая примесь, понижающая скорость рекристаллизации. Окись тория распределяется между волокнами вольфрама тончайшими прослойками, препятствующими диффузии атомов вольфрама и оказывающими при рекристаллизации сопротивление росту кристаллов в направлении, перпендикулярном оси проволоки, уменьшая тем самым хрупкость проволоки. Рекристаллизованный торированный вольфрам имеет мелкозернистую структуру (рис. 6-21). При нагреве выше 2 400—2 500°С окись тория восстанавливается металлическим вольфрамом, диффундирует на поверхность проволоки и оттуда легко испаряется. Спирали из торированной проволоки обладают повышенной прочностью, но совершенно неудовлетворительной формоустойчивостью. По этой причине современные лампы накаливания не изготавливают из торированного вольфрама. В прежнее время его широко применяли для изготовления вакуумных ламп с прямой нитью, имевшей низкую температуру накала.

Кремнещелочная присадка в вольфраме ВК ( $\text{SiO}_2$ —0,45%,  $\text{KCl}$ —0,45%), сильно нагреваясь при высокотемпературном спекании, бурно испаряется и захватывает с собой загрязнения. В вольфраме остается лишь небольшая часть присадки, которая не только не препятствует росту кристаллов, как ториевая при-

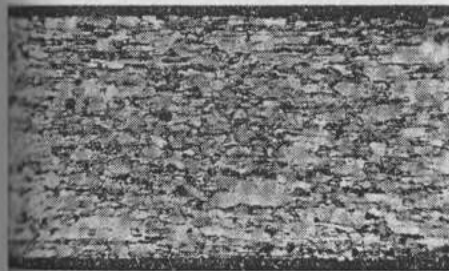


Рис. 6-21. Структура рекристаллизованной проволоки из вольфрама ВТ.



Рис. 6-22. Структура рекристаллизованной проволоки из вольфрама ВК.

садка, а, наоборот, содействует ему, но при этом, что особенно важно, создает между отдельными крупными кристаллами прочное сцепление, препятствующее провисанию спирали в готовой лампе (рис. 6-22). Вольфрам ВК обладает относительно хорошей формоустойчивостью. В прежнее время его широко применяли для изготовления большинства ламп со спиральным телом накала.

Смешанная кремнеториевая присадка в вольфраме ВМ ( $\text{SiO}_2$ —0,25%,  $\text{KCl}$ —0,25%,  $\text{ThO}_2$ —0,25%) содействует образованию при рекристаллизации длинных, прочно соединенных кристаллов. Ториевая часть присадки препятствует до определенной температуры росту кристаллов, а кремнещелочная часть вызывает при повышении температуры бурный рост кристаллов с прочными границами, почти параллельными оси проволоки (рис. 6-23). Вольфрам ВМ отличается повышенной механической прочностью и хорошей формоустойчивостью при температурах ниже 2 100—2 200°С. Из вольфрама ВМ изготавливают спирали, имеющие низкую рабочую температуру, например, для светорных, трамвайных, низковольтных миниатюрных и других ламп, работающих в условиях больших механических перегрузок.

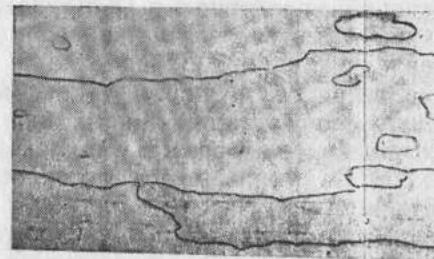


Рис. 6-23. Структура рекристаллизованной проволоки из вольфрама ВМ.

Комбинированная алюминиевая и кремнещелочная присадка в вольфраме ВА ( $\text{SiO}_2$ —0,45%,  $\text{KCl}$ —0,45%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ —0,03%),

улетучиваясь при высокотемпературном спекании, уносит с собой вредные примеси, скапливающиеся на границах кристаллов, и оказывает тем самым благоприятное влияние на сращивание мелких кристаллов в крупные. Незначительное остаточное содержание в вольфраме присадки

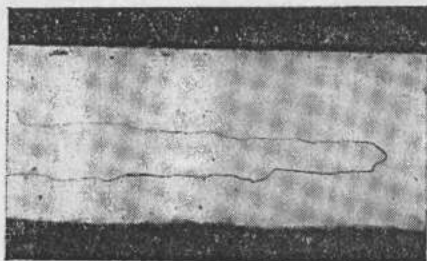


Рис. 6-24. Структура рекристаллизованной проволоки из вольфрама ВА.

в виде алюмосиликатов калия, «запертой» в изолированных межкристаллитных порах, не препятствует формированию кристаллов. Совместное комбинированное действие Al, Si и K упрочняет соединение кристаллов рекристаллизованного вольфрама и повышает температуру начала рекристаллизации проволоки почти на 700 град (табл. 6-2). Структура рекристаллизованного вольфрама ВА характеризуется длинными вытянутыми вдоль оси проволоки сцепленными по большой поверхности зернами с извилистыми границами (рис. 6-24)<sup>1</sup>.

Вольфрам ВА способен сохранять волокнистую структуру в условиях, когда большинство других металлов плавится. Высокая температура рекристаллизации допускает обработку его ковкой, волочением и спирализацией при повышенных температурах без того, чтобы проволока рекристаллизовалась и становилась хрупкой. Обработка же при повышенной температуре полезна для лучшего устранения в проволоке напряжений, лучшего ее обезгаживания, а также для предупреждения науглероживания вольфрама, так как при температуре выше 1100—1200°С уменьшается склонность вольфрама к образованию карбида.

Вольфрам ВА был разработан специально для применения в биспиральных лампах, где он оказался более формоустойчивым, чем вольфрам ВК. Однако позднее достоинства вольфрама ВА проявились и при изготовлении ламп с моноспиральной нитью. Поэтому вольфрамом ВА полностью заменили вольфрам ВК, и от производства последнего вовсе отказались.

На структуру рекристаллизованной проволоки влияют не только полезные и вредные примеси, но и чистота среды, в которой осуществляется рекристаллизация. Например, при рекристаллизации проволоки в среде, загрязненной углеводородами, получается равноосная структура с зернами меньших размеров, чем при рекристаллизации в вакууме или в очищенном инертном газе.

<sup>1</sup> Методами химического и спектрального анализ не удается отличить друг от друга проволоки из вольфрама ВА и ВЧ. Метод металлографического анализа позволяет это сделать.

На структуру рекристаллизованной проволоки влияет водородный режим термической обработки вольфрама. Например, проволока, изготовленная из штабика, сваренного в сухом водороде, рекристаллизуется при более высокой температуре и приобретает более крупнозернистую структуру, чем из штабика, сваренного во влажном водороде (рис. 6-25).

Учитывая, что тело накала должно работать в лампе при температуре, значительно превышающей температуру рекристал-

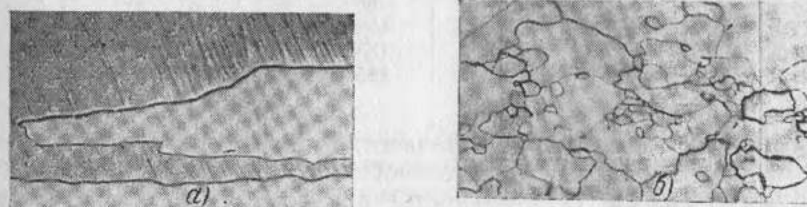


Рис. 6-25. Структура проволоки из вольфрама ВА.

а — штабик сварен в сухом водороде с точкой росы  $-15^{\circ}\text{C}$ ; б — штабик сварен во влажном водороде с точкой росы  $+20^{\circ}\text{C}$ .

лизации, заводы предпочитают формировать его кристаллическую структуру у себя по строго заданному режиму, а не предоставлять выполнение этой операции потребителю в условиях неопределенного режима. В зависимости от конструкции ламп рекристаллизацию осуществляют после изготовления спиралей (стр. 309), после монтажа спиралей (стр. 444) или после сборки ламп (стр. 359).

## 6) ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

В табл. 6-3 приведены численные значения основных физико-механических свойств некоторых металлов, применяемых при изготовлении ламп.

Прочность вольфрама зависит от его предшествующей механической и термической обработки, кристаллической структуры и рабочей температуры. Как и всякий металл, вольфрам упрочняется при механической обработке и разупрочняется при рекристаллизации. Волочение упрочняет проволоку, а отжиг частично снимает упрочнение. Тянутая вольфрамовая проволока прочнее всех других металлических проволок. С уменьшением диаметра прочность проволоки возрастает. Например, тянутая проволока диаметром 2,25 мм имеет прочность при растяжении около 120 кг/мм<sup>2</sup>, а диаметром 0,015 мм — более 400 кг/мм<sup>2</sup>. Высокая прочность позволяет легко оперировать с вольфрамовой проволокой толщиной, измеряемой единицами микронов. Нагрев до температуры, превышающей порог рекристаллизации вольфрама, уменьшает прочность проволоки при обычных температурах до очень малых значений (менее 2 кг/мм<sup>2</sup>). Между прочностью проволоки до и после рекристал-

## Физико-механические

Наименование металла	Удельный вес, $г/см^3$	Температура плавления, $^{\circ}C$	Коэффициент линейного расширения $\times 10^{-7} \text{ см/см} \times ^{\circ}C$ $\times 2 \text{ рад} (20-300^{\circ}C)$	Удельное электрическое сопротивление при $20^{\circ}C$ , $мком \cdot см$	Температурный коэффициент электрического сопротивления, $\% \text{ рад} \cdot 10^{-3} (20-100^{\circ}C)$
Вольфрам .	19,3	3 400	44	5,5	4,6
Молибден .	10,4	2 625	55	5,4	4,4
Железо . .	7,9	1 535	119	10,0	5,6
Никель . .	8,9	1 453	133	6,9	4,7
Медь . . .	8,9	1 083	165	1,7	4,3

лизации, а также между прочностью проволоки при комнатной и рабочей температуре зависимости не существует.

Тягучесть (дуктильность) проволоки характеризует способность ее вытягиваться без разрыва в направлении растягивающего усилия. В дуктильном металле возникает при обработке меньше внутренних напряжений. Дуктильность проволоки оценивают по ее относительному удлинению, т. е. по приращению длины проволоки после ее растяжения до разрыва, выраженному в процентах к ее первоначальной длине. Тянутая вольфрамовая проволока обладает при комнатной температуре малым относительным удлинением и поэтому не поддается пластической деформации в холодном состоянии. Нагрев до  $400-600^{\circ}C$  не изменяет относительного удлинения, а нагрев до  $800-1\,000^{\circ}C$  незначительно увеличивает удлинение и позволяет подвергать проволоку пластической деформации. Нагрев до температуры, превышающей порог рекристаллизации, снижает относительное удлинение проволоки до нуля. При одинаковой температуре проволока из вольфрама ВА обладает большей пластичностью, чем из вольфрама ВМ. Хрупкость, обусловленная рекристаллизацией, — существенный недостаток вольфрама как материала тела накала.

Твердость вольфрама превышает твердость всех других металлов. Вольфрам тверже стекла. В десятичной шкале твердости он занимает восьмое место. Высокая твердость препятствует обработке вольфрама резанием.

Изменение свойств металла под влиянием механической обработки, называют наклепом или нагартовкой. В большинстве случаев наклеп — явление нежелательное и даже вредное. Принудительное перемещение атомов металла при наклепе повреждает кристаллы и создает остаточные внутренние напряжения. Под влиянием напряжений свободно спущенный конец проволоки свивается в круглые кольца. Наклеп понижает пластичность и повышает прочность металла. Упрочнение вольфрамовой проволоки затрудняет ее обработку.

## свойства металлов

Прочность при растяжении тянутой проволоки, $кг/мм^2$	Прочность при растяжении отожженной проволоки, $кг/мм^2$	Удлинение при разрыве тянутой проволоки, %	Удлинение при разрыве отожженной проволоки, %	Температура начала рекристаллизации, $^{\circ}C$	Скорость испарения в вакууме при $1\,800^{\circ}C$ , $г/см^2 \cdot сек$	Температура испарения, $^{\circ}C$ , при давлении пара $10^{-2} \text{ мм рт. ст.}$
300	120	2	3	1 100	$10^{-12}$	3 309
200	100	3	15	1 000	$4 \cdot 10^{-8}$	2 533
60	25	2	30	475	$8 \cdot 10^{-3}$	1 447
75	45	2	35	550	$7 \cdot 10^{-2}$	1 510
40	20	3	35	225	$3 \cdot 10^{-2}$	1 273

Вольфрам — тяжелый металл. Он в 1,6 раза тяжелее свинца. По удельному весу он уступает лишь платине и рению. По мере обработки и уменьшения пористости удельный вес вольфрама возрастает. Так, удельный вес спрессованного штабика равен  $10-12 \text{ г/см}^3$ , спеченного штабика —  $13,4 \text{ г/см}^3$ , сваренного штабика —  $17,4 \text{ г/см}^3$ , тянутой проволоки —  $19,3 \text{ г/см}^3$ . Спрессованный вольфрам содержит 50%, а сваренный — 10% пустых промежутков. С уменьшением диаметра удельный вес проволоки незначительно возрастает. Внешние слои проволоки, содержащие окислы вольфрама и графитовую смазку, обладают меньшей плотностью, чем внутренние слои. Монокристалл вольфрама имеет удельный вес  $19,35 \text{ г/см}^3$ .

Из всех известных элементов (за исключением углерода) вольфрам обладает наиболее высокой температурой плавления (около  $3\,650^{\circ}K$ ). Высокая точка плавления позволяет накаливать вольфрамовую спираль вплоть до  $3\,300^{\circ}K$  и получать лампы, обладающие большой яркостью и высокой световой отдачей. Теоретически вольфрамовая проволока при температуре плавления может иметь световую отдачу до  $53 \text{ лм/вт}$ . Практически же самую высокую световую отдачу ( $34 \text{ лм/вт}$ ) имеют фотолампы на  $127 \text{ в}$ ,  $500 \text{ вт}$ , со сроком службы 8 ч.

Вольфрам по сравнению с другими тугоплавкими металлами отличается наименьшей летучестью. Он имеет самую малую скорость испарения и самую низкую упругость пара при высоких температурах. При нагреве до  $2\,400^{\circ}C$  с каждого квадратного сантиметра поверхности вольфрама испаряется  $0,06 \text{ мг}$  металла в час, а при нагреве до  $2\,700^{\circ}C$  —  $3,4 \text{ мг/ч}$ . Мелкозернистый вольфрам быстрее испаряется, чем крупнозернистый.

Вольфрам, как и другие металлы, поглощает газы. Собираясь по границам кристаллов, молекулы газов ослабляют межкристаллические связи. Высокая температура плавления вольфрама позволяет хорошо обезгаживать его методом прокалики. При первом зажигании лампы вольфрамовая нить выделяет газ, объем которого значительно превышает объем самой нити.

Вольфрам хорошо сваривается с никелем и плохо сваривается с медью. В струе препарирующего газа вольфрам можно сваривать с вольфрамом, но сварной шов при этом рекристаллизуется и становится хрупким.

Из всех чистых металлов вольфрам имеет наименьший коэффициент линейного расширения. В интервале от 20 до 300°С он равен  $44 \cdot 10^{-7}$  см/см·град. С повышением температуры коэффициент расширения возрастает. Малый коэффициент расширения позволил применить вольфрамовую проволоку в качестве материала вводов некоторых мощных ламп.

Удельное электрическое сопротивление вольфрама как и большинства других металлов возрастает с повышением температуры. При 20°С оно равно 5,5, при 1200°С — 40 и при 2400°С — 82 мком·см. Полезные и вредные примеси увеличивают удельное сопротивление вольфрама. С уменьшением диаметра (повышением степени деформации) удельное сопротивление тянутой вольфрамовой проволоки возрастает. Отожженная вольфрамовая проволока отличается большей проводимостью, чем неотожженная, а рекристаллизованная — большей, чем нерекристаллизованная. С увеличением электрического сопротивления вольфрама уменьшается его температурный коэффициент. Неравномерность диаметра проволоки по длине влечет за собой неравномерность ее электрического сопротивления.

Вольфрам обладает благоприятными излучающими свойствами. При одной и той же температуре излучение его относительно менее «красно», чем других материалов.

## в) ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

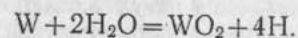
Металлический вольфрам отличается высокой химической стойкостью. В обычных атмосферных условиях вольфрам не окисляется. Медленное окисление его начинается лишь при температуре красного каления (600—700°С), при которой он покрывается цветами побежалости. При более высокой температуре вольфрам интенсивно окисляется с образованием многочисленных окислов. Из них бурая окись  $WO_2$  и желтая окись  $WO_3$  имеют определенный состав, а остальные, в том числе синяя окись  $W_2O_5$ , представляют собой различные смеси и химические соединения этих двух промежуточных окислов. При накале на воздухе вольфрам сгорает, образуя  $WO_3$ . Окисные пленки на вольфраме при нагреве растрескиваются, отслаиваются и легко испаряются.

С водородом вольфрам не реагирует вплоть до температуры плавления. Это позволяет проводить процессы его термической обработки и последующего охлаждения в атмосфере водорода. При высокой температуре окислы вольфрама восстанавливаются водородом в металлический вольфрам.

С азотом твердый вольфрам тоже не дает соединений. Этим свойством пользуются при частичном или полном заполнении газонаполненных ламп азотом. При температуре выше 2300°С пары вольфрама реагируют с азотом, образуя нитрид вольфрама  $WN_2$ , осаждающийся на стенках колбы в виде темного налета.

Газообразный аммиак с холодным вольфрамом не реагирует, а с раскаленным — взаимодействует, образуя незначительное количество нитрида.

Водяной пар на холодный вольфрам не влияет, а на раскаленный — активно действует, окисляя его с образованием летучей двуокиси и атомного водорода.



Вольфрамовый порошок во влажном воздухе может окисляться даже при комнатной температуре.

Соляная и серная кислоты и слабый раствор щелочей не действуют на вольфрам. Азотная кислота и концентрированный раствор щелочей, нагретые до 80—100°С, заметно разъедают вольфрам. Разбавленная азотная кислота сильнее разъедает вольфрам, чем концентрированная. Растворителями вольфрама служат расплавленная селитра, смесь плавиковой и азотной кислот и едкие щелочи при электролизе.

Вольфрам, нагретый до 1100—1300°С, при соприкосновении с графитом или углеродсодержащими газами, легко науглероживается, образуя в поверхностных слоях проволоки сначала карбид  $W_2C$  и затем карбид  $WC$ . При дальнейшем повышении температуры реакция между вольфрамом и углеродом идет в обратном направлении и вольфрам разуглероживается. Температура плавления  $W_2C$  2750°С, а  $WC$  — 2800°С. Электрическая проводимость  $W_2C$  составляет 7% проводимости вольфрама, а  $WC$  — 40%. Содержание самых небольших количеств карбида резко уменьшает пластичность и ухудшает обрабатываемость вольфрама. Образование карбида служит одной из причин хрупкости и коробления вольфрамовой спирали.

Вольфрам хорошо растворяет никель, железо и алюминий. Эти металлы в расплавленном состоянии «смачивают» и разъедают вольфрам, ослабляя связь между его атомами. При 1400—1525°С вольфрам с железом образует соединения  $Fe_2W$  и  $Fe_3W$ , придающие ему хрупкость в холодном состоянии, поэтому вольфрамовые изделия при термической обработке избегают приводить в соприкосновение со стальными предметами. Вольфрам плохо смачивается медью. Попадая на раскаленную спираль, медь распыляется, не принося вреда вольфраму.

Готовая вольфрамовая проволока может содержать примеси молибдена, кальция и др. в сумме до 0,1%. В таком количестве

эти примеси практически не оказывают влияния на физико-механические свойства проволоки. При одном и том же химическом составе проволока может обладать сильно отличающимися физико-механическими свойствами.

## 6-6. КОНТРОЛЬ И ИСПЫТАНИЯ ВОЛЬФРАМОВОЙ ПРОВОЛОКИ

Стабильность размеров и свойств вольфрамовой проволоки оказывает существенное влияние на спирализуемость проволоки и стабильность параметров ламп.

Диаметр вольфрамовых проволок более 0,35 мм измеряют индикаторным микрометром в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Диаметр проволок менее 0,35 мм ввиду трудности непосредственного точного измерения определяют взвешиванием отрезка длиной 200 мм и последующим пересчетом на средний диаметр. Проволоку наматывают на дисковый шаблон с конической прорезью, имеющей окружность длиной 200 мм, и отрезают от нее кусок длиной точно 200 мм; затем отрезок свертывают в комок и точно взвешивают.

Взвешивание производят на торзионных (крутильных) микровесах с относительно узкой областью измерения и грузоподъемностью близкой к весу измеряемого отрезка (рис. 6-26)<sup>1</sup>. Весы устанавливают в застекленном шкафике. Окружающую температуру, которая должна быть не ниже 20°С, регулируют зажиганием в шкафике электрической лампы.

Зависимость между весом отрезка и его средним диаметром выражается уравнением

$$Q = 200 \frac{\gamma \pi d^2}{4}, \quad (6-2)$$

где  $Q$  — вес 200 мм проволоки, мг;  
 $\gamma$  — удельный вес вольфрама, равный 19,3 г/см<sup>3</sup>;  
 $d$  — средний диаметр проволоки, мм.

После упрощения уравнение принимает вид:

$$Q = 3\,030 d^2$$

или

$$d = 0,01817 \sqrt{Q}. \quad (6-3)$$

Вес проволоки пропорционален квадрату ее диаметра или диаметр проволоки пропорционален корню квадратному из ее веса.

Чтобы не допускать ошибок или неточностей в вычислениях пользуются заранее составленной по формуле (6-3) таблицей,

<sup>1</sup> В производстве ламп применяют торзионные весы грузоподъемностью от 1 до 500 мГ.

в которой для каждого номинального диаметра приведен вес отрезка длиной 200 мм.

В технических условиях на вольфрамовую проволоку на каждый номинальный вес задают допустимые отклонения (от  $\pm 1$  до  $\pm 3\%$ ). С увеличением номинальных значений диаметра и веса уменьшают процент допустимого отклонения. Допуск на вес, равный  $x\%$ , означает допуск на диаметр, равный  $x/2\%$ . Например, на проволоку диаметром 50 мк с номинальным весом 7,57 мг установлен допуск на вес  $\pm 2\%$ , что составляет  $\pm 0,15$  мг или от 7,42 до 7,72 мг. Это означает, что на эту же проволоку установлен допуск на диаметр  $\pm 1\%$ , что составляет  $\pm 0,5$  мк или от 49,5 до 50,5 мк.

Определение диаметра проволоки методом взвешивания хотя и обладает достаточной точностью, но не позволяет выявлять неравномерность диаметра по длине и овальность ее.

Для грубой оценки проволоки на равномерность диаметра по длине берут отрезки для взвешивания в начале и конце катушки. Проволока признается удовлетворительной, если разброс в весе не превышает половины поля допуска. Равномерность диаметра по длине можно оценивать пропусканием проволоки через два ртутных контакта и непрерывным измерением электрического сопротивления участка между контактами. Существуют приборы, автоматически контролирующие равномерность диаметра проволоки по длине перематываемой ее между световой щелью и фотоэлементом; в зависимости от диаметра меняется световой поток, падающий на фотоэлемент, и соответственно меняется показание прибора, регистрирующего ток в цепи фотоэлемента.

Проверку на овальность проволоки производят путем систематического контроля диаметра и формы канала волок, через которые протягивается проволока. При необходимости овальность оценивают под микроскопом, снабженным приспособлением для закрепления и поворачивания проволоки. Овальность не должна превышать половины допускаемого отклонения по диаметру.

Проволоку, забракованную по несоответствию диаметра, перетягивают на более тонкие размеры.

Механические свойства (прочность) проволоки определяют испытанием на растяжение, перегиб и способность спирализоваться. Предел прочности на растяжение оценивают на разрывных машинах с последующим делением разрывного усилия на диаметр или вес отрезка длиной 200 мм. Для испытания на перегиб проволоку зажимают между губками тисочков, изги-



Рис. 6-26. Торзионные весы.

бают вправо и влево на  $90^\circ$  и подсчитывают число перегибов, выдержанных ею до излома. Для испытания на спирализуемость проволоку навивают на керн, диаметр которого равен двум ее диаметрам; хорошая проволока при спирализации с нагревом не дает обрывов и расслоений.

Для оценки ползучести проволоки при высокой температуре (для ламп мощностью 3—10 кат) отрезок проволоки с подвешенным на него грузом (2 кг) нагревают электрическим током в вакууме до  $2800^\circ\text{K}$ . Под влиянием нагрузки и высокой температуры проволока удлиняется. По величине остаточного удлинения судят о ползучести.

Микроструктуру проволоки оценивают металлографическим микроскопом МИМ-6, МИМ-7 или МИМ-8 чаще всего при 200-кратном увеличении. Испытываемые образцы предварительно очищают от оксида в кипящем 20%-ном растворе щелочи и отжигают при  $1100$ — $1150^\circ\text{C}$  в атмосфере водорода. Очищенные образцы рекристаллизуют в атмосфере водорода при  $2300$ — $2400^\circ\text{C}$  с выдержкой 3—5 мин. Далее образцы заливают свинцово-оловянным сплавом, шлифуют на вращающихся абразивных дисках, полируют на войлочных дисках и травят травильной жидкостью. Приготовленные шлифы просматривают в металломикроскопе и при необходимости фотграфируют. Проволока признается удовлетворительной, если она имеет кристаллическую структуру, свойственную вольфраму данной марки, и эта структура стабильна у всех исследованных образцов.

Каждую катушку проволоки проверяют на качество намотки и на наличие недостатков, заметных невооруженным глазом. При проверке следят, чтобы проволока была распределена на катушке правильными рядами, виток к витку, чтобы намотка была ровной и тугой, чтобы проволока при сматывании легко и ровно сбегала с катушки, чтобы на одной катушке был намотан только один отрезок проволоки длиной, в зависимости от диаметра, не менее  $100$ — $1000$  м, чтобы поверхность проволоки была гладкой, чистой, без цветов побежалости, чтобы свободно спущенный с катушки конец проволоки не свисался в кольца диаметром менее примерно трехсоткратного значения диаметра проволоки.

Каждую катушку снабжают этикеткой с четким обозначением диаметра проволоки, веса отрезка длиной 200 мм, длины проволоки по показанию счетчика, марки вольфрама и номера партии. Этикетки должны иметь отличительную окраску, присвоенную каждой марке вольфрама.

Отходы и брак вольфрамовой проволоки перерабатывают в вольфрамовый ангидрид, который используют для изготовления различных изделий, но только не проволоки для ламп накаливания. Переработка заключается сначала в травлении от-

ходов в щелочи и кислотах с целью очистки от инородных металлов и оксида и затем в окислительном отжиге при  $1000$ — $1100^\circ\text{C}$  с целью превращения отходов в ангидрид.

## 6-7. ИЗГОТОВЛЕНИЕ МОЛИБДЕНОВОЙ ПРОВОЛОКИ

### а) СВОЙСТВА МОЛИБДЕНА

Молибден, как и вольфрам, принадлежит к числу редких тугоплавких металлов. Они оба входят в одну группу периодической системы элементов и весьма сходны между собой по внешнему виду, свойствам и технологии производства.

Отечественная промышленность выпускает молибденовую проволоку классов I и II, отличающуюся допусками на вес отрезка длиной 200 мм. Проволоку класса I с допуском на вес отрезка  $\pm 1,5\%$  применяют в качестве керна (сердечника) при изготовлении вольфрамовых спиралей. Проволоку класса II с допуском на вес отрезка  $\pm 3\%$  применяют для изготовления держателей тела накала, впаев в тугоплавкое стекло и нагревательных элементов высокотемпературных электрических печей сопротивления с атмосферой защитного газа.

Проволоку для керна, проволоку для нагревательных элементов и проволоку для держателей, вставляемых в стеклянные детали ламп, изготавливают из молибдена марки МЧ (без присадки), а проволоку для электродов и проволоку для держателей, вставляемых в керамические детали ламп или соединяемых с никелевыми вводами методом точечной сварки, — из молибдена марки МК (с кремнещелочной присадкой).

Достоинства молибдена как материала для керна заключаются в его высокой температуре плавления, позволяющей производить термическую обработку вольфрамовых спиралей на керне при высокой температуре, в возможности его волочения с соблюдением большой точности в диаметре, в требуемой твердости и в способности растворяться в кислотах, в которых вольфрам не растворяется. Достоинства молибдена как материала для держателей заключаются в его упругости, прочности и формоустойчивости при высоких температурах. Достоинства молибдена как материала для впаев в тугоплавкое стекло заключаются в его низком коэффициенте расширения, высокой электропроводности при низких температурах и способности давать вакуумноплотные спай с термостойкими стеклами. Наконец, достоинства молибдена как материала для нагревательных элементов электрических печей заключаются в его высокой температуре плавления, механической прочности, большом электрическом сопротивлении при высоких температурах и химической стойкости при нагреве в водороде и азоте.

Удельный вес молибдена меньше, чем вольфрама. Спеченный молибденовый штабик имеет удельный вес  $6,7$  г/см<sup>3</sup>, сваренный штабик —  $9,3$  г/см<sup>3</sup>, тянутая проволока —  $10,4$  г/см<sup>3</sup>.



Молибден менее тверд, менее прочен, более пластичен и менее склонен к нагартовыванию по сравнению с вольфрамом, и поэтому легче обрабатывается. Отжиг значительно повышает относительное удлинение молибдена.

Молибден плавится при  $2625 \pm 10^\circ\text{C}$ . При высокотемпературном нагреве он испаряется значительно быстрее вольфрама, что препятствует применению его в качестве тела накала ламп.

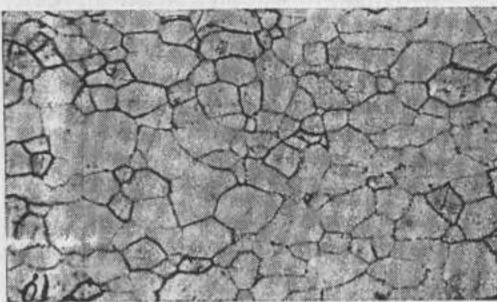
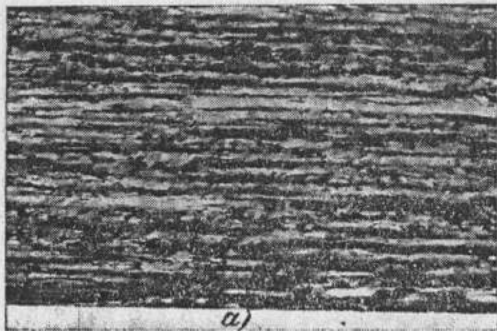


Рис. 6-27. Структура проволоки из молибдена МЧ.

а — после первичной рекристаллизации; б — после вторичной рекристаллизации.

Коэффициент линейного расширения молибдена растет с повышением температуры от  $53-57 \times 10^{-7}$  при  $25-300^\circ\text{C}$  до  $58-62 \times 10^{-7}$  при  $25-700^\circ\text{C}$ .

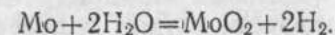
Молибден рекристаллизуется при более низкой температуре и хуже сохраняет форму при высокой температуре, чем вольфрам (табл. 6-2). Тянутая молибденовая проволока имеет волокнистую структуру. При нагреве выше  $1000-1100^\circ\text{C}$  в ней протекает первичная рекристаллизация, в результате которой ее относительное удлинение возрастает, а прочность уменьшается. Рекристаллизованная молибденовая проволока более пластична и прочна, чем рекристаллизованная вольфрамовая.

При нагреве выше  $1400^\circ\text{C}$  в молибденовой проволоке протекает собирательная рекристаллизация (рис. 6-27), в результате которой ее относительное удлинение и прочность резко уменьшаются.

Температура начала первичной рекристаллизации проволоки из молибдена МК примерно на  $600$  град выше, чем из молибдена МЧ.

Молибденовый порошок хорошо адсорбирует кислород. Компактный металлический молибден в сухом воздухе при комнатной температуре практически не изменяется, а начиная с  $400-500^\circ\text{C}$  легко окисляется с образованием быстро испаряю-

щихся окислов. При нагреве в атмосфере, содержащей водяной пар, молибден окисляется, принимая коричневый цвет с фиолетовым оттенком.



При нагреве на воздухе до температуры выше  $600^\circ\text{C}$  молибден энергично сгорает с выделением белых тяжелых паров  $\text{MoO}_3$ .

Для быстрого определения, является ли проволока вольфрамовой или молибденовой, конец ее вводят в пламя горелки; вольфрамовая проволока при этом слегка темнеет, а молибденовая — окисляется с выделением белого дыма.

С водородом молибден не вступает в соединение и мало его поглощает, а окислы  $\text{MoO}_2$  и  $\text{MoO}_3$  при  $800^\circ\text{C}$  восстанавливаются водородом.

Соляная и серная кислоты и растворы едких щелочей не действуют на молибден. Концентрированная азотная кислота медленно растворяет молибден с образованием  $\text{MoO}_3$  и выделением окислов азота. Разбавленная азотная кислота более активно действует на молибден, чем концентрированная. Хорошими растворителями молибдена служат расплавленная селитра, смесь азотной и серной кислот и едкие щелочи при электролизе.

Молибден, нагретый до температуры, превышающей  $800^\circ\text{C}$ , в среде, содержащей углерод, образует карбид  $\text{Mo}_2\text{C}$ , сообщающий ему хрупкость. Молибден легче карбонизируется, чем вольфрам, так как стойкая окисная пленка на вольфраме затрудняет образование карбида, а окисная пленка на молибдене улетучивается при температуре обработки и не препятствует образованию карбида.

Молибден, как и вольфрам, получают методом порошковой металлургии. В последнее время молибден начали получать в вакуумных печах методом дуговой или электроннолучевой плавки в виде крупных слитков весом  $500$  кг и более. Плавленный в вакууме молибден меньше содержит примесей и отличается большей пластичностью, чем спеченный.

## 6) ХИМИЧЕСКАЯ, ТЕРМИЧЕСКАЯ И МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

На предприятиях металлургической промышленности обогащенную руду молибдена и т, состоящую из сернистого молибдена  $\text{MoS}_2$ , обжигают в пламенных печах с одновременной подачей воздуха. Полученный продукт — молибденовый ангидрид  $\text{MoO}_3$  очищают от примесей. Для этого его растворяют в аммиаке и кристаллизуют из раствора в виде парамолибдата аммония  $3(\text{NH}_4)_2\text{O} \cdot 7\text{MoO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (ГОСТ 2677-44), который служит исходным полуфабрикатом для получения металлического молибдена.

Сначала парамолибдат аммония просеивают, сушат в сушильном шкафу и снова просеивают. Полученный однородный

по зернистости сухой порошок прокаливают при 500°С в электрической печи. Под действием высокой температуры порошок разлагается на молибденовый ангидрид, газообразный аммиак и пары воды. Прокаливание служит одновременно и операцией очистки от сернистых и сернокислых аммонийных солей, которые при высокой температуре разлагаются и улетучиваются вместе с аммиаком и парами воды.

Последующая технология получения металлического молибдена тождественна технологии получения вольфрама и выполняется на сходном оборудовании. Очищенный просеянный зеленоватый порошок молибденового ангидрида восстанавливают водородом в трубчатых печах с передвигающимися лодками в три стадии при температурах соответственно 550, 890 и 1050°С. В результате первого восстановления получают бурую двуокись  $\text{MoO}_2$ , после второго восстановления — молибденовый порошок, содержащий кислорода около 2%, и после третьего — порошок, содержащий кислорода не более 0,5%. Из 1 кг  $\text{MoO}_2$  получается около 760 г металлического порошка с насыпным весом 14—21 г/дюйм<sup>3</sup> (0,9—1,3 г/см<sup>3</sup>). При изготовлении молибдена марки МК двуокись, полученную после первого восстановления, пропитывают кремнещелочной присадкой.

Восстановленный порошок молибдена просеивают через сито, перемешивают в смесителе, увлажняют смесью глицерина и спирта и прессуют в разъемной прессформе на гидравлическом прессе при давлении 3,2 Т/см<sup>2</sup> в прямоугольные штабики размером 18×18×600 мм и весом около 1250 г.

Прессованные штабики подвергают операциям предварительного спекания при 1100—1200°С и окончательного спекания в одну стадию при токе, равном 90% тока переплавки. В последние годы наряду с индивидуальным спеканием молибденовых штабиков прямым нагревом в водороде стали применять рупповое спекание по 100 штабиков косвенным нагревом в вакууме. Спекание в вакууме позволяет получать более пластичный и однородный по структуре и механическим свойствам металл, чем спекание в водороде, облегчать его последующую механическую обработку и уменьшать газоотделение его при высоких температурах. При прямом нагреве в водороде сначала спекаются центральные участки штабика, потом поверхностные; при косвенном нагреве в вакууме сначала спекаются поверхностные участки штабика, потом центральные.

Ксвку молибдена ведут на ротационных ковочных машинах до диаметра 2,5 мм. Волочение проволоки с применением смазки аквадагом ведут на блочном стане до диаметра 1,35 мм и на машинах многократного волочения до выходного диаметра (рис. 6-28). Поскольку молибден пластичнее вольфрама, его волочат при более низкой температуре, больших скоростях и с большим обжатием за переход, чем вольфрам. При диаметре 0,95 мм и при волочении с диаметра 0,30 на 0,28 мм проволоку

подвергают структурному отжигу при температуре, несколько превышающей температуру первичной рекристаллизации.

Горячее волочение не обеспечивает получение проволоки равномерного диаметра с чистой, гладкой поверхностью. Поэтому выходное волочение проволоки для жерна, начиная с диаметра 0,4 или 0,3 мм, производят в холодном состоянии с малым коэффициентом обжатия и с обильной смазкой аквадагом. По-

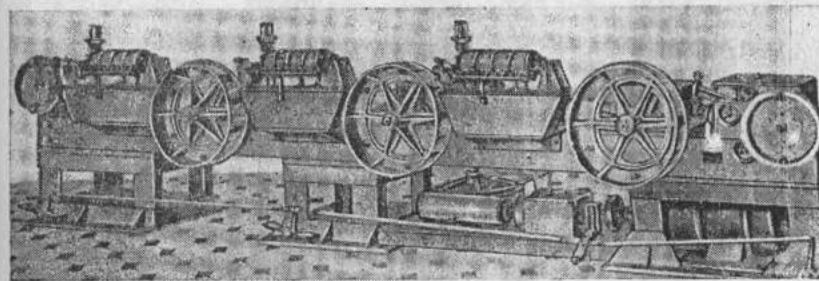


Рис. 6-28. Трехкратный стан волочения молибденовой проволоки.

скольку аквадаг с холодным молибденом не связывается, холоднотянутая проволока получается более чистой. Холодное волочение требует повышенного расхода волок.

Молибденовую проволоку диаметром более 400 мк измеряют микрометром, а проволоку меньшего диаметра взвешивают на торсионных весах. По весу отрезка проволоки длиной 200 мм и удельному весу молибдена, равному 10,4 г/см<sup>3</sup>, определяют средний диаметр проволоки:

$$d = 0,02475 \sqrt{Q}, \quad (6-4)$$

где  $d$  — диаметр проволоки, мм;  
 $Q$  — вес 200 мм проволоки, мг.

На всех стадиях производства молибдена и вольфрама следят, чтобы молибден не загрязнялся вольфрамом, а вольфрам — молибденом.

#### в) ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА

Тянутая молибденовая проволока покрыта плотной черной оболочкой, состоящей из графитовой смазки, окислов молибдена и мелкораздробленного металлического молибдена, содранного с поверхности проволоки волоками. Эту оболочку удаляют одним из двух способов: 1) электролитическим травлением в растворе щелочи и 2) термической обработкой в увлажненном водороде. При первом способе механические свойства проволоки не изменяются, а при втором — изменяются. Первым способом очи-

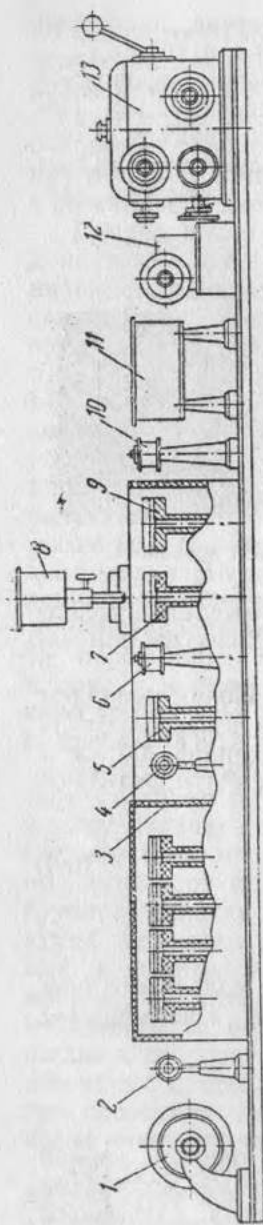


Рис. 6-29. Установка электролитической очистки молибденового керна.

1 — смоточное устройство; 2 — направляющий ролик; 3 — ванна с четырьмя электролитическими ванночками; 4 — направляющий ролик; 5 — промывочная металлическая ванночка; 6 — промывочная ванночка; 7 — выглаженная ванночка; 8 — капельница с раствором соляной кислоты; 9 — промывочная ванночка; 10 — промывочная ванночка; 11 — электроды для подсушивания; 12 — счетчик выработок; 13 — намоточное устройство.

На установках электролитической очистки переменным током (рис. 6-29) проволоку перематывают через четыре секции ванны с проточным электролитом (20%-ный раствор NaOH), циркулирующим при помощи центробежного насоса. Из послед-

щих проволоку для керна, а вторым — проволоку для держателей и электродов.

Графит не растворяется ни в каких жидкостях, поэтому для очистки проволоки по первому способу сначала растворяют окислы молибдена, а затем механически сдирают разрыхленный графит.

Установку электролитической очистки можно питать постоянным или переменным током. При питании постоянным током очищаемая проволока может быть присоединена к положительному или отрицательному полюсу, т. е. служить в качестве анода или катода. При травлении на аноде (в кислом электролите) проволока лучше очищается, но с большей опасностью перетравления, а при травлении на катоде (в щелочном электролите) — хуже очищается, но с меньшей опасностью перетравления. Эти недостатки заставили отказаться от очистки постоянным током. При работе на переменном токе (в щелочном электролите) очищаемая проволока служит попеременно в качестве анода и катода. Анодная составляющая растворяет поверхностный слой металлического молибдена под окисно-графитовой оболочкой, разрыхляя при этом графит и ослабляя его связь с проволокой, а катодная — выделяет под окисно-графитовой оболочкой водород, отрывающий частицы графита от проволоки и восстанавливающий окислы металла.

На установках электролитической очистки переменным током (рис. 6-29) проволоку перематывают через четыре секции ванны с проточным электролитом (20%-ный раствор NaOH), циркулирующим при помощи центробежного насоса. Из послед-

ней электролитической ванны проволока проходит через ванну с проточной водой и вольфрамовую «путанку», зажатую между щечками металлического зажима. Далее проволока проходит через коробку с гигроскопической ватой для сухой протирки, затем через коробку с гигроскопической же ватой, пропитываемой из капельницы 3%-ным раствором соляной кислоты для нейтрализации остатков щелочи, далее через вторую промывочную ванну для отмывки от соляной кислоты и образовавшихся солей и, наконец, через вторую коробку с гигроскопической ватой для сухой протирки. Очищенная проволока окончательно подсушивается в электропечи и, пройдя через ролики счетчика и раскладки, наматывается на приемную катушку. Признаком удовлетворительной очистки проволоки служит отсутствие графита на влажном ватном тампоне, кратковременно соприкасающемся с движущейся проволокой.

С увеличением диаметра проволоки ток в электролитических ваннах увеличивают, а скорость вращения приемной катушки уменьшают.

Электролитической обработкой проволоки не только удаляют окисно-графитовую пленку, но и частично стравливают верхний наиболее нагартованный слой металла до потери 2—5% веса при диаметре менее 100 мк и 3—6% веса при диаметре более 100 мк. Если плотность тока достаточно высока, проволока за несколько секунд приобретает блестящую полированную поверхность без заусенцев, волосных трещин, графитовой смазки, окислов и загрязнений. При недостаточной плотности тока проволока меньше теряет в весе, но хуже очищается. Так как приемная катушка вращается с неизменной скоростью, то по мере ее заполнения линейная скорость перемещения проволоки увеличивается. Чтобы по мере заполнения катушки не ухудшалась очистка проволоки, применяют катушки достаточно большого диаметра.

В процессе работы операционный персонал следит за соблюдением установленного технологического режима: силой тока, скоростью обработки, подачей электролита, сменой загрязненной ваты. Раз в неделю меняют электролит и отмывают бачок от аквадага.

На электролитических установках последних моделей проволоку очищают одновременно в шесть ручьев.

Очищенную проволоку для керна применяют без задержки, так как, лишенная графитовой оболочки, она легко подвергается окислению.

#### г) ПРЕПАРИРОВАНИЕ

Молибденовую проволоку для держателей отжигают в водородной или препаарировочной газе с целью придания ей требуемых механических свойств и очистки от графита, окислов и поверх-

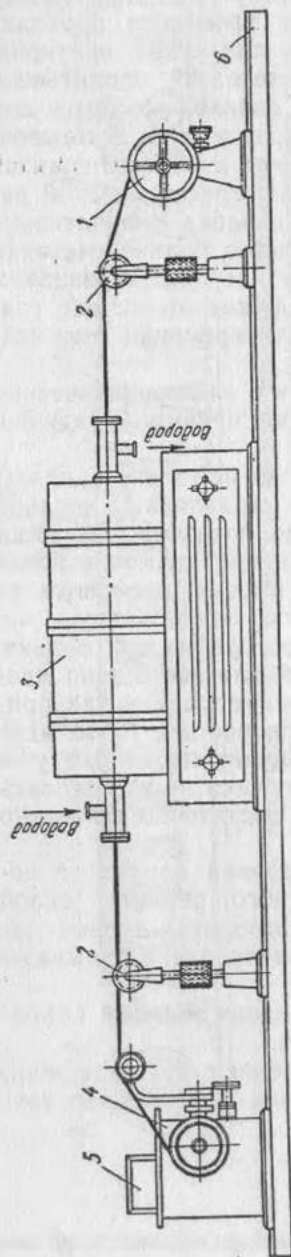


Рис. 6-30. Установка отжига тонких проволок. 1 — механизм смотки; 2 — поддерживающие ролики; 3 — печь отжига; 4 — механизм наматки и раскладки; 5 — счетчик выработки; 6 — рабочий стол.

ностных загрязнений. Отжиг ведут при температуре, превышающей температуру первичной рекристаллизации, но не достигающей температуры собирательной рекристаллизации. Очистка отжигом, в отличие от электролитической, протекает без стравливания поверхностного слоя металла.

Установка отжига (рис. 6-30) представляет собой литой козпак, внутри которого укреплен спиральный цилиндрический муфель из молибденовой ленты. Муфель заключен в металлический цилиндр с теплоизоляцией, который в свою очередь окружен змеевиком с проточной водой. Тело муфеля накачивают электрическим током, подводимым к нему через массивные мощные контакты. Один из контактов для компенсации удлинения муфеля, сделан скользящим. В зону накала муфеля впускают проточный водород или препаративочный газ. Отжигаемую проволоку перематывают через муфель со скоростью 10—30 м/мин и нагревают лучистым теплом муфеля. Проволока выходит из печи чистой, блестящей, разупрочненной, гибкой и прямолинейной.

Проволоку с незначительным содержанием графита отжигают в увлажненном газе, а проволоку с обильным содержанием графита перед отжигом нагревают на воздухе электрическим током до температуры, при которой графит сгорает (900—1000°С), после чего отжигают в сухом газе.

При отжиге следят, чтобы проволока перемещалась в натянутом состоянии симметрично относительно стенок муфеля без

поперечных колебаний, вызывающих прикосновение ее к стенкам муфеля. При слабом натяжении проволока плохо выпрямляется, а при слишком большом — растягивается.

Установку отжига снабжают прибором для измерения относительного удлинения, счетчиком для учета проволоки, ротаметром для измерения расхода газа и термопарой для измерения температуры муфеля.

Для придания проволоке однородных свойств следят за постоянством режима отжига. При недостаточном поступлении защитного газа проволока окисляется. При низкой температуре муфеля проволока становится вьющейся, а при высокой — хрупкой. У проволоки, оказавшейся хрупкой, металлографический анализ обычно обнаруживает участки с крупнозернистой структурой. Хрупкие обрывы могут также явиться результатом неудовлетворительной очистки проволоки от аквадага. Природу хрупкости можно установить растворением отрезка проволоки в смеси азотной и серной кислот. Нерастворившийся осадок продолговатых частиц графита показывает, что хрупкость была вызвана влиянием карбида.

Молибденовая проволока, приготовленная из мелких порошков, содержащих много адсорбированного кислорода, плохо поддается отжигу на требуемое удлинение.

Прямолинейность проволоки контролируют по состоянию концевой участка, свободно спущенного с катушки. У прямой проволоки конец висит прямо, у кривой — свешивается спиральными кольцами или отклоняется в сторону. Наименьший брак по хрупкости и кривизне получается тогда, когда отожженная проволока обладает прочностью при растяжении 82—110 кг/мм<sup>2</sup> и относительным удлинением 10—27%.

Катушки для наматки отожженной молибденовой проволоки применяют значительно больших размеров, чем для наматки вольфрамовой (обычно диаметром барабана 100 мм, шириной 15 мм и высотой борта 8 мм). На таких катушках проволока меньше искривляется.

Механизм наматки и раскладки распределяет отожженную проволоку по несущей поверхности катушки равномерными слоями. Намотка должна быть ровной и достаточно тугой. Ряды проволоки должны свободно разматываться без запутывания витков. Начальная часть проволоки должна быть укреплена на катушке в предусмотренном для нее отверстии, а концевая часть — завязана петлей, выведена на наружный борт и закреплена сургучом.

Препарированная проволока требует бережного обращения. Нельзя бросать заполненные катушки. При необходимости оборвать проволоку нужно сначала осторожно свернуть ее петлей, не допуская врезания ее между витками, и затем оборвать.

Следует избегать хранения больших запасов препарированной проволоки. В первую очередь нужно пускать в работу наи-

более старую проволоку. При длительном хранении особенно во влажном воздухе поверхность молибдена окисляется и становится матовой. Чем тоньше проволока, тем заметнее изменение ее поверхности при длительном хранении. Неотожженную проволоку можно хранить дольше, чем отожженную. Графитовая пленка на поверхности неотожженной проволоки защищает молибден от окисления.

Вследствие неодинакового коэффициента расширения материала катушки и молибдена проволока при температурных колебаниях удлиняется и перестает быть в натянутом состоянии. Это может явиться причиной затруднений при сматывании проволоки с катушки.

#### д) АЛЮМИНИРОВАНИЕ

Отпрепарированную молибденовую проволоку для держателей газонаполненных ламп общего назначения покрывают тонкой пленкой металлического алюминия (см. стр. 558).

Пленку наносят способом ~~порячей металлизации~~, заключающимся в протягивании подогретой током молибденовой проволоки

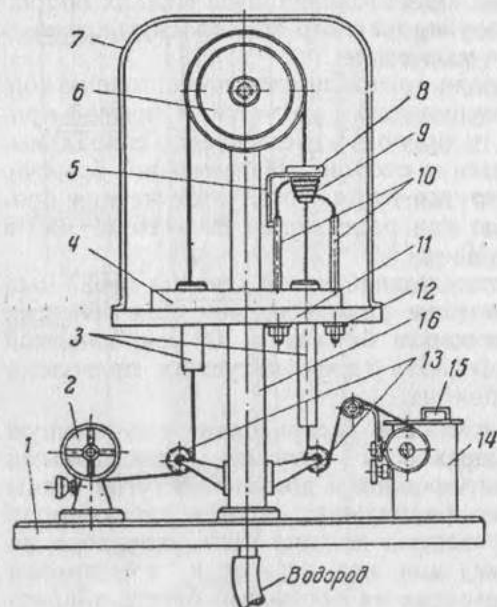


Рис. 6-31. Установка алюминирования молибденовой проволоки.

1 — рабочий стол; 2 — механизм смотки; 3 — трубки; 4 — металлическая плита; 5 — держатель тигля; 6 — направляющий ролик; 7 — колпак; 8 — тигель; 9 — нагреватель; 10 — подержки; 11 — асбоцементная пластина; 12 — токоведущая пластина; 13 — направляющие ролики; 14 — механизм намотки и раскладки; 15 — счетчик выработки; 16 — стойка.

плавят алюминий и запускают двигатель раскладки проволоки. На участок проволоки перед тиглем подводят напряжение для подогрева проволоки до температуры, близкой к температуре плавления алюминия.

Перед алюминированием каждой новой катушки остаток расплавленного алюминия выбрасывают, так как накапливающаяся в нем окись, попадая на молибден, придает ему шероховатость. Толщина слоя алюминия на проволоке должна быть в пределах 1—2 мк. Ее можно регулировать изменением скорости перемотки. С повышением скорости слой утолщается. Чистое, гладкое и равномерное покрытие с алюминиевым блеском достигается при условии, что исходная молибденовая проволока не окислена и что водород хорошо осушен.

Алюминирование не нарушает прямолинейности проволоки и не влияет на ее механические свойства.

— ○

ки через каплю расплавленного металла. Жидкий алюминий способен хорошо смачивать нагретый молибден и растекаться по его поверхности. Чтобы под влиянием высокой температуры молибден не окислялся, операцию выполняют в атмосфере сухого водорода.

На установке алюминирования (рис. 6-31) графитовый тигелек, окруженный молибденовым спиральным нагревателем; заполняют кусочками алюминиевой проволоки, протравленной в 10%-ном растворе щелочи. После очередной закладки алюминия тигелек закрывают колпаком. Под колпак вводят проточный водород с точкой росы не выше минус 20°С. После полного вытеснения из-под колпака воздуха включают нагреватель,

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ ВОЛЬФРАМОВЫХ СПИРАЛЕЙ

### 7-1. СПИРАЛИЗАЦИЯ

Спирализация представляет собой процесс преобразования прямой проволоки в винтовую. Для подавляющего большинства типов ламп спирали изготавливают обвиванием вольфрамовой проволоки вокруг круглого проволоочного керна.

Вольфрамовую проволоку перед спирализацией проверяют на соответствие требуемой марке вольфрама и заданному диаметру или весу отрезка длиной 200 мм. Как правило, спирализуют неочищенную от аквадага «черную» проволоку, так как такая проволока обходится дешевле, чем очищенная, и лучше спирализуется. Тонкую проволоку перематывают на шпули из алюминия или органического стекла, а толстую — на стальные. Шпули, заполненные проволокой от одной катушки, составляют одну партию и сопровождаются общим маршрутным листом.

Проволоку для керна перед спирализацией перематывают на карболитовые катушки. Стальной керна должен обладать прочностью при растяжении около  $60 \text{ кг/мм}^2$ , а молибденовый — около  $150 \text{ кг/мм}^2$ . Керна на всем протяжении должен иметь гладкую поверхность и строго круглое поперечное сечение неизменного диаметра. Допуск по весу отрезка керна длиной 200 мм не должен превышать  $\pm 1,5\%$ , что соответствует допуску по диаметру  $\pm 0,75\%$ . Материал керна не должен содержать никаких веществ, препятствующих его полному растворению в заданном травильном растворе. Стальной керна перед изготовлением спиралей промывают в трихлорэтилене, а молибденовый — очищают электролитическим травлением. Молибденовый керна диаметром более 0,4 мм допускается очищать отжигом в водороде. Тонкий молибденовый керна не рекомендуется очищать в водороде, так как высокотемпературный напрев увеличивает его относительное удлинение и повышает склонность к растягиванию при спирализации.

На некоторых заводах вольфрамовую проволоку и керна перед спирализацией комплектуют по диаметру с целью уменьшения разброса значений световых и электрических параметров

ламп. Комплектование заключается в разделении керна и вольфрамовой проволоки данного номинального размера на две группы с более узкими допусками по диаметру; при этом вольфрамовую проволоку, имеющую диаметр меньше номинального, навивают на керна, имеющий диаметр тоже меньше номинального, а вольфрамовую проволоку, имеющую диаметр больше

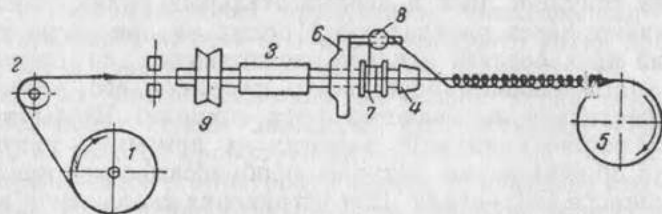


Рис. 7-1. Схема навивки вольфрамовой спирали.

1 — катушка с керна; 2 — направляющий ролик; 3 — шпиндель; 4 — дюза; 5 — катушка с керна, обвитым спиралью; 6 — навивочная (спирализационная) головка; 7 — шпуля с вольфрамовой проволокой; 8 — ролик, ведущий вольфрамовую проволоку при навивке на керна; 9 — шкив к электродвигателю.

номинального, навивают на керна диаметром тоже больше номинального.

Спирализационные станки работают по такому же принципу, как станки для изоляции электрических проводов (рис. 7-1). Керна сматывают со спускной катушки 1 и наматывают на приемную дырчатую катушку 5. При перематке он проходит через направляющий ролик 2, вращающийся пустотелый шпиндель 3 и дюзу из твердого сплава 4. Вместе со шпинделем вращается головка 6 (рис. 7-2) и заправленная в ней шпуля 7 с вольфрамовой проволокой. Последняя, сбегающая со шпули через ролик 8, навивается вокруг выходящего из дюзы поступательно движущегося керна и укладывается на нем параллельными витками, образуя спираль. С каждым оборотом шпинделя головка со шпулей делает один оборот и на керна укладывается один виток спирали. Если шпиндель делает 3000 об/мин, то за это же время на керна навивается 3000 витков спирали. Выраженное в миллиметрах расстояние между параллельными сторонами двух смежных витков, равное величине перемещения керна за время одного оборота головки, называется шагом. Величина, обратная шагу, равна числу витков на 1 мм.

При изготовлении спиралей важное значение имеет соблюдение точности и равномерности шага. Если бы сила, требуемая для перемещения керна, создавалась приемной катушкой, как

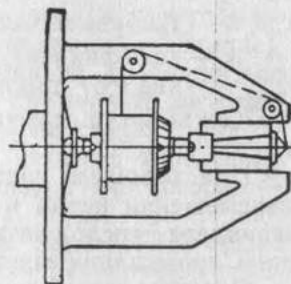


Рис. 7-2. Спирализационная головка.

это показано на принципиальной схеме рис. 7-1, то по мере намотки керна, обвитого спиралью, увеличивался бы диаметр несущей поверхности катушки и повышалась бы скорость перемещения керна. Последствием этого была бы спираль с непостоянным шагом. Поэтому керна со спиралью наматывают не сразу на приемную катушку, а сначала обводят в виде восьмерки через тянущий диск и вспомогательный ролик, после чего наматывают через раскладочный ролик на приемную катушку. Тянущий диск создает усилие, необходимое для перемещения керна, и обеспечивает постоянство скорости его перемещения и, следовательно, постоянство шага спирали. Чтобы при этом увеличивающийся диаметр намотки на приемную катушку не вызывал обрыва керна, катушка пробуксовывается при помощи фрикционного соединения. Для устранения скольжения керна по тянущему диску и предотвращения трения спирали о материал диска керна обводят вокруг него несколько раз.

Чем быстрее перемещается керна при неизменной скорости вращения навивочной головки, тем меньше витков навивается на 1 мм длины спирали. Требуемое число витков на 1 мм устанавливают на всех спирализационных станках изменением скорости перемещения керна за время одного оборота головки. Эту относительную скорость керна достигают установкой тянущего диска определенного диаметра  $D$ , который определяют по уравнению

$$D = \frac{k}{n}, \quad (7-1)$$

где  $n$  — требуемое число витков на 1 мм;

$k$  — коэффициент, определяющийся передаточным отношением от шпинделя головки к тянущему диску.

Каждый тип станка имеет свое постоянное значение коэффициента  $k$ .

При хорошем состоянии станка, плавном и равномерном перемещении керна и не слишком большой скорости вращения шпинделя число витков на 1 мм получается однородным на всем протяжении спирали.

Наблюдаемые иногда случаи отклонения фактического общего числа витков от расчетного в меньшую сторону вызываются скольжением проволоки по дискам и роликам и влиянием раскручивания упругой спирали на некоторый угол при снятии ее со станка после навивки. Этот угол зависит от толщины и материала спирали.

Спирализация допускается как с правой, так и с левой навивкой, т. е. с вращением навивочной головки по часовой стрелке и против нее.

Спирализацию толстых проволок на толстом керне с целью достижения равномерной навивки производят на массивных спирализационных станках с тяжелой головкой и, наоборот,

спирализацию тонких проволок на тонком керне — на станках с облегченной головкой.

Спирализационные станки применяют непрерывного и периодического действия. На станках непрерывного действия свивают бесконечную спираль, которую потом разрезают на отрезки заданной длины. На станках периодического действия свивают спираль с периодическими пропусками, называемыми тире. Каждое тире берет начало от конца последнего витка предыдущей спирали и переходит в первый виток последующей.

Спирали из тонкой проволоки на тонком керне, закрепляемые в электродах ножки зажимом, изготавливают без тире, а спирали из толстой проволоки на толстом керне, а также спирали, закрепляемые в электродах ножки приваркой, изготавливают с тире. Разделение навитой части спиралей тире позволяет соблюдать постоянство активной длины спиралей, что в свою очередь обеспечивает получение меньшего разброса значений световых и электрических параметров ламп. В некоторых специальных лампах с телом накала, разбитым на секции, тире служит опорной поверхностью не только для электродов, но и для держателей. В этом случае держатели отводят меньше тепла от спирали.

Перерыв в спирализации для образования тире осуществляют одним из двух способов. По первому способу после навивания заданного числа витков резко увеличивают скорость поступательного движения керна, а навивочная головка в это время продолжает вращаться с неизменной скоростью. По второму способу после навивания заданного числа витков приостанавливают вращение навивочной головки (прерывают навивание), а керна в это время продолжает поступательно перемещаться с неизменной скоростью. Первый способ применяют на станках с кулачковым управлением, а второй — на станках с электромагнитным управлением. При первом способе тире получается кривым в виде растянутого витка, а при втором — почти прямым, параллельным оси спирали.

На станках с кулачковым управлением типа СГТК общее число витков между двумя смежными тире регулируют перестановкой сменной шестерни и сменного эксцентрикового кулачка. Когда зубец вращающегося кулачка соскакивает с сопряженного с ним толкача, керна совершает быстрый проскок вперед, образуя тире. За время одного оборота кулачка с одним зубом навивается одна спираль и образуется одно тире. Сколько зубцов имеет кулачок, столько спиралей или секций спиралей, разделенных между собой тире, получается при полном обороте кулачка. При изготовлении спиралей с малым числом витков пользуются кулачком с большим числом зубцов (до 24).

На станках с электромагнитным управлением типа СГТМ шпиндель снабжают электромагнитной муфтой и электромаг-

нитным тормозом. В периоды прохождения тока электромагнитная муфта входит в зацепление с навивочной головкой, заставляя ее вращаться и производить навивание; тормозные колодки на это время отводятся. В периоды прекращения подачи тока муфта выходит из зацепления с навивочной головкой, а тормозные колодки под действием пружин резко ее

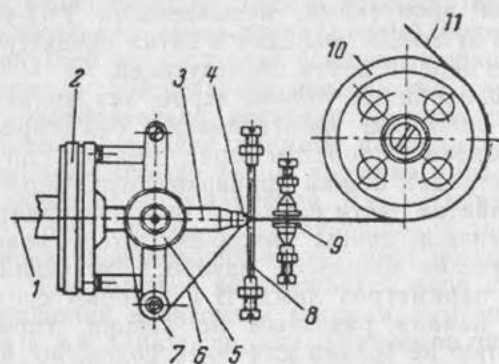


Рис. 7-3. Навивочная головка спирализационной машины СГТМ.

1 — керн; 2 — головка; 3 — трубка; 4 — дюза; 5 — шпуля; 6 — вольфрамовая проволока; 7 — ролик; 8 — «солдатик»; 9 — ролик; 10 — тянущий диск; 11 — спираль на керне.

останавливаются, заставляя прервать навивание. Прямолнейность тире обеспечивают свободно вращающимся направляющим молибденовым штифтом («солдатиком») и миниатюрным роликом (рис. 7-3). Штифт прижимает вольфрамовую проволоку к керну непосредственно за дюзой навивочной головки, а ролик прижимает вольфрамовую проволоку к керну на расстоянии, равном длине тире. Штифт препятствует растяжению первых витков спирали

после образования тире и вместе с роликом не позволяет вольфрамовой проволоке на участке тире обвиваться вокруг керна. Прижим штифта регулируют. Он должен быть не слишком сильным, чтобы не повреждать спираль, и не слишком слабым, чтобы не получалось кривое тире. Вольфрамовую проволоку в процессе спирализации подвергают прямому или косвенному электрическому нагреву. Нагретая проволока становится более пластичной, плотнее и равномернее облегает тело керна и спирализуется без обрывов и расслоений. Зачастую обрывы и расслоения при спирализации ошибочно приписывают плохому качеству вольфрамовой проволоки, в то время как в действительности они вызываются недостаточным нагревом проволоки. Нагретая проволока прочнее закрепляется на керне и не смещается с него при внезапных обрывах. Кроме того, нагрев слегка окисляет проволоку, облегчая в дальнейшем очистку спирали от аквадага. Прямой нагрев осуществляют пропуском тока непосредственно через участок проволоки от направляющего ролика навивочной головки до керна, а косвенный — электрическим накалом М-образного или спиралеобразного нихромового нагревателя, помещенного непосредственно около места формования витков. Прямой нагрев применяют при спирализации главным

образом толстых проволок, а косвенный — тонких. Температуру прямого нагрева контролируют амперметром, а косвенного — по цвету накала нихромового нагревателя.

При прямом нагреве температура проволоки в периоды остановок навивочной головки значительно превышает температуру проволоки в периоды вращения, так как в первом случае нагреваемый участок проволоки меньше охлаждается окружающим воздухом, чем во втором. Поэтому на некоторых станках ток прямого нагрева в периоды образования тире уменьшают автоматическим переключателем. Слишком сильный нагрев приводит к переокислению проволоки, а слишком слабый — к обрывам или расслоению ее. Так как навивание раскаленной проволоки на толстый холодный керн может тоже привести к расслоению, то при изготовлении спиралей из толстой проволоки на толстом керне нагревают ток и сам керн.

Керн перемещается при спирализации в равномерно натянутом состоянии. Натяжение его регулируют фрикционным или ленточной пружиной, тормозящей спускную катушку. Слишком сильно натянутый керн вытягивается, изменяясь в диаметре, а слабо натянутый — провисает, перемещается с непостоянной скоростью и неравномерно обвивается спиралью. Чем толще керн, тем сильнее его натягивают. При одинаковой толщине молибденовый керн натягивают сильнее, чем стальной. Тонкий керн больше склонен к обрывам, а толстый — к вытягиванию.

На некоторых спирализационных станках керн с целью предупреждения скольжения и пульсации обводят в виде восьмерки сначала между подающим диском и вспомогательным роликом, а затем между тянущим диском и другим вспомогательным роликом. Во избежание растяжения или сжатия витков следят, чтобы диаметры подающего и тянущего дисков были строго одинаковы.

Вольфрамовую проволоку тоже равномерно натягивают при спирализации. Натяжение ее регулируют винтом, прижимающим шпулю к пружине, и периодически проверяют переносным динамометром. Чем толще проволока, тем сильнее ее натягивают. Например, проволоку диаметром около 20 мк натягивают с силой 5—8 Г, а диаметром около 100 мк — с силой 85—95 Г. Слишком сильно натянутая проволока растягивается, глубоко врезается в тело керна или рвется, а слабо натянутая — смещается с поверхности керна и навивается с неравномерным шагом. С увеличением натяжения уменьшается диаметр витков и вес готовых спиралей. При одинаковом натяжении вольфрамовая проволока врезается в стальной керн глубже, чем в молибденовый. Внезапные изменения растягивающей нагрузки на вольфрамовую проволоку вызывают обрывы или местные растяжения и сжатия спирали. Витки спирали ложатся на матовую поверхность керна ровнее, чем на глянцевую.



На обрывность вольфрамовой проволоки при спирализации оказывает влияние режим ее волочения. Сильно упрочненная волочением недостаточно отожженная нагартованная вьющаяся проволока склонна к расслаиванию при спирализации, а слабо упрочненная пережатая проволока, обладающая малым разрывным усилием, ломается при спирализации. Проволока, имеющая непостоянные по длине механические свойства, в местах с повышенным или пониженным сопротивлением разрыву соответственно расслаивается или ломается. Расслаивание зачастую принимает характер внутренней продольной трещины настолько малых размеров, что с трудом обнаруживается под микроскопом. Спирали с такими трещинами отличаются малой механической прочностью. Скрытые расслойные трещины в проволоке легко выявляются при растяжении спиралей после вытравления керн или при включении спиралей на пониженное напряжение. В последнем случае участки спиралей с большими расслойными трещинами светятся слабее, чем остальные участки. Незначительные расслойные трещины на световую отдачу и долговечность ламп не влияют.

Тонкая поверхностная пленка аквадага, оставленная на вольфрамовой проволоке после волочения, не только не затрудняет спирализацию, но в известной мере даже облегчает ее тем, что, действуя как смазка, уменьшает число обрывов при спирализации.

Спирализационные станки обычно снабжают электроблокирующим устройством, приостанавливающим спирализацию в случаях неожиданного обрыва вольфрамовой проволоки и предупреждающим этим излишний расход керн. На таких станках проходящий по вольфрамовой проволоке небольшой ток приводит в действие реле, которое при обрыве или опустевшей катушке автоматически отключает приводной электродвигатель и зажигает сигнальную лампу. После обрыва конец вольфрамовой проволоки приваривают к керну методом конденсаторной сварки.

Производительность спирализационных станков зависит от скорости вращения навивочной головки и требуемого общего числа витков на одну спираль. Большинство станков непрерывной спирализации работает со скоростью 3 000—5 000 об/мин, а станков прерывистой спирализации — 900—2 500 об/мин. При чрезмерно большой скорости навивки станки, быстро изнашиваясь, перестают обеспечивать постоянство шага спиралей. Если при спирализации наблюдается повышенное число обрывов или спираль получаются с расслойными трещинами или другими недостатками, прибегают к уменьшению скорости навивки. Однако это делают лишь в том случае, когда все другие способы устранения обрывов и расслоений не дают положительных результатов.

Большое влияние на навивку спиралей оказывает качество

направляющей дюзы, через отверстие которой проходит керн и которая направляет его при навивании. Дюзу изготавливают из твердого сплава ВК6 по такой же технологии, по какой изготавливают твердосплавные волокна для волочения. Недостаточно твердая дюза быстро изнашивается. Рабочий канал дюзы тщательно полируют. Диаметр его выходного отверстия задают в зависимости от диаметра применяемого керн из расчета, чтобы первый превышал второй не более чем на 0,005—0,01 мм. При канале слишком большого диаметра керн, проходя через него, вибрирует, вследствие чего витки спирали ложатся на керн под непостоянным углом. После навивания каждой партии спиралей дюзу очищают от пыли и проверяют диаметр и форму ее канала. Такая мера предупреждает случаи неравномерного торможения керн и неравномерной навивки спиралей.

Спирализационные станки снабжают микроскопом с 7—10-кратным увеличением для наблюдения за качеством навивки. Некоторые станки для облегчения контроля постоянства шага снабжают стробоскопическим устройством, мгновенно освещающим спираль 1 раз за время навивания каждого витка. Такое прерывающееся освещение в одном и том же положении навивочной головки при каждом обороте позволяет отчетливо рассматривать в микроскоп быстро движущуюся спираль как бы в положении покоя.

Спирали даже с незначительными отклонениями шага являются браком. Неравномерность навивки, если она не вызвана некруглым поперечным сечением или неравномерной твердостью проволок, зачастую удается устранить тщательной центровкой тянущего диска и регулировкой торможения керн.

Обязанности операционной работницы на спирализационных станках заключаются в заправке вольфрамовой проволоки и керн, съеме спиралей на керне и наблюдении за ходом спирализации. Обслуживая линию, состоящую из 15—30 шпинделей, операционная работница наблюдает за тем, чтобы головки со шпулей вращались без биения, тянущие диски и направляющие ролики вращались без заедания, керн перемещался без рывков и вибраций.

Важно, чтобы на всех станках, изготавливающих спирали для одного и того же типа ламп, соблюдался одинаковый режим спирализации (скорость, натяжение, нагрев). Невыполнение этого требования вызывает увеличение разброса световых и электрических параметров ламп.

Спирали крупных размеров из толстой проволоки (для ламп мощностью более 3 квт) изготавливают способом, применяемым в общем машиностроении при изготовлении стальных спиральных пружин. Нагретую до вишнево-красного каления вольфрамовую проволоку навивают на неподвижный

Таблица 7-1

## Технические параметры спирализационных станков

Тип машины	С тире или без тире	Диаметр навиваемой вольфрамовой проволоки, мм	Диаметр керн, мм	Число витков на 1 м	Скорость вращения шпинделя, об/мин	Мощность привода двигателя, квт
СГ-2	Без тире	0,01—0,05	0,05—0,3	14—55	1 000—3 000	0,125
СГ-3	То же	0,03—0,065	0,06—0,3	8,6—32	3 000—5 000	0,250
СГТМ-0	С тире	0,012—0,045	0,06—0,3	13,1—28,2	900	0,125
СГТМ-2	То же	0,06—0,15	0,1—0,8	1,9—20,4	900	0,125
СГТК-2	" "	0,015—0,045	0,15—0,8	1—18	1 500—2 500	0,250

постоянный керн, отсчитывают требуемое число витков и секций спирали, откусывают концы и снимают спираль с керна. Для изготовления таких спиралей используют токарно-винторезные станки, специально приспособленные для этой цели.

По аналогичному принципу работают спирализационные автоматы с постоянным керном, навивающие, отрезающие и формующие короткие спирали для некоторых типов низковольтных специальных ламп. На таких автоматах конструкции Э. Ф. Крышика вольфрамовую проволоку наматывают на круглый стерженек из пружинной проволоки, остающийся в автомате после навивки. Как только наматывается заданное число витков, стерженек механически извлекается из спирали и затем снова подводится к навивочной головке для изготовления следующей спирали. По окончании навивания каждой спирали и образования тире подходит дисковый нож, который отрезает спираль.

В табл. 7-1 приведены основные технические параметры некоторых спирализационных станков, применяемых на отечественных электроламповых заводах.

## 7-2. ОБРАБОТКА СПИРАЛЕЙ НА КЕРНЕ

## а) ОБЕЗЖИРИВАНИЕ

Спирали на керне, намотанные на перфорированные (дырчатые) катушки из нержавеющей стали, очищают от жировых и масляных загрязнений погружением на 10 мин в ванну с трихлорэтиленом или авиационным бензином. Предпочтение отдают трихлорэтилену, несмотря на его токсичность и высокую стоимость, потому что он лучше, чем бензин, растворяет жиры. Кроме того, бензин горюч, а трихлорэтилен негорюч. После обработки в трихлорэтилене спирали без промежуточной промывки в воде погружают на 20—30 мин в кипящий 15%-ный раствор щелочи для грубой очистки от аквадага. Далее спирали отмывают от щелочи проточной водой и сушат в центрифуге. Обработка трихлорэтиленом и щелочью облегчает в дальнейшем травление спиралей и уменьшает загрязнение травильных

растворов графитом. Хорошо обезуглероженная и обезжиренная спираль при последующей термической обработке не дымит.

В последнее время предложена очистка спиралей на керне с помощью ультразвука<sup>1</sup>. Спираль перематывают с одной катушки на другую через ряд ванн, заполненных 20%-ным раствором щелочи и проточной водой. В донья ванн вмонтированы магнитострикционные излучатели ультразвуковых колебаний<sup>2</sup>. Под действием таких колебаний в растворе возникают пузырьки, которые, захлопываясь, вызывают сильные ударные волны, выбивающие из вольфрама частицы графита, окислов и загрязнений.

Обработка в щелочи с применением ультразвука лучше и быстрее очищает спирали от аквадага, чем такая же обработка без применения ультразвука. Потеря в весе спирали после ультразвуковой очистки составляет 1—1,5%. Производительность установки в зависимости от диаметра проволоки и диаметра спирали составляет от 5 до 50 м/мин.

## б) ОТЖИГ

При навивании вольфрамовой проволоки на керн наружные волокна спирали растягиваются и удлиняются, внутренние — сжимаются и укорачиваются, а осевые — остаются без изменений. Чем меньше отношение диаметра керна к диаметру навиваемой проволоки, тем больше волокна металла растягиваются на выпуклой стороне и сжимаются на вогнутой. У некоторых спиралей длина витка по наружной поверхности может превышать длину витка по внутренней больше, чем в 2 раза.

Растяжение и сжатие волокон при спирализации приводит к возникновению в спирали значительных внутренних напряжений, которые, суммируясь с напряжениями, созданными при волочении, способны образовать расслоенные трещины или развить спираль в бесформенный комок, если удалить из нее керн.

Для снятия части напряжений (устранения наклепа), предварительного закрепления формы спиралей на керне и очистки вольфрама от остатков аквадага производят восстановительный отжиг спиралей вместе с керном в препарировочном газе.

Установка отжига состоит из электрической печи с алундовым муфелем диаметром 25 мм, длиной 600 мм и трубчатого холодильника со стенками, охлаждаемыми проточной водой (рис. 7-4). Через холодильник и муфель пропускают противоток неосушенный препарировочный газ. Спирали на керне перематывают через муфель и холодильник со спускной катушки

<sup>1</sup> Ультразвуком называются механические колебания упругой среды с частотой выше 20 кГц, невоспринимаемые человеческим ухом.

<sup>2</sup> Магнитострикцией называется изменение размеров тела при намагничивании.

на приемную. Спирали на стальном керне отжигают при 950—1050°С со скоростью 1—2 м/мин, а на молибденовом — при 1100—1200°С со скоростью 4—4,5 м/мин. Постоянство температуры в зонах накала поддерживают терморегулятором. С увеличением диаметра керна повышают температуру отжига и уменьшают скорость перемотки. При слишком высокой температуре, спирали частично рекристаллизуются и становятся

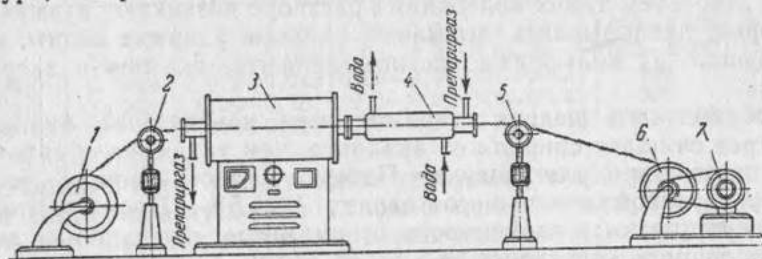


Рис. 7-4. Установка термической обработки спирали на керне.  
1 — спускная катушка; 2 — направляющий ролик; 3 — печь; 4 — холодильник; 5 — поддерживающий ролик; 6 — приемная катушка; 7 — приводной механизм.

хрупкими, а при слишком низкой — остаются нагартованными. Спирали на молибденовом керне для механизированного монтажа отжигают 2 раза: первый раз при 1000—1100°С с целью обезуглероживания, а второй раз при 1350—1450°С с целью закрепления формы. Вместо двукратного отжига в двух отдельных печах обычно производят однократный отжиг в одной двухзональной печи. Такую печь спаривают из двух индивидуальных печей, каждая из которых может работать при заданной температуре. Печи с целью экономии производственной площади и повышения производительности труда монтируют в два или три яруса и через каждый ярус перематывают спирали в два ручья.

При отжиге не допускают слишком большого или малого натяжения спиралей, чтобы в первом случае керн, будучи ослабленным нагревом, не растягивался, а во втором случае спирали, проходя зону накала, не касались стенок муфеля и не задевали краев входного и выходного отверстий печи.

При отжиге остерегаются следующих видов брака: 1) хрупкая — вследствие диффузии в спираль железа из нагретого до высокой температуры стального керна или диффузии в спираль углерода из недостаточно очищенного от аквадага молибденового керна; 2) окисленная — вследствие подсоса в муфель печи воздуха или падения давления репарировочного газа.

#### в) РЕЗКА

Отожженную спирализованную проволоку на керне разрезают по середине тире или по виткам на отдельные отрезки заданной длины. Спирали с непрерывной навивкой (без тире)

разрезают на станках с механической подачей; спирали с прерывистой навивкой (с тире) — на станках с ручной или механической подачей; спирали длиной до 10 мм на керне диаметром меньше 0,20 мм — ножницами вручную.

Станок с механической подачей для резки непрерывных спиралей длиной от 10 до 120 мм работает при помощи кривошипно-шатунного механизма. Такой механизм приводит в воз-

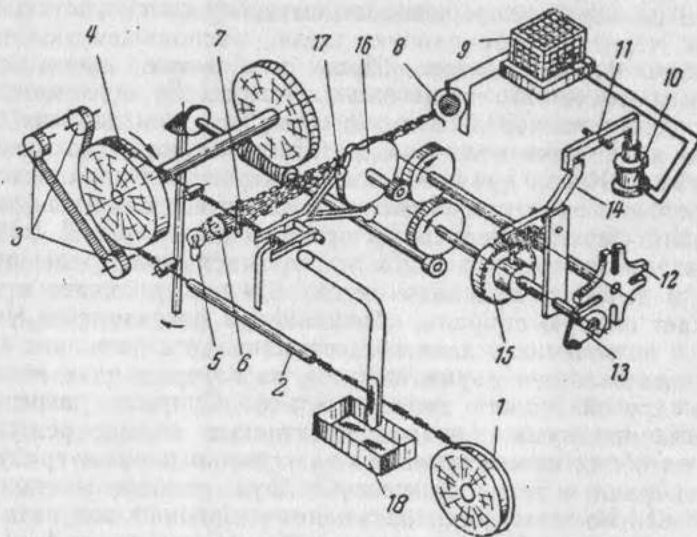


Рис. 7-5. Схема автомата резки спиралей с фотоэлементом.  
1 — катушка со спиралями на керне; 2 — направляющая трубка; 3 — направляющие ролики, натягивающие спираль; 4 — привод от электродвигателя; 5 — подсвечивающая лампа накаливания типа СЦ-70; 6 — система собирающих линз; 7 — гнездо для личинки с калиброванной целью; 8 — вакуумный фотоэлемент; 9 — усилитель; 10 — электромагнит; 11 — рычаг (защелка); 12 — мальтийский крест; 13 — ведущий ролик (поводок); 14 — собачка; 15 — храповик; 16 — эксцентрик; 17 — режущий инструмент; 18 — приемная тара для нарезанных спиралей.

вратно-поступательное движение металлические губки, захватывающие спираль за несколько начальных витков и перемещающие ее на заданную длину. Режущий механизм состоит из двух совмещенных дисковых ножей, приводимых в движение эксцентриковыми кулачками. Ножи разрезают спирали на отрезки длиной, регулируемой изменением радиуса кривошипа. Производительность станка возрастает с уменьшением длины спиралей.

Станок с ручной подачей для резки прерывистых спиралей оснащают двумя поджатыми друг к другу переставными дисковыми ножами, имеющими 12 радиальных прорезей с режущими лезвиями. Каждая пара лезвий работает как ножницы, периодически (130—170 раз в минуту) сходясь и расходясь приводом от электродвигателя. После притупления очередной пары лезвий поворачивают ножи и вводят в работу другую пару. Работница

вручную перемещает спираль и подставляет под нож середину тире. При аккуратной работе нарезанные спирали получают с допуском на длину  $\pm 1$  мм. Для резки спиралей с более жестким допуском ( $\pm 0,5$  мм) применяют станок с двумя парами ножей, подрезающими каждую спираль с двух сторон.

Автомат резки прерывистых спиралей с механической подачей (рис. 7-5) разрезает спирали по сигналу фотоэлемента. Спирали на керне непрерывно перемещают со скоростью 1,5—5 м/мин через калиброванную щель, расположенную перед вакуумным фотоэлементом. Щель освещается лучом света, усиленным системой собирающих линз. В зависимости от того, проходит ли через световую щель тире или навитая часть спирали, изменяется величина светового потока, падающего на фотоэлемент. Когда луч света в щели пересекает тире, освещенность фотоэлемента увеличивается и ток в его цепи возрастает. Возросший фототок, усиленный приемно-усилительной лампой, вызывает замыкание контактов электромагнитного реле, приводящего в действие механизм резки. Когда луч света в щели пересекает полную спираль, освещенность фотоэлемента уменьшается и положение в цепи восстанавливается прежним. Механизм резки снабжен двумя ножами, из которых один неподвижен, а другой может переставляться. Спираль разрезается одновременно двумя ножами. Расстояние между режущими кромками обеих ножей устанавливают точно равным требуемой длине спирали с тире. Применение двух отдельных ножей и регулировка момента их срабатывания позволяют получать тире одинаковой длины. При спирализации тире делают на 1—1,5 мм длиннее двух тире уже нарезанных спиралей. Излишек тире, отрезанный ножами, падает в уловитель для отходов. Спирали короче 25 мм разрезают одним ножом. Отрезанные спирали сдуваются струей сжатого воздуха в приемную тару. Хорошо налаженный автомат может выдавать спирали с допуском на длину  $\pm 0,5$  мм.

Для изготовления спиралей в форме дужки спирализационные станки с электромагнитным управлением снабжают муфелом для низкотемпературного отжига и узлами резки и формовки. Узел резки разрезает отожженную спираль по середине тире, а узел формовки формует ее роликом на оправке в виде латинской буквы U.

Нарезанные спирали не должны иметь в концах изгибов, расслоений и заусенцев. Спирали, в которые при монтаже или формовке должен вставляться отрезок керна, не должны иметь в концах закрытых сплюснутых витков.

#### г) ТРАВЛЕНИЕ

Операция травления состоит в полном удалении из спиралей керна, а также в доочистке поверхности спиралей от оставшихся окислов, аквадага и органических загрязнений. Ее выполняют

последовательным погружением нарезанных спиралей в сосуды с различными жидкостями, объемный или весовой состав которых назначают в зависимости от материала керна. При травлении стремятся достичь наибольшей скорости растворения керна при наименьшей потере в весе спиралей и наименьшем расходе травильных жидкостей. Спирали, изготовленные на постоянном керне, и спирали, освобожденные от керна механическим способом, тоже подвергают травлению, но только с целью очистки.

Травление спиралей на молибденовом керне начинают с погружения их в травильную жидкость, составленную из трех частей азотной кислоты удельного веса 1,36, одной части серной кислоты удельного веса 1,83 и одной части воды (все в объемных единицах). На некоторых заводах применяют тройной раствор с другим соотношением азотной и серной кислот, например 32%  $\text{HNO}_3$  ( $\gamma=1,36$ ), 32%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $\gamma=1,62$ ) и 36%  $\text{H}_2\text{O}$  (все в весовых процентах). На одном из зарубежных предприятий 5 л травильной смеси готовят из 2,07 л  $\text{HNO}_3$  ( $\gamma=1,40$ ), 1,5 л  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $\gamma=1,84$ ) и 1,43 л  $\text{H}_2\text{O}$ .

Азотная кислота, содержащаяся в смеси, хорошо окисляет поверхность металлического молибдена до трехоксида, которая затрудняет доступ кислоты к металлу и тем самым замедляет его растворение, а серная — тотчас же растворяет трехокись, ускоряя тем самым растворение металлического молибдена. Уменьшение содержания  $\text{HNO}_3$  в смеси ведет к повышению потери веса вольфрама, а уменьшение содержания  $\text{H}_2\text{SO}_4$  — замедляет скорость травления. При одновременном травлении спиралей в малых количествах смесь нагревают до 70°С, а при одновременном травлении в больших количествах травильный состав не подогревают, так как сама реакция протекает бурно и сопровождается обильным выделением тепла. Об окончании реакции судят по прекращению выделения бурых паров окислов азота. Протравленные спирали промывают проточной водой и погружают в подогретый до 70—90°С состав из двух объемных частей азотной кислоты, одной объемной части серной кислоты и двух объемных частей воды для контроля полноты вытравливания керна по газовым пузырькам. Затем после промывки проточной водой спирали погружают в кипящий 5%-ный раствор едкой щелочи для нейтрализации кислот и очистки от окислов, образовавшихся на поверхности спиралей под действием кислот. Далее спирали промывают в горячей проточной воде, после чего 2—3 раза окунают в ванну с ацетоном или спиртом и сушат в сушильном шкафу или под инфракрасной лампой с внутренним отражателем при температуре не выше 100°С. Спирт (или ацетон) быстро поглощает остатки влаги и испаряется при более низкой температуре, чем вода.

Травление спиралей на стальном керне начинают с погружения их в кипящий 15%-ный раствор едкой щелочи для пред-

варительной очистки от окислов, масел и аквадага и облегчения доступа кислоты к керну. Затем после промывки проточной водой спирали погружают в кипящую соляную кислоту удельного веса 1,185 или кипящую серную кислоту удельного веса 1,83 с небольшой добавкой азотной кислоты и держат в ней до полного растворения керна, которое определяют по прекращению выделения пузырьков водорода. Далее спирали промывают проточной водой и погружают в горячий состав из двух объемных частей  $\text{HNO}_3$ , одной объемной части  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и двух объемных частей воды для контроля полноты вытравливания керна по газовым пузырькам. Затем после промывки проточной водой спирали снова погружают в кипящий раствор щелочи, дистиллированную воду и сушат в сушильном шкафу или под инфракрасной лампой. Спирали из толстой проволоки сушат в центрифуге. Центробежные силы, развивающиеся при быстром вращении барабана центрифуги, заставляют влагу со всеми растворенными в ней веществами отрываться от спиралей и выбрасываться через отверстия в стенках барабана.

Травление спиралей на молибденовом и стальном кернах протекает тем быстрее, чем тоньше kern и чем больше шаг навивки.

При травлении необходимо соблюдать следующие общие правила:

1) не класть в большую травильную ванну малое количество спиралей и в малую травильную ванну большое количество спиралей; класть спирали в ванну из расчета 150—200 г стального керна на 1 л кислоты и 130—150 г молибденового керна на 1 л смеси кислот;

2) травить спирали на молибденовом керне не слишком большими или малыми партиями, чтобы в первом случае реакция растворения не протекала слишком бурно, а во втором случае — вяло;

3) держать спирали в ваннах полностью погруженными в растворы;

4) не задерживать спирали в травильной ванне после завершения растворения керна;

5) загружать травильные ванны по возможности спиралями одного типа, особенно когда травят спирали на молибденовом керне;

6) не допускать слишком высокой или низкой температуры растворов (при вытравливании молибденового керна нагрев выше  $90^\circ\text{C}$  приводит к окислению спиралей);

7) проверять плотность травильного и щелочного растворов ареометром;

8) не оставлять спирали мокрыми на воздухе; сушить их немедленно после последней промывки;

9) не сушить спирали из тонкой вольфрамовой проволоки в центрифуге во избежание их деформации;

10) не перегревать спирали при сушке сушильной лампой во избежание их окисления (сушка после промывки в ацетоне протекает быстрее и с меньшей опасностью окисления, чем после промывки в спирте).

Многочисленная промывка спиралей водой преследует цель не допускать загрязнения или ослабление действия кислот и щелочей веществами, перенесенными из одного раствора в другой. Применяемая для промывки проточная водопроводная вода не должна содержать веществ, образующих при взаимодействии с травильными составами нерастворимые осадки. На последней промывке рекомендуется применять горячую дистиллированную или деминерализованную воду.

После вытравливания керна спирали под действием внутренних напряжений, возникших при навивке, удлиняются не более чем на 4%.

Вытравление керна из спиралей всегда вызывает некоторое уменьшение диаметра вольфрамовой проволоки и соответственное уменьшение веса спиралей. Фактически в лампе работает проволока меньшего диаметра, чем та, которая была взята для изготовления спирали. Потеря в весе спирали бывает больше при вытравливании молибденового керна, чем стального. При вытравливании стального керна выделяющийся водород разрыхляет графитовую и окисную пленки, облегчая последующее смывание щелочью графита и окислов и вызывая незначительное утонение вольфрамовой проволоки. При вытравливании молибденового керна вольфрам покрывается окисной пленкой, хорошо растворяющейся в щелочи. За счет удаления этой пленки, а также стравливания тончайшего слоя вольфрама, являющегося подслоем для удаляемых окислов и графита, нарушается механическое сцепление между вольфрамом и графитом, вследствие чего проволока становится несколько тоньше. Потеря в весе, определяемая сравнением веса спиралей с вытравленным и механически удаленным керном, не должна превышать 3—5%. В производстве бывают нежелательные отклонения, достигающие 1—2 и 7—10%. Те и другие влекут за собой увеличение разброса световых и электрических параметров ламп. Малая потеря в весе, кроме того, служит признаком недоочистки спиралей от графита. Повышенная потеря в весе вызывается: увеличением времени травления спиралей в сильно нагретой травильной смеси азотной и серной кислот, высокой начальной температурой смеси кислот, одновременным травлением большого количества спиралей на молибденовом керне в сосудах малого размера, одновременным травлением спиралей на толстом и тонком керне, недостаточным содержанием в травильной смеси азотной кислоты и длительным пребыванием спиралей в разбавленной соляной кислоте, содержащей растворенное железо. Сильно перетравленные спирали спутываются и приходят в полную негодность.

Спирали, высушенные после травления, должны иметь металлическую серую поверхность без следов окислов и пятен. Темный цвет спиралей свидетельствует о неполном удалении аквадага.

С целью уменьшения потерь спиралей и повышения производительности труда спирали на стальном керне и спирали на молибденовом керне диаметром более 0,4 мм перед травлением закладывают во вкладыши из плотной вольфрамовой сетки, а вкладыши закладывают в мешки из такой же сетки. Все описанные выше операции выполняют, не извлекая спиралей из вкладышей и мешков. Тонкие спирали на молибденовом керне травят в фарфоровых глазурованных или стеклянных чашках без применения вкладышей и мешков, а дальнейшую обработку их в щелочи ведут во вкладышах из медной сетки. Сушку спиралей в центрифуге ведут в мешках из вольфрамовой сетки.

Перед травлением пустой керн и спирали с обрывками вольфрамовой проволоки и заметными невооруженным глазом другими недостатками удаляют, чтобы не расходовать на них травильных жидкостей.

Травление производят в изолированном от остального производства помещении, чтобы присутствие в воздухе паров кислот не вызывало коррозии металлических деталей оборудования. Травильные сосуды размещают в шкафу, футерованном кислотостойкой нержавеющей сталью или толстым листовым винилпластом. Смеси кислот готовят в отдельном помещении и подают в травильные сосуды самотеком по кислотостойким трубопроводам. Обработку в кислотах ведут в фарфоровых или винилпластовых сосудах, а обработку в щелочи — в ваннах из технического серебра или нержавеющей стали. Рабочие растворы кислот и щелочей подогревают острым паром или герметизированными электрическими нагревателями. Травильный шкаф оборудуют мощной вытяжной вентиляцией. Канализационную систему для стекания отработанных растворов изготавливают из кислотоупорных толстостенных труб. Выделяющиеся при травлении вредные окислы азота отсасывают из травильных сосудов вакуумным насосом и улавливают в баках с водой для последующего повторного использования образующейся азотной кислоты.

При травлении спиралей на молибденовом керне отработанную смесь кислот, содержащую значительное количество растворенного молибдена (80—180 г/л), собирают в специальном баке и регенерируют. Один из экономичных способов использования отработанных травильных растворов состоит в нейтрализации аммиаком отработанной смеси, выпаривании влаги из нейтрализованного раствора и прокаливании смеси аммонийных солей. Получающийся порошкообразный продукт нашел применение в сельском хозяйстве в качестве микроудобрений.

## 7-3. ОБРАБОТКА СПИРАЛЕЙ ПОСЛЕ УДАЛЕНИЯ КЕРНА

### а) ПРЕПАРИРОВАНИЕ

Освобожденные от керна, травленные, промытые и просушенные спирали подвергают термической обработке (препарированию) в электрической печи с атмосферой препарировочного газа. Такая обработка преследует цель снятия со спиралей внутренних напряжений и удаления из спиралей загрязнений, не выведенных травлением. При прокаливании выделяются из спиралей сорбированные газы и газообразные продукты разложения поверхностных загрязнений; одновременно восстанавливаются остатки неудаленных травлением окислов вольфрама.

Термическую обработку выполняют в электрической печи с плоскостонным алунодым муфелем длиной около 600 мм и холодильником с двойными стенками, между которыми циркулирует охлаждающая водопроводная вода (рис. 7-6). Муфель нагревают электрическим нагревателем из молибденовой проволоки. Пространство вокруг муфеля заполняют теплоизоляционным материалом. Препарировочный газ подают с расходом 0,3 м<sup>3</sup>/ч в направлении, противоположном подаче спиралей. По выходе из печи газ поджигают. Светящееся пламя газа указывает на рабочее состояние печи, позволяет следить за бесперебойной подачей газа и устраняет опасность накопления взрывоопасной смеси в рабочем помещении.

Лодку с вольфрамовыми

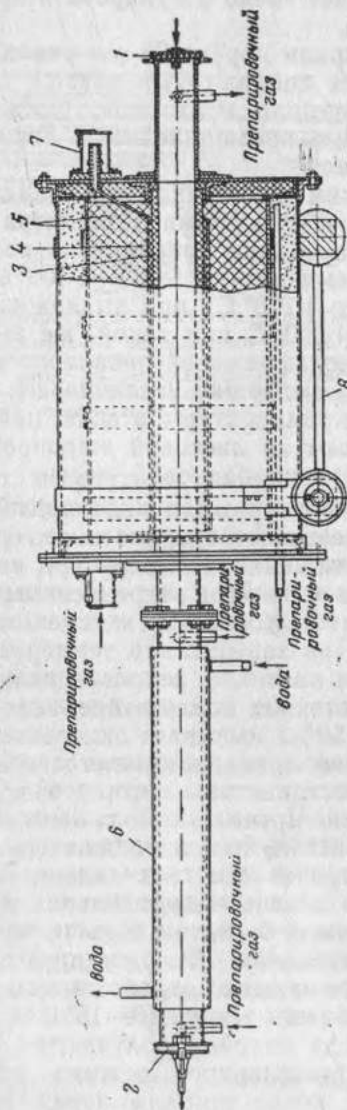


Рис. 7-6. Печь, препарирования спиралей.

1 — отверстие для загрузки спиралей; 2 — отверстие для вытяжки спиралей; 3 — алунодовый муфель; 4 — молибденовая обмотка; 5 — теплоизоляция; 6 — холодильник; 7 — коробка выводов; 8 — гележка.

спиралями помещают в загрузочный патрубок, проталкивают молибденовым стержнем в зону равномерного накала муфеля, выдерживают в этой зоне заданное время и перемещают дальше в холодильник. После остывания до температуры, исключающей возможность окисления вольфрама, лодку извлекают из холодильника. Механизированные печи снабжают автоматическим толкателем, проталкивающим лодки со спиралями из загрузочного пространства через все зоны печи. Применение толкателя позволяет точно регулировать время выдержки спиралей в зоне накала.

Спирали короче 25 мм укладывают в лодки навалом. Более длинные спиралы укладывают стопками, так чтобы концы их не выступали из стопок. Организованная укладка позволяет сохранять прямолинейность спиралей и не нарушать прочности их концов.

Режим препарирования задают в зависимости от состава присадки вольфрама и диаметра вольфрамовой проволоки. Для препарирования спиралей из вольфрама марки ВА поддерживают температуру 1200—1400°С (для некоторых специальных ламп до 1700°С) при выдержке 10—15 мин, а марки ВМ — 1400—1500°С при такой же выдержке. С увеличением диаметра вольфрамовой проволоки температуру нагрева повышают и время выдержки увеличивают.

Для температуры в зоне накала ниже 1200°С лодки изготавливают из листовой жаропрочной стали, а для более высокой — из молибденовой жести.

Температурный и водородный режимы печи и их постоянство оказывают существенное влияние на качество спиралей. При заниженной температуре или кратковременной выдержке спиралы остаются загрязненными, необезгаженными, с плохо закрепленной формой и склонными к короблению при обжиге ламп. При завышенной температуре или длительной выдержке спиралы частично рекристаллизуются и становятся хрупкими. Недостаточное содержание водорода в препарировочном газе (менее 50%) вызывает окисление спиралей. Малая скорость поступления препарировочного газа замедляет удаление из рабочего пространства печи паров воды и тоже вызывает окисление спиралей. Чрезмерно большая скорость газа приводит к излишнему расходу его и понижению температуры печи. Давление препарировочного газа должно исключать возможность просачивания в печь и холодильник атмосферного воздуха. Расход газа должен быть тем больше, чем выше требуемая температура препарирования. Его регулируют по показаниям ротаметра или по длине пламени отработанного газа. Точка росы газа должна быть не выше минус 10—15°С.

Иногда спиралы получаются хрупкими, даже при соблюдении установленного режима препарирования. Такие случаи бывают, когда спиралы перед препарированием недостаточно

обезжирены или плохо очищены от аквадага. Спирали, подлежащие препарированию при температуре выше 1400°С, препарировать сначала при 1100—1150°С с целью воспрепятствования образованию карбида.

Препарированные спиралы, загрязненные соединениями железа и никеля, тоже получаются хрупкими. Железо и никель способны растворяться в вольфраме. При термической обра-

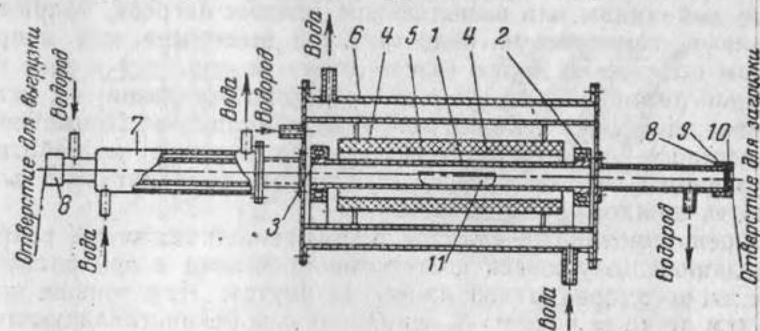


Рис. 7-7. Печь рекристаллизационного отжига спиралей.

1 — вольфрамовый муфель; 2 — водоохлаждаемый неподвижный медный контакт; 3 — водоохлаждаемый подвижный медный контакт; 4 — экран из молибденовой жести; 5 — вольфрамовая вата; 6 — водоохлаждаемый стальной кожух; 7 — холодильник; 8 — крышка; 9 — прижимное кольцо; 10 — смотровое стекло; 11 — вольфрамовая лодочка со спиралями.

ботке спиралей они вызывают непредусмотренную заданным режимом рекристаллизацию вольфрама, искажают микроструктуру вольфрама и понижают прочность спиралей. Такие последствия, в частности, наблюдаются в спиралях, соприкасающихся со стенками стальных лодок при термической обработке выше 1250°С. Поэтому на дно стальных лодок рекомендуется класть подложку из молибденовой жести.

Хрупкость спиралей может быть вызвана плохой сушкой их после травления и малой скоростью поступления препарировочного газа.

Спирали из вольфрама ВА для некоторых низковольтных ламп с целью полного уничтожения внутренних напряжений и точного закрепления приданной формы подвергают рекристаллизующему отжигу. Такой отжиг проводят при 2400°С в специальной электрической печи сопротивления (рис. 7-7), в которой нагревателем служит вольфрамовый муфель длиной 280 мм и внутренним диаметром 21 мм<sup>1</sup>. Через муфель пропускают проточный препарировочный газ с расходом 0,6 м<sup>3</sup>/ч. Заполненную спиралью вольфрамовую лодку вталкивают в середину зоны накала муфеля. Далее плавно поднимают температуру

<sup>1</sup> Муфели изготавливают сворачиванием в трубку заготовки, вырезанной из вольфрамовой жести.

муфеля до  $2400^{\circ}\text{C}$  и дают выдержку, требуемую для полного завершения собирательной рекристаллизации (3—10 мин в зависимости от диаметра вольфрамовой проволоки). После плавного снижения температуры лодку со спиралью продвигают в холодильник. Температуру в зоне накала муфеля косвенно контролируют амперметром, показания которого периодически сверяют с показаниями оптического пирометра. При неправильно выбранном или выполненном режиме нагрева, например при низкой температуре, недостаточной выдержке или неправильном положении лодки (часть лодки помещается в зоне пониженной температуры) процесс рекристаллизации не успевает завершиться, и спирали получаются хрупкими. Применение программного управления позволяет по заранее разработанному заданию автоматически регулировать температуру и длительность каждой фазы нагрева.

Отпрепарированные спирали с доведенной до конца рекристаллизацией получают достаточно прочными и при растяжении до полуторакратной длины не рвутся. Чем тоньше спираль, тем легче ее испортить неправильным рекристаллизующим отжигом. Хрупкость чаще наблюдается в тире, чем в витках, так как тире, не будучи нагартованной спиралью, рекристаллизуется медленнее, чем витки. В витках может полностью сформироваться крупнокристаллическая структура, а в тире остаться следы волокнистой структуры.

Все печи термической обработки спиралей перед включением нагрева тщательно промывают репрепарировочным газом с целью лучшего вытеснения воздуха. После отключения нагрева подачу газа не прекращают до тех пор, пока температура рабочего пространства печи не упадет до  $300^{\circ}\text{C}$ . Несоблюдение этих правил влечет за собой перегорание нагревателя.

## 6) ФОРМОВАНИЕ

На спирализационных станках, как правило, изготавливают прямолинейные спирали. Для некоторых типов специальных ламп требуются спирали, состоящие из двух или нескольких прямолинейных секций, разделенных между собой тире и размещенных параллельно или под заданным углом друг к другу. Такие непрямолинейные или многосекционные спирали формируют путем перегибания тире об нагретый электрический мостик («утюжок») из отрезка вольфрамовой или молибденовой проволоки, закрепленного на двух токоподводящих стойках.

Тире спирали прижимают вручную к накаливаемому утюжку. Место соприкосновения нагревается, становится более пластичным и легко изгибается, принимая форму, соответствующую профилю утюжка. Температуру утюжка устанавливают такую ( $200\text{—}400^{\circ}\text{C}$ ), чтобы бумага при соприкосновении с материалом утюжка тлела и обугливалась без вспышки.

Спираль, изогнутая по линии тире, вставляют в молибденовые рамки или укладывают в молибденовые формы. В первом случае (рис. 7-8,а) секции спирали нанизывают на вольфрамовые «иглы» диаметром на несколько сотых долей миллиметра меньше диаметра керна; иглы с надетыми секциями вставляют в отверстия стенок рамки. Во втором случае (рис. 7-8,б) спирали укладывают в формы, состоящие из двух половинок

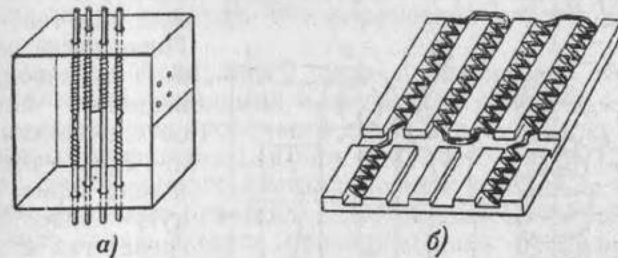


Рис. 7-8. Рамка и форма для отжига формованных спиралей.

а — рамка для спиралей типа «биплан»; б — форма для спиралей типа «моноплан».

с профрезерованными внутри канавками, имеющими очертания спирали; формы накладывают друг на друга и перевязывают в стопки молибденовой проволокой. Рамки и формы, заполненные спиралью, укладывают в молибденовую лодку и отжигают 25—30 мин при  $1400\text{—}1450^{\circ}\text{C}$  в печи с атмосферой репрепарировочного газа. Такая обработка придает спиралью форму, соответствующую расположению игл в рамках или канавок в формах. Спираль одновременно с формованием освобождается от внутренних напряжений, очищается и обезгаживается. После отжига их извлекают из рамок или форм и укладывают в обложенные подпергаментной бумагой картонные коробки.

Многосекционные спирали из тонкой вольфрамовой проволоки формируют на утюжке и отжигают в репрепарировочном газе перед вытравлением молибденового керна.

## 7-4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ БИСПИРАЛЕЙ

Для изготовления биспиралей сначала навивают вольфрамовую проволоку на тонкий керн из молибденовой проволоки и получают первичную спираль (моноспираль). Затем керн с обвитой первичной спиралью навивают еще раз на более толстый молибденовый керн и получают вторичную спираль (биспираль, рис. 7-9). Приемную катушку, на которую наматывают первичную спираль, применяют в качестве шпули при вторичной спиральзации. Первичную спираль готовят без тире на станках непрерывной спиральзации при скорости навивочной головки



2 000—4 000 об/мин, а вторичную — с тире на станках периодической спирализации при скорости навивочной головки 700—900 об/мин. Тире вторичной спирали состоит из неспирализованных участков первичной спирали вместе с первичным керном.

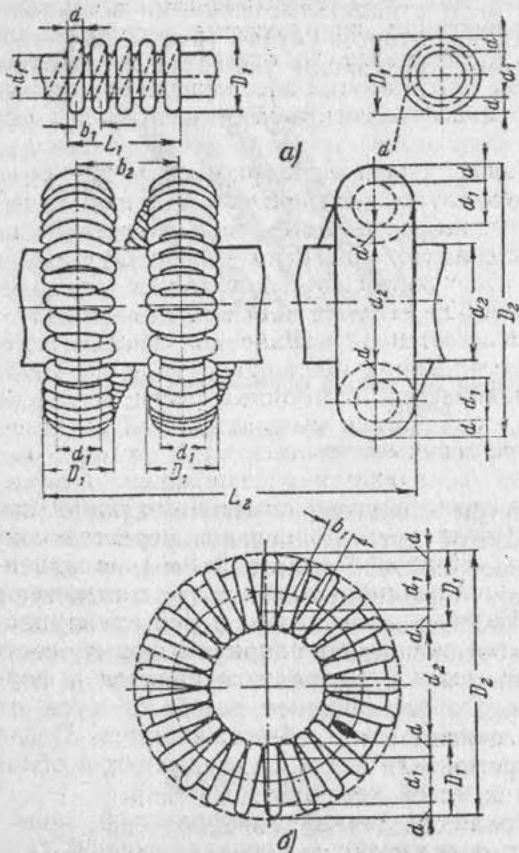


Рис. 7-9. Вольфрамовая биспираль.  $a$  — первичная спираль;  $b$  — вторичная спираль;  $d$  — диаметр вольфрамовой проволоки;  $D_1$  — диаметр первичной спирали;  $D_2$  — диаметр вторичной спирали;  $d_1$  — диаметр первичного керна;  $d_2$  — диаметр вторичного керна;  $L_1$  — длина первичной спирали;  $L_2$  — длина вторичной спирали;  $b_1$  — шаг первичной спирали;  $b_2$  — шаг вторичной спирали.

ная намотка вольфрама и керна на катушки и хорошее качество самих катушек. При спирализации нужно следить за постоянством натяжения вольфрама и керна, в особенности натяжения первичной спирали при навивке на вторичный керн, так как в этом случае, как уже было сказано, на керн навивается не вольфрамовая проволока, а молибденовая, обвитая вольфрамом. Молибден же, обладая более высоким относительным

Как первичная, так и вторичная спирали имеют одностороннюю навивку, т. е. только правую или только левую. Первичную спирализацию производят с косвенным подогревом, обеспечивающим плотное прилегание витков к телу керна, а вторичную — вовсе без подогрева, так как в этом случае навивается не вольфрам на керн, а керн на керн. Первичный керн перед спирализацией очищают электролитическим травлением, а вторичный — отжигом в водороде.

Изготовление биспиралей из тонкой вольфрамовой проволоки сопряжено с большими техническими трудностями, вызываемыми очень малым расстоянием между первичными витками. Для придания биспиралам точных и однородных размеров требуется безупречная работа спирализационных станков, правильная

удлинением, чем вольфрам, легче растягивается. В готовой биспирали вольфрамовая проволока укорачивается на столько же процентов, на сколько растягивается первичный керн при вторичной спирализации.

Биспирали на керне, намотанные на стальные перфорированные ободки, обезжиривают в трихлорэтилене, очищают от аквадага кипячением в растворе щелочи, отмывают от щелочи проточной водой и сушат в центрифуге. Более успешная очистка достигается не на ободках, а с перемоткой и с применением ультразвука.

Просушенные биспирали 2 раза препарируют перемоткой через раскаленный алундовый муфель электрической печи с защитной средой препарировочного газа. Первое препарирование производят со скоростью 1 м/мин при 1 050—1 150°С в атмосфере газа, увлажненного дистиллированной водой, а второе — с такой же скоростью при 1 300—1 400°С или еще выше в атмосфере сухого газа<sup>1</sup>. Первое препарирование (в увлажненном газе) преследует цель обезуглероживания биспиралей; кислород, образующийся от разложения паров воды, реагирует с углеродом и образует окись углерода и углекислый газ, удаляемые проточным препарировочным газом. При этом в биспиралах увеличивается содержание кислорода. Второе препарирование (в сухом газе) преследует цель снятия с биспиралей внутренних напряжений, возникших при первичной и вторичной спирализациях. При этом содержание кислорода в биспиралах уменьшается. Биспирали, препарированные второй раз при недостаточно высокой температуре, укорачиваются после вытравления керна, так как под влиянием выравнивания неснятых напряжений вольфрамовые витки склонны к сближению.

Скорость перемотки биспиралей через печь зависит от диаметра несущей поверхности приемной катушки, который увеличивается по мере заполнения катушки. Чтобы заставить биспирали проходить через печь с одинаковой линейной скоростью, приемную катушку вращают с переменной угловой скоростью, уменьшающейся по мере заполнения катушки. Соблюдение постоянства температуры и линейной скорости важно для предупреждения большого разброса в длине готовых биспиралей.

Термическая обработка биспиралей на керне при высокой температуре требует применения в качестве первичного и вторичного кернов только молибденовой проволоки.

Отпрепарированные биспирали разрезают посередине тире на автоматических станках с управлением от фотоэлемента. Нарезанные биспирали промывают в ацетоне, сушат под сушильной лампой, после чего укладывают пачками по 500—600 шт. в мо-

<sup>1</sup> При продувке через воду давление газа падает, поэтому газ следует подводить под повышенным давлением.

либденовые лодки и третий раз препарируют в стационарной печи в атмосфере сухого препарировочного газа при 1300—1400°С с выдержкой в зоне накала 15—20 мин и охлаждением в холодильнике 5 мин. Третье препарирование преследует цель лучшего снятия внутренних напряжений и окончательного закрепления формы биспиралей.

Из препарированных биспиралей вытравливают одновременно первичный и вторичный керны по обычному режиму травления, установленному для спиралей на молибденовом керне, но меньшими партиями для предотвращения бурной реакции, вызываемой растворением больших масс керна. Травление биспиралей сопряжено с повышением опасности задержки в витках остаточных продуктов реакции травления под влиянием капиллярных сил. Ввиду этого биспиралы после травления подвергают особо тщательной промывке, действие которой усиливают ультразвуком. Биспиралы после удаления керна в отличие от моноспиралей не только не удлиняются под действием внутренних напряжений, а даже укорачиваются до 4% своей длины, что вызывает некоторое уменьшение шага при одном и том же общем числе витков.

Высушенные травленные биспиралы термической обработке больше не подвергают, так как высокотемпературный нагрев без керна искажает их форму.

Некоторые типы коротких моноспиралей с большим внутренним диаметром, с загнутыми прямыми концами и с различным профилем изготавливают с применением вспомогательной спирали (обмотки) из молибденовой проволоки. Вольфрамовую проволоку сначала обвивают молибденовой, затем полученную молибденовую спираль наматывают на постоянный круглый керн или оправку специального профиля. После растворения молибденовой обмотки получается вольфрамовая спираль с внутренним диаметром и шагом, увеличенными на два диаметра молибденовой проволоки.

## 7-5. КОНТРОЛЬ И ИСПЫТАНИЯ СПИРАЛЕЙ

Самые незначительные нарушения технологии изготовления спиралей могут оказать вредное влияние на световые и электрические параметры, механическую прочность и срок службы ламп. Поэтому при изготовлении спиралей требуется повседневное наблюдение за технологическим процессом и тщательный контроль качества готовых спиралей.

Все спирали подвергают внешнему осмотру. Во избежание внесения в них загрязнений разбраковку по внешнему виду стараются производить до препарирования. Для биспиралей, формованных спиралей и тонких моноспиралей разбраковка является последней операцией, поэтому при ее выполнении тре-

буется тщательное соблюдение чистоты. При разбраковке следует избегать смешивания спиралей из разных пакетов.

Спиралы подлежат забракованию, если они: 1) неравномерно навиты (отдельные участки их сближены или растянуты); 2) спутаны (витки одной спирали входят в промежутки между витками другой и не разделяются подбрасыванием); 3) хрупки (рвутся при растягивании или сжатии или ломаются при изгибании тире); 4) с грубой «сечкой» (плоскости витков имеют непостоянный угол наклона к оси спирали); 5) расслоены (расщеплены на отдельные волокна); 6) с заусенцами (имеют отслоившиеся волокна, способные замыкать витки спирали); 7) деформированы (надломлены, искривлены, гофрированы или смяты); 8) с неодинаковыми или короткими тире (неправильно нарезаны); 9) не в нормах по весу (не выдержан диаметр вольфрамовой проволоки или диаметр керна, навиты в условиях сильного натяжения вольфрамовой проволоки или керна, или разъедены при травлении); 10) не в нормах по длине (неправильно нарезаны или изменились в длине после вытравливания керна); 11) загрязнены (содержат внутри витков или между витками частицы невытравленного керна или другие посторонние частицы); 12) окислены (не имеют чистого металлического цвета).

Спиралы для механизированного монтажа подлежат забракованию, если разброс их по длине, не считая тире, превышает 1 мм. Такие спирали разбраковывают на группы с меньшим разбросом по длине.

Многосекционные формованные спирали для специальных ламп подлежат забракованию, если они: 1) имеют непрямолинейные секции; 2) имеют ушки между секциями неправильной формы; 3) состоят из слишком сближенных между собой секций или секций, согнутых под неправильным углом; 4) состоят из секций, концы которых находятся не на одном уровне; 5) имеют габаритные размеры рабочей части, превышающие заданные значения.

Большинство приведенных пороков выявляется при поточном просмотре спиралей невооруженным глазом на вставленной в рабочий стол пластинке из молочного стекла, ярко освещенной снизу люминесцентной лампой и защищенной от постороннего света глубоким навесом. В сомнительных случаях пользуются лупой с шестикратным увеличением или шадографом — прибором, проектирующим увеличенное изображение спиралей на плоский экран.

Особо важное значение следует придавать проверке точности и равномерности шага спиралей, так как отклонения в шаге, получившиеся при спирализации или термической обработке, оказывая незначительное влияние на световые и электрические параметры ламп, в то же время вызывают преждевременное перегорание ламп. В работающей лампе спи-

рали должны иметь равномерную температуру на всем протяжении за исключением мест, прилегающих к держателям и электродам, температура которых может быть несколько ниже. Местное повышение температуры на 1% сокращает срок службы лампы на 15%. Для выборочной оценки равномерности температуры производят так называемый спот-контроль или испытание спиралей на пятнистость, заключающееся в мгновенном нагреве спирали коротким импульсом тока (разрядом конденсатора). Получающиеся при таком испытании яркие или темные пятна на спирали служат признаком неудовлетворительного ее качества. Дефектные участки получаются тем заметнее, чем теплопроводнее окружающий газ. Поэтому испытание на пятнистость лучше производить в атмосфере водорода.

Качественную оценку прочности спиралей производят растягиванием или сгибанием ее вручную. Моноспирали растягивают до трехкратной длины, а биспиралы — до первичной спирали; формованные секционные спирали разводят на угол 45—60°; рекристаллизованные моноспиралы растягивают до увеличения длины на 50%; тире моноспиралей изгибают пинцетом на угол 90°. Прочные нехрупкие спирали при таких испытаниях не разрушаются.

Длину спиралей и тире проверяют металлической измерительной линейкой, а вес спиралей — торзионными весами.

На некоторых заводах для выборочного контроля спиралей изготавливают пробные лампы и несколько ламп включают последовательно на пониженное напряжение. При слабом накале легче обнаруживаются сжатые, растянутые и расслоившиеся витки, грязь в витках и другие пороки. Кроме того, по цвету накала спиралей, который должен быть одинаковым у всех последовательно соединенных ламп, судят об однородности размеров спиралей.

Готовые проверенные спирали после термической обработки отсчитывают на весах и высыплют через стеклянную воронку в пробирку с закрывающейся пробкой или укладывают в пакеты из подпергаментной бумаги. Длинные спирали укладывают в пакеты ровными рядами. Не допускается применять бумажную тару, засоряющую спирали ворсинками и пылинками.

Запасы препарированных спиралей не должны превышать 4—5-суточной потребности. Более длительное время спирали хранят в вакуумных шкафах-эксикаторах.

## 7-6. РАСЧЕТ СПИРАЛЕЙ

Расчет тела накала — составная часть опытно-конструкторской разработки ламп. В техническом задании на разработку указывают назначение, область применения ламп и желательные величины основных параметров. На основании этих исходных данных рассчитывают спираль, разрабатывают конструк-

цию ламп, определяют необходимые материалы и полуфабрикаты и проектируют технологический процесс. Разработку обычно заканчивают изготовлением опытных образцов ламп, на которых проверяют соответствие их требованиям технического задания и выявляют ресурс (запас) по всем параметрам. В случае получения неудовлетворительных результатов корректируют размеры спирали и других деталей и снова изготавливают и испытывают пробные лампы. Лишь после получения хороших результатов испытаний изготавливают первую производственную (установочную) партию ламп, по которой проверяют эффективность их серийного или массового производства.

Каждой вновь разработанной лампе присваивают условное обозначение (шифр), из буквенного выражения, указывающего эксплуатационно-конструктивную особенность лампы, и цифрового выражения, указывающего номинальное напряжение в вольтах, и через дефис — номинальную мощность в ваттах. Например, нормальная биспиральная криптоновая лампа на 220 в, 60 вт имеет шифр НБК220-60; прожекторная лампа на 110 в, 500 вт имеет шифр ПЖ110-500.

Расчет тела накала состоит в определении конструкции и геометрических размеров спирали. К основным исходным величинам, от которых зависит выбор конструкции и размеров спирали, относятся номинальные значения напряжения, мощности, световой отдачи, продолжительности горения и надежности ламп. При разработке некоторых специальных ламп к исходным величинам относят также значения механических перегрузок.

Световая отдача и продолжительность горения ламп тесно связаны между собой и зависят от температуры спирали. Конструируя тело накала, необходимо соблюдать равновесие между световой отдачей и сроком службы. В ряде случаев приходится решать вопрос, что целесообразнее: увеличивать световую отдачу за счет уменьшения продолжительности горения или, наоборот, увеличивать продолжительность горения за счет уменьшения световой отдачи. При решении этого вопроса в одних случаях руководствуются техническими соображениями, зависящими от назначения ламп, в других — экономическими соображениями, зависящими от соотношения стоимости ламп, стоимости потребляемой электроэнергии и стоимости замены ламп. В последних случаях для удовлетворения противоречивых требований между повышением световой отдачи и увеличением продолжительности горения принимают такое компромиссное решение, которое позволяет нести наименьшие общие эксплуатационные расходы на освещение. Подсчетами установлено, что, например, стоимость освещения нормальными осветительными лампами получается наименьшей при оптимальном сроке службы в 1,000 ч. На этом основании лампы общего назначения, как правило, рассчитывают на 1000 ч горения. Чем большая надеж-

ность требуется от ламп, тем с большим запасом по сроку службы их конструируют, соответственно снижая при этом их световую отдачу. Повышая надежность ламп, взвешивают, ценой каких затрат это повышение достигается.

При расчете и конструировании ламп определяют следующие размерные величины спиралей:

- 1) диаметр или вес 200 мм вольфрамовой проволоки;
- 2) развернутую длину вольфрамовой проволоки;
- 3) внутренний диаметр спирали (диаметр керна);
- 4) число витков на 1 мм спирали;
- 5) общее число витков спирали;
- 6) длину спирали в свободном состоянии;
- 7) вес спирали;
- 8) длину тире в концах спирали;
- 9) способ подвески спирали (размеры и число держателей);
- 10) число секций и длину секций в спиралях специальных типов.

Диаметр вольфрамовой проволоки принимают в зависимости от величины тока, потребляемого лампой. Чем больше ток, а при неизменном напряжении, чем больше мощность лампы, тем больше должен быть диаметр проволоки. При одной и той же мощности ток, потребляемый лампой, тем меньше, чем выше напряжение на лампе, поэтому вольфрамовую проволоку берут тем тоньше, чем выше номинальное напряжение лампы. Увеличение мощности и понижение напряжения служат одним из средств увеличения толщины вольфрамовой проволоки, что в свою очередь позволяет нагревать тело накала до более высокой температуры без уменьшения срока службы.

При неизменном напряжении и постоянной длине проволоки уменьшение диаметра проволоки на 1% вызывает уменьшение мощности на 1,8%, уменьшение светового потока на 2,8% и понижение световой отдачи на 1%.

Пример. Как изменятся световые и электрические параметры ламп, если диаметр вольфрамовой проволоки увеличить на 1,5%?

Решение. Мощность увеличится на  $1,5 \times 1,8 = 2,7\%$ ; световой поток возрастет на  $1,5 \times 2,8 = 4,2\%$ ; световая отдача повысится на  $1,5 \times 1 = 1,5\%$ .

Лампы для последовательного соединения требуют более жесткие допуски на диаметр вольфрамовой проволоки, чем для параллельного. Большой разброс диаметра проволоки у последовательно соединенных ламп сильно сокращает их долговечность.

Длину вольфрамовой проволоки принимают в зависимости от номинального напряжения лампы. Чем выше напряжение, тем длиннее должна быть проволока. Так, для ламп на 6—12 в требуется отрезок вольфрамовой проволоки длиной 50—100 мм, а для некоторых ламп на 220 в — более 1 м.

При неизменном напряжении и постоянном диаметре проволоки уменьшение длины проволоки на 1% вызывает увеличение мощности на 0,6%, увеличение светового потока на 2,6% и повышение световой отдачи на 2%.

Пример. Как изменятся световые и электрические параметры ламп, если спираль укоротить на 1,5%?

Решение. Мощность увеличится на  $1,5 \times 0,6 = 0,9\%$ ; световой поток возрастет на  $1,5 \times 2,6 = 3,9\%$ ; световая отдача повысится на  $1,5 \times 2 = 3\%$ .

Приведенными зависимостями параметров ламп от диаметра и длины вольфрамовой проволоки можно пользоваться для корректировки размеров спирали лишь в случаях незначительных отступлений световых и электрических параметров от требуемых значений. При этом корректировкой диаметра проволоки влияют, главным образом, на мощность ламп, а корректировкой длины проволоки — на световой поток, световую отдачу и срок службы ламп.

Диаметр керна принимают такой, чтобы спираль не провисала и не коробилась при рабочей температуре лампы. Чем толще спирализуемая проволока, тем толще должен быть керн. В газонаполненных лампах увеличение диаметра керна (укорочение спирали) позволяет уменьшить тепловые потери через наполняющий газ. Применение относительно толстого керна позволяет повысить производительность спирализационных станков, уменьшить обрывность вольфрамовой проволоки при спирализации и облегчить прохождение смонтированной нитки через узкую горловину колбы при заварке ламп. Однако применение слишком толстого керна становится нежелательным, так как оно увеличивает неравномерность распределения температуры по длине спирали, повышает опасность провисания и коробления спирали, увеличивает разброс световых и электрических параметров ламп и уменьшает механическую прочность спирали.

Отношение диаметра керна к диаметру вольфрамовой проволоки называют коэффициентом керна. Его принимают для вакуумных ламп от 2,5 до 5, а для газонаполненных моноспиральных — от 4 до 7. Приняв коэффициент керна, выбирают из имеющегося ассортимента кернов такой, диаметр которого наиболее близок к расчетному.

Для биспиральных ламп коэффициент первичного керна принимают 1,8—2,2, а вторичного — 1,6—2,0. При этом под коэффициентом вторичного керна понимают отношение диаметра вторичного керна к диаметру первичной спирали.

При выборе материала керна руководствуются следующими соображениями. Молибденовый керн более тугоплавок, более прочен и отличается большей однородностью диаметра, чем стальной. Поэтому спирали, подлежащие высокотемпературному препарированию на керне, спирали с плотной навивкой тон-

кой вольфрамовой проволоки на тонком керне и спирали для ламп с жесткими допусками по световым и электрическим параметрам рассчитывают на молибденовом керне, хотя он значительно дороже стального. Спирали для мощных ламп рассчитывают только на стальном керне.

При установлении числа витков на 1 мм руководствуются тем, что с увеличением плотности навивки (уменьшением шага) уменьшаются тепловые потери в газонаполненных лампах и замедляется термическое распыление вольфрама во всех лампах. Поэтому стремятся к изготовлению спиралей с как можно более плотной навивкой. Кроме того, при постоянной длине вольфрамовой проволоки, чем плотнее навита спираль, и следовательно, чем она короче, тем меньше требуется молибденовых держателей. Однако чрезмерно плотная навивка нежелательна, так как близкое расположение витков спирали друг к другу может вызывать засорение их твердыми частицами при травлении керна, утечку тока между витками, возникновение электрической дуги при включении ламп, межвитковое замыкание при вибрациях и тряске ламп и повышение эффектов экранирования и почернения излучения (стр. 14), отрицательно влияющих на световую отдачу ламп. Чрезмерно плотная навивка требует очень точной настройки спирализационных станков.

Отношение шага спирали к диаметру вольфрамовой проволоки называют коэффициентом шага, а обратную величину, т. е. отношение диаметра вольфрамовой проволоки к шагу, выраженное в процентах, называют коэффициентом заполнения. Коэффициент заполнения показывает, какой процент шага занят вольфрамом. Его принимают для вакуумных ламп равным 65—80%, а для газонаполненных моноспиральных — 65—75%. Соответственно коэффициент шага для вакуумных ламп принимают 1,3—1,5, а для газонаполненных 1,4—1,5. Спирали с коэффициентом заполнения, близким 50%, или с коэффициентом шага, близким двум, легко спутываются между собой в особенности, когда они имеют кривые тире.

Приняв коэффициент шага, используют из имеющихся в наличии шестерен спирализационных станков такую, которая дает коэффициент шага, наиболее близкий принятому.

Для биспиральных ламп коэффициент шага первичной спирали принимают 1,5—1,8, а вторичной — 1,6—1,9. При этом под коэффициентом шага вторичной спирали понимают отношение шага вторичной спирали к диаметру первичной спирали. Для биспиральных ламп берут несколько больший коэффициент шага, чем для моноспиральных, потому что витки первичной спирали в процессе навивания вторичной спирали сближаются и тем самым повышают опасность перегорания лампы с замыканием смежных витков и электрической дугой.

Опасность перегорания ламп с явлением дуги возрастает с увеличением отношения подводимого к лампе напряжения

к суммарной длине всех пустых промежутков между витками спирали. Если это отношение, которое для краткости называют градиентом, превысит некоторое определенное значение, произойдет перегорание лампы с дугой. Градиент для моноспиральных ламп вычисляют по уравнению (7-2), а для биспиральных — по уравнению (7-3).

$$G = \frac{U}{L - Nd}; \quad (7-2)$$

$$G = \frac{U}{L_2 - N_2 d_1}. \quad (7-3)$$

В приведенных уравнениях обозначены:

$G$  — градиент напряжения,  $в/мм$ ;

$U$  — номинальное напряжение лампы,  $в$ ;

$L$  — длина спирали,  $мм$ ;

$N$  — общее число витков спирали;

$d$  — диаметр вольфрамовой проволоки;

$L_2$  — длина биспирали,  $мм$ ;

$N_2$  — общее число витков вторичной спирали;

$d_1$  — наружный диаметр первичной спирали,  $мм$ .

Градиент напряжения у моноспиральных ламп на 127  $в$  принимают от 3 до 7  $в/мм$  и на 220  $в$  от 7 до 10  $в/мм$ ; у биспиральных на 127  $в$  от 14 до 17  $в/мм$  и на 220  $в$  от 17 до 20  $в/мм$ . С возрастанием мощности ламп градиент уменьшают.

Общее число витков и длину спирали определяют из уравнений:

$$N = \frac{l}{\pi(D + d)}; \quad (7-4)$$

$$L = \frac{N}{n}, \quad (7-5)$$

где  $N$  — общее число витков;

$l$  — длина вольфрамовой проволоки,  $мм$ ;

$D$  — диаметр зерна,  $мм$ ;

$d$  — диаметр вольфрамовой проволоки,  $мм$ ;

$L$  — длина спирали,  $мм$ ;

$n$  — число витков на 1  $мм$  спирали.

При средних значениях коэффициентов зерна и шага длины спирали у большинства типов ламп получается равной около 10% общей длины вольфрамовой проволоки. Длину спирали без тире увеличивают на добавку, необходимую для зажима концов спирали в электроды (обычно на 1,5—2  $мм$ ).

Теоретический вес спирали определяют из уравнения

$$P = \frac{p}{200} l, \quad (7-6)$$

где  $P$  — вес спирали, мг;

$p$  — вес 200 мм вольфрамовой проволоки, мг;

$l$  — длина вольфрамовой проволоки, мм.

Спираль для ламп общего назначения мощностью от 300 вт и выше с целью облегчения монтажа на ножки изготавливают с тире. Эти спирали допускается изготавливать и без тире, но при условии, что в концы их перед монтажом будут вставлены короткие отрезки молибденового керна, препятствующие сплющиванию витков при монтаже.

Для ламп, работающих в условиях больших механических перегрузок, телу накала стремятся придать такие размеры, чтобы частота его собственных колебаний была как можно более высокой, так как при этом возрастает стойкость ламп против любых механических перегрузок. Если моноспиральное тело накала жестко закреплено с обоих концов, то зависимость собственной частоты поперечных колебаний от размеров спирали выражается уравнением

$$V = k \frac{hd}{L^2 D}, \quad (7-7)$$

где  $V$  — частота собственных колебаний;

$d$  — диаметр вольфрамовой проволоки;

$h$  — шаг спирали;

$L$  — длина спирали;

$D$  — диаметр керна;

$k$  — коэффициент пропорциональности.

Из уравнения (7-7) вытекает, что повышение прочности тела накала можно достичь увеличением диаметра нити, уменьшением длины спирали, увеличением шага навивки и уменьшением диаметра керна. На увеличение прочности тела накала, кроме того, благоприятно влияет увеличение числа держателей и замыкание витков держателей. Для работы в тяжелых условиях более пригодны низковольтные лампы, спирали которых не резонируют при низких частотах.

Число держателей задают в зависимости от диаметра вольфрамовой проволоки, диаметра, шага и длины спирали, а также от свойств (провисаемости) вольфрамовой проволоки. Моноспиральные лампы на 220 в снабжают пятью-семью держателями, на 127 в — тремя-пятью держателями, биспиральные — одним-трем держателями. Лампы до 12 в изготавливают без держателей. Некоторые низковольтные лампы снабжают одной-двумя поддержками, вставляемыми в лопатку или бусинку ножки.

Число держателей стремятся установить минимальным для экономии молибденовой проволоки, облегчения операции вставки держателей и главным образом для повышения световой отдачи ламп. Каждый держатель уменьшает световую отдачу ламп общего назначения со спиралью из тонкой вольфрамовой проволоки приблизительно на 1% при одинаковом сроке службы. Чем меньше держателей, тем равномернее распределяется температура по телу накала. Слишком малое число держателей приводит к провисанию спирали и понижает устойчивость ламп против вибраций и ударов. Аналогичными соображениями руководствуются при выборе диаметра проволоки для держателей. С увеличением диаметра увеличивается отвод тепла от спирали, а с уменьшением — уменьшается жесткость крепления спирали. Для ламп общего назначения держатели изготавливают из молибденовой проволоки диаметром 0,10—0,25 мм. Чем тяжелее спираль, тем толще должны быть держатели.

От формы, размеров и числа держателей зависит, будут ли держатели упрочнять тело накала или, наоборот, способствовать его ослаблению. В лампах, работающих в спокойных условиях, петля держателя не должна препятствовать свободному перемещению спирали, а в лампах, подверженных большим механическим перегрузкам, направленным поперек спирали, петля крючка должна жестко удерживать спираль.

При эксплуатации некоторых специальных ламп бывает необходимо сосредоточить тело накала в фокусе оптического прибора. С этой целью стремятся придать телу накала по возможности более компактную форму и наименьшие размеры. Если требуются лампы на высокое напряжение, спирали придают форму плоского зигзага с несколькими прямолинейными параллельными секциями, расположенными близко друг к другу. Число и длину секций и расстояние между ними принимают такими, чтобы наилучшим образом заполнить вольфрамом рабочий габарит тела накала. С уменьшением расстояния между секциями уменьшаются тепловые потери через газ. Градиент напряжения для таких ламп определяют по уравнению (7-8) и принимают не более 12—15 в/мм:

$$G = \frac{U_c}{a}, \quad (7-8)$$

где  $G$  — градиент напряжения, в/мм;

$U_c$  — наибольшее напряжение между двумя точками в двух смежных секциях, в;

$a$  — наименьшее расстояние между двумя смежными секциями, мм.

Для некоторых светооптических приборов, требующих лампы с минимальными размерами и высокой яркостью, нити накала придают столь малые размеры, что при светотехнических

расчетах этими размерами можно пренебречь. Такие точечные лампы рассчитывают на напряжение не выше 6 в. Спирали для них изготавливают короткими и толстыми с примерно равными толщиной и длиной. Они излучают свет почти равномерно по всем направлениям пространства.

Световые и электрические параметры ламп зависят не только от принятых размеров тела накала, но и от ряда физических и технологических особенностей конструкции ламп. К таким особенностям относятся: охлаждающее действие электродов, держателей и наполняющего газа, потеря в весе спирали при травлении, вытягивание керны и вольфрамовой проволоки при спирализации, натяжение спирали при монтаже, растяжение или провисание спирали при обжиге ламп, состав и давление наполняющего газа, экранирование светового потока цоколем и др. Приведенные особенности, степень их стабильности и влияния на работу ламп, а также зависимость их друг от друга не поддаются точному учету и расчету, вследствие чего существующие математические методы расчета тела накала, как правило, отличаются большой приближенностью. Зачастую отклонения параметров ламп, вызываемые несовершенством или нестабильностью технологического процесса или применением неоднотипного оборудования, превышают отклонения, вызываемые неточным расчетом спирали.

Обычно для расчета диаметра и длины вольфрамовой проволоки по заданным напряжению, мощности и световой отдаче пользуются различными эмпирическими уравнениями или составленными по ним графиками.

В тех случаях, когда требуется рассчитать спираль для лампы, близкой по конструкции и номинальному напряжению к существующей и отличающейся от нее по мощности и световой отдаче не более чем на  $\pm 10\%$ , удобно пользоваться уравнениями (7-9) и (7-10), позволяющими пересчитывать размеры спирали от известных параметров к заданным:

$$d^0/\% = \frac{2}{3} W^0/\% - \frac{1}{5} \eta^0/\% \quad (7-9)$$

$$l^0/\% = \frac{1}{3} W^0/\% - \frac{3}{5} \eta^0/\% \quad (7-10)$$

где  $d^0/\%$  — процентное изменение диаметра проволоки;  
 $l^0/\%$  — процентное изменение длины проволоки;  
 $W^0/\%$  — процентное изменение мощности лампы;  
 $\eta^0/\%$  — процентное изменение световой отдачи лампы.

Приведенными уравнениями можно пользоваться для внесения поправок в размеры спиралей вакуумных и газонаполненных ламп, а также для расчета новых ламп. В последнем случае подбирают из имеющегося ассортимента лампу, близкую

по параметрам и конструкции к рассчитываемой лампе, и весь расчет сводят к внесению поправок.

Пример. Лампа имеет  $W=63,5$  вт,  $\eta=10,2$  лм/вт. Тело накала ее имеет:  $d=50$  мк;  $l=480$  мм. Рассчитать диаметр и длину вольфрамовой проволоки, чтобы  $W=60$  вт и  $\eta=11$  лм/вт.

$$W^0/\% = \frac{60 - 63,5}{63,5} \cdot 100 = \frac{-3,5}{63,5} \cdot 100 = -5,5\%$$

$$\eta^0/\% = \frac{11 - 10,2}{10,2} \cdot 100 = \frac{0,8}{10,2} \cdot 100 = +7,1\%$$

$$d^0/\% = \frac{2}{3} (-5,5) - \frac{1}{5} (+7,1) = -\frac{76,3}{15} = -5,1\%$$

$$l^0/\% = \frac{1}{3} (-5,5) - \frac{3}{5} (+7,1) = -\frac{35,4}{15} = -2,4\%$$

Следовательно, диаметр вольфрамовой проволоки нужно уменьшить на 5,1% и длину проволоки уменьшить на 2,4%. Это составит диаметр 47,5 мк и длину 469 мм.

Как уже было сказано, когда у какого-либо типа ламп нужно изменить потребляемую мощность, следует в первую очередь корректировать диаметр вольфрамовой проволоки. Если нужно изменить световой поток, то прежде всего корректируют общее число витков.

При одной и той же рабочей температуре спираль газонаполненной лампы расходует мощность на величину тепловых потерь большую, чем спираль вакуумной лампы. Чтобы пересчитать вакуумную лампу на газонаполненную, необходимо компенсировать тепловые потери в газонаполненной лампе повышением температуры ее тела накала. Для этого делают поправку на длину вольфрамовой проволоки в сторону укорочения. Чтобы при этом не повысилась мощность, одновременно делают поправку на диаметр вольфрамовой проволоки в сторону уменьшения.

При одной и той же рабочей температуре спираль аргоновой лампы потребляет меньшую мощность, чем азотной, а криптоновой — меньшую, чем аргоновой. Чтобы, не меняя мощности, пересчитать лампу, наполненную легким газом, на лампу, наполненную более тяжелым газом, нужно одновременно увеличить диаметр и длину вольфрамовой проволоки.

При одной и той же рабочей температуре биспиральная лампа расходует меньшую мощность, чем моноспиральная. Чтобы пересчитать лампу с моноспиральной конструкции на биспиральную, нужно увеличить излучающую поверхность ее тела накала, частично потерянную вследствие большого самоэкранирования биспиралей. Для этого делают поправку на длину вольфрамовой проволоки в сторону увеличения. Чтобы при этом не уменьшилась мощность, одновременно делают поправку на диаметр вольфрамовой проволоки в сторону увеличения.



## ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОДОВ

### 8-1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Электроды служат для подведения электрического напряжения от цоколя к телу накала. Они состоят из нескольких отрезков различных проволок, соосно соединенных между собой газовой или электрической сваркой.

Большинство ламп снабжают двумя электродами, сваренными из трех звеньев; внутреннего звена, или ввода, помещаемого между телом накала и лопаткой ножки, внешнего звена, или вывода, помещаемого между лопаткой ножки и цоколем, и вакуумного звена, или впаиваемого в лопатку ножки в промежутке между вводом и выводом (рис. 8-1).

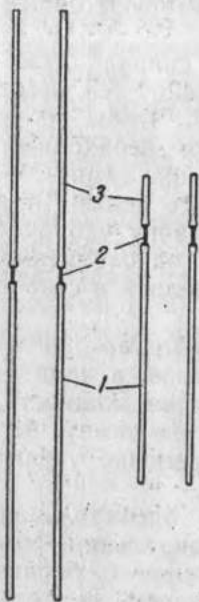


Рис. 8-1. Электроды лампы.

1 — внешнее звено (вывод); 2 — промежуточное звено (впай); 3 — внутреннее звено (ввод).

Для изготовления электродов применяют проволоки, хорошо проводящие электричество, с целью сведения к минимуму потери энергии при передаче ее от цоколя к телу накала.

Сохранение в лампе высокого вакуума и чистоты внутренней среды требует, чтобы электроды были плотно впаяны в стекло и чтобы они не создавали при своем тепловом расширении и сжатии опасных внутренних напряжений. Эти условия могут быть соблюдены в согласованных впаиваемых материалах, обладающих близким к стеклу коэффициентом теплового расширения и способных смачиваться расплавленным стеклом. Приведенным условиям хорошо удовлетворяет проволока из платины, которая раньше других материалов была применена в лампах накаливания в качестве согласованного впаиваемого материала. Однако высокая стоимость платины заставила отказаться от ее применения. Ее вытеснил более дешевый материал — плати-

нит, которому дали такое название как заменителю платины.

Платинит представляет собой проволоку из никелевой стали (ферроникеля), покрытой медной оболочкой. В интервале температур от 20 до 300°С коэффициент расширения платинита в поперечном направлении лежит примерно в таких же пределах, как и коэффициент расширения мягкого стекла для ножек. Платинит хорошо смачивается стеклом. Прочность прилипания стекла к платиниту хорошо сохраняется при изготовлении и эксплуатации ламп. Удельное сопротивление платинита равно 0,04—0,06 ом·мм<sup>2</sup>/м. Платинит способен давать прочные сварные соединения с медью, никелем и ферроникелем.

Впай платинита в стекло, строго говоря, нельзя считать согласованным, потому что коэффициент расширения его в продольном направлении значительно меньше, чем в поперечном, и меньше коэффициента расширения стекла. Кроме того, коэффициент расширения платинита в продольном направлении меняется в зависимости от термической обработки, которой был подвергнут образец. Эти особенности заставили применять платинит строго ограниченного диаметра, а именно от 0,25 до 0,8 мм. Платинит тоньше 0,25 мм имеет малую механическую прочность, легко окисляется при изготовлении ножек и образует негерметичный спай со стеклом, а платинит толще 0,8 мм вызывает опасные напряжения в спае.

Платинит в работающей лампе нагревается проходящим током. Относительно высокая электро- и теплопроводность платинита и отвод тепла через стекло позволяет поддерживать рабочую температуру впаиваемого достаточно низкой. При слишком большой плотности тока платинит перегревается и, быстро расширяясь, может вызвать растрескивание стекла ножки.

Ниже приводятся значения предельно допустимой нагрузки платинита по току.

Диаметр, мм . . . . .	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,6	0,7	0,8
Ток, а . . . . .	2,0	4,0	5,8	7,3	8,8	11,6	14,0	16,3

Когда электрическая нагрузка на платинит превышает нагрузку, допускаемую для диаметра 0,8 мм, применяют электроды с двумя параллельно соединенными платинитовыми звеньями или заменяют платинитовый впай на молибденовый, вольфрамовый или, редко, коваровый<sup>1</sup>. Эти металлы в интервале температур 20—300°С имеют низкий коэффициент расширения, близкий коэффициенту расширения соответствующих стекол и способны давать с ними согласованные впаиваемые в поперечном и

<sup>1</sup> Ковар — сплав железа с 27,5—29,5% никеля и 17—19% кобальта. Частичная замена никеля кобальтом снижает коэффициент расширения и электрическое сопротивление сплава. Ковар применяют для спаек больших поверхностей с молибденовым стеклом, например в чашечных впаиваемых ламп-фар. В СССР выпускается под маркой Н29К18.

продольном направлении. Впаи в кварцевые лампы с йодным циклом изготавливают из молибденовой фольги.

От внутренних звеньев электродов (вводов) требуется, чтобы они были формоустойчивыми, достаточно пластичными и гибкими, электропроводными и относительно тугоплавкими. Вводы вакуумных ламп изготавливают из медной проволоки, а газонаполненных — из никелевой. Длину вводов задают в зависимости от размеров ламп, принятой высоты светового центра и длины тарелки. Очень длинные и тонкие вводы не применяют, так как они легко смещаются при сотрясениях ламп и повреждают при этом спираль. Очень короткие вводы тоже не применяют, так как они влекут за собой перегрев, газоотделение и электролиз стекла ножек. Диаметр никелевых вводов задают таким, чтобы плотность тока составила  $2-5 \text{ а/мм}^2$  (как исключение  $5-8 \text{ а/мм}^2$ ) и чтобы рабочая температура вводов вблизи тела накала не превышала  $600-700^\circ \text{ С}$ . При неизменном диаметре вводов температура их возрастает с увеличением мощности лампы за счет более сильного нагревания вводов проходящим током и за счет передачи вводам большего количества тепла от накаленной спирали вследствие теплопроводности самих вводов.

Во избежание нарушения механической прочности вводов при изготовлении и эксплуатации ламп и с целью уменьшения электрических потерь в лампах электроды почти всегда изготавливают с вводами большего диаметра, чем это обуславливается допустимой плотностью тока. Чрезмерно тонкие вводы, окисляясь на начальных операциях сборки ламп, ослабляются и при выпрямлении легко обрываются, а чрезмерно толстые, сильно охлаждая концевые участки спирали, создают неравномерное распределение температуры по длине спирали. Чем толще никелевые вводы, тем медленнее они обезгаживаются при изготовлении ламп.

От наружных звеньев электродов (выводов) требуется, чтобы они были гибкими, хорошо электро- и теплопроводными и стойкими против коррозии. Выводы для ламп, потребляющих ток до  $13-15 \text{ а}$ , изготавливают из мягкой медной проволоки, а для ламп, потребляющих больший ток, — из медного многожильного канатика. Хорошая теплопроводность меди позволяет выводам быстро отводить тепло от впаи, препятствуя сильному перегреву ножки. Длину выводов задают в зависимости от высоты цоколя и длины тарелки.

Коэффициенты расширения меди и никеля значительно выше коэффициента расширения мягкого стекла, поэтому медные и никелевые проволоки любых диаметров можно впаивать в стекло, не опасаясь его растрескивания, но в то же время не получая герметичного впаи<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Изготовить стекло с коэффициентом расширения как у меди или никеля невозможно.

Некоторые малые специальные лампы снабжают электродами, сваренными из двух звеньев: внутреннего — никелевого и внешнего — платинитового. В двухзвенных электродах внешнее звено служит одновременно и вакуумным. Для изготовления таких электродов сначала делают трехзвенные заготовки со средним звеном из никеля удвоенной длины и крайними звеньями из платинита и затем разрезают такие заготовки пополам.

Электроды для вакуумных низковольтных миниатюрных ламп с бусиновой ножкой изготавливают целиком из платинитовой проволоки. Хорошая проводимость платинита позволяет уменьшить падение напряжения в электродах.

## 8-2. ПЛАТИНИТ

### а) ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Изделие, состоящее из слоев двух разных металлов или сплавов, прочно соединенных друг с другом по всей поверхности соприкосновения, носит название биметалла. Платинит представляет собой холоднотянутую проволоку из биметалла, сердечник которого состоит из никелевой стали, а оболочка из меди (рис. 8-2). В отличие от обычного металлического покрытия, имеющего незначительную толщину и чаще всего преследующего цель защиты основного металла от коррозии, оболочка

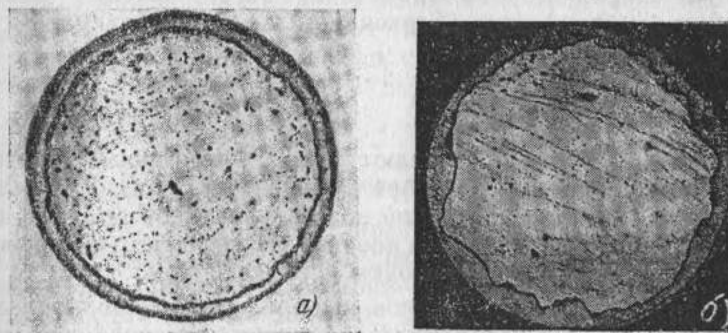


Рис. 8-2. Поперечный разрез платинитовой проволоки.  
а — с равномерной толщиной медной оболочки; б — с неравномерной толщиной медной оболочки.

платинита составляет около 26% его веса и, помимо противодействия коррозии, оказывает существенное влияние на его физико-механические свойства. Стале-никелевый сердечник платинита имеет малый коэффициент теплового расширения, а медная оболочка — большой. Чем больше никеля содержится в сердечнике (в интервале от 40 до 50%) и чем толще покрывающая сердечник медная оболочка, тем больше коэффициент

расширения платинита в поперечном направлении (рис. 8-3). Применением сердечника со строго заданным содержанием никеля и наращиванием на него равномерного слоя меди заданной толщины получают платинит с требуемым коэффициентом расширения.



Рис. 8-3. График зависимости линейного поперечного коэффициента расширения платинита от содержания никеля и меди.

дороде при 1 200—1 250° С с целью снятия внутренних напряжений, улучшения обрабатываемости, восстановления окислов, удаления поверхностных загрязнений и обезгаживания.

## б) МЕДНЕНИЕ

Отожженные прутки очищают электролитическим (анодным) травлением в 30%-ном растворе серной кислоты с последующей промывкой холодной проточной водой. Травление придает пруткам чистую светлую матовую поверхность, требуемую для прочного сцепления медной оболочки с сердечником.

Операцию меднения прутков выполняют электролитическим осаждением меди в гальванической ванне, футерованной винипластом. Ванны заполняют электролитом, составленным из водного раствора медного купороса и серной кислоты. Анодом служат погруженные в ванну толстые пластины из электролитической меди, а катодом — подвешенные на шинах прутки, одинаковые по длине и весу. Под действием постоянного тока, подведенного к ванне от выпрямителя, поверхность прутков покрывается атомами меди, собирающимися в кристаллы. Последние, накапливаясь в большом количестве, образуют сплошную медную «рубашку». В одной ванне одновременно меднятся 12—14 прутков. Меднение продолжается 6—8 ч при плотности тока 8—10 а/дм<sup>2</sup>. После достижения требуемого привеса меди

(35% от веса сердечника) прутки выгружают, промывают проточной водой и протирают насухо фильтровальной бумагой.

Гальванические ванны применяют вертикальные и горизонтальные. При горизонтальном положении прутков достигается более равномерное осаждение меди. В нижнюю часть ванны подводят через перфорированные трубы очищенный от масла технический сжатый воздух, который, барботируя, равномерно перемешивает электролит.

Операция меднения оказывает решающее влияние на способность платинита давать герметичные спаи со стеклом. Особенно большое влияние оказывают привес меди, равномерность распределения меди по периметру и длине прутка и прочность сцепления меди с основой. Неравномерная толщина медной оболочки (рис. 8-2,б) получается при плохом перемешивании электролита, неравномерном распределении анодных пластин вдоль анодной шины и плохом состоянии контактов в электрической цепи ванны. Прутки, имеющие до меднения диаметр около 8 мм, приобретают после меднения диаметр около 9,3 мм. Хорошо медненные прутки имеют разность в диаметре по всей длине не более 0,6 мм.

Полезным мероприятием, уменьшающим неравномерность медной оболочки, служит применение барабанных гальванических ванн, в которых прутки приводятся во вращение как в беличьем колесе.

Полученные биметаллические прутки перед механической обработкой отжигают в водороде при 850° С в течение 1 ч.

Прочность сцепления меди с сердечником оценивают изгибанием медного прутка в тисках до излома и визуальной оценкой излома.

## в) МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Отожженные медные прутки протягивают через последовательно уменьшающиеся волокна из твердых сплавов. В отличие от вольфрама и молибдена платинит тянут в холодном состоянии, так как он обладает достаточной для этого пластичностью.

Волочение с диаметра 9,3 мм ведут на цепном стане. Перед каждым волочением концы прутков разогревают в печи и утоняют на завальцовочной или ротационной ковочной машине. При диаметре 4,5 мм прутки отжигают в водороде. После отжига каждые двенадцать—четырнадцать прутков, медных одновременно в одной ванне и составляющих одну партию, сваривают встык в одну длинную проволоку. Места сварки затачивают на точилье или опиловывают. Сварка позволяет сократить число заливок концов проволоки в волокна.

Волочение с диаметра 4,5 мм ведут на однократных машинах, а с диаметра 2 мм — на многократных. При диаметрах 3,0

и 1,8 мм проволоку снова отжигают в водороде. Отжигом придают проволоке механические свойства, необходимые для дальнейшего волочения, а также облегчают на границе медь-сталь диффузию этих металлов друг в друга и хорошее сцепление их между собой. Многократное волочение ведут со смазкой мыльной эмульсией.

Наиболее опасный брак при волочении платинита — продольные царапины (риски), отслаивание и неравномерная толщина меди. Первый брак получается при плохо отполированных волокнах или волоках, загрязненных частицами металла, второй — при неудовлетворительной очистке сердечника перед меднением или контактом осаждения меди на сердечнике (например, когда отсутствует ток в гальванической ванне), третий — при неконцентричности медного покрытия в исходных прутках и малом числе промежуточных отжигов при волочении.

Каждую катушку проволоки анализируют на содержание меди: отрезок проволоки взвешивают на торсионных весах, удаляют медь в аммиачном растворе двухлористой меди и снова взвешивают. При содержании никеля в сердечнике от 42,5 до 44% отрезок проволоки, независимо от диаметра, должен содержать медь в пределах 21—30% к общему весу.

Некоторые зарубежные предприятия изготавливают платинит «трубочным» методом. На обточенные и отшлифованные прутки из никелевой стали наматывают тонкую латунную фольгу и надевают калиброванную бесшовную трубку из бескислородной меди. Прутки с надетой трубкой заковывают с одного конца на конус и протягивают на цепном стане для уплотнения. Затем прутки нагревают в водородной печи до температуры, при которой латунная фольга плавится и плотно сплавляется с медной трубкой с сердечником (латунь плавится при более низкой температуре, чем медь и никелевая сталь). Далее прутки куют на ковочной машине и протягивают на волочильных машинах до требуемого диаметра. Такой метод более сложен и менее производителен, чем электролитический, но дает продукт с более однородной толщиной медной оболочки.

### г) БОРИРОВАНИЕ

Перед поступлением на операцию борирования проволоку перематывают через ванну с 2%-ным раствором аммиака для отмывки следов мыльной эмульсии и отжигают перематкой через водородную печь с холодильником для обезгаживания и придания проволоке заданных механических свойств.

Как уже было сказано, непременным условием получения газонепроницаемого впаля служит хорошая смачиваемость металла расплавленным стеклом. Соблюдение этого условия достигается окислением поверхности платинита до закиси меди, способной легко диффундировать в стекло и прочно сцепляться

с металлической медью. Меднозакисную поверхность насыщают тонким слоем безводного тетраборнокислого калия  $K_2B_4O_7$  или тетраборнокислого натрия  $Na_2B_4O_7$  (буры). Борирование платинита три цели: во-первых, защитить во время хранения платинита медную оболочку от воздействия атмосферы, во-вторых, образовать переходное стеклообразное вещество, улучшающее смачивающую способность платинита, и, в-третьих, воспрепятствовать переокислению платинита при изготовлении ножек.

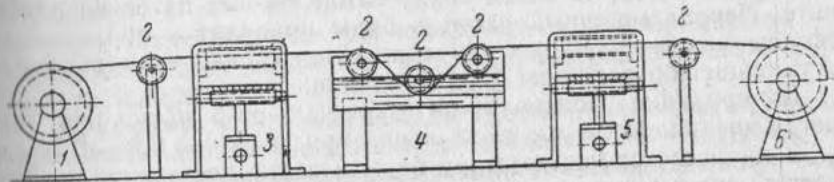


Рис. 8-4. Установка борирования платинита.  
1 — спускная катушка; 2 — направляющие ролики; 3 — первая газовая печь; 4 — ванна с раствором буры; 5 — вторая газовая печь; 6 — ведущий барабан.

Калиевая бора менее гигроскопична, чем натриевая, поэтому при борировании платинита ей отдают предпочтение. Раствор готовят из едкого кали 1,3 кг, борной кислоты 2,6 кг и дистиллированной воды 10 л.

На рис. 8-4 схематично изображена установка борирования, состоящая из одной ванны и двух газовых печей. Сначала проволоку очищают ватным тампоном, смоченным в спирте, затем нагревают в первой печи длиной около 300 мм до темно-красного свечения (650—750°С). Под влиянием такого нагрева медная оболочка покрывается тончайшим слоем окислов желтовато-серого цвета. Окисленная проволока проходит по направляющим роликам в ванну с подогретым насыщенным водным раствором буры и покрывается равномерным слоем этого раствора. Далее проволока проходит во вторую печь длиной около 450 мм, нагреваясь в ней до желтого свечения (850—950°С). При таком нагреве окись меди (CuO) распадается под слоем буры в красную закись меди (Cu<sub>2</sub>O), а бора обезвоживается, плавится, растекается равномерно по закиси меди и вступает с ней во взаимодействие. На поверхности платинита образуется сплошная пленка стекловидной массы — борной эмали красного цвета различного оттенка. При выходе из второй печи эта пленка защищает горячий платинит от переокисления на воздухе. После борирования проволоку наматывают на катушку достаточно большого диаметра, чтобы при последующем выпрямлении ее на автоматах сварки электродов не повреждался слой буры.

На одной установке с целью повышения производительности обычно борировать параллельно две линии проволок. Температуру в печах контролируют термомпарой или на глаз

по цвету накала проволоки. Цвет готовой борированной проволоки должен быть кирпично-красным. Желтый или бледно-розовый цвет получается при недогреве во второй печи, а темно-красный — при перегреве.

Раствор буры нагревают до 60—80° С. При более низкой температуре увеличиваются вязкость и плотность раствора, что влечет за собой растрескивание борной пленки на платините. При более высокой — уменьшаются вязкость и плотность раствора, что влечет за собой образование темных пятен на платините. Перенасыщенный раствор буры приводит к образованию сколов на борированной поверхности, а слабонасыщенный — к уменьшению толщины борной пленки.

Борирование производят со скоростью от 5 м/мин при диаметре проволоки 0,8 мм до 18 м/мин при диаметре 0,25—0,30 мм.

В процессе работы раствор буры в ванне постепенно загрязняется окисью меди и убывает за счет испарения и уноса поверхностью проволоки. Его пополняют несколько раз в смену и полностью обновляют раз в неделю.

Темные полосы и пятна на платините получаются при недостаточной очистке поверхности проволоки перед борированием, излишне высокой или низкой температуре в первой и второй печах, чрезмерно большой или малой концентрации буры в растворе, высокой температуре раствора и трении проволоки о борт ванны или о стенки печи промежуточного отжига. Темные полосы и пятна, получившиеся в результате механического повреждения медной оболочки, являются опасным браком, так как могут вызывать натекание воздуха в лампу. Ввиду трудностей в определении природы темных полос и пятен платинит с такими пороками бракуют.

Причинами хрупкого, осыпающегося борнозакисного слоя могут быть повышенная концентрация и низкая температура борного раствора, недостаточное предварительное окисление проволоки в первой печи, перегрев проволоки во второй печи и пережог медного покрытия при отжиге платинита перед борированием.

При нагреве в двух печах платинитовая проволока одновременно с борированием отжигается. В случаях неудовлетворительной регулировки огней газовых печей проволока приобретает неоднородные по длине механические свойства. Для последующего изготовления электродов важно, чтобы относительное удлинение платинита было не менее 18%.

Операция борирования наряду с операцией меднения оказывает решающее влияние на качество платинита.

#### д) ИСПЫТАНИЯ

Каждую катушку готового платинита проверяют. Проволоку перематывают с катушки на катушку и при перемотке просматривают ее поверхность на обеих катушках. Участки в местах

стыковой электросварки, оставшиеся заметными после борирования, и участки с темными полосами, точками, шелушением буры и другими недостатками отматывают и вырезают.

Для определения поперечного коэффициента расширения платинита снимают с него борную пленку погружением в нагретый до 60—80° С 2%-ный раствор лимонной кислоты и анализируют свободную от буры проволоку на медь и никель. По содержанию этих металлов находят в таблице коэффициент расширения.

Концентричность и равномерность толщины медной оболочки платинита оценивают металлографическим анализом торцевого шлифа.

О качестве платинита иногда судят по результатам испытания пробных вакуумных ламп после длительной выдержки.

Внешняя борная пленка платинита хранят в теплом сухом месте. Поверхность проволоки на катушке закрывают влагопроницаемой бумажной лентой. Заполненные катушки хранят в металлических коробках с плотно закрывающейся крышкой; щели между коробкой и крышкой заклеивают изоляционной лентой.

### 8-3. МАТЕРИАЛЫ ВВОДОВ И ВЫВОДОВ

#### а) МЕДНАЯ ПРОВОЛОКА

В табл. 6-3 приведены значения величин, характеризующие основные физические свойства меди.

Медь — мягкий пластичный металл, отличающийся высокой электропроводностью и теплопроводностью. Она хорошо сваривается с платинитом и не сваривается с вольфрамом.

В сухом воздухе при нормальной температуре медь химически не изменяется. Во влажном воздухе медь тускнеет с образованием зеленой углекислой меди. При нагреве медь окисляется, покрываясь черной окисью меди, которая при температуре выше 700° С диссоциирует на закись меди и кислород.

Медь всегда содержит закись меди (до 0,45%), понижающую ее электропроводность. При нагреве меди в среде, содержащей водород, закись меди восстанавливается с образованием водяного пара. Последний обладает незначительной скоростью диффузии и поэтому не просачивается наружу, а заполняет в меди мелкие пустоты. Развивающееся при этом очень высокое давление вызывает образование по границам зерен микротрещин и пор, придающих меди хрупкость. Это явление, называемое водородной болезнью, не позволяет отжигать медь в водородной или другой восстановительной атмосфере. При сварке меди водородная болезнь понижает прочность сварного шва. Медь хорошо облуживается мягкими и твердыми припоями;

медные выводы легко соединять пайкой с контактными деталями цоколя.

Сравнительно низкая температура плавления меди ( $1083^{\circ}\text{C}$ ), большая скорость ее испарения при высоких температурах, способность ее окисляться и восстанавливаться при сравнительно низких температурах и, наконец, водородная болезнь не позволяют применять медную проволоку в качестве вводов газонаполненных ламп. Такие лампы, изготовленные с медными вводами, быстро темнеют и перегорают.

Полученную из медной руды черновую медь, содержащую около 2% примесей, подвергают последовательно огневой и электролитической очистке (рафинированию). Очищенную медь переплавляют в печах и отливают в длинные слитки с заостренными концами (вайербарсы) весом около 90 кг. Слитки в горячем состоянии прокатывают через валки прокатных станов и превращают в толстую проволоку-катанку диаметром 8—5 мм. Катанку, имеющую сплошную черную окисленную поверхность, травят в слабом растворе серной кислоты до блестящего желтого цвета, после чего волочат без нагрева через полированные волокна. Полученную проволоку выходных диаметров отжигают в инертной (не водородной) среде при  $550\text{—}600^{\circ}\text{C}$ .

Для изготовления ламп применяют медную проволоку марки ММ по ГОСТ 2112-62. Такая проволока диаметром 0,20—0,50 мм имеет временное сопротивление разрыву не менее  $20\text{ кг/мм}^2$  и относительное удлинение не менее 20%.

Для изготовления ламп применяют также проволоку из меди, раскисленную при плавке марганцем. Такая проволока не страдает водородной болезнью. Отсутствие в ней закиси меди позволяет отжигать ее в атмосфере водорода без того, чтобы она становилась хрупкой.

Проволока для внутренних звеньев электродов должна иметь чистую неокисленную гладкую поверхность.

#### б) НИКЕЛЕВАЯ ПРОВОЛОКА

В табл. 6-3 приведены значения величин, характеризующие основные физические свойства никеля.

Никель — металл серебристо-белого цвета. Он плавится при высокой температуре ( $1453^{\circ}\text{C}$ ), обладает достаточной прочностью и хорошей пластичностью в горячем и холодном состоянии, хорошо сопротивляется коррозии в обычных атмосферных условиях, имеет малую скорость испарения при сравнительно высоких температурах, хорошо сваривается между собой и с платинитом, молибденом и вольфрамом, отлично полируется.

Электропроводность никеля составляет 25% электропроводности меди. В биспиральной лампе 220 в 100 вт электрические потери в никелевых вводах составляют около 0,01 вт.

Никель принадлежит к числу ферромагнетиков. Он хорошо намагничивается и притягивается к магниту.

Металлургия никеля заключается в химической и термической переработке никелевых руд в порошкообразную закись никеля и в восстановлении закиси углеродистым восстановителем. Восстановленный металл в форме кубиков, цилиндров или гранул плавят в горнах и отливают при  $1500\text{—}1600^{\circ}\text{C}$  в круглые слитки диаметром 75—90 мм. Слитки прокатывают

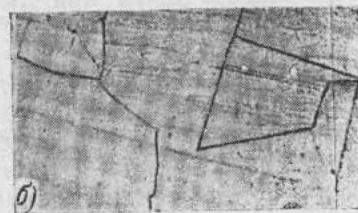
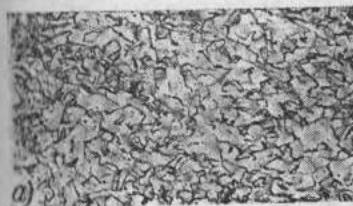


Рис. 8-5. Микроструктура рекристаллизованной никелевой проволоки.  
а — проволока отличается прочностью и хорошей механической обрабатываемостью.  
б — проволока отличается хрупкостью и плохой механической обрабатываемостью.

с нагревом на обжимных и прокатных станах до диаметра 7—5 мм, затем волочат без нагрева через волокна до 2,5—0,5 мм. В промежутках между волочением проволоку отжигают в вакууме или восстановительной среде при  $800^{\circ}\text{C}$ . Отжиг снимает наклеп и возвращает никелю пластичность, требуемую для дальнейшего волочения. Проволоку, протянутую до выходного диаметра, травят в разбавленной смеси серной и азотной кислот для удаления окислов и придания ей чистого серебристого цвета.

Как и все металлы, никель имеет кристаллическую структуру. Температура первичной рекристаллизации его лежит в интервале  $550\text{—}640^{\circ}\text{C}$ . От величины и строения кристаллов зависят механические свойства никелевой проволоки. Чем крупнее кристаллы, тем мягче проволока. Размеры кристаллов зависят от режима отжига. Проволока, отожженная при температуре ниже  $800^{\circ}\text{C}$ , приобретает мелкозернистое строение. Такая проволока получается очень прочной, жесткой, недостаточно пластичной и криволинейной. Проволока, отожженная при  $800\text{—}900^{\circ}\text{C}$ , приобретает более крупнозернистое строение. Такая проволока получается менее прочной и более пластичной. Проволока, отожженная при температуре выше  $900^{\circ}\text{C}$ , приобретает слишком крупнозернистое строение. Такая проволока получается мягкой, хрупкой и полностью свободной от внутренних напряжений (рис. 8-5). Наблюдаемые иногда случаи обрыва никелевых электродов в ножках или лампах часто вызываются перегревом никеля во время термической обработки или пережогом его при изготовлении ножек.

При комнатной температуре никель покрывается очень тонкой и прочной защитной окисной пленкой, препятствующей дальнейшему окислению его. При нагреве на воздухе до 400—500°С никель легко окисляется, покрываясь пленкой цветов побежалости, а при нагреве выше 800°С закись никеля проникает в глубь металла и отлагается на границах между кристаллами, увеличивая межкристаллитные промежутки и ослабляя сцепление между отдельными кристаллами. Проволока, подвергаясь при отжиге глубокому окислению, становится хрупкой.

В атмосфере, содержащей сернистые газы, никель тускнеет и при нагреве становится хрупким. Сера образует между зернами чистого металла легкоплавкие хрупкие прослойки сернистого никеля  $Ni_3S_2$ , которые при нагреве плавятся, ослабляя связь между зернами<sup>1</sup>. Прослойки  $Ni_3S_2$  повышают склонность никеля к образованию трещин и делают его непригодным для механической обработки. Поэтому содержание серы в никеле более 0,01% не допускается. Для исключения вредного влияния серы вводят при плавке никеля присадку марганца, химически соединяющуюся с серой в тугоплавкие соединения, не влияющие на прочность никеля. Небольшие количества марганца равномерно растворяются в никеле и улучшают его механические свойства.

Никель всегда содержит много газов, особенно водорода. Свойство никеля легко поглощать и выделять водород препятствует применению его в качестве материала вводов вакуумных ламп. Молекулы водорода проникают в глубь никеля, заполняя в большом количестве пустые промежутки между кристаллами металла. Если изделие из никеля достаточно тонко, то водород, диффундируя через межкристаллитные промежутки, может пройти через никель насквозь. Способность никеля растворять водород возрастает с повышением температуры. При впаивании никеля в стекло пузырьки газа застревают на их границе. Присадка марганца содействует лучшему обезгаживанию никеля.

Для удаления газов и уничтожения наклепа, вызванного механической обработкой, никелевую проволоку перед изготовлением электродов подвергают рекристаллизующему отжигу при 800—900°С. Для этого ее перематывают через горизонтальную трубчатую электрическую печь с атмосферой проточного водорода или репарировочного газа. Перед вводом в отверстие печи проволоку очищают ватой, смоченной в ацетоне, а после выхода из печи охлаждают в холодильнике. Отожженную проволоку наматывают на деревянные катушки, на которых ее подают к автоматам сварки электродов. На некоторых заводах вместо горизонтальной печи с перематкой применяют вертикальную туннельную печь, позволяющую отжигать никель в бухтах. При

<sup>1</sup>  $Ni_3S_2$  плавится при 645°С, а сплав Ni с  $Ni_3S_2$  — при 625°С.

нагреве поры металла заполняются водородом, препятствующим проникновению в них газов из окружающей атмосферы. Для газонаполненных ламп насыщение никеля водородом не представляет опасности, так как водород благодаря малым размерам своих атомов и высокой скорости диффузии легко выделяется во время заварки и откачки ламп. При отжиге в водородной среде никеля, содержащего закись никеля, в местах скопления последней образуются поры и мелкие трещины (водородная болезнь).

Для изготовления ламп применяют никелевую проволоку марки НП-2 по ГОСТ 2179-59. Такая проволока диаметром 0,5—1,0 мм имеет временное сопротивление разрыву не менее 40 кг/мм<sup>2</sup> и относительное удлинение не менее 25%. Отожженная проволока, подготовленная к сварке электродов, должна иметь относительное удлинение 30—40%. Структура ее должна быть мелкозернистой.

При работе на горючем газе, содержащем сероводород, применяют проволоку из марганцовистого никеля марки НМЦ-2,5 по ГОСТ 1049-57. Присадка 2,5% марганца повышает прочность, твердость и жаростойкость проволоки и способность ее противостоять газовой коррозии в атмосфере, содержащей серу. Электроды, изготовленные из марганцовистого никеля, не дают хрупких обрывов при изготовлении ножек. Отжиг проволоки из марганцовистого никеля ведут при 900—1000°С. После отжига она получается более жесткой и прочной, чем из чистого никеля, что позволяет уменьшить ее диаметр на 0,1 мм при изготовлении электродов. Проволоку из марганцовистого никеля следует применять только для изготовления электродов, соединяемых с вольфрамовой спиралью зажимом, а не сваркой, так как присадка марганца затрудняет сварку.

Некоторые заводы с целью экономии дорогостоящего никеля применяют вместо никелевой проволоки стальную никелированную. Испытания показали, что в маломощных лампах до 200 вт включительно такая замена не влияет на срок службы ламп.

На установке никелирования стальную проволоку перематывают в 10 ручьев со скоростью 3 м/мин через нагретый раствор NaOH, нагретую воду, раствор HCl, холодную воду, электролит из водного раствора  $NiSO_4$ ,  $Na_2SO_4$ ,  $H_3BO_3$  и NaCl и зажим с фетровой тканью. Проволоку с нанесенной оболочкой толщиной 4—5 мк отжигают в водородной среде при 1100°С. Для никелирования применяют проволоку из низкоуглеродистой стали, так как большое содержание углерода в стали может явиться причиной хрупкости спирали в готовых лампах.

#### 8.4. СВАРКА ЭЛЕКТРОДОВ

Под сваркой электродов подразумевают процесс прочного соединения нескольких отрезков проволок путем их местного нагрева до расплавления или размягчения и последующего сжа-

тия друг с другом. В местах сварки образуются плотные и прочные «узелки» эллипсоидальной или шарообразной формы. Длину этих узелков не включают в длину вакуумного звена электродов.

При сварке электродов источником нагрева служит газовое пламя или электрическая дуга.

#### а) ГАЗОВАЯ СВАРКА

С двух катушек, укрепленных на кронштейнах газосварочного автомата, подводятся друг к другу через центрирующие дюзы свободные концы медной проволоки для внешнего звена электродов и медной или никелевой — для внутреннего звена. Из третьей катушки отрезается платинитовая проволока длиной 4—6 мм и переносится щипцами на линию между медным и никелевым звеньями. Все три проволоки предварительно выпрямляются поджатыми друг к другу фибровыми или текстолитовыми гребенками. Два пружинящих ножа разрезают медную и никелевую проволоки на отрезки заданной длины; концы этих отрезков сближаются с концами отрезка платинита и прижимаются друг к другу. Когда все три звена сомкнутся в одну линию, к местам стыков подводятся огни двух газовых горелок. Концы отрезков оплавляются и соединяются под действием пружин друг с другом. После образования узелков горелки поочередно отводятся сначала от более легкоплавкого стыка медь-платинит, потом от стыка платинит-никель. Узелки получаются с незначительными утолщениями за счет выдавливания размягченного металла. Никелевые звенья с платинитовыми сваривают встык строго по центру, а платинитовые с медными — встык или внахлестку. Для обеспечения надежной сварки сначала отводят горелки, потом снимают давление. Сваренные электроды сбрасываются в наклонный металлический желобок.

Все рабочие механизмы автомата приводятся в действие распределительным валом, несущим на себе несколько криволинейных кулачков. Некоторые механизмы, совершающие малые перемещения, приводятся в действие электромагнитами, периодически включаемыми и выключаемыми группой кулачков. Силой тяги электромагнитов зажимаются в губках фиксирующих зажимов медная, платинитовая и никелевая проволоки, прижимаются концы проволоки друг к другу и подводятся газовые горелки к месту сварки.

Свободный конец внутренних звеньев электродов, предназначенных для ручного монтажа спиралей, сплющивают в плоскую лопатку. Сплющивание совершается двумя колодками, к которым электроды поступают из спускного желобка. Движением колодок управляет один из кулачков распределительного вала. Электроды под автоматический монтаж спиралей и электроды под монтаж спиралей электросваркой сплющивания не требуют.

На газосварочных автоматах применяют водородо-кислородное пламя, имеющее в вершине внутреннего конуса высокую температуру (1460—1500°С). Производительность автомата — 100—1500 пар электродов в час в зависимости от диаметра свариваемых проволок. При замене водорода водяным или природным газом температура пламени снижается и процессы разогрева и сварки соответственно замедляются.

Газосварочные автоматы отличаются относительной простой конструкции и легко переналаживаются на изготовление электродов разных размеров, что бывает удобно, когда электроды требуются в небольших количествах.

#### б) ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ (КОНДЕНСАТОРНАЯ) СВАРКА

На автомате стыковой конденсаторной сварки отрезки проволок сваривают электричеством. К сближенным концам выпрямленных проволок подводят энергию от батареи электрических конденсаторов. При слабом соприкосновении торцовых частей проволок между ними возникает кратковременная разрядная искра (дуга), создающая на небольшом участке высокую концентрацию тепла. Концы проволок оплавляются, быстро прижимаются друг к другу и свариваются встык, образуя на границе сплав из свариваемых металлов.

Конденсаторы накапливают от источника постоянного тока (выпрямителя) запас электрической энергии. В момент сварки они мгновенно расходуют этот запас и разряжаются. Сразу после сварки они быстро заряжаются новой порцией энергии и тотчас же полностью ее отдают для сварки следующих проволок. Таким образом, зарядка и разрядка конденсаторов периодически чередуются. За тысячные доли секунды выделяется тепло точно в таком количестве, какое требуется для одной сварки.

В электрической дуге сильнее нагревается и обгорает положительный электрод (анод); поэтому для правильного распределения тепла между свариваемыми звеньями положительный полюс источника тока присоединяют к звену, обладающему большей массой, теплоемкостью и температурой плавления. В частности при сварке платинита с медью положительный полюс источника присоединяют к платиниту, а при сварке платинита с никелем — к никелю.

В зависимости от материала и диаметра свариваемых проволок соответственно подбирают режим работы автомата. К элементам режима относятся: 1) напряжение на выпрямителе; 2) емкость батареи конденсаторов; 3) величина сварочного тока; 4) начальный зазор между свариваемыми проволоками; 5) ход электрода. Регулировкой напряжения источника питания (от 250 до 300 в) управляют началом возникновения дуги.



Изменением емкости включенной части батареи конденсаторов (от 300 до 800 мкф) производят грубую дозировку энергии, рассеиваемой на сварке, а регулировкой сопротивления реостата в цепи разряда — тонкую дозировку энергии. Регулировка величины сварочного тока (от 75 до 300 а) обеспечивают требуемую температуру дуги. Чем толще свариваемые проволоки и чем больше разница их диаметров, тем больше должна быть емкость включенной части конденсаторов. При чрезмерном увеличении начального зазора концы проволок сгорают, так как дуга удлиняется и сварка замедляется; при чрезмерном уменьшении зазора концы проволок не успевают прогреться, и узелок получается слабым. От хода электрода, т. е. от величины перемещения проволок в момент сварки, зависит объем металла в узелке и прочность узелка; чем больше ход, тем толще, получается узелок и лучше выжимаются окислы из узелка. Качество узелка зависит также от центровки и качества среза концов проволок.

Все рабочие механизмы автомата приводятся в движение кулачками, сидящими на трех распределительных валах. При вращении валов кулачки в последовательном порядке толкают рычаги, которые в свою очередь сообщают движение исполнительным механизмам. Два кулачка поочередно переключают конденсаторы обеих зон сварки то на зарядку от источника питания, то на разрядку через свариваемые проволоки.

Конденсаторная сварка имеет ряд преимуществ перед газовой: 1) не требует применения водорода и кислорода; 2) имеет более высокую производительность (до 4 000 пар в час); 3) дает более прочную сварку и лучшую форму узелков; 4) позволяет сваривать более короткие отрезки платинита; 5) точнее выдерживает геометрические размеры электродов; 6) окисляет меньшие участки электродов вблизи узелков; 7) не имеет брака, вызываемого колебанием огня; 8) более безопасна в работе вследствие отсутствия водорода и кислорода.

Электроды, изготовленные с применением конденсаторной сварки, выдерживают разрывающую нагрузку до 4,5 кг.

Автоматы конденсаторной сварки требуют более длительной перестройки механизмов с одних размеров электродов на другие. Поэтому их обычно загружают изготовлением электродов, требуемых в больших количествах.

На автоматах конденсаторной сварки рекомендуется избегать сваривать медную и платинитовую проволоки близких диаметров, так как при таком сочетании диаметров узелки получаются непрочными. Автоматы не рассчитаны на изготовление электродов с диаметром никелевого звена более 1 мм, диаметром медного звена более 0,5 мм и длиной одного из звеньев более 75 мм.

Автоматы выпускаются без механизма сплющивания концов частей вводов.

## в) БРАК ЭЛЕКТРОДОВ

Электроды должны быть забракованы, если: 1) звенья приготовлены из недоброкачественных материалов, например крупного низкого окисленной меди, плохо борированного платинита и т. п.; 2) звенья длиннее или короче, толще или тоньше, чем указано в конструктивных нормалах; 3) звенья непрочны, сварены между собой и узелки не выдерживают заданной нагрузки на разрыв; 4) звенья неправильно центрированы; 5) узелки имеют неправильную форму, смещены с оси электрода или сильно обгорели при сварке; 6) узелок между никелевой и платинитовой проволоками толще самой никелевой проволоки; 7) платинитовое звено сильно обгорело и потеряло свой первоначальный кирпично-красный цвет; 8) лопатка в концах электродов сильно, слабо или криво расплюснута.

Электроды для механизированного изготовления ножей должны быть забракованы, если они не строго прямолинейны и имеют заусенцы в концах или узелках. Прямолинейность проверяют пропуская электроды через узкую трубку длиной 100 мм.

Качество узелков зависит от чистоты свариваемых проволок, хорошего выпрямления и центровки проволок, правильно подобранной силы сжатия сближающихся концов проволок, хорошего среза концов, правильной настройки огня горелок и точной дозировки энергии разряда конденсаторов. Изготовление электродов из бескислородной меди позволяет получать более прочные узелки. Непрочные или окисленные узелки часто служат причиной, препятствующей зажиганию ламп. Утолщение электродов за счет узелков вызывает возникновение местных напряжений в стекле и образование трещины. На электродах, сваренных в газовом пламени, допускаются цвета побежалости на участках длиной 2—3 мм около узелков.

Следует запрещать прикасаться руками к внутренним звеньям электродов.

Готовые отбракованные электроды отweighивают по несколько сотен пар в пучки и укладывают в стеклянные пробирки или картонные коробки. При укладке следят, чтобы одноименные звенья электродов были обращены в одну сторону.

Запасы электродов хранят в закрытом сухом месте в минимальных количествах.

## 8-5. ЭЛЕКТРОДЫ С ПЛАВКОЙ ВСТАВКОЙ

В биспиральных и зеркальных лампах общего назначения, а также в некоторых моноспиральных лампах на 127 и 220 в специального назначения, имеющих повышенную температуру и большую концентрацию тела накала, инертный газ вблизи вводов и в промежутках между витками спирали сильно нагре-

вается и ионизуется. Когда такие лампы в конце срока службы перегорают, в зазоре между концами разорвавшейся нити возникает электрическая дуга, состоящая из раскаленных ионизованных газов и паров вольфрама. Дуга сопровождается резким возрастанием тока в цепи лампы (коротким замыканием), способным повлечь за собой переплавление и разбрызгивание материала вводов и разрыв ножки и колбы.

Для предупреждения возможности взрыва лампы в случае возникновения дуги и для защиты сетевого предохранителя от перегорания при коротком замыкании цепь указанных ламп защищают индивидуальным плавким предохранителем, помещаемым в свободное пространство внутри тарелки или цоколя лампы. Роль такого предохранителя чаще всего выполняет вывод одного из электродов, который с этой целью изготавливают из проволоки относительно малого сечения и увеличенного удельного сопротивления<sup>1</sup>. При возникновении дуги собственный предохранитель быстро плавится и гасит дугу. Цепь тока замыкается раньше, чем дуга успевает разрушить какие-либо элементы конструкции лампы.

Любой плавкий предохранитель характеризуется величиной тока, при которой он расплавляется. При заданном диаметре проволоки наименьший ток плавления наблюдается у металла, имеющего наименьшую температуру плавления и наибольшее удельное сопротивление. В электродах ламп применяют плавкую вставку из такого материала и таких размеров, чтобы, во-первых, она обеспечивала нормальную работу лампы и не отключала тело накала при кратковременных перегрузках пусковым током и, во-вторых, чтобы в случае перегорания лампы с дугой ток короткого замыкания не превысил четырехкратного значения номинального (рабочего) тока. При соблюдении первого требования исключаются случаи ложного срабатывания предохранителя, а при соблюдении второго — обеспечивается срабатывание предохранителя в самом начале возникновения дуги.

В качестве материала для плавкой вставки можно применять проволоку из константана (сплава меди и никеля), ферроникеля (сплава железа и никеля), марганцовистого никеля или другого подходящего металла или сплава, обладающего устойчивостью против коррозии, повышенным удельным сопротивлением и относительно низкой температурой плавления при малом сечении. Плавкую вставку можно изготавливать из никелевой стали Н-42, оказавшейся негодной по каким-либо причинам для производства платинита. Такая проволока диаметром 0,25 мм плавится при токе 3,8 а, а диаметром 0,20 мм — при токе 2,9 а.

<sup>1</sup> Некоторые предприятия изготавливают лампы на 500—1500 вт с предохранителем, вваренным во внутреннее звено одного из электродов.

На прутки из никелевой стали, предназначенные для изготовления предохранителей, наращивают меньший слой меди, чем для изготовления платинита (6—8% от веса сердечника вместо 35%). Медная оболочка в данном случае требуется, во-первых, в качестве средства, облегчающего волочение проволоки, во-вторых, в качестве защитной пленки, предохраняющей проволоку от коррозии, и, в-третьих, в качестве средства, облегчающего припойку проволоки к цоколю. Применение предохранителей из коррозионностойкого материала в особенности важно для ламп, изготавливаемых для местностей с влажным тропическим климатом.

Ферроникелевую проволоку для предохранителей волочат с соблюдением таких же режимов, как и при волочении платинита. После волочения до выходного диаметра ее отжигают при 800—850°С в препарировочном газе.

Электроды с плавкой вставкой сваривают как обычные электроды. Плавкую вставку приваривают к платиниту внахлестку. Платинитовое звено делают значительно длиннее, чем у обычных электродов, с целью избежания впаивания плавкой вставки в стекло. Ферроникелевая проволока имеет коэффициент расширения меньший, чем стекло, поэтому, если плавкая вставка будет впаяна в лопатку ножки или близко отстоять от нее, стекло может дать трещину или лампа при срабатывании предохранителя разорвется со взрывом.

Изготовление внешнего звена электродов из ферроникелевой проволоки вызывает при изготовлении электродов, сборке ножек, заварке ламп, надевании цоколя на лампы и припайке электродов ряд неудобств, сопряженных с повышенной жесткостью этой проволоки и относительно малым ее диаметром.

Для устранения этого электроды с плавкой вставкой полезно изготавливать не из трех, а из четырех звеньев, составленных из отрезков никелевой, платинитовой, ферроникелевой и медной проволок. Четырехзвенные электроды сваривают на специальном газосварочном автомате. Сначала на нем приваривают платинитовое звено к ферроникелевому, а затем оба звена приваривают со стороны платинита к никелю, а со стороны ферроникеля к меди. На некоторых зарубежных предприятиях плавкую вставку заключают в стеклянную капиллярную трубку внутренним диаметром 0,7—0,9 мм и заваривают по концам вокруг электрода. Стеклянная трубка придает электроду устойчивую прямолинейность, защищает материал предохранителя от разведения паяльным флюсом и, главное, быстро гасит дугу, возникающую в момент перегорания плавкой вставки. Машину, напаяющую трубки, снабжают устойчивым, натягивающим электроды грузом весом 300 г. При натягивании непрочные сваренные электроды разрываются и выпадают. Некоторые зарубежные предприятия вместо применения капиллярной трубки

нанализуют на плавкую вставку изоляционный чулок, сплетенный из стекловолокна.

Для оценки соответствия предохранителя своему назначению лампы включают на повышенное напряжение, создавая тем самым более благоприятные условия для возникновения дуги при перегорании спирали. Предохранитель считается надежным, если в момент перегорания спирали плавкая вставка перегорает без дуги, растрескивания ножки и разрыва капиллярной трубки. Предохранитель считается ненадежным, если спираль перегорает, а плавкая вставка остается целой или, наоборот, плавкая вставка перегорает, а спираль остается целой.

Чем выше температура газа в зоне спирали, тем легче зажигается дуга в момент перегорания лампы; поэтому эффективность применения предохранителей возрастает с увеличением мощности ламп.

Применение внутреннего предохранителя повышает качество и улучшает эксплуатационные свойства ламп. Предохранитель в лампе хорошо виден и всегда может быть проверен. При исследовании перегоревших ламп после испытания на срок службы всегда следует обращать внимание на состояние внутреннего предохранителя.

#### 8-6. СПЛАВ Н47Д5

Платинит как материал для вакуумных впаев в стекло отличается рядом недостатков, затрудняющих применение его в лампах: 1) его коэффициент теплового расширения в продольном направлении не согласован со стеклом; 2) его свойства зависят от большого числа элементов (сердечника, медной оболочки, борной пленки); 3) между сердечником и медной оболочкой могут быть трудно обнаруживаемые капиллярные каналы; 4) его нельзя применять диаметром более 0,8 мм; 5) производство его сложно и дорого.

В последние годы в отечественной металлургической промышленности разработаны новые прецизионные однородные сплавы со строго заданным коэффициентом расширения, близким коэффициенту расширения легкоплавкого стекла. К одному из них относится железоникельмедистый сплав марки Н47Д5, используемый иногда в качестве заменителя платинита. Он содержит 47% никеля, 5% меди и 48% железа. Ниже приведены значения коэффициента теплового расширения отожженной проволоки из этого сплава при разных температурах.

Диапазон температур, °С	Коэффициент теплового расширения $\times 10^{-2}$ см/см·град
20—200	88—98
20—300	85—99
20—400	90—99

Температура начала плавления сплава 1445°С. Удельное сопротивление 0,45 ом·мм<sup>2</sup>/м. Удельный вес 8,23. Предел прочности на разрыв отожженной проволоки 50—55 кг/мм<sup>2</sup>. Относительное удлинение 28—35%. Температура рекристаллизации — около 700°С.

Проволока из сплава Н47Д5 отличается рядом достоинств. Основное состоит в том, что она представляет собой сплошной монолитный сплав, исключая случаи натекания ламп из-за отслоения оболочки. Свойства проволоки из сплава зависят от значительно меньшего числа элементов, чем свойства платинита. Она имеет близкий стеклу коэффициент теплового расширения, одинаковый как в поперечном, так и продольном направлениях. Введенное в сплав незначительное количество меди улучшает сцепление его со стеклом. Тонкая окисная пленка на поверхности сплава, образующаяся при изготовлении ножек, хорошо «смачивается» стеклом, обеспечивая герметичность впаивания. Из сплава можно изготавливать проволоку любого диаметра (практически от 0,3 до 3,5 мм).

К числу преимуществ сплава следует отнести также и то, что он может одновременно служить не только заменителем платинита, но и заменителем никеля, т. е. из него можно изготавливать не только впаив, но и ввод. При одновременном использовании сплава вместо никеля и платинита можно изготавливать электроды из двух звеньев вместо трех. В этом случае звено из сплава применяют такого же диаметра, какой имеет никель у трехзвенного электрода.

Сплав хорошо сваривается точечной и стыковой сваркой с вольфрамом, молибденом, никелем, ферроникелем и медью. В отличие от никеля сплав не образует при точечной сварке металлических выплесков, которые, попадая на спираль, сообщают ей хрупкость.

Сплав содержит и выделяет меньше газов, чем сталь Н42 и никель, что облегчает получение чистой среды внутри лампы.

Наряду с преимуществами сплав Н47Д5 имеет и недостатки. Он больше склонен к переокислению, чем никель, и труднее очищается от окислов (его окислы восстанавливаются при температуре примерно на 100 град выше, чем окислы никеля). Он менее устойчив против коррозии, чем платинит и никель, хотя и более устойчив, чем сталь Н42. Во влажной атмосфере он быстро ржавеет. С целью предохранения от коррозии заводы — изготовители сплава покрывают проволоку защитным слоем смазки, которую перед изготовлением электродов приходится удалять растворителем. Неудаленная смазка может воспрепятствовать равномерному поверхностному окислению, необходимому при изготовлении спаев. При сварке электродов нагреваемые участки из сплава окисляются сильнее, чем из платинита. Неудовлетворительная стойкость сплава против коррозии не позволяет

применять его в электродах в качестве материала плавкой вставки.

Серьезным недостатком сплава как заменителя платинита и никеля является его низкая электропроводность. Удельное сопротивление его более чем в 10 раз превышает удельное сопротивление платинита. В связи с этим применение сплава может вызвать в некоторых лампах повышенное падение напряжения в электродах и соответствующее уменьшение светового потока. В лампах, потребляющих большой ток, низкая электро- и теплопроводность сплава может вызвать перегрев спая.

Существенным недостатком сплава является и то, что при небольшой рабочей длине его впаив в стекло он недостаточно надежно сохраняет вакуум в лампе. Поэтому электроды из сплава для миниатюрных ламп с бусиновой ножкой следует применять с большой осторожностью.

Спай сплава со стеклом С90-1 обнаруживает после охлаждения более значительные внутренние напряжения, чем спай платинита с этим же стеклом. Исследованиями установлено, что более согласованный спай со стеклом С90-1 дает сплав, содержащий никеля 48—49% и меди 6—7%.

Как на недостаток сплава, следует указать, что сварное соединение его с никелем при длительном нагреве на воздухе претерпевает межкристаллитную коррозию и поэтому подвержено излому в изгибах.

На электроламповых заводах очищенную от смазки проволоку из сплава, прежде чем применять для изготовления электродов, отжигают в водородной печи при 1000—1100°С со скоростью перемотки 3—10 м/мин для обезгаживания, восстановления окислов и придания ей необходимого относительного удлинения. Электроды с применением сплава можно изготавливать как на газосварочном, так и на электросварочном автоматах. При хранении сплава следует остерегаться смешивания его со стальной проволокой для керн. Перед применением необходимо проверять его коэффициент теплового расширения.

Сплав Н47Д5 в качестве заменителя платинита еще недостаточно исследован и опыт его применения мало изучен. Поэтому нельзя его рекомендовать для применения во всех лампах и тем более в высоконадежных. Исследования в области создания и применения наилучшего заменителя платинита продолжаются.

## 8-7. ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ МОЩНЫХ ЛАМП

Для изготовления мощных и высоконагруженных ламп с ножками из термостойкого боросиликатного стекла применяют трехзвенные электроды с вводом из никелевой проволоки, промежуточным звеном из молибденовой или, реже, вольфрамовой

проволоки и выводом из медных крученых проволок (канатика). Звенья соединяют электросваркой.

Молибден обладает всеми необходимыми свойствами для получения согласованных впаев в термически стойкое стекло: его коэффициент расширения близок коэффициенту расширения стекла рецепта С49-2, его низшие окислы легко растворяются в этом стекле, его высокая электропроводность позволяет пропускать через впаив большой ток.

Для изготовления электродов применяют проволоку из молибдена марки МК, обладающего высокой температурой рекристаллизации и сохраняющего прочность при впаивании в стекло. Проволоку применяют диаметром от 0,8 до 2,2 мм, исходя из допустимой плотности тока 5—10 а/мм<sup>2</sup>. Перед применением ее выпрямляют на роликовых рихтовочных станках и нарезают на прутки длиной около 1 м.

Тянутый молибден имеет много поверхностных пороков — капиллярных трещин, долевых штрихов, пружинных рисок, царапин, впаив, загрязнений. Эти пороки плохо заполняются размягченным стеклом и препятствуют получению герметичных впаев. С целью их устранения молибденовые прутки шлифуют вращающимся абразивным диском на бесцентровом шлифовальном станке. Шлифовкой снимают верхний слой металла толщиной 0,1—0,2 мм. Остающаяся после шлифовки некоторая поперечная шероховатость не представляет опасности.

Медный канатик для выводов изготавливают натягиванием заданного числа жил медной проволоки диаметром 0,45—0,6 мм, длиной по несколько метров между неподвижным крюком и крюком, закрепленным на оси электродвигателя; при включении двигателя натянутые жилы сплетаются в канатик.

Молибденовую и никелевую проволоку и медный канатик нарезают на короткие отрезки заданных размеров. Резку молибденовой проволоки производят вращающимся абразивным диском, так как при резке лезвием проволока растрескивается и расщепляется в концах. Шлифованные молибденовые отрезки галтуют во вращающемся барабане с раствором кальцинированной соды, после чего промывают и сушат. Никелевые отрезки выпрямляют на стальной плите «утюгом» и отжигают в препаративном газе. Концевую часть медного канатика обертывают гильзой, свернутой из никелевой жести, и проковывают вместе с гильзой на ротационной ковочной машине. Гильза служит переходным металлом между молибденом и медью, которые непосредственно друг с другом не свариваются.

После подготовки всех деталей производят стыковую сварку их на специальном электросварочном аппарате. Сначала сваривают никелевый отрезок с молибденовым, потом молибденовый с медным канатиком. Сварочный ток регулируют реостатом. Его подбирают в зависимости от размеров свариваемых проволок. Зону сварки обдувают водородом, подводу которого от-

крывают одновременно с включением сварочной цепи и закрывают с выключением.

Перед изготовлением ножек молибденовое звено сваренных электродов направляют в слабом пламени горелки до образования на его поверхности пленки коричневой окиси; одновременно на окисную пленку наплавляют тонкий слой стекла такого же состава, как основного стекла, путем обмотки расплавленным концом стеклянного штабика. Слой стекла защищает молибден от глубокого окисления при изготовлении ножек. Наплавление стекла на молибденовое звено позволяет изготавливать ножки для мощных ламп путем спаивания стекла со стеклом вместо более трудного спаивания стекла с металлом.

Степень окисления молибдена перед наплавлением стекла влияет на герметичность будущего впая. Только тонкая пленка  $MoO_2$ , свободная от других окислов, способна прочно связываться с основным металлом и расплавленным стеклом. Если окисная пленка слишком толста или содержит летучую  $MoO_3$ , стекло не проникает на требуемую глубину и не обеспечивает герметичности впая. Если окисная пленка слишком тонка, стекло недостаточно прочно связывается с металлом и тоже не обеспечивает герметичности впая. Молибденовое звено, обмотанное стеклом, не должно иметь сплошной цепочки пузырей.

### 9-1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Резьбовые цоколи, или цоколи Эдисона (рис. 9-1), состоят из металлического корпуса с винтообразной резьбой, металлической контактной пластинки и изоляции из стекла или другого подходящего материала, соединяющей корпус с контактной пластинкой. В зависимости от размеров ламп применяют резьбовые цоколи с наружным диаметром резьбы округленно 10 мм (P10), 14 мм (P14), 27 мм (P27) и 40 мм (P40).

Штифтовые цоколи, или цоколи Свана (рис. 9-2), состоят из гладкого металлического корпуса с двумя диаметрально противоположными направляющими штифтами, одной или двух металлических контактных пластинок и изоляции, соединяющей корпус с контактными пластинками. В зависимости от размеров ламп применяют штифтовые цоколи с наружным диаметром корпуса округленно 9 мм (1Ш9), 15 мм (1Ш15 и 2Ш15) и 22 мм (2Ш22). Цифры 1 и 2 перед буквой Ш означают число контактных пластинок. В некоторых специальных лампах применяют цоколи 1Ш15-А и 2Ш15-А с направляющими штифтами, расположенными на разной высоте. Несимметричность штифтов и прорезей патрона обеспечивает установку таких ламп в патроне только в определенном положении.

Резьбовые и штифтовые цоколи изготавливают в нескольких вариантах, в зависимости от наличия и величины ранта. Для

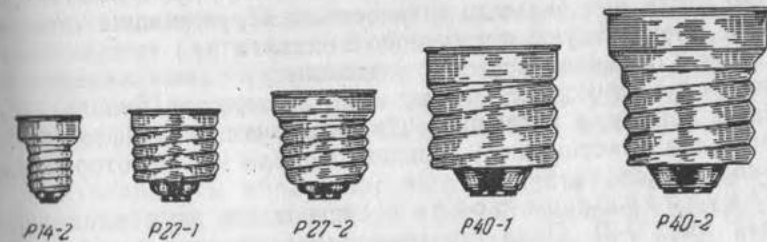


Рис. 9-1. Резьбовые цоколи.

ламп с горлом большого диаметра применяют цоколи с большим рантом, а для ламп с горлом малого диаметра — цоколи с малым рантом или без ранта. Цоколям придают такие размеры ранта, чтобы при ввертывании ламп в патрон корпус цоколя мог оказаться под напряжением только после того, как он станет недоступным для случайного прикосновения рукой. Для увеличения жесткости цоколи могут иметь отбортованный край, увеличивающий диаметр ранта на 1—2 мм.

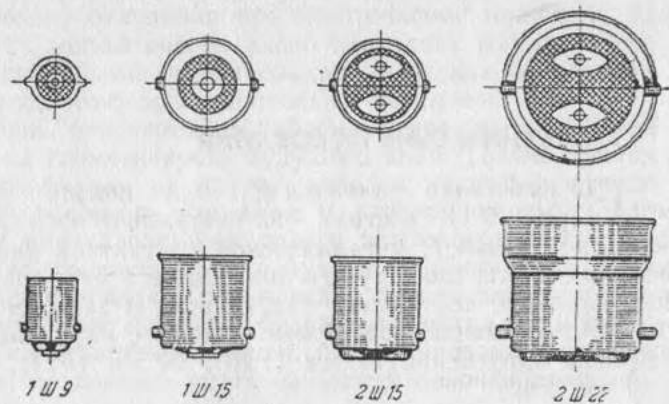


Рис. 9-2. Штифтовые цоколи.

Для присоединения ламп с резьбовым или штифтовым цоколем к сети питания применяют соответственно резьбовой или штифтовой патрон. Лампы с резьбовым цоколем ввинчивают в резьбовой патрон подобно тому, как болт ввинчивают в гайку. После ввинчивания до отказа корпус цоколя и боковая пластинка патрона создают один электрический контакт, а плотно прижатые друг к другу контактная пластинка цоколя и центральная пластинка патрона — другой электрический контакт.

Лампы с штифтовым цоколем не ввинчивают, а вставляют в патрон и поворачивают в патроне так, чтобы направляющие штифты цоколя вошли в фигурные прорезы штыкового затвора патрона; лампа надежно удерживается в патроне и не выпадает из него даже при сильных сотрясениях. Пружинящие штырьки патрона препятствуют нарушению контакта при тряске лампы. В лампах с одноконтактным штифтовым цоколем токоведущими частями служат корпус цоколя и металлическая пластинка на доньшке цоколя, а в лампах с двухконтактным штифтовым цоколем — две пластинки на доньшке цоколя и в некоторых случаях корпус цоколя.

Фокусирующие цоколи состоят из двух отдельных деталей (рис. 9-3). Одна (внутренняя) прикрепляется мастикой к колбе лампы, а другая (наружная) припаивается к первой

после того, как на специальном фокусирующем аппарате зафиксировано точное положение тела накала. Конструктивное сочленение наружной детали с патроном может быть дисковым (1Ф-Д30, 2Ф-Д30, 1Ф-Д42, 2Ф-Д42), штифтовым (2Ф-Ш20, 2Ф-Ш24) и секторным (1Ф-С34, 1Ф-С42, 1Ф-С51). Наружная деталь имеет один или несколько фиксирующих выступов или высеков, позволяющих без регулировки точно устанавливать, центрировать или ориентировать лампу в оптическом приборе и сохранять постоянно ее положения в приборе, даже при на-

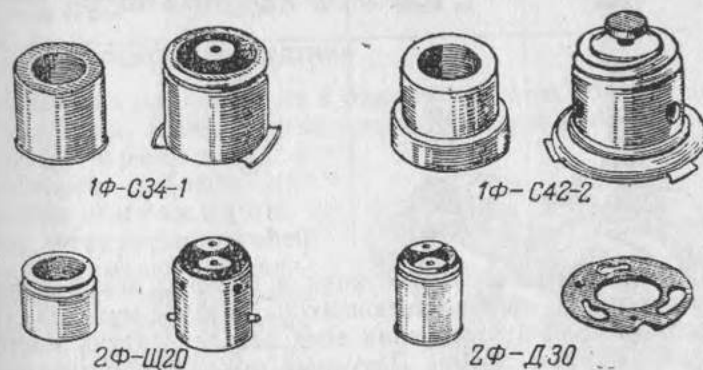


Рис. 9-3. Фокусирующие цоколи.

личии вибраций. Применение фокусирующих цоколей позволяет значительно уменьшить поле допуска на высоту светового центра ламп и точно совмещать световой центр лампы с фокусом оптической системы.

Основные требования, предъявляемые к цоколям и патронам, заключаются в необходимости обеспечения их полной взаимозаменяемости. Цоколь любой электрической лампы должен без подбора или пригонки подходить к соответствующему патрону, независимо от того, в какое время, в каком городе или даже в какой стране лампа и патрон были изготовлены. Применение электрического освещения было бы крайне затруднительно, если бы это требование не соблюдалось. На цоколи и патроны разработаны международные рекомендации (публикация 61 МЭК), которыми предусмотрено строгое сопряжение размеров цоколей с размерами патронов. В соответствии с международными рекомендациями разработаны отечественные стандарты: ГОСТ 6042-51 на резьбу для цоколей, ГОСТ 2520-63 на цоколи резьбовые и штифтовые и ГОСТ 6129-52 на цоколи фокусирующие.

Эти стандарты обязывают изготавливать цоколи со строго установленными диаметром и высотой корпуса, профилем и шагом резьбы, размерами и расположением штифтов, высотой изоляции, размерами контактных пластинок и т. д. Цоколи,

изготовленные без соблюдения стандартизованных допусков и размеры, не входят в патроны или, войдя в патроны, шатаются или не достигают своими контактными деталями ответных деталей патронов. Взаимозаменяемость цоколей по отношению к патронам оценивают кольцевыми проходными и непроходными калибрами.

Таблица 9-1

Допустимые электрические нагрузки на цоколи

Обозначение типов	Напряжение, в, не выше	Номинальный ток, а	Мощность лампы, вт, не более
P10	36	2,5	50
P14	250	2,5	100
P27	250	10	300
P40	250	20	2 000
1Ш9	36	2,5	50
1Ш15	250	4	50
2Ш15	250	4	50
2Ш22	250	4	300

Корпуса, контактные пластинки и штифты цоколей должны быть изготовлены из нержавеющей на воздухе металла. Наиболее подходит для изготовления этих деталей латунь, состоящая из сплава меди и цинка. Латунные цоколи, рассчитанные на работу в местностях с влажным тропическим климатом, покрывают защитным слоем никеля. Корпуса и штифты цоколей изготавливают также из мягкой стали, но с обязательным покрытием защитным слоем цинка. Корпуса резьбовых цоколей допускаются изготавливать из алюминия, более дешевого и обладающего лучшей проводимостью, чем латунь, и большей коррозионной стойкостью, чем сталь.

Изоляция цоколей должна состоять из влаго- и теплостойкой механически прочной неэлектропроводной массы. Она должна быть прочно соединена с контактной пластинкой (или контактными пластинками) и корпусом цоколя. В двухконтактных штифтовых цоколях электрическое сопротивление изоляции между каждой из контактных пластинок и корпусом, измеренное при напряжении постоянного тока 500 в, должно быть не менее 50 Мом.

В табл. 9-1 приведены значения напряжения, тока и мощности, допустимые в патронах и цоколях согласно ГОСТ 2520-63. Этими значениями руководствуются при выборе цоколей для тех или иных типов ламп.

На отечественных электроламповых заводах цоколи изготавливают в следующей технологической последовательности: в штамповочном отделении штампуют металлические детали цоколей, в заливочном отделении плавят стекломассу и запрессовывают ее в цоколи, в травильном и гальваническом отделении латунные цоколи травят, а стальные цинкуют, в перебо-

рочном отделении цоколи проверяют, испытывают и, если они предназначены для перевозки, упаковывают в ящики. Некоторые зарубежные заводы изготавливают цоколи в другой последовательности: сначала приготавливают корпуса цоколей, далее латунные корпуса травят, а стальные цинкуют, затем в корпуса запрессовывают отдельно изготовленные холодные «пуговицы», состоящие из стеклянного изолятора и контактной пластинки.

## 9-2. ШТАМПОВКА ЦОКОЛЕЙ

### а) ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Штамповка принадлежит к одному из видов обработки изделий давлением. Применяемые для штамповки рабочие машины называют прессами, а специальные рабочие инструменты — штампами.

Для штамповки деталей цоколей применяют эксцентриковые и кривошипные прессы (рис. 9-4). В таких прессах вращающийся вал с эксцентриком (эксцентриковый вал) или кривошипом (кривошипный или коленчатый вал) приводит в качательное движение шатун. Шатун в свою очередь поднимает и опускает ползун с закрепленной в нем верхней половиной штампа. Рабочее движение ползуна совершается между двумя направляющими, укрепленными на станине прессы и препятствующими ползуну отклоняться в сторону или качаться. За один оборот вала ползун совершает возвратно-поступательное движение вверх и вниз. Расстояние от его крайнего верхнего положения до крайнего нижнего называют высотой хода или ходом прессы. Чем больше высота штампуемой заготовки, тем больше должен быть ход прессы. Для

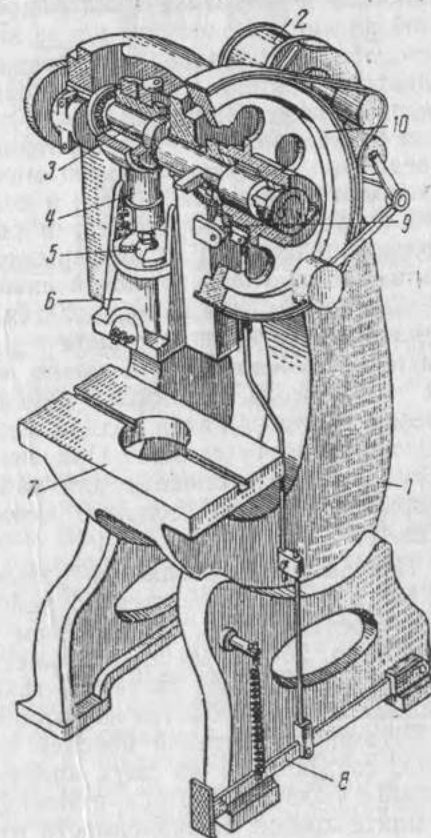


Рис. 9-4. Эксцентриковый пресс.

1 — станина; 2 — электродвигатель; 3 — вал; 4 — шатун; 5 — шаровой подшипник; 6 — ползун; 7 — плита; 8 — педаль, включающая вал; 9 — механизм включения прессы; 10 — маховик.

вырубки и неглубокой вытяжки применяют преимущественно эксцентриковые прессы, а для глубокой вытяжки — кривошипные.

Все узлы и детали прессы установлены на массивной станине, воспринимаящей усилия при штамповке. Станина имеет плиту, на которой укрепляют болтами нижнюю половину штампа. Ось ползуна строго перпендикулярна плоскости плиты. В плите имеется отверстие для удаления отштампованных изделий или отходов штамповки. Прессы часто изготавливают с подвижной станиной, позволяющей регулировать наклон плиты и этим облегчать свободное перемещение заготовок по наклонному лотку к штампу и свободное выпадение изделий из штампа.

На эксцентриковый или коленчатый вал насажен тяжелый маховик, повышающий равномерность вращения вала. Во вращающемся маховике накапливается запас энергии, позволяющий развить в момент удара значительно большую мощность, чем обладает приводной электродвигатель. После включения электродвигателя маховик вращается вхолостую до того момента, пока помещающийся между ним и валом механизм включения не соединит его с эксцентриковым или коленчатым валом. Тогда вал, получив энергию маховика, начинает вращаться и приводит в движение шатун и ползун. Механизм включения через посредство системы тяг и рычагов приводится в действие ножной педалью. Вал непрерывно вращается лишь до тех пор, пока педаль нажата ногой штамповщика. С освобождением педали автоматически включается тормозной механизм, приостанавливающий вращение вала и работу прессы. По соображениям техники безопасности важно, чтобы при освобождении педали тормозной механизм немедленно останавливал работу прессы, а при нажатии педали механизм включения немедленно включал работу прессы. При неисправности этих механизмов могут возникать опасные для работающих у прессы сдвоенные удары и самопроизвольные неожиданные движения ползуна вниз.

Прессы рассчитывают на различные усилия. Под усилием прессы подразумевается то наибольшее нажатие, которое он может осуществить при крайнем нижнем положении ползуна. Например, 25-тонный пресс может произвести нажатие с силой не более 25 Т. Если заставить такой пресс работать с большим усилием, он будет быстро изнашиваться.

Штамповку деталей цоколей на прессах производят штампами, состоящими из двух половин: верхней подвижной, связанной с ползуном прессы, и нижней, неподвижной, укрепленной на плите прессы. В зависимости от конструкции штампа основные его рабочие части — пуансон (цилиндрический столбик) и матрица (плоское кольцо) — укрепляют в верхней или нижней половине штампа. Пуансоны и матрицы изготавливают из инструментальной стали с последующей закалкой. Матрицы для

вытяжных операций изготавливают также из твердого сплава ВК8. Твердосплавные матрицы медленнее изнашиваются и служат значительно дольше стальных. Другие детали штампа изготавливают из конструкционной стали. Конфигурация пуансона и матрицы полностью отражает форму изготавливаемого изделия. При штамповке металлическую заготовку помещают между пуансоном и матрицей. Пуансон вдавливает заготовку и углубление или отверстие матрицы и заставляет ее принять форму и размеры соответственно форме и размерам пуансона и матрицы (рис. 9-5).

Штампы различают по видам выполняемой работы. Для штамповки деталей цоколей применяют вырубные, вытяжные и комбинированные штампы. Вырубные — вырезают отверстие в заготовке, вытяжные — вытягивают заготовку, комбинированные — вырезают и вытягивают заготовку одновременно.

Если пуансон и матрица изготовлены и установлены так, что по всей окружности между ними образуется зазор значительно меньше толщины штампуемого материала, и рабочие кромки пуансона и матрицы заострены, происходит вырубка отверстия. Вырубку различают двух видов: пробивку и обесчку. При пробивке отделяемая часть является отходом, а при обесчке — изделием. Слишком малый зазор приводит к образованию рваных поверхностей среза и ускоренному затуплению режущих кромок пуансона и матрицы, а слишком большой или неравномерный — к образованию заусенцев на обратной стороне отверстия и получению скошенных поверхностей среза. Пробиваемое отверстие или обсекаемая деталь получается с острыми кромками и гладкой поверхностью среза только при условиях, если двусторонний зазор между пуансоном и матрицей равен около 6% толщины штампуемого материала и режущие кромки пуансона и матрицы не затуплены.

Если пуансон и матрица изготовлены и установлены так, что по всей окружности между ними образуется щель шириной не менее толщины штампуемого материала, происходит вытяжка

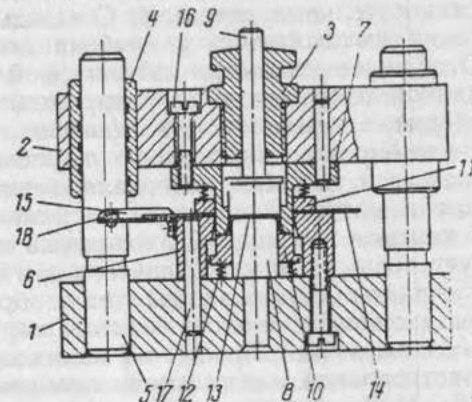


Рис. 9-5. Штамп вырубki и первой вытяжки корпуса цоколя.

1 — нижняя плита; 2 — верхняя плита; 3 — хвостовик для присоединения к ползуну; 4 — направляющая втулка; 5 — направляющая колонка; 6 — вырубная матрица; 7 — вырубной пуансон — вытяжная матрица; 8 — вытяжной пуансон; 9 — вырубная матрица; 10 — прижим; 11 — съемник; 12 — пружина; 13 — заготовка; 14 — штамповальная лента; 15 — лоток, направляющий ленту; 16 — винт; 17 — штифт; 18 — фиксатор.



заготовки. При вытяжке пуансон нажимает на среднюю часть заготовки и увлекает ее за собой в полость матрицы. Материал заготовки обтягивает пуансон и принимает его форму. При этом слой металла со стороны матрицы растягиваются, а со стороны пуансона — сжимаются; места перехода от дна к стенкам уточняются. Изделия с неглубокой вытяжкой вытягивают за одну операцию, а изделия с глубокой вытяжкой — за несколько последовательных операций. С каждым переходом диаметр заготовки уменьшается, а глубина соответственно увеличивается. Отношение диаметра штампуемой детали (или изделия) на данной операции к диаметру этой же детали на предыдущей операции называют коэффициентом вытяжки. Величину его выбирают в зависимости от размеров изделия, механических свойств и толщины материала, величины зазора между пуансоном и матрицей, способа вытяжки и применяемой смазки. С каждым переходом штампуемый материал упрочняется и требует повышения коэффициента вытяжки. Чрезмерно малый коэффициент вытяжки приводит к образованию трещин и разрывов в опасном сечении (в месте перехода дна к стенке).

Наименьший брак при вытяжке получается тогда, когда односторонний зазор между пуансоном и матрицей составляет 115—130% толщины штампуемого материала. На последней (калибрующей) вытяжке, требующей выдержки точного наружного диаметра, зазор принимают близким толщине материала и его делают за счет пуансона.

Чтобы воспрепятствовать образованию складок, штампы для глубокой вытяжки снабжают прижимным кольцом, прижимающим края заготовки к рабочему торцу матрицы. Прижим осуществляется упругим буфером в виде стальной спиральной пружины или резинового цилиндра, размещенных под столом пресса. Прижим создает усилие, равное около 10% усилия вытяжки. Недостаточное усилие прижима приводит к образованию складок на краях вытянутой заготовки, а излишне большое усилие — к чрезмерному утонению стенок у дна и отрыву дна от заготовки. При вытяжке с прижимом зазор между пуансоном и матрицей можно брать на 5—8% меньше, чем без прижима.

Рабочие кромки пуансона и матрицы на вытяжных операциях должны быть закруглены. При отсутствии закругления или малом радиусе закругления заготовки не вытягиваются, а рвутся. При большом радиусе закругления требуется меньшее усилие пресса и меньше переходов для получения готового вытянутого изделия. При слишком большом радиусе закругления возникают условия для образования складок.

При установке вырубных и вытяжных штампов пуансон и матрица должны быть строго отцентрированы и не иметь перекосов; оси пуансона и матрицы должны точно совпадать. Иначе нарушается заданный зазор между пуансоном и матрицей, изделия получаются с косиной и штамп может быть испорчен. Для

обеспечения точного расположения верхней половины штампа относительно нижней и соответственно точного положения пуансона относительно матрицы штампы снабжают направляющими стальными колонками и втулками. Наличие колонок и втулок упрощает установку и наладку штампа на прессе и облегчает его транспортирование и хранение.

Наряду с простыми однооперационными штампами пользуются: а) многорядными штампами, производящими за один рабочий ход пресса несколько одинаковых операций одновременно с несколькими штампами; б) комбинированными или совмещенными штампами, производящими за один рабочий ход пресса несколько различных операций одновременно с одной и той же заготовкой без перемещения последней; в) последовательными штампами, производящими за один рабочий ход пресса несколько различных операций одновременно с несколькими заготовками, последовательно перемещающимися от одной позиции к другой в направлении подачи.

Для создания надлежащих условий безопасности устанавливают ограждения, изолирующие штампы и движущиеся механизмы пресса от рабочего персонала. С этой же целью применяют автоматические самоходные механизмы, подводящие ленточный материал или штучные заготовки в зону обработки и тем самым освобождающие штамповщика от необходимости прикасаться к ним руками. Ось симметрии таких механизмов точно центрируют по отношению оси штампов. Автоматическая подача значительно повышает использование числа ходов пресса и сокращает потери материала при штамповке за счет уменьшения размеров мостиков между вырубками.

Не менее важное значение, чем автоматическая подача, имеет автоматическое удаление деталей из штампов. Случайно оставшаяся в штампе деталь может вызвать аварию штампа и даже пресса. Для удаления деталей пользуются сжатым воздухом, подведенным к зоне штамповки, или специальными механическими выталкивателями.

В производстве цоколей встречается различный уровень механизации и автоматизации штамповочных операций. Наряду с простейшими приспособлениями для подачи в штамп ленты и штучных заготовок и перемещения их на заданный шаг применяют полную автоматизацию, значительно повышающую производительность труда и почти исключаящую опасность травматизма.

#### б) ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К МЕТАЛЛУ ДЛЯ ЦОКОЛЕЙ

Исходным материалом для штамповки цоколей служит прокат латуни или низкоуглеродистой стали в виде равномерной по толщине и ширине ленты, свернутой в рулоны.

Применяют латунную ленту марки Л62 или Л68 по

ГОСТ 2208-49) а стальную — марки ОМ (особо мягкую холоднокатаную) по ГОСТ 503-41.

Поверхность штамповальной ленты должна быть чистой без плёнок, трещин, рисок, окалины и ржавчины. Кромки ленты должны быть обрезаны и не должны иметь заусенцев.

Перед штамповкой ленту смачивают 10%-ной мыльной эмульсией или смазывают маслом для уменьшения трения, улучшения скольжения металла при вытяжке, а также для уменьшения нагрева штампов и защиты их от преждевременного износа.

Смоченные заготовки не прилипают к штампу и легко от него отделяются.

Вытяжные свойства ленты определяют испытанием на приборе Эриксона. Действие этого прибора основано на постепенном продавливании образца ленты, зажатой между пуансоном и матрицей, до образования на ней сферической лунки. По глубине выдавленной лунки в момент появления в ней трещины судят о способности ленты вытягиваться без разрыва. Латунная и стальная ленты для цоколей должны иметь глубину вытяжки по Эриксену при пуансоне диаметром 10 мм не менее 5,5 мм. Вытяжные свойства ленты в одном рулоне и у разных рулонов должны быть одинаковыми.

Как указывалось выше (стр. 273), всякий металл под влиянием холодной механической обработки претерпевает наклеп (нагартовку). Нагартованный металл становится более упругим, твердым и прочным и менее пластичным и тягучим. Для устранения наклепа корпуса, требующие глубокой многооперационной вытяжки, например для цоколей Р40, подвергают межоперационному отжигу, восстанавливающему пластичность и тягучесть металла. Если применяемая лента обладает хорошими вытяжными свойствами и корпуса цоколей изготавливают на автомате с применением штампа последовательного действия, межоперационный отжиг можно не производить.

Для некоторых цоколей наклеп — явление полезное. Например, нагартовка секторов в фокусирующих цоколях 1Ф-С34 и 1Ф-С51 делает их более жесткими и менее подверженными смятию и расфокусировке при вставлении ламп в патрон.

Для изготовления цоколей применяют ленту толщиной 0,25—0,4 мм. Чем меньше вытяжная способность ленты, чем крупнее цоколь и чем больше отношение высоты корпуса цоколя к его диаметру, тем толще должна быть лента. Ширина ленты должна быть такой, чтобы при штамповке получались наименьшие потери металла на перемячках и по краям ленты. При изготовлении цоколей Р27-1 применяют ленту 0,25×55. Экономия материала при штамповке цоколей имеет большое значение, так как его стоимость составляет 70—80% цеховой себестоимости цоколя.

## в) ОПЕРАЦИИ ШТАМПОВКИ ЦОКОЛЕЙ

Корпус цоколя для ламп накаливания нельзя полностью вытянуть за одну операцию без того, чтобы он не разорвался. Поэтому его вытягивают в несколько переходов.

При изготовлении цоколей Р27-1 сначала вырубным пуансоном комбинированного штампа вырубает из ленты плоский кружок и вытяжным пуансоном этого же штампа, перемещающимся внутри канала вырубного пуансона, вытягивают из кружка чашечку (рис. 9-5). Далее чашечку превращают вытяжным штампом в стакан (корпус).

Корпуса для цоколей с рантом (Р27-2, Р40-2, 2Ш22-2) после вытяжки подвергают обжимке, при которой нижнюю часть корпуса обжимают до меньшего диаметра, а верхнюю часть сохраняют без изменения. Верхняя необжатая часть образует рант.

Корпуса цоколей после вытяжки и обжимки получаются с неровными волнистыми краями. Для придания им одинаковой высоты по всей окружности ранта их обрезают вращающимся дисковым ножом на обрезном станке или обсекают штампом на прессе. После обрезки или обсеки пробивают в донышке корпусов круглое отверстие.

На корпусах резьбовых цоколей выдавливают винтовую резьбу. Резьбодавильный автомат (рис. 9-6) имеет быстровращающийся стальной накатный винт, на который надевают гладкий корпус цоколя, и с такой же резьбой, но большего диаметра, стальной накатный ролик. Винт имеет правую резьбу, а ролик — левую. Винт и ролик вращаются вокруг своих осей в противоположных направлениях с одинаковой окружной скоростью, причем винт вращается на закрепленной оси, а ролик, не приостанавливая своего вращения, отходит от винта в момент надевания и съема корпуса. При наладке инструмента выступы резьбы винта точно совмещают с впадинами резьбы ролика. Ролик, прижимаясь к винту, выдавливает на гладком корпусе цоколя винтовые углубления и выступы такого же профиля, как у винта. Поверхность корпуса увеличивается за счет утонения материала в резьбовой части.

В корпусах штифтовых цоколей пробивают два боковых круглых отверстия и запрессовывают в них пустотелые штифты, выдавливаемые отдельно из латунной или стальной ленты многорядным штампом последовательного действия. Некоторые заводы штифтуют цоколи 2Ш22 на специальном карусельном автомате. На таком автомате пробивают в цоколе два отверстия, вставляют в отверстия концы двух проволок, обрезают проволоки на требуемую длину, осаживают их изнутри клиновым механизмом и удаляют образовавшиеся заусенцы. В корпусах цоколей 1Ш9 штифты выдавливают из материала самого корпуса. Внутри корпуса вводится пуансон, состоящий из двух раздвигающихся в стороны половин, а снаружи к корпусу прижи-

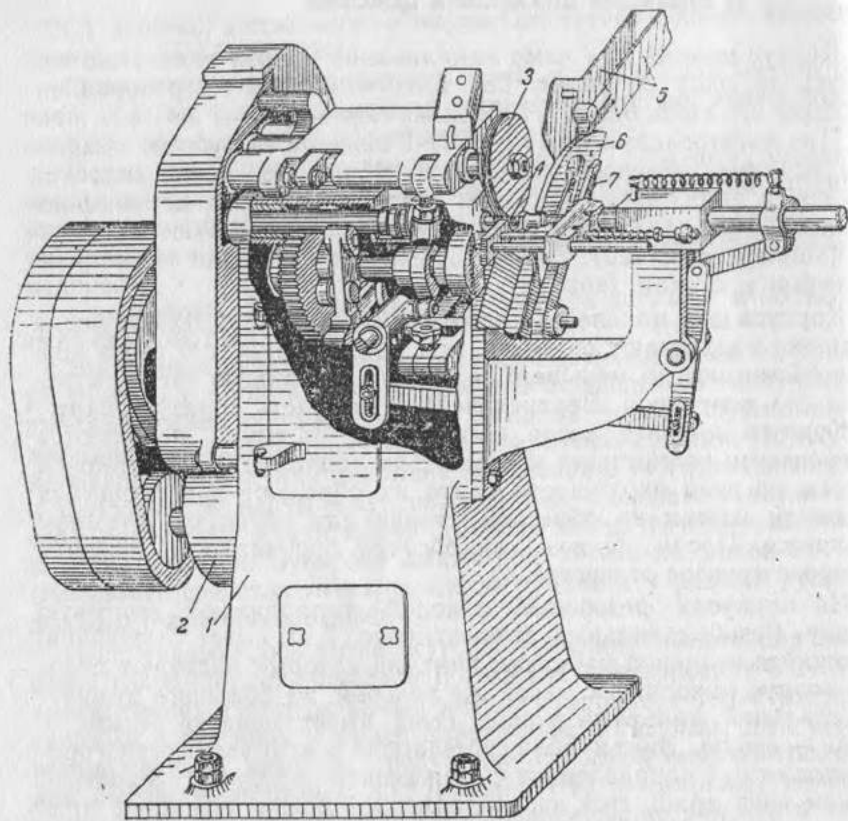


Рис. 9-6. Резьбодавильный автомат.

1 — корпус; 2 — электродвигатель; 3 — накатный ролик; 4 — накатный винт; 5 — лоток подачи корпусов; 6 — питатель, переносящий корпуса с лотка к толкателю; 7 — толкатель, подающий корпуса на накатный винт.

маются две матрицы. Корпуса перед штифтовкой отжигают для снятия наклепа. ГОСТ 2520-63 допускает и для цоколей Ш15 изготовление штифтов путем вытяжки их из корпуса. При любом способе штифтовки следят, чтобы штифтам придавалась правильная форма и на корпусах вблизи штифтов не образовалось вмятин, препятствующих вставлению цоколя в проходной калибр.

Контактные пластинки в зависимости от типа и конструкции цоколей изготавливают круглыми или фигурными, с отбортованными краями или безбортовыми (гладкими). В пластинках прокалывают отверстие диаметром 1,2—1,8 мм для вывода электродов. По краям отверстия с внутренней стороны образуются отогнутые заусенцы, которыми контактные пластинки в дальнейшем скрепляются с изоляцией цоколя. Вокруг от-

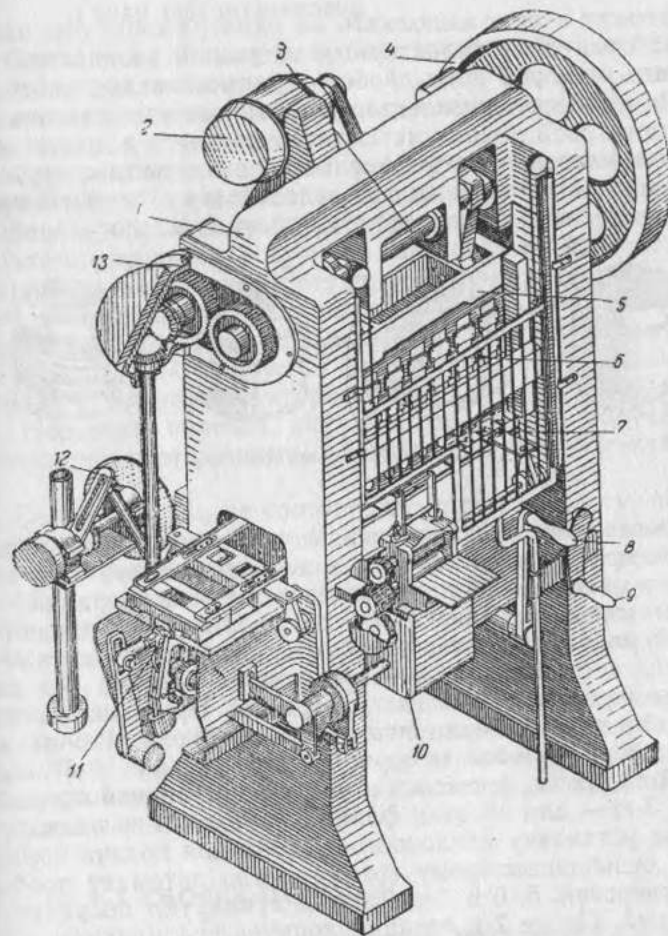


Рис. 9-7. Семипозиционный автоматический пресс.

1 — станина; 2 — электродвигатель; 3 — коленчатый вал; 4 — маховик; 5 — ползуны; 6 — оградительная решетка; 7 — штамп; 8 — рукоять включения пресса; 9 — рукоять включения тормоза; 10 — механизм подачи ленты; 11 — грейферный механизм; 12 — приспособление для намотки просеченной ленты; 13 — коробка передач.

верстия пластинки выдавливают небольшую лунку для облегчения в дальнейшем припайки электродов. Пластинки изготавливают на эксцентриковых прессах многорядным комбинированным штампом с шахматным расположением пуансонов. Штамп одновременно вырубает, вытягивает и прокалывает по несколько контактных пластинок сразу.

Для изготовления корпусов цоколей получил широкое распространение кривошипный 7-позиционный автоматический пресс модели А-821 с номинальным усилием 20 Т (рис. 9-7).

Пресс-автомат может выполнять за один рабочий ход одновременно до семи разнохарактерных операций, что позволяет изготавливать корпуса цоколей без передачи на другое оборудование. Он снабжен комплектом операционных штампов, механизмом валиковой подачи металлической ленты в штамп первой операции и клещевым (грейферным) механизмом с пружинными челюстными захватами, последовательно перемещающими колпачковые заготовки на точно заданный шаг от первой опе-

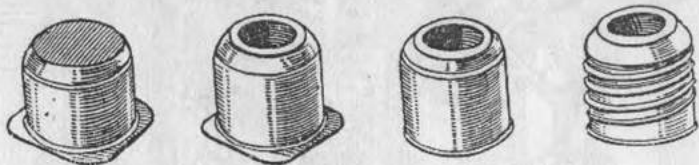


Рис. 9-8. Стадии штамповки цоколей Р27-1.

рации к последней. Заготовки штампуют в положении куполом вверх, что требует нижнего размещения пуансонов. При таком размещении облегчаются прижимные и съемные операции.

При штамповке цоколей Р27-1 пресс-автомат соединяют для совместной работы с двумя резбодавильными автоматами модели АО11, а при штамповке штифтовых цоколей — с двумя автоматами пробивки боковых отверстий. При каждом ударе пресс выдает одновременно два корпуса цоколя. 1-ю позицию используют для вырубки и первой вытяжки (рис. 9-8), 2-ю — для второй вытяжки, формовки доньшка и пробивки в доньшке отверстия, 3-ю — для обсечки фланца (ранта), 4-ю позицию занимают под установку наклонного желоба для подачи корпусов к первому резбодавильному автомату или автомату пробивки боковых отверстий. 5, 6 и 7-я позиции дублируют операции 1, 2 и 3-й позиций. После 7-й позиции корпуса скатываются по желобу ко второму резбодавильному автомату или второму автомату пробивки боковых отверстий. Производительность прессы при штамповке цоколей в два ручья составляет 5—6 тыс. шт. в час.

На 7-позиционном 20-тонном прессе можно штамповать корпуса цоколей всех типов, кроме самых крупных и самых мелких. Корпуса цоколей, требующие для своего изготовления три операции, штампуют в два ручья, а более трех — в один ручей. Корпуса цоколей Р40 штампуют на 45-тонном однопозиционном прессе модели А-822, а цоколей Ш9 и Р10 на 10-тонном 8-позиционном прессе модели А-820.

Применение многопозиционных автоматических прессов позволяет значительно уменьшить парк оборудования, производственные площади, расходы на рабочую силу и опасность травматизма.

## г) БРАК ПРИ ШТАМПОВКЕ

1. Складки на цоколе получаются при работе с тонкой лентой, слабом давлении прижимного кольца, большом зазоре между пуансоном и матрицей и установке матрицы эксцентрично по отношению к пуансону.

2. Трещины или разрывы резьбы получаются при работе с тонкой лентой или лентой, имеющей малую вытяжку по Эриксену. Этот же брак получается при неправильной установке или неудовлетворительном состоянии накатного инструмента на резбодавильном автомате. В латунных цоколях под влиянием внутренних напряжений иногда образуются так называемые сезонные продольные трещины, вызываемые межкристаллитной коррозией. Для борьбы с таким браком отштампованные корпуса подвергают низкотемпературному отжигу (280—300°С).

3. Неровная обрезка или обсечка цоколя получается при затупившемся инструменте, обрезающем или обсекающем цоколь.

4. Резьба цоколя, не соответствующая стандарту, получается при работе с толстой лентой, неправильно выраженном или изношенном профиле резьбы на накатном инструменте, неправильной установке или неотрегулированных между собой накатном ролике и накатном винте, несоответствии профилей резьбы накатного ролика и накатного винта, изношенной матрице или большом зазоре между пуансоном и матрицей на последней вытяжке. Размеры резьбы проверяют двумя предельными калибрами-кольцами, из которых один с резьбой (максимальный), а другой гладкий (минимальный). Резьбовое кольцо должно свободно навинчиваться на цоколь, а гладкое не должно находить на цоколь.

## 9-3. СБОРКА ЦОКОЛЕЙ

Сборка цоколя преследует цель механического соединения и электрического разобщения корпуса цоколя с одной или двумя контактными пластинками. В качестве изолирующего материала, соединяющего токоведущие детали цоколя, применяют стекло, пластмассу или керамику (фарфор). Подавляющее большинство цоколей изготавливают с изоляцией из стекла.

### а) СБОРКА НА СТЕКЛОЗАЛИВОЧНОМ АВТОМАТЕ

Стеклозаливочный автомат для сборки цоколей диаметром 14 мм и более (рис. 9-9) состоит из станины, поворотного стола (карусели) с рабочими гнездами, несущими заливочные формы, узлов, передающих вращение от электродвигателя к карусели, и пяти исполнительных механизмов: 1) загрузки контактных пластинок, 2) загрузки корпусов, 3) выравнивания корпусов, 4) резки стеклянной струи и 5) формовки и проколки изоляции.

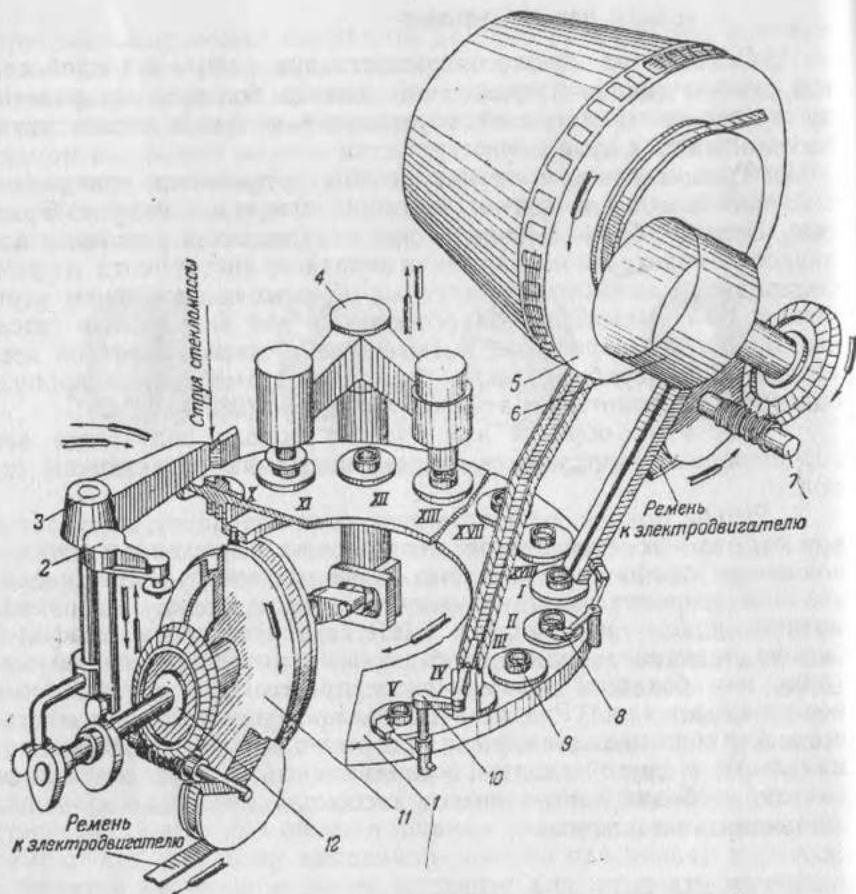


Рис. 9-9. Стеклозаливочный автомат для сборки цоколей.

1 — карусель; 2 — механизм выравнивания корпусов; 3 — механизм дозировки стекломассы; 4 — механизм формовки и проколки изоляции; 5 — бункер загрузки корпусов; 6 — бункер загрузки контактных пластинок; 7 — червячный редуктор, вращающий бункер загрузки контактных пластинок; 8 — механизм поштучной выдачи корпусов; 9 — рабочие гнезда; 10 — механизм поштучной выдачи корпусов; 11 — кулак периодического поворота карусели; 12 — червячный редуктор, вращающий распределительный вал.

Механизмы загрузки контактных пластинок и корпусов, снабженные загрузочными бункерами и узлами поштучной выдачи, приводятся в действие отдельным электродвигателем, а остальные механизмы и карусель — кулаками, насаженными на распределительный вал, вращающийся от другого электродвигателя. Каждый кулак управляет «своим» механизмом.

Автомат монтируется и работает совместно с маленькой стеклоплавильной печью (рис. 9-10), закрепленной на отдельной массивной стойке. Стальной корпус печи обложен изнутри тепловой изоляцией и футерован шамотным кирпичом. Загрузочно-подогревательную камеру печи заполняют и периодически

догружают кусковым стеклом так, чтобы стекло закрывало выход наружу газовому пламени. Стекло разогревается пламенем газовой горелки, размягчается и стекает через спускное окно в плавильную камеру. Там оно совершенно разжижается и заполняет желоб шамотной лодочки. Непрерывная тонкая струя стекломассы стекает из лодочки с высоты примерно 300 мм в очередное рабочее гнездо карусели. Температуру струи поддерживают равной 1 150—1 200° С. Струю так регулируют, чтобы при заданной скорости автомата достигалась требуемая дозировка стекломассы на один цоколь (около 6 г на цоколь Р27). Толщина струи зависит от количества загружаемого в печь стекла, скорости продвижения стекломассы из загрузочно-подогревательной в плавильную часть печи и теплового режима печи. С повышением температуры стекломасса становится менее вязкой, а струя более тонкой. Толщина струи зависит также от величины шамотной лодочки и размеров желоба в ней. При хорошо сваренной стекломассе, не содержащей посторонних включений, получается однородная непрерывная струя.

На 18-позиционном автомате за полный оборот карусели выполняются следующие операции. На 1-й позиции загружается контактная пластинка. 2 и 3-я позиции — резервные для ручной загрузки контактной пластинки. На 4-й позиции загружается корпус цоколя. 5 и 6-я позиции резервные для ручной загрузки корпуса. На 7-й позиции пружинный грибок поправляет положение корпуса в гнезде. 8 и 9-я позиции — свободные. На 10-й позиции корпус заливается стекломассой. Перед поворотом

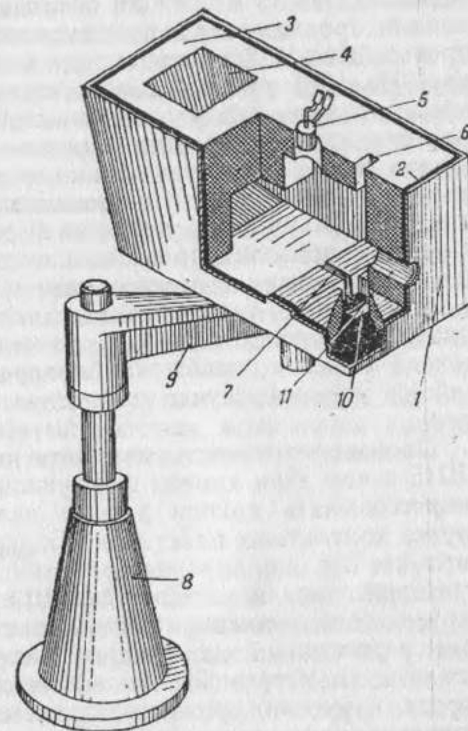


Рис. 9-10. Стеклоплавильная печь к автомату сборки цоколей.

1 — стальной корпус печи; 2 — теплоизоляционная асбестовая обкладка; 3 — огнеупорная футеровка; 4 — люк для загрузки стекла в печь; 5 — газовая горелка; 6 — отверстие для выхода продуктов горения; 7 — желоб в шамотной лодочке для стока расплавленной стекломассы; 8 — стойка для крепления печи; 9 — кронштейн для отвода печи в нерабочее положение; 10 — спускное окно; 11 — смотровое окно.

гнезда на 11-ю позицию стеклянная струя срезается ножом и отводится от гнезда в особую полость. Накопившаяся в полости во время перемещения карусели стекломасса выпадает комком в корпус цоколя. На 11-й позиции пуансон запрессовывает в цоколь пластичную стекломассу. На 12-й позиции масса остывает. На 13-й позиции игла с острозаправленным концом прокалывает в изоляции оквзное отверстие диаметром, превышающим диаметр вывода лампы. 14-я позиция — свободная. На 15-й позиции цоколь выталкивается из гнезда и сдувается сжатым воздухом по наклонному желобу в печь отжига или приемный ящик. 16-я позиция — свободная. На 17-й позиции гнездо очищается от стеклянного сора сжатым воздухом. 18-я позиция — свободная. На позициях от 15 до 2-й формы приподнимаются в гнездах, облегчая выпадение залитого цоколя в ящик и позволяя произвести загрузку контактной пластинки. Для предохранения стекломассы от прилипания к металлу, нож и формующий пуансон охлаждают проточной водой, а иглу сжатым воздухом. Одна из позиций, предшествующая заливке цоколя стеклом, снабжена блокировкой, перекрывающей стеклянную струю в случае отсутствия в гнезде контакта или корпуса.

Производительность автомата около 3 000 цоколей Р27 и 1Ш15 в час. При замене формующих пуансонов и гнезд можно запрессовывать цоколи разных размеров. Автоматическая загрузка контактных пластинок и корпусов позволяет работать на автомате без операционной работницы.

Запрессовку цоколей Р10 и Ш9 производят на 12-гнездном карусельном автомате. Обслуживающая работница устанавливает вертикально на позиции запрессовки стеклянный дрот (штабик диаметром 5,4 мм из стекла С87-1). При каждом повороте карусели дрот перемещается вниз на заданный шаг. Концевую часть дрота разогревают двумя газовыми горелками. Механизм отрезки отрезает от размягченной части комков стекла (0,32 г). Срезанный комок падает на лоток и оттуда скатывается в очередное рабочее гнездо карусели, загруженное контактной пластинкой и корпусом. Там он одновременно формуется и прокалывается сменным инструментом. По мере срабатывания дрота работница приваривает к его верхнему концу новый, обеспечивая безотходное использование стекла и безостановочную работу автомата. Запрессованный цоколь сдувается струей сжатого воздуха в печь отжига. Производительность автомата 2 000 цоколей в час.

#### 6) ОТЖИГ ПОСЛЕ СБОРКИ

Значительная разница в коэффициентах расширения стекла ( $90 \cdot 10^{-7}$ ), железа ( $119 \cdot 10^{-7}$ ) и латуни ( $186 \cdot 10^{-7}$ ) вызывает возникновение опасных напряжений в изоляции цоколя. Метал-

лические части цоколя быстро отводят тепло от прилегающих к ним участков стеклянной изоляции, в то время как из толщи изоляции тепло отводится слабо. Эта особенность больше сказывается на цоколях 2Ш22 и 2Ш15, контактные пластинки которых близко расположены к корпусу. Значительные напряжения возникают также в цоколях Р40 из-за большой толщины изоляции и сравнительно большой массы металла.

Для уменьшения напряжений цоколи 2Ш22, 2Ш15 и Р40 тотчас после заливки отжигают в печи отжига с использованием тепла самих цоколей. Печь состоит из обмазанных огнеупорной глиной двух концентрических стальных цилиндров и помещенной между ними обмотки нагревателя с термоизоляцией (шлаковой ватой). При заполнении печи горячими залитыми цоколями температуру в ней поддерживают для латунных цоколей 380—420°С и для стальных 450—500°С. После заполнения печи цоколями температуру повышают для латунных цоколей до 460°С и для стальных до 540°С, затем ток выключают, загрузочное отверстие в печи закрывают и цоколям дают медленно остыть естественным путем.

Цоколи Р27 специальному отжигу не подвергают. Их помещают после заливки в обитый толстым асбестовым картоном закрытый стальной ящик (термос), где они постепенно и равномерно остывают.

#### в) БРАК ПРИ СБОРКЕ

1. Трещины в изоляции цоколей возникают при сбрасывании горячих залитых цоколей в холодный металлический ящик, случайном попадании проточной охлаждающей воды на горячую изоляцию, чрезмерном понижении температуры стеклянной струи и применении стекломассы низкого качества, например непроваренной, приготовленной по неправильному рецепту или засоренной частицами шамота. Изоляция двухконтактных цоколей вследствие особенности конструкции их фигурных контактных пластинок («рыбок») более подвержена растрескиванию, чем одноконтактных.

2. Цоколи без отверстия для электродов («слепые») получают при запрессовке цоколей слишком горячей стекломассой, проколке изоляции тонкой или обгоревшей иглой и недостаточном охлаждении иглы.

3. Криво установленная контактная пластинка получается при несоответствии диаметра пластинок диаметру форм заливочного автомата, засорении форм соринками и осколками стекла, неправильной установке пластинок в форме и недостаточно глубоком или чрезмерно глубоком положении пластинок в форме.

4. Отделение контактной пластинки от цоколя получается при работе с холодной стекломассой, плохих заусенцах на

внутренней стороне отверстия пластинок и несоответствию диаметра пластинок диаметру форм заливочного автомата.

5. Перелив или недолив стекла (цоколь с избытком или недостатком стекломассы) получается при несоблюдении режима плавки стекломассы, засорении шамотной лодочки стеклоплавильной печи посторонними веществами и изменении скорости вращения карусели заливочного автомата.

6. Заусенцы на внешней стороне контактной пластинки получают при малом отверстии в пластинках, отверстии не в центре пластинок, игле большого диаметра и плохой центровке иглы по отношению к формам.

Забракованные цоколи регенерируют: выколачивают из них изоляцию и снова заливают стеклом. У регенерированных цоколей наблюдается повышенный брак — «мятая резьба», «качающиеся штифты» и «не входит в калибр».

#### 9-4. ТРАВЛЕНИЕ И ЦИНКОВАНИЕ ЦОКОЛЕЙ

##### а) ТРАВЛЕНИЕ ЛАТУННЫХ ЦОКОЛЕЙ

Цоколи при штамповке и заливке смазываются и нагреваются. Их поверхность, особенно после заливки, становится грязной и окисленной. Чтобы придать цоколям чистую блестящую поверхность, их подвергают травлению.

Латунные цоколи травят последовательным погружением в два правильных состава. Погружение в первый состав, называемое отбелом, преследует цель удаления окислов и загрязнений. Погружение во второй состав, называемое блестящим травлением, преследует цель придания цоколям глянцевой поверхности. Между первым и вторым погружениями цоколи промывают холодной проточной водой. Для отбела применяют разбавленный водой состав, предварительно использованный на блестящем травлении, а для блестящего травления — состав, приготовленный из одной объемной части азотной кислоты, двух объемных частей серной кислоты и 5—10 г поваренной соли на 1 л этой смеси. Поваренная соль придает цоколям блеск. Оба погружения продолжаются по несколько секунд. При передержке цоколи перетравливаются и приходят в негодность.

Азотная кислота хорошо взаимодействует с медью, а серная — с цинком. Поэтому количественное соотношение азотной и серной кислот устанавливают в зависимости от соотношения меди и цинка в латуни. На поверхности латуни может оказаться избыток меди или цинка в зависимости от того, какой кислоты было больше, серной или азотной. В первом случае латунь после травления приобретает красноватый цвет, а во втором — желтоватый. В травильный состав иногда добавляют присадку газовой сажи, которая в процессе травления способствует вос-

становлению азотной кислоты в азотистую и сдерживает улетучивание образующихся окислов азота.

Немедленно после блестящего травления цоколи тщательно промывают сначала холодной, потом горячей проточной водой. При недостаточно быстрой промывке цоколи становятся матовыми, а при недостаточно тщательной — пятнистыми.

Сразу после травления цоколи пассивируют. На поверхности латуни образуют тончайшую плотную пленку окислов, сохраняющую естественный цвет латуни и предохраняющую ее от более глубокого окисления. Пассивацию производят путем кратковременного погружения цоколей в подкисленный серной кислотой водный раствор хромпика ( $K_2Cr_2O_7$ ) и последующей промывки холодной и горячей водой. Хромпик применяют чистый (ГОСТ 2652-48), не содержащий хлористого натрия. Пассивированные цоколи не окисляются при цоколевании и не темнеют при хранении ламп. Тонкая пленка окислов не препятствует нормальному клеймению цоколей и припайке электродов.

Промытые цоколи сушат в сухих древесных опилках и обдувают подогретым техническим воздухом. Горячий воздух ускоряет сушку и сдувает прилипшие опилки и древесную пыль.

При травлении латуни бурно выделяются вредные для здоровья коричневые пары окислов азота. Для их удаления травильные установки оборудуют мощной вытяжной вентиляцией.

##### б) ТРАВЛЕНИЕ СТАЛЬНЫХ ЦОКОЛЕЙ

Стальные цоколи для защиты от коррозии и улучшения внешнего вида покрывают слоем металла, обладающим коррозионной стойкостью и в то же время достаточно высокой электропроводностью. Однако не всякий металл, сам по себе хорошо сопротивляющийся коррозии, пригоден в качестве защитного покрытия. Некоторые разнородные металлы в контакте друг с другом способны ускорять или замедлять электрохимическую коррозию. Например, нанесение на железо меди ускоряет коррозию, а нанесение цинка замедляет ее. Наиболее надежным и в то же время дешевым средством защиты стальных цоколей от атмосферной коррозии служит цинкование. В атмосферном воздухе металлический цинк покрывается тонкой защитной пленкой углекислого цинка, которая предохраняет его от дальнейшего разрушения.

На цоколях с плохо очищенной поверхностью цинк не ложится или ложится непрочно. Поэтому цоколи перед цинкованием подвергают травлению для удаления поверхностного слоя металла вместе с окислами, масляными пленками, жирными пятнами и другими неметаллическими загрязнениями. Сначала цоколи обезжиривают погружением в ванну с подогретым 2—10%-ным раствором каустической соды, после чего отмывают от содового раствора в ванне с холодной водой. Обработку

в соде исключают, если цоколи не имеют заметных масляных загрязнений.

Обезжиренные цоколи погружают в ванну с подогретым 15—20%-ным раствором серной или 5—10%-ным раствором соляной кислоты и затем в ванну с проточной холодной водой. Серная кислота медленно растворяет окисленное железо и быстро растворяет металлическое, а соляная, наоборот, — быстро растворяет окисленное железо и медленно — металлическое. При травлении в серной кислоте имеется опасность неполного снятия окалины и перетравливания основного металла, а при травлении в соляной — достигается полное снятие окалины без заметного перетравливания основного металла. Поэтому цоколи предпочитают травить в соляной кислоте, несмотря на то, что она значительно дороже серной.

Соляная кислота состоит из раствора хлористого водорода, который с повышением концентрации и температуры легко улетучивается. Для уменьшения потерь кислоты травильный раствор готовят с концентрацией  $HCl$  не более 50% и температурой не выше 50°С. Выдержку в зависимости от степени истощения раствора дают 5—10 мин. При передержке цоколи становятся тонкими и легко мнутся; штифтовые цоколи получают с качающимися штифтами.

Обработанные соляной кислотой цоколи с особой тщательностью промывают в ванне с проточной водой, чтобы не занести хлора в состав для цинкования. Хорошая смачиваемость поверхности водой служит признаком отсутствия на цоколях жировых и масляных пятен.

#### в) ЦИНКОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ ЦОКОЛЕЙ

Цоколи покрывают защитным слоем чистого цинка электролитическим осаждением его из водного раствора цинковой соли.

Электролитная (гальваническая) ванна для цинкования цоколей (рис. 9-11) представляет собой открытый ящик длиной 120—150 см, шириной и высотой по 80—90 см. Внутренняя поверхность ящика футерована листовым винипластом, сваренным в стыках прутковым винипластом. Внутри ванны вращается зубчатый привод от электродвигателя шестигранный текстолитовый перфорированный барабан со скоростью 8—10 об/мин. В барабан загрузают цоколи немедленно после травления и промывки. Емкость барабана позволяет одновременно цинковать 3 000—3 500 цоколей Р27-1 или 8 000—10 000 цоколей Ш15.

Ванну держат постоянно заполненной жидким электролитом до такого уровня, чтобы цоколи были полностью погружены в электролит.

Провод от положительного полюса источника постоянного тока присоединен к двум латунным штангам, укрепленным на боковых бортах ванны. К штангам подвешено на медных крюч-

ках с погружением в электролит несколько плиток чистого металлического цинка. Плитки работают в качестве анода и служат источником пополнения электролита металлом. Провод от отрицательного полюса источника постоянного тока присоединен к подшипнику одной из полуосей барабана. Обе полуоси

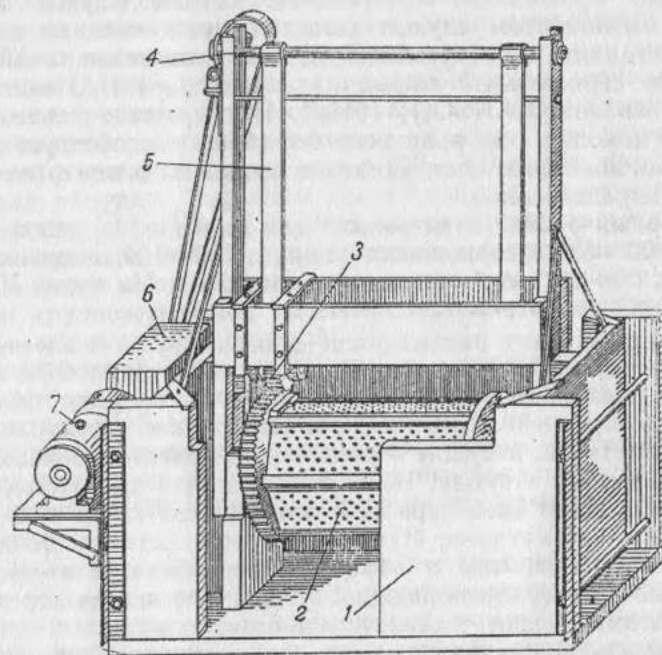


Рис. 9-11. Гальваническая ванна цинкования цоколей.  
1 — корпус ванны; 2 — текстолитовый перфорированный барабан; 3 — текстолитовые шестерни вращения барабана; 4 — вал подъема барабана; 5 — ремень подъема барабана; 6 — редуктор привода вращения и подъема барабана; 7 — электродвигатель.

соединены внутри барабана медной струной (прутком), которая вместе с запруженными в барабан цоколями работает в качестве катода.

Сбоку ванны смонтированы подъемный механизм, которым можно поднимать барабан для разгрузки и загрузки цоколей и опускать его обратно в электролит.

Ванны питают постоянным током от выпрямительных установок, преобразующих энергию переменного тока нормального напряжения (обычно 220 в) в энергию постоянного тока низкого напряжения (9—11 в). Постоянный ток подводят по голым шинам или проводам к распределительным щиткам, а от последних — к ваннам.

Для цинкования цоколей готовят электролит из нескольких солей, растворенных в воде. Основным компонентом



электролита служит соль, осаждающая на цоколях металлический цинк. В качестве такой соли применяют серноокислый цинк (цинковый купорос)  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ . Вторым компонентом служит соль, повышающая электропроводность электролита и снижающая расход электрической энергии при цинковании. В качестве такой соли применяют серноокислый натрий  $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ . Третьим компонентом служит соль, поддерживающая кислотность электролита в требуемых пределах. В качестве такой соли применяют серноокислый алюминий  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  или алюминиевые квасцы  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ . Непрерывное хаотическое движение цоколей при вращении барабана способствует хорошему перемешиванию электролита и созданию в нем равномерной концентрации солей.

Примерный рецепт электролита для цинкования цоколей состоит из 300—350 г серноокислого цинка, 100—150 г серноокислого натрия, 20—30 г серноокислого алюминия и 1 л воды. Удельный вес такого электролита 1,18—1,22.

Серноокислый цинк распадается (диссоциирует) в электролите на ионы цинка  $Zn^{+}$  и ионы кислотного остатка  $SO_4^{-}$ . Под действием электрического поля ионы цинка, несущие положительные электрические заряды, направляются к катоду, а ионы кислотного остатка, несущие отрицательные электрические заряды, направляются к аноду. Ионы цинка, дойдя до катода, т. е. до цоколей, теряют свои заряды и осаждаются там в виде нейтральных атомов металла. Ионы кислотного остатка, дойдя до анода, реагируют с ним и образуют переходящий в раствор серноокислый цинк, восполняющий убыль его из электролита. У анода атомы цинка становятся ионами цинка, а у катода ионы цинка снова превращаются в атомы цинка. Группируясь в кристаллы, многочисленные атомы цинка образуют на поверхности цоколей сплошной серебристо-матовый осадок. Мелкокристаллический осадок, обладающий малой пористостью, отличается большей прочностью и лучше защищает цоколи от коррозии, чем крупнокристаллический.

Процесс осаждения цинка совершается непрерывно, пока существует замкнутая электрическая цепь. Как только цепь разомкнется (выключат напряжение), процесс прекратится.

С целью уменьшения в катодной цепи металлических поверхностей, подвергающихся бесполезному осаждению цинка, барабан, приводные шестерни и другие детали, работающие в электролите, изготавливают из плотной древесины, текстолита или другого непроводящего материала.

В соответствии с законом Фарадея на металлическую поверхность цоколей отлагается тем больше цинка, чем больше время цинкования и чем больше отношение величины тока, проходящего через электролит, к площади одновременно цинкуемых цоколей (катодная плотность тока). Отношение веса фактически осажденного цинка к теоретическому весу, вычисленно-

му на основе закона Фарадея, называют выходом по току. Для получения на цоколях цинкового осадка требуемой толщины при заданной общей поверхности цоколей и заданном времени цинкования необходимо обеспечить определенный ток в цепи ванны.

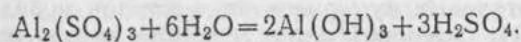
Если подводимое напряжение недостаточно, то величина тока в цепи ванны уменьшается, и процесс цинкования замедляется. Понижение напряжения на ванне бывает при загрязнении или ослаблении контактов в электрической цепи, начиная от источника питания, кончая крючками для подвешивания анодов и поверхностью самих анодов и катодов. При нормальной работе ток в цепи ванны достигает 220—250 а, что при указанной выше нагрузке барабана соответствует плотности тока в ванне 0,20—0,25 а/дм<sup>2</sup>. Слишком малая плотность тока приводит к замедлению процесса цинкования и в предельном случае к прекращению осаждения цинка, а слишком большая — к получению крупнозернистых, пористых покрытий и в предельном случае — к пригоранию цоколей.

При указанной выше плотности тока осаждение на цоколях Р27-1 слоя цинка толщиной 5—7 мк продолжается около 2 ч, а на цоколях Ш15 слоя цинка толщиной 15 мк — около 8 ч.

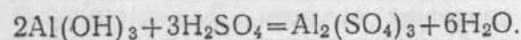
Если токопроводящие части ванны плохо изолированы от соседних ванн и от земли, то амперметр показывает не фактическое значение тока, расходуемого на осаждение цинка, а более высокое.

Ток распределяется по поверхности цоколей неравномерно, поэтому выступы и углубления цоколей цинкуются неодинаково. Различие заключается в повышенной химической активности выступов, концентрации тока на выступах, застое электролита в углублениях, экранировании углублений выступами, более легком отрыве газовых пузырьков от выступов и задержке их в углублениях. На близких к аноду участках катода осаждается больше цинка, чем на дальних. Вследствие всех этих различий плотность тока в углублениях ниже и соответственно цинк осаждается меньше, чем в соседних выступах. По этим же причинам участки цоколей вблизи изоляции покрываются относительно тонким цинковым осадком. Для повышения рассеивающей способности электролита, т. е. способности его равномерно распределять цинк по поверхности цоколей, работают с меньшей плотностью тока, и цоколи заставляют находиться в непрерывном движении. Поэтому барабан загружают цоколями на  $\frac{2}{3}$  объема и непрерывно вращают. При слишком большой скорости вращения наблюдаются случаи растрескивания изоляции цоколей. Чтобы электролит не взмучивался загрязнениями, производят непрерывную фильтрацию его через суконный фильтр. На некоторых заводах рассеивающую способность электролита повышают введением в его состав уксуснокислого свинца (0,1—0,2 г на 1 л воды).

На качество покрытия оказывает большое влияние кислотность электролита. О величине кислотности или щелочности раствора судят по так называемому водородному показателю рН, который характеризует число ионов водорода (H<sup>+</sup>) и ионов гидроксидов (OH<sup>-</sup>) в единице объема раствора. В чистой воде концентрация тех и других ионов одинакова. Если прибавить к воде кислоту, концентрация водородных ионов увеличится, а ионов гидроксидов уменьшится. Если прибавить к воде щелочь, концентрация водородных ионов уменьшится, а ионов гидроксидов увеличится. Очень чистая дистиллированная вода или нейтральная среда имеет рН=7. У кислой среды рН<7, у щелочной рН>7. Электролит для цинкования цоколей должен быть кислым с водородным показателем, равным около 4. Электролит, у которого рН>4,5, недостаточно кислый, а у которого рН<3,5, слишком кислый. При рН>4,5 покрытие получается темным, крупнокристаллическим и шероховатым; при рН<3,5 процесс цинкования замедляется и покрытие получается недостаточным и неравномерным по толщине. Кислую среду электролита поддерживают добавлением в гальваническую ванну 100—150 мл серной кислоты перед каждой загрузкой цоколей. Слишком кислый электролит приводит к частичному химическому растворению и излишнему расходу цинковых анодов (уменьшению выхода по току). Чтобы избежать скачков рН от 2,5 перед загрузкой цоколей до 5—6 после выгрузки, вводят в электролит буферную соль, состоящую из сернокислого алюминия или алюмокалиевых квасцов. Роль этих соединений заключается в автоматическом регулировании рН электролита и поддержании его в стабильном состоянии. При чрезмерном увеличении рН происходит гидролиз с выделением серной кислоты, уменьшающей рН:



При чрезмерном уменьшении рН происходит обратная реакция с образованием сернокислого алюминия, связывающего серную кислоту и повышающего рН:



На качество покрытия оказывают вредное влияние примеси посторонних металлов в электролите. Эти примеси удаляют проработкой электролита постоянным током без загрузки барабана цоколями при одновременном подкислении его серной кислотой.

Электролит с течением времени истощается. Вместе с загруженными цоколями вносится в ванну вода, в которой цоколи промывались после травления, а вместе с выгруженными цоколями из ванны уносится часть электролита. Эти два обстоятельства ускоряют изменение состава электролита, в связи с чем

его приходится корректировать раз в неделю добавлением сернокислого натрия и сернокислого алюминия. Периодически электролит следует полностью обновлять.

На поверхности цинковых анодов скапливаются шлам и грязь, понижающие силу тока в цепи ванны и загрязняющие электролит. Поэтому аноды заключают в матерчатые чехлы или время от времени извлекают из ванны и промывают водой. Анодные штанги очищают от окислов тряпкой или шкуркой. На время длительных перерывов в работе аноды извлекают из ванны, так как они растворяются и при отсутствии тока в электролите. Растворяясь, они связывают избыточную серную кислоту и понижают кислотность электролита.

Состав электролита может нарушаться небрежной загрузкой и выгрузкой цоколей из барабана. Падая на дно ванны, цоколи постепенно растворяются в свободной кислоте и загрязняют электролит сернокислым железом. Периодически дно ванны очищают от цоколей. Загрязнение электролита железом происходит также в результате удаления с поверхности цоколей железной окалины, разрыхленной водородом при травлении. Накопление железа понижает электропроводность электролита и придает цинковым осадкам пятнистый тусклый вид. Электролит, содержащий более 2 г/л железа, очищают. Для этого его сливают в остойный бак, нагревают до 80—100°С и вливают в него при непрерывном перемешивании сначала 0,5 см<sup>3</sup>/л 30%-ной перекиси водорода и затем 50%-ный раствор кальцинированной соды до помутнения электролита. Соединения железа после такой обработки выпадают в осадок на дно бака.

Металлические части цоколей при вращении в барабане касаются друг друга. Так как контактные пластинки цоколей изолированы от корпусов стеклом и поверхность их во много раз меньше поверхности корпусов, то через контактные пластинки проходит электрический ток реже, чем через корпуса, и поэтому они, как правило, покрываются более тонким осадком цинка, чем корпуса. Плохо цинкованные контактные пластинки могут быстро корродировать и портить готовые лампы. По этой причине при изготовлении стальных цоколей применяют контактные пластинки только из латуни или меди.

Электрическая проводимость электролита наиболее высока при 40—50°С, поэтому после перерывов в работе, когда электролит остывает и, в особенности, когда гальванические ванны установлены в холодном помещении, качество покрытия всегда хуже, чем когда электролит постепенно нагреется электрическим током. Если цинкование происходит не круглосуточно, а с перерывами, то в начальные периоды работы электролит приходится подогревать горячим паром. Подогрев производят через погруженные в ванны свинцовые или стеклянные змеевики.

К мероприятиям, благоприятно влияющим на ускорение процесса цинкования и улучшение качества цинкового осадка, отно-

сятся: максимальное увеличение площади погруженных в электролит цинковых анодов, подгибание анодов под барабан и придание катодному токопроводящему прутку формы удлиненной винтовой спирали для улучшения контакта его с цинковыми.

Цинкованные цоколи выгружают из ванны, тщательно промывают холодной, потом горячей водой и сушат в паровой, электрической или газовой печи или древесных опилках. На

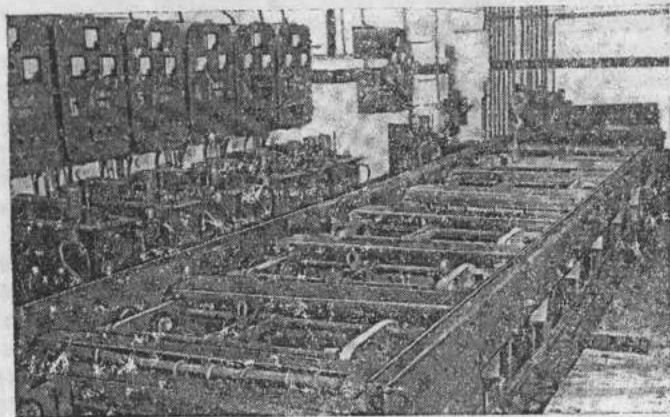


Рис. 9-12. Общий вид участка цинкования цоколей.

плохо промытых цоколях остается около изоляции слой электролита, высыхание которого оставляет белые налеты солей и темные пятна. При низкой температуре сушки или мокрых опилках донышки цоколей получают с желтым налетом. При высокой температуре сушки возникают трещины в изоляции цоколей.

В процессе цинкования на катоде совместно с цинком частично осаждается водород, абсорбирующийся между кристаллами цинка. Во время цинкования ламп водород под влиянием нагрева концентрируется пузырьками, вызывая шелушение цинкового осадка. Для предотвращения этого недостатка рекомендуется поддерживать более высокую температуру электролита или цинковать цоколи, требующие усиленного покрытия, в два приема: сначала наращивать цинк толщиной 3—4 мк, после чего цоколи выгружать из барабана, промывать, сушить, прокалывать в электрической печи 30—40 мин при 200—210°С и снова цинковать до заданной толщины.

В современных гальванических мастерских цоколи травят и цинкуют с минимальным применением ручного труда. Текстилитовые барабаны с загруженными цоколями перемещают электротельфером по монорельсу из травильных ванн в промывные, из промывных в гальванические и из гальванических снова

в промывные (рис. 9-12). Готовые цоколи пересыпают из барабана в загрузочный бункер камерной газовой печи и пропускают по спиральному (шнековому) конвейеру через зону нагрева печи. Камеру печи снабжают вытяжкой или притоком сухого воздуха для лучшего удаления влажного. Травильные ванны оборудуют механической подачей кислот.

Из травильных ванн вместе с пузырьками водорода выделяются мельчайшие частицы кислоты, образующие вредный для здоровья «травильный туман». Для оздоровления условий труда травильные ванны оборудуют сильной местной вентиляцией с бортовыми отсосами. Гальваническое отделение оборудуют кислотоупорными канализационными стоками для отвода больших количеств промывных вод и обработанных растворов. Персонал гальванического отделения снабжают защитной одеждой.

Некоторые зарубежные заводы цинкуют цоколи не в кислых, а щелочных (цианистых) электролитах, составленных из разведенных в воде окиси цинка, цианистого натрия и каустической соды. Такой электролит отличается более высокой рассеивающей способностью, чем кислый, и дает более мелкозернистое, светлое и твердое покрытие. Он особенно эффективен при цинковании деталей сложного профиля, имеющих глубокие внутренние полости. Отечественные электроламповые заводы предпочитают не применять цианистого электролита вследствие чрезвычайной токсичности цианистой соли и малого выхода металла по току.

#### г) КОНТРОЛЬ ЦИНКОВАНИЯ

Корпуса цоколей, изготовленные из стали, должны иметь цинковое покрытие толщиной не менее 6 мк, а корпуса цоколей, изготовленные из латуни, могут иметь никелевое покрытие толщиной не менее 3 мк. Цинковое покрытие должно быть светлым, мелкозернистым и плотным, не должно отслаиваться от основного металла и не должно иметь дефектов, понижающих его защитную способность.

Для получения покрытия, удовлетворяющего указанным требованиям, цинкование производят по строго установленному технологическому режиму, который определяется: 1) током в ванне, 2) температурой электролита, 3) удельным весом (плотностью) электролита, 4) концентрацией солей в электролите, 5) кислотностью электролита и 6) длительностью процесса покрытия.

Силу тока определяют по амперметру, установленному на распределительном щитке около каждой ванны. Температуру электролита определяют термометром. Концентрацию солей в электролите определяют химическим анализом. Плотность электролита проверяют ареометром.

Кислотность электролита определяют колориметрическим методом, основанным на применении индикаторов. Окраска индикатора изменяется в зависимости от pH раствора, к которому он прибавлен. В пробирку из бесцветного стекла наливают 6 мл испытываемого электролита и 1 мл индикатора ( $\alpha$ -динитрофенола). В зависимости от величины pH электролит приобретает различную окраску. Значение pH определяют сравнением полученной окраски с окраской эталонов. В последнее время получил распространение простой и быстрый метод определения pH при помощи индикаторной бумаги. Полоску индикаторной бумаги погружают в испытываемый электролит и немедленно после извлечения из электролита сравнивают ее окраску со шкалой.

Выборочную проверку толщины цинкового осадка на цоколях производят струйно-объемным или другим методом (ГОСТ 3003-58). По струйно-объемному методу на одно и то же место поверхности ранта цоколя выпускают из стеклянной бюретки с определенной скоростью струю раствора азотнокислого аммония и сернокислой меди в соляной кислоте. Такой раствор хорошо растворяет цинк. По объему израсходованного раствора до момента появления в месте падения струи сплошного розового пятна металлической меди, вытесненной железом из медного купороса, судят о толщине покрытия.

Прочность цинкового покрытия проверяют нанесением на цоколь стальным острием взаимно пересекающихся царапин глубиной до основного металла. Покрытие признается прочным, если в месте пересечения царапин оно не отслаивается.

Цинковое покрытие, как и всякое гальваническое покрытие, имеет пористую структуру. При длительном хранении цинкованных цоколей защитное действие цинка заметно уменьшается. Светло-серый цвет покрытия с течением времени темнеет. Через сквозные поры цинкового слоя проникают молекулы кислорода и влаги, вызывающие коррозию основного металла. В зависимости от окружающей среды цинковый слой разрушается примерно со скоростью 1—3 мк в год. В условиях высокой влажности воздуха внешний вид цинкованных цоколей значительно ухудшается. Поэтому для местностей с влажным тропическим климатом изготовление ламп с цинкованными стальными цоколями не допускается.

#### А) БРАК ПРИ ТРАВЛЕНИИ И ЦИНКОВАНИИ

1. Пятнистые или грязные латунные цоколи получают, если кислота для травления имеет несоответствующую концентрацию или истощена от длительного пользования, травильная ванна составлена по неправильному рецепту, температура травильного раствора низка или высока, цоколи плохо промыты после травления, просушены влажными древесными опилками или смыкаются во время травления,

2. Темные или пятнистые осадки цинка на стальных цинкованных цоколях получают, если поверхность цоколей плохо подготовлена к цинкованию, электролит недостаточно кислый, истощен, загрязнен посторонними солями или составлен по неправильному рецепту, химикаты, применяемые для составления ванн, недостаточно чисты, цинковые аноды пьезны или покрыты шламом, цоколи во время покрытия смыкаются, цоколи после цинкования плохо промыты или недостаточно просушены.

3. Малая толщина цинкового покрытия стальных цоколей получается при малой величине тока в гальванических ваннах, недостаточном времени пребывания цоколей в ванне, загрузке в ванну чрезмерно большого числа цоколей и повышенной кислотности и температуре электролита.

4. Неравномерное покрытие получается при электролите с низкой рассеивающей способностью, повышенной температурой и повышенной кислотностью.

5. Отслаивание цинкового покрытия происходит при неудовлетворительной подготовке поверхности цоколей перед цинкованием.

Цоколи, имеющие дефекты цинкования, травят в 5—10%-ной соляной кислоте для удаления цинкового слоя и повторно цинкуют.

Цинкованные цоколи хранят в сухом месте.

— 0

## ПРОИЗВОДСТВО ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

### 10-1. ГАЗОПОГЛОТИТЕЛИ

#### а) ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Газопоглотителями, или геттерами, называют особые вещества, вводимые в лампы с целью поглощения посторонних паров и газов. В вакуумных лампах газопоглотители улучшают вакуум, поддерживают его на требуемом уровне и уменьшают темный налет вольфрама на стенках колбы. В газонаполненных лампах газопоглотители поглощают вредные примеси, занесенные с наполняющим газом и обезвреживают загрязнения, оставшиеся в лампах после откачки насосами или выделяющиеся из деталей в процессе работы ламп.

Газопоглотители должны отвечать следующим требованиям: 1) активно поглощать и прочно удерживать вредные газы в процессе работы лампы; 2) не образовывать темных налетов на внутренних стенках колбы; 3) не ухудшать световых и электрических параметров ламп; 4) не уменьшать механической прочности тела накала; 5) не вступать в химическое взаимодействие с материалом внутренних деталей ламп; 6) иметь при рабочей температуре ламп низкое давление пара; 7) не портиться при хранении на воздухе.

Газопоглотители применяют испаряющиеся и не испаряющиеся. Первые наносят непосредственно на тело накала, вторые — на вводы или держатели вблизи тела накала. Первые действуют преимущественно в процессе испарения при начальном обжиге ламп. Вторые — в твердом состоянии в течение всего срока службы ламп. Первые нагреваются до температуры, при которой они быстро испаряются и осаждаются в виде тонкой пленки на более холодных стенках внутри лампы, вторые — до температуры, при которой они наиболее эффективно поглощают вредные газы. К первым принадлежат красный фосфор, углекислый барий, газовая сажа и др.; ко вторым — металлические цирконий, титан, алюминий и др. Как первые, так и вторые

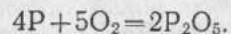
могут применяться в отдельности или в сочетании друг с другом.

Механизм действия не испаряющихся газопоглотителей заключается не в том, что они притягивают к себе молекулы газов из окружающего пространства, а в том, что они «прилипают» к себе лишь те молекулы газов, которые ударяются об их поверхность. Некоторые молекулы, обладающие большой энергией, отрываются и покидают поглотитель.

#### б) МАТЕРИАЛЫ ГАЗОПОГЛОТИТЕЛЕЙ

В вакуумных лампах применяют фосфорно-криолитовый газопоглотитель, в газонаполненных — фосфорный, фосфорно-сажевый, бариевый, циркониевый, титановый и алюминиевый.

Красный фосфор — порошок темно-красного цвета, получаемый путем нагревания желтого фосфора в токе азота. Удельный вес 2,3. Весьма устойчив и может находиться в обычных атмосферных условиях в течение длительного периода без заметных химических изменений и без опасности накопления водяных паров. При 260°С пары его воспламеняются, соединяясь с кислородом:



Без доступа воздуха при 416°С красный фосфор, не плавясь, возгоняется в пар, который, конденсируясь, превращается в желтый фосфор. Последний весьма активен и легко вступает в соединение с кислородом. Красный фосфор может содержать вредные примеси желтого фосфора, понижающего его температуру воспламенения, и фосфорного ангидрида, повышающего его гигроскопичность<sup>1</sup>.

Технический красный фосфор перед применением очищают промывкой в 10%-ном растворе едкого натра, водопроводной и дистиллированной воде, 5%-ном растворе соляной кислоты и снова в воде. Отмытку от щелочи производят с особой тщательностью, чтобы фосфор при промывке соляной кислотой не загрязнялся образующейся солью. Очищенный фосфор увлажняют дистиллированной водой и размалывают в фарфоровой шаровой мельнице 200 ч. Размолотый фосфор промывают этиловым спиртом или ацетоном и сушат на фильтровальной бумаге.

Криолит  $Na_3AlF_6$  — белый полупрозрачный минерал со стеклянными блеском. Удельный вес 3. Температура плавления 1011°С. Его разбивают на мелкие куски и промывают водой, 10%-ным раствором азотной кислоты и снова водой. Затем его измельчают в ступке и размалывают 300 ч в фарфоровой шаровой мельнице. Полученный тонкий порошок кипятят в 10%-ном

<sup>1</sup> Высокое сродство фосфорного ангидрида с водяными парами и трудность введения его в лампу в достаточно сухом виде препятствует применению его в качестве газопоглотителя.

растворе соляной кислоты, промывают дистиллированной водой и после сушки при 110—120°С протирают сквозь сито со стороны ячейки 0,1 мм.

Вместо природного криолита, добываемого преимущественно в Гренландии, стали применять искусственный криолит — мелкокристаллический порошок белого цвета, приготовляемый взаимодействием плавиковой кислоты с глиноземом и содой. Содержащиеся в нем примеси свободной плавиковой кислоты и влаги могут вызывать преждевременное перегорание ламп. Поэтому с целью их удаления искусственный криолит после химической очистки и просева прокаливают 4 ч в муфельной печи при 550—600°С.

**Газовая сажа** — тончайший черный порошок почти чистого углерода. Удельный вес 1,9—2. Ее готовят сжиганием газообразных углеводородов при недостаточном доступе воздуха. Сажа обладает сильно абсорбирующей способностью. В холодном состоянии она химически совершенно инертна, а при высокой температуре жадно поглощает свободный кислород из воздуха и связанный кислород из паров воды. Перед применением сажу сушат при 110—120°С и просеивают через сито со стороны ячейки 0,14 мм.

**Углекислый барий**  $BaCO_3$  — сухой порошок белого цвета. Удельный вес 4,3. Введенный в лампу вместе с добавкой сажи образует при первом зажигании лампы металлический барий и окись бария, способные поглощать остаточные газы. Перед применением его сушат при 110—120°С и просеивают через сито со стороны ячейки 0,1 мм.

**Цирконий металлический** Zr применяют в виде порошка темно-серого цвета. Удельный вес 6,53. Он обладает способностью поглощать при 300—400°С водород и при 700—800°С — кислород. Тонко измельченный цирконий при нагреве на воздухе или при небольшом трении быстро сгорает в  $ZrO_2$ , разбрызгиваясь во все стороны в виде ослепительно белых искр. Температура плавления циркония в зависимости от степени чистоты 1930—2130°С. Перед применением циркониевый порошок прокаливают в высоковакуумной печи при 1000—1200°С с целью удаления окисных пленок, замедляющих взаимодействие его с водородом. Прокаленный цирконий промывают этиловым спиртом и вместе со спиртом размалывают в фарфоровой шаровой мельнице 100—300 ч до размеров частиц от 1 до 8 мк. В тонкоразмельченном состоянии повышается активность циркония по отношению к кислороду.

**Титан металлический** Ti применяют в виде порошка темно-серого цвета. Удельный вес 4,5. Он способен связывать максимальное количество газов, в особенности водорода, при более низкой температуре, чем цирконий. Служит заменителем дорогостоящего и взрывоопасного циркония. Перед употреблением его обезгаживают в вакууме при 1000°С.

Алюминий металлический Al применяют в виде пудры серого цвета. Удельный вес 2,7. Он состоит из микроскопических листочков-чешуек. При нагреве способен жадно поглощать кислород, покрываясь в результате реакции тонкой непроницаемой пленкой окиси. Алюминиевый порошок применяют в качестве газопоглотителя в мощных специальных лампах, у которых участки внутренних звеньев электродов вблизи спирали имеют температуру, превышающую точку плавления алюминия (660°С). Алюминиевый газопоглотитель применяют также в маломощных газонаполненных лампах в виде тонкой пленки, нанесенной на молибденовые держатели.

**Связующие вещества (биндеры)** — густые липкие жидкости — служат средой, в которой распределяются частицы газопоглотителя. Они окружают тонким слоем каждую частицу и придают газопоглотителю влагостойкость и клейкость. Они предохраняют газопоглотитель от осыпания и облегчают его равномерное распределение и закрепление на поверхности спирали или электродов. В качестве связующего вещества применяют нитролак — коллоидный раствор нитроклетчатки в амилацетате. Нитроклетчатку изготавливают на специальных предприятиях путем обработки белой хлопковой ваты смесью азотной и серной кислот. Для приготовления газопоглотителей применяют менее взрывоопасную низкоазотную нитроклетчатку, называемую коллоксиллином, содержащую около 12% связанного азота. Бутыль с просушенным коллоксиллином заливают амилацетатом и вращают на роликовой машине до полного растворения коллоксиллина. Перед употреблением раствор фильтруют через металлическое сито и разбавляют амилацетатом до требуемой вязкости (2—12 *спз*). В качестве заменителя коллоксиллина иногда применяют кинолентку, приготовленную из коллоксиллина и камфары. Кинолентку отмывают щелочным раствором от светочувствительной эмульсии, промывают горячей водой и сушат на воздухе. Для получения нитролака одинаковой вязкости требуется коллоксиллина меньше, чем кинолентки. Коллоксиллин содержит меньше углерода, поэтому ему отдают предпочтение перед киноленткой.

**Амилацетат** ( $CH_3COOC_5H_{11}$ ) — бесцветная легкоиспаряющаяся жидкость с фруктовым запахом. Удельный вес — 0,88; температура кипения 147,6°С. Амилацетатом разводят только газопоглотители, содержащие связующее вещество. Газопоглотители без связующего вещества разводят на этиловом спирте (амилацетат растворяет коллоксиллин, а спирт не растворяет).

#### в) ПРИГОТОВЛЕНИЕ ГАЗОПОГЛОТИТЕЛЕЙ

Заготовленные компоненты газопоглотителей перемешивают в требуемой пропорции и растирают в фарфоровой шаровой мельнице в течение 100—250 ч.

(искусственной смолы); 2) отвердителя (уротропина); 3) пластифицирующего вещества (канифоли); 4) наполнителя (мраморного порошка); 5) растворителя (этилового спирта); 6) индикатора (малахитовой или бриллиантовой зелени).

## 6) МАТЕРИАЛЫ МАСТИКИ

Искусственная фенолформальдегидная смола представляет собой различных желтых оттенков твердые хрупкие прозрачные куски, способные хорошо измельчаться. Ее варят из водных растворов фенола  $C_6H_5OH$  и формальдегида  $HCHO$  в присутствии катализатора. При избытке формальдегида и в присутствии щелочного катализатора получается резольная (бакелитовая) смола. При избытке фенола и в присутствии кислого катализатора получается новолачная смола. К одному из типов новолачных смол принадлежит смола идитол, производимая в присутствии соляной кислоты и применяемая для изготовления спиртовых лаков.

Смолы различают термопластичные и терморезактивные. Термопластичные — после многократного повторного нагрева или длительного хранения полностью сохраняют свойства плавкости и растворимости, а терморезактивные — после первого же нагрева или длительного хранения полностью теряют свойства плавкости и растворимости. Бакелит — терморезактивная смола, идитол — термопластичная. При сплавлении с веществами, способными при нагреве выделять альдегид (например, уротропином), идитол становится терморезактивной смолой.

Терморезактивная фенолформальдегидная смола при нагреве до  $70-90^\circ C$  постепенно размягчается и переходит в жидкое состояние. При дальнейшем повышении температуры ( $180-200^\circ C$ ) она снова затвердевает. Процесс затвердевания смолы при нагреве называют полимеризацией. В более широком смысле полимеризацией называют химическую реакцию, при которой много простых однородных молекул соединяются в одну сложную укрупненную молекулу, или, другими словами, низкомолекулярное вещество переходит в высокомолекулярное. При полимеризации элементарный состав молекул не изменяется; происходит лишь химическое соединение молекул в длинные прочные цепи. Полимеризация смолы совершается тем быстрее, чем выше температура ее нагрева. При полимеризации смолы дает усадку.

Различают три состояния терморезактивной смолы. Их обозначают латинскими буквами А, В и С. Смола после приготовления находится в стадии А. В этой стадии размеры ее молекул сравнительно малы и она легко плавится и хорошо растворяется в спирте. При нагреве или длительном хранении смола А частично полимеризуется и переходит в стадию В. Снова охлажденная, она вернуться в стадию А уже не может. Смола В твер-

дая, неплавкая, в спирте не растворяется, но несколько набухает в нем. В этой стадии размеры ее молекул увеличиваются; она приобретает свойства резины и способность растягиваться в длинные эластичные нити. При дальнейшем нагреве смола В полностью полимеризуется и переходит в стадию С. С переходом в эту стадию смола выделяет газообразные продукты, становится пористой, размеры ее молекул еще больше увеличиваются и она окончательно теряет свойства плавкости и растворимости. Вернуть смолу С в состояние В и А никакими способами невозможно. Смола С обладает высокими механическими и электроизоляционными свойствами. При дальнейшем повышении температуры она начинает распадаться с образованием воды, фенола и обугливающегося продукта.

Искусственная фенолформальдегидная смола служит основой цоколевочной мастики. Она обладает хорошей клейкостью, высокими электроизоляционными свойствами и необходимой влаго- и термостойкостью. В нагретом состоянии до полимеризации она действует как смазка, повышающая текучесть мастики, а в холодном состоянии после полимеризации она действует как цемент, связывающий все компоненты мастики и прочно соединяющий цоколь с лампой.

По ГОСТ 2230-43 смола идитол должна отвечать следующим условиям: температура размягчения ее должна быть не ниже  $90^\circ C$ , количество свободного фенола, т. е. фенола, не вошедшего в реакцию с формальдегидом, должно быть не более 3%. Перед приготовлением мастики идитол размалывают в шаровой мельнице и просеивают через сито со стороны ячейки  $0,7 \text{ мм}$ .

Уротропин  $(CH_2)_6N_4$  — кристаллический порошок белого или желтого цвета (ГОСТ 1381-60) получают взаимодействием аммиака с формальдегидом. Его вводят в цоколевочную мастику для придания идитолу терморезактивных свойств. При нагреве уротропина разлагается на формальдегид и аммиак, которые, вступая во взаимодействие с идитолом, связывают его молекулы и образуют неплавкую и нерастворимую смолу. Без уротропина идитол при нагреве не полимеризуется. При содержании уротропина около 10% от веса идитола мастика после нагрева приобретает способность скреплять цоколь с лампой. При меньшем содержании уротропина уменьшается термостойкость мастики, а при большем содержании ухудшается ее влажностойкость. Уротропин перед употреблением сушат несколько часов при комнатной температуре и просеивают через сито со стороны ячейки  $0,5 \text{ мм}$ .

Канифоль — хрупкая прозрачная термопластичная естественная смола желтого или красновато-коричневого цвета, легко раскалывающаяся на неправильные куски со стекловидным изломом. Ее получают выпариванием смолистого сока хвойных деревьев. Для цоколевочной мастики применяют сосновую канифоль (ГОСТ 797-64). Такая канифоль плохо проводит тепло

и электричество, размягчается при 65° С, становится жидкой при 120° С и разлагается при 200° С. При охлаждении нагретая канифоль застывает, не полимеризуясь. Канифоль хорошо растворяется в спирте и щелочах и не растворяется в воде. Применение канифоли улучшает клеящую способность мастики и облегчает передвижение больших молекул искусственной смолы, повышая способность смолы переходить из твердого состояния в пластичное. Канифоль смягчает цоколевочную мастику, увеличивает ее текучесть, предотвращает раздавливание стекла после цоколевания лампы и облегчает съём цоколей с забракованных ламп посредством нагрева. Полимеризованная цоколевочная мастика, приготовленная с недостаточным содержанием канифоли, получается менее влагостойкой, а с избыточным содержанием — менее термостойкой. С повышением температуры размягчения канифоли повышается термостойкость мастики. Перед приготовлением мастики канифоль размалывают в шаровой мельнице и просеивают через сито со стороной ячейки 0,5 мм.

Мраморный порошок  $\text{CaCO}_3$  вводят в качестве инертного минерального наполнителя, превращающего мастику в густое пластичное тесто. Он обладает хорошей адгезией к искусственной смоле и придает мастике способность намазываться на цоколи. Мраморный порошок препятствует усадке смолы при полимеризации, предохраняя горло лампы от растрескивания. Он повышает механическую прочность, диэлектрические свойства и термостойкость мастики. Мраморную крошку измельчают в бегунах или шаровых мельницах, сушат в сушильном шкафу при 120—150° С до содержания влаги не более 0,2% и перед употреблением хранят в герметичной таре. Для цоколей диаметром менее 10 мм применяют мраморный порошок, просеянный через сито со стороной ячейки 0,45 мм, а для более крупных цоколей — через сито со стороной ячейки 0,28 мм. Отклонения в величине зерна просеянного порошка вызывают колебания текучести мастики. Не допускается применение мраморного порошка, содержащего свободные окислы.

Малахитовая и бриллиантовая зелень — органические зеленые красители — служат в качестве индикатора температуры. При нагреве до 185° С они разлагаются, меняя цвет мастики с зеленого на желто-коричневый, и после охлаждения не восстанавливают свой первоначальный цвет. Применение их облегчает контроль режима цоколевания.

Этиловый спирт  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  — применяют для приготовления смоляных лаков. Он хорошо растворяет идиол, канифоль, уротропин и красители и легко улетучивается в процессе цоколевания. Удельный вес 96-градусного этилового спирта 0,80, температура вспышки 140° С. Спирт смешивается с водой в любых соотношениях. Содержание воды в спирте ухудшает растворимость идиола, увеличивает текучесть мастики и понижает

прочность мастики после полимеризации. Для приготовления цоколевочной мастики допускается применение технического этилового спирта (синтетического или гидролизного) крепостью не ниже 95°.

#### в) ПРИГОТОВЛЕНИЕ И ИСПЫТАНИЕ МАСТИКИ

Для цоколевания ламп массовых типов применяют мастику, приготовленную, например, по следующему рецепту:

идиоловый лак . . . . .	2 800 г
уротропин просушенный . . . . .	200 .
сосновая канифоль . . . . .	1 850 .
мраморный порошок . . . . .	18 000 .
малахитовая или бриллиантовая зелень . . . . .	1 .
спирт-ректификат . . . . .	500 .

Сначала готовят идиоловый лак в соотношении 35 кг спирта на 65 кг идиола. Растворение ведут в водяной бане при подогреве не выше 50° С и с перемешиванием. Затем в процеженный через сито лак вводят уротропин и 1%-ный раствор красителя и перемешивают их в смесителе 15 мин (рис. 10-1). Далее в смеситель вводят предварительно перемешанные мраморную пудру и канифольный порошок и весь состав снова перемешивают 15 мин. Мастика, приготовленная таким способом, приобретает необходимую однородность. Практикуемое на некоторых заводах последовательное или одновременное введение в спирт всех сухих компонентов не обеспечивает необходимой однородности мастики, так как частицы идиола, медленно растворяясь в спирте, обволакиваются мраморным порошком и образуют комки.

Полученная однородная тестообразная липкая масса становится удобной для намазывания на цоколи. Ее можно хранить в плотной упаковке до 2 суток, что позволяет заготавливать ее с некоторым запасом. При работе с мрамором, содержащим много углекислого магния, в мастику вводят борную кислоту, замедляющую ее засыхание. Для сохранения постоянства густоты мастики увеличивают количество спирта в холодное время года и уменьшают — в теплое.

Важными свойствами цоколевочной мастики, определяющими ее качество, являются текучесть и скорость отверждения, т. е. скорость перехода ее в неплавкую и нерастворимую форму. Оба эти свойства находятся в об-



Рис. 10-1. Смеситель.



ратной зависимости. Мастика, обладающая большой текучестью и малой скоростью отверждения, при цоколевании ламп вытекает на колбу через полость между цоколем и горлом и затекает в полость тарелки. Мастика, обладающая малой текучестью и большой скоростью отверждения, при цоколевании медленно заполняет полость между цоколем и горлом и затвердевает раньше, чем заполнит эту полость. Большая скорость отверждения позволяет сократить время цоколевания. Уротропин повышает скорость отверждения и уменьшает текучесть мастики. Длительное перемешивание мастики в смесителе делает ее менее текучей, а повышенное содержание канифоли и опирта — более текучей. На увеличение текучести влияет также повышенное содержание свободного фенола в смоле и воды в спирте. Значительное влияние на текучесть оказывает наполнитель (мраморный порошок). Чем меньше соотношение между мраморным порошком и идиолом и чем крупнее помол мраморного порошка при одном и том же его весовом количестве, тем лучше и полнее идиоловый лак смачивает частицы мрамора и тем мастика получается более текучей. Мастика, приготовленная на мраморе очень тонкого помола, при затвердевании образует слишком гладкую поверхность, неблагоприятно влияющую на адгезию к стеклу, а мастика, приготовленная на мраморе слишком грубого помола, при затвердевании сильно увеличивается в объеме и может вызвать растрескивание стекла под цоколем. Наилучшие результаты дает мастика на мраморе, состоящем из набора частиц от самых малых до крупных. Для определения текучести стеклянную трубку диаметром 6 мм плотно заполняют свежеприготовленной мастикой на длине 20 мм и нагревают 4 мин в горизонтальном положении до 250° С. Текучесть признается удовлетворительной, если удлинение столбика мастики после нагрева составляет 75—100%.

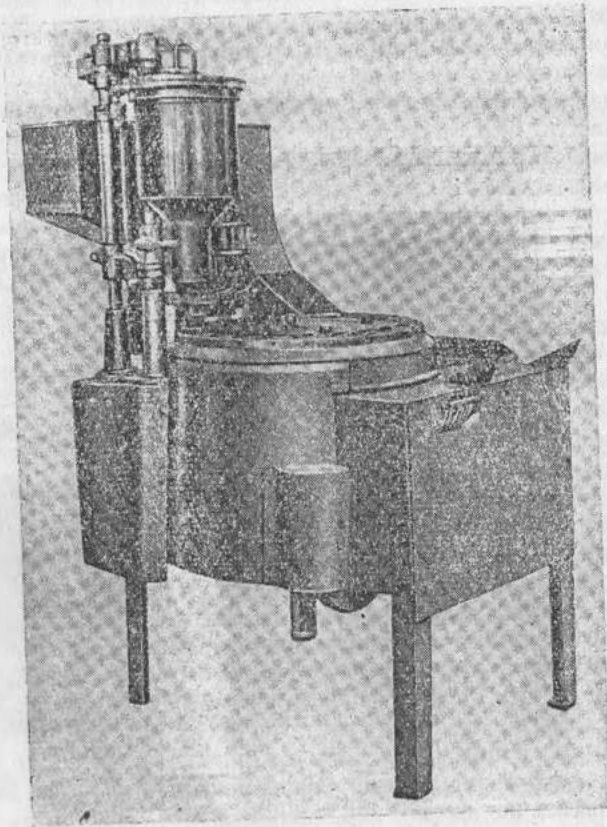


Рис. 10-2. Автомат намазки цоколей.

морного порошка при одном и том же его весовом количестве, тем лучше и полнее идиоловый лак смачивает частицы мрамора и тем мастика получается более текучей. Мастика, приготовленная на мраморе очень тонкого помола, при затвердевании образует слишком гладкую поверхность, неблагоприятно влияющую на адгезию к стеклу, а мастика, приготовленная на мраморе слишком грубого помола, при затвердевании сильно увеличивается в объеме и может вызвать растрескивание стекла под цоколем. Наилучшие результаты дает мастика на мраморе, состоящем из набора частиц от самых малых до крупных. Для определения текучести стеклянную трубку диаметром 6 мм плотно заполняют свежеприготовленной мастикой на длине 20 мм и нагревают 4 мин в горизонтальном положении до 250° С. Текучесть признается удовлетворительной, если удлинение столбика мастики после нагрева составляет 75—100%.

#### г) НАМАЗКА ЦОКОЛЕЙ

Цоколи массовых типов намазывают на автомате (рис. 10-2), а немассовых — ножом вручную. При том и другом способах на краевую часть внутренней поверхности цоколя наносят кольцевую кромку липкой мастики толщиной не менее 2—3 мм.

Цоколи загружают россыпью в вибрационный питатель автомата, откуда они в упорядоченном положении подаются в рабочие гнезда карусели. Там они сначала выравниваются лапкой и зажимаются пружиной, после чего подводятся под механизм намазки. На позиции намазки рабочее гнездо вместе с цоколем приводится во вращение. Мастика выдавливается из бункера через открытое кольцевое отверстие в наконечнике пуансона под давлением на поршень сжатого воздуха или под действием вращающегося винта (шнека, рис. 10-3). Выдавленная мастика равномерно распределяется по краевой поверхности цоколя. Дозировку мастики регулируют степенью открытия отверстия в наконечнике пуансона, а

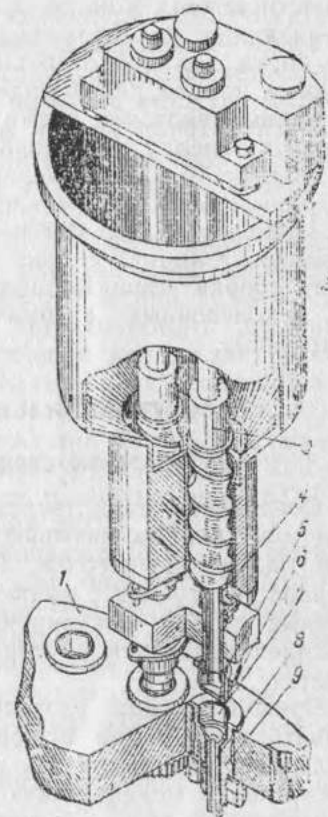


Рис. 10-3. Механизм подачи цоколевой мастики автомата намазки цоколей.

1 — карусель; 2 — бункер; 3 — поршень; 4 — трубка; 5 — наконечник; 6 — нож; 7 — пружина; 8 — питатель; 9 — патрон.

ратной зависимости. Мастика, обладающая большой текучестью и малой скоростью отверждения, при цоколевании ламп вытекает на колбу через полость между цоколем и горлом и затекает в полость тарелки. Мастика, обладающая малой текучестью и большой скоростью отверждения, при цоколевании медленно заполняет полость между цоколем и горлом и затвердевает раньше, чем заполнит эту полость. Большая скорость отверждения позволяет сократить время цоколевания. Уротропин повышает скорость отверждения и уменьшает текучесть мастики. Длительное перемешивание мастики в смесителе делает ее менее текучей, а повышенное содержание канифоли и опирта — более текучей. На увеличение текучести влияет также повышенное содержание свободного фенола в смоле и воды в спирте. Значительное влияние на текучесть оказывает наполнитель (мраморный порошок). Чем меньше соотношение между мраморным порошком и идитолом и чем крупнее помол мраморного порошка при одном и том же его весовом количестве, тем лучше и полнее идитоловый лак смачивает частицы мрамора и тем мастика получается более текучей. Мастика, приготовленная на мраморе очень тонкого помола, при затвердевании образует слишком гладкую поверхность, неблагоприятно влияющую на адгезию к стеклу, а мастика, приготовленная на мраморе слишком грубого помола, при затвердевании сильно увеличивается в объеме и может вызвать растрескивание стекла под цоколем. Наилучшие результаты дает мастика на мраморе, состоящем из набора частиц от самых малых до крупных. Для определения текучести стеклянную трубку диаметром 6 мм плотно заполняют свежеприготовленной мастикой на длине 20 мм и нагревают 4 мин в горизонтальном положении до 250° С. Текучесть признается удовлетворительной, если удлинение столбика мастики после нагрева составляет 75—100%.

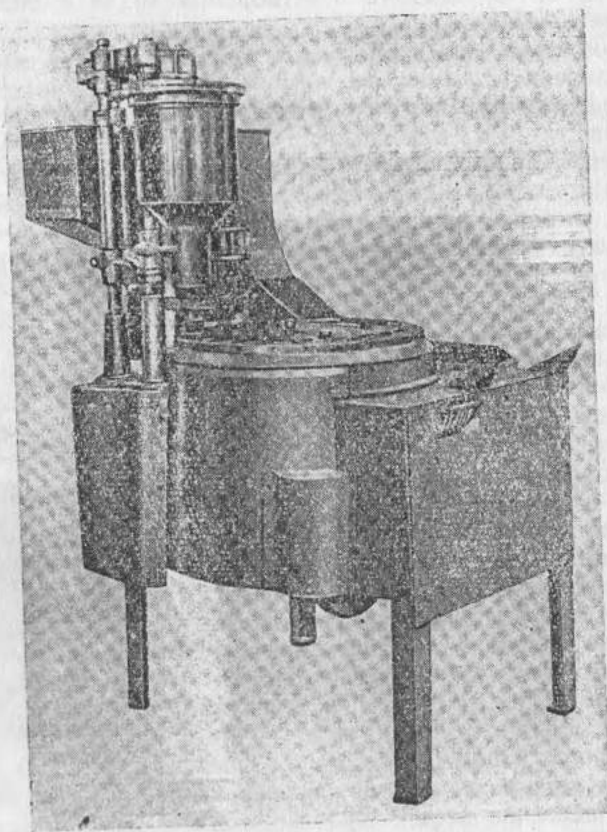


Рис. 10-2. Автомат намазки цоколей.

морного порошка при одном и том же его весовом количестве, тем лучше и полнее идитоловый лак смачивает частицы мрамора и тем мастика получается более текучей. Мастика, приготовленная на мраморе очень тонкого помола, при затвердевании образует слишком гладкую поверхность, неблагоприятно влияющую на адгезию к стеклу, а мастика, приготовленная на мраморе слишком грубого помола, при затвердевании сильно увеличивается в объеме и может вызвать растрескивание стекла под цоколем. Наилучшие результаты дает мастика на мраморе, состоящем из набора частиц от самых малых до крупных. Для определения текучести стеклянную трубку диаметром 6 мм плотно заполняют свежеприготовленной мастикой на длине 20 мм и нагревают 4 мин в горизонтальном положении до 250° С. Текучесть признается удовлетворительной, если удлинение столбика мастики после нагрева составляет 75—100%.

#### г) НАМАЗКА ЦОКОЛЕЙ

Цоколи массовых типов намазывают на автомате (рис. 10-2), а немассовых — ножом вручную. При том и другом способах на краевую часть внутренней поверхности цоколя наносят кольцевую кромку липкой мастики толщиной не менее 2—3 мм.

Цоколи загружают россыпью в вибрационный питатель автомата, откуда они в упорядоченном положении подаются в рабочие гнезда карусели. Там они сначала выравниваются лапкой и зажимаются пружиной, после чего подводятся под механизм намазки. На позиции намазки рабочее гнездо вместе с цоколем приводится во вращение. Мастика выдавливается из бункера через открытое кольцевое отверстие в наконечнике пуансона под давлением на поршень сжатого воздуха или под действием вращающегося винта (шнека, рис. 10-3). Выдавленная мастика равномерно распределяется по краевой поверхности цоколя. Дозировку мастики регулируют степенью открытия отверстия в наконечнике пуансона, а

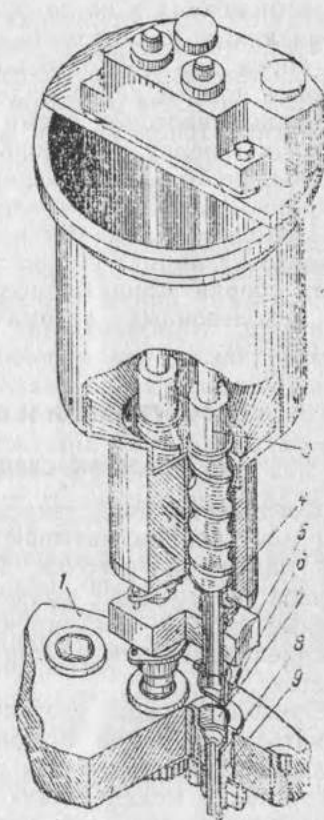


Рис. 10-3. Механизм подачи цоколевочной мастики автомата намазки цоколей.

1 — карусель; 2 — бункер; 3 — поршень; 4 — трубка; 5 — наконечник; 6 — нож; 7 — пружина; 8 — шаталкиватель; 9 — патрон.

## б) МЯГКИЕ ПРИПОИ

Для изготовления припойной проволоки сначала отливают в стальных формах слитки с требуемым содержанием составных частей. Сырьем служат свинец, олово и оловянно-свинцовые сплавы ПОС-30 и ПОС-18. По ГОСТ 1499-54 ПОС-30 содержит 29—30% олова, 1,5—2% сурьмы, остальное свинец; ПОС-18 содержит 17—18% олова, 2—2,5% сурьмы, остальное свинец. Слиток сплава закладывают в обогреваемую до 50—70°С обойму и подвергают давлению гидравлическим прессом между пуансоном и матрицей. Сплав, продавливаясь через несколько круглых отверстий в матрице, выходит в виде проволоки и наматывается на катушки.

В производстве ламп применяют припойную проволоку диаметром 1—2 мм.

## в) ПАЯЛЬНЫЕ ЖИДКОСТИ (ФЛЮСЫ)

Флюсы должны обладать следующими свойствами: 1) восстанавливать или связывать пленку окислов и загрязнений на поверхности соединяемых металлов прежде, чем расплавится припой; 2) хорошо смачивать поверхности металлов; 3) уменьшать поверхностное натяжение расплавленного припоя (улучшать его текучесть) и облегчать проникновение припоя в поры металлов; 4) не вызывать коррозии и не загрязнять места пайки; 5) легко вытесняться расплавленным припоем с поверхности металлов. К наиболее распространенным флюсам, применяемым для пайки мягкими припоями, принадлежат кислотный флюс, состоящий из раствора хлористого цинка в соляной кислоте, нейтральный флюс, состоящий из того же раствора, но нейтрализованного аммиаком, и бескислотный (органический) флюс, состоящий из раствора канифоли в этиловом спирте.

Приведенные флюсы не полностью удовлетворяют указанным выше требованиям. Кислотный флюс отличается хорошей активностью, но плохими антикоррозионными свойствами, а бескислотный обладает хорошими антикоррозионными свойствами, но недостаточной активностью. Нейтральные флюсы занимают по активности и антикоррозионным свойствам промежуточное положение. Из нейтральных наилучшим сочетанием свойств обладает флюс, состоящий из 35%-ного водного раствора хлористого цинка — 95,8%, диэтиламина — 3,5% и триэтанолamina — 0,7% (все в объемных процентах). К указанному составу после отстаивания и фильтрации добавляют 20%-ный водный раствор хлористого аммония в количестве 0,5% от объема готового флюса.

## г) ТВЕРДЫЕ ПРИПОИ

В качестве припоя для припайки к цоколю сильно нагруженных гибких выводов применяют эвтектический сплав меди и

фосфора, содержащий 8,25% фосфора. Температура плавления его 707°С. Он обладает большой прочностью и стойкостью при высоких рабочих температурах. Электропроводность его почти не отличается от электропроводности чистой меди. С ним можно работать без применения специального флюса, так как содержащийся в нем фосфор сам является флюсом. Медно-фосфорный припой хорошо смачивает медь и латунь и не смачивает черных металлов. Поэтому его применяют лишь для припайки выводов к медным или латунным цоколям. Обычно припой применяют в форме крупных плавленных зерен (гранул).

## д) ПРИПОИ И ФЛЮСЫ ДЛЯ ПАЙКИ АЛЮМИНИЯ

Припойные материалы и флюсы, применяемые для припайки выводов к латунным, цинкованным и никелированным цоколям, не могут быть применены к алюминиевым. Наличие на поверхности алюминия очень плотной химически стойкой и тугоплавкой окисной пленки препятствует смачиванию и растеканию обычных припоев и поэтому требует применения более активных припоев и флюсов, чем обычно используемые для пайки большинства металлов. Для пайки алюминия рекомендуется применять припой из эвтектического сплава 91% олова и 9% цинка, плавящегося при 205°С, и флюс из триэтанолamina (80%) и борфторидов кадмия, цинка и аммония (20%).

## 10-4. ТЕПЛОВЫЕ ЭКРАНЫ

### а) ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Тепловым экраном называют внутреннюю деталь лампы, предназначенную для защиты каких-либо ее частей от воздействия высокой температуры тела накала.

Поверхность колбы нагревается при эксплуатации лампы неравномерно. Поверхность под цоколем вследствие непрозрачности цоколя нагревается лучистым теплом сильнее, чем остальная поверхность колбы. В газонаполненных лампах верхняя половина колбы нагревается конвекционным теплом сильнее, чем нижняя половина. Если газонаполненная лампа работает в положении цоколем вниз — перегревается купол, если цоколем вверх — перегревается цоколь. Для уменьшения вредного влияния высокой температуры в мощных прожекторных лампах, работающих в положении цоколем вниз, применяют колбы термостойкого стекла и увеличивают расстояние между телом накала и куполом колбы (рис. 10-4); такими мерами предотвращают размягчение и вспучивание купола. С той же целью в мощных нормальных осветительных и зеркальных лампах, работающих в положении цоколем вверх, применяют колбы с длинным узким горлом, увеличивают расстояние между телом накала и цоколем и помещают между ними непроницаемый

для тепловых лучей и конвекционных потоков газа экран (рис. 10-5); такими мерами уменьшают циркуляцию горячего газа в горле колбы и защищают ножку, цоколевочную мастику и цоколь от действия высоких температур. У ламп с тепловым

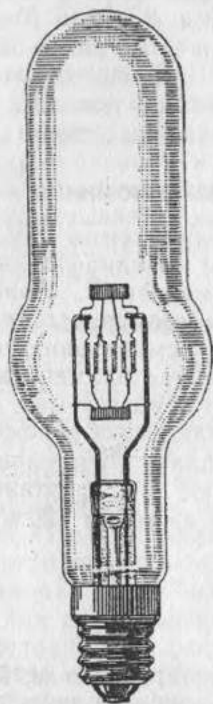


Рис. 10-4. Проекторная лампа.

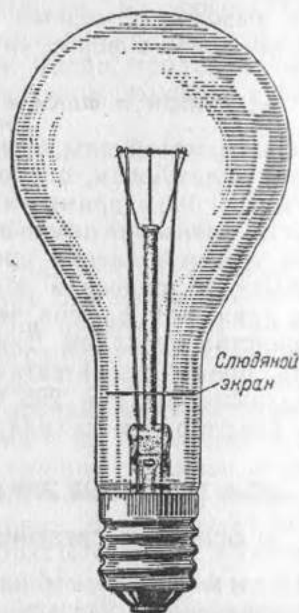


Рис. 10-5. Лампа с тепловым экраном.

экраном температура стекла вблизи цоколя понижается приблизительно на 30—50 град. Соответственно понижается температура патрона и осветительной арматуры.

Тепловые экраны изготавливают в виде тонкого слюдяного или металлического диска. Металлические менее проницаемы для тепловых лучей и поэтому эффективнее понижают температуру ножки и цоколя. В лампах с металлическим экраном часть светового потока отражается от блестящей поверхности экрана, улучшая светораспределение ламп. Некоторые зарубежные предприятия применяют белые керамические экраны.

#### б) СЛЮДЯНЫЕ ЭКРАНЫ

Слюда — минерал кристаллического строения. Молекулы слюды располагаются в кристалле слоями, благодаря чему слюда отличается спайностью, т. е. способностью расщеп-

ляться на очень тонкие гибкие листочки с ровной и гладкой поверхностью. Для изготовления ламп имеют значение следующие достоинства слюды: 1) сравнительно малая прозрачность для тепловых лучей; 2) высокие электроизоляционные свойства; 3) термостойкость; 4) химическая стойкость; 5) малая гигроскопичность; 6) способность легко обезгаживаться; 7) благоприятные механические свойства.

Слюдяные пластины выпускают нескольких сортов. Наиболее высококачественную отечественную слюду мусковит добывают в Сибири, вблизи Иркутска. Химический состав ее приблизительно следующий:  $\text{SiO}_2$  — 45%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 38%,  $\text{K}_2\text{O}$  — 12%,  $\text{H}_2\text{O}$  — 5%, удельный вес 2,8—3,1, твердость 2,8—3,2, температура плавления 1260—1290°C.

Из слюдяных пластин, имеющих произвольный контур, штампуют на эксцентриковых прессах круглые экраны диаметром 34 мм для ламп 500 вт и 52 мм для ламп 750, 1000 и 1500 вт. Такие размеры установлены из расчета, чтобы зазор между экраном и горловиной колбы не превышал 2—3 мм. При штамповке пробивают отверстия для штабика и электродов.

Для лучшего использования отходов штамповки экраны обычно изготавливают на предприятиях слюдяной промышленности, а на электроламповых заводах их расщепляют на пластинки толщиной 0,1—0,2 мм и обезгаживают в вакууме.

Обезгаживание производят следующим образом: на стеклянный штабик ножки 500 и 1000-ваттной лампы с оборванными вводами нанизывают и закрепляют несколько сот экранов, после чего ножку заваривают в колбу, и такую «лампу» откачивают 15 мин с нагревом до 400°C\*. После откачки лампу отпаивают и хранят до того дня, когда экраны понадобятся. Тогда лампу вскрывают и извлекают из нее ножку с обезгаженными экранами.

#### в) МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ЭКРАНЫ

В качестве заменителя дорогостоящих слюдяных экранов в последние годы стали применять тепловые экраны из листового алюминия или алюминированной листовой стали. Из нарезанных полос металла толщиной 0,2 мм штампуют на эксцентриковом прессе диски диаметром на 2—3 мм меньше диаметра горловины колбы. Одновременно тем же штампом пробивают в дисках центральное отверстие для штабика и два боковых выреза для вводов, а также выдавливают ребра жесткости в виде выступов высотой около 0,3 мм или бортиков высотой 2—3 мм. Ребра жесткости повышают формоустойчивость экра-

\* При температуре, превышающей 500°C, слюда теряет воду, расщепляется, опухает и разлагается.

нов и препятствуют их короблению при рабочей температуре лампы. Экраны перед применением обезжиривают в ацетоне и препарируют в водороде при 550—600°С.

### 10-5. ДЕТАЛИ ИЗ КЕРАМИКИ

Для изготовления ламп применяют керамические детали внешние и внутренние. К внешним принадлежат бусы для наружных выводов крупных прожекторных ламп и вкладыши для цоколей Р27, Р40 и др., к которым выводы припаивают твердым припоем. К внутренним принадлежат различные крепежные и изолирующие детали для специальных ламп. Внешние детали изготавливают на специализированных керамических заводах, а внутренние — на электроламповых. Вкладыши для цоколей с двумя каналами для выводов армируют контактной пластиной и ввертывают до отказа в корпуса цоколей.

В некоторых перегруженных специальных лампах недостаточная механическая, термическая и электрическая прочность стекла препятствует применению стеклянных деталей в качестве элементов конструкции смонтированных ножек. В таких лампах вместо стеклянных применяют внутренние крепежные и изолирующие детали (мостики) из вакуумной керамики, отличающейся высокой механической, электрической и термической прочностью, малым коэффициентом расширения и температурой размягчения, превышающей 1400°С.

Существуют плотные и пористые сорта вакуумной керамики. Для изготовления ламп применяют только плотные сорта, не выделяющие газов при рабочем режиме лампы.

Вакуумно-плотные керамические детали изготавливают путем формования и последующего обжига замешанной на воде пластичной массы, составленной из глины и некоторых порошкообразных минеральных добавок. Глина образует в определенном соотношении с водой тестообразную массу, легко воспринимающую под действием внешних усилий любую форму.

К хорошим керамическим материалам, получившим применение в производстве ламп, принадлежит фарфор, приготовленный из огнеупорной глины (или каолина), полевого шпата (или пегматита), кварцевого песка и фарфорового боя (черепка). Глинистые вещества повышают механическую, термическую и химическую прочность керамики, кварцевый песок и фарфоровый бой, уменьшают липкость массы и повышают температуру плавления керамики, а полевой шпат служит стекловидным плавнем, растворяющим и связывающим другие составные части и придающим монолитность готовым изделиям. С увеличением содержания полевого шпата за счет глинистых веществ повышается электрическая прочность, но уменьшается термическая стойкость керамики, а с увеличением содержания кварцевого песка за счет глинистых веществ повышается механиче-

ская прочность, но тоже уменьшается термическая стойкость керамики.

Для изготовления керамических мостиков сырую тестообразную массу продавливают пневматическим прессом через сменный стальной мунштук и получают сплошные длинные гладкие стерженьки с профилем, зависящим от формы выходного отверстия мунштука. Стерженьки разрезают на заготовки требуемой длины. В мягкое тело отформованных заготовок вставляют вручную концы заданного числа молибденовых держателей, необходимых для присоединения к вводам и подвеса тела накала.

Отформованные мостики со вставленными держателями сначала сушат не менее 4 ч естественным путем, затем прогревают 2—3 ч при 250°С в сушильной печи, после чего обжигают в течение 15 мин при 1300—1350°С в атмосфере проточного препаративного газа. При обжиге полностью удаляются остатки влаги; полевой шпат плавится, превращаясь в стекловидную массу, прочно связывающую зерна кварца с игольчатыми кристаллами глинистых веществ. После обжига и 30-минутного остывания в холодильнике мостики превращаются в плотные, спекшиеся керамические черепки и становятся прочными, твердыми и чистыми. Молибденовые держатели надежно в них закрепляются и приобретают светло-серую металлическую поверхность. Атмосфера препаративного газа при обжиге и охлаждении предохраняет молибден от окисления.

Керамические изделия обычно обжигают в окислительной среде, в которой выгорают органические частицы. При окислительном обжиге керамика приведенного выше состава приобретает белый цвет, присущий фарфору. Однако, так как керамические мостики для ламп из-за наличия молибденовых поддержек приходится обжигать не в окислительной, а в восстановительной среде, органические примеси из керамики не выгорают и мостики вместо белого цвета принимают серый.

При обжиге мостиков происходит усадка, сокращающая их первоначальные размеры на 10—12%. Величину усадки заранее учитывают для получения требуемых размеров готовых мостиков. Незначительная пористость, остающаяся после усадки, состоит из изолированных друг от друга микроскопических газовых пузырьков. Чем лучше обожжена керамика, тем меньше газов и влаги остается в ее порах и тем лучшими изолирующими и вакуумными свойствами обладают мостики в готовых лампах. Хорошо обожженные плотные мостики не впитывают чернил. Плохо обожженные мостики обладают большим газотделением и повышенной проводимостью. Такие мостики впоследствии вызывают брак — «черные лампы» и «перегорание с дугой».

Химический состав обожженной вакуумной керамики приблизительно следующий: глинистых веществ — около 50%,

кварца — около 30% и полевого шпата — около 20%. Вакуумная керамика имеет коэффициент линейного расширения  $30\text{--}40 \cdot 10^{-7}$  в интервале  $20\text{--}700^\circ\text{C}$ , удельный вес — около 2,5, твердость по Моосу — около 7, удельное электрическое сопротивление — более высокое, чем у стекла (при  $20^\circ\text{C}$  около  $10^{15}$  ом·см и при  $1000^\circ\text{C}$  — около  $10^3$  ом·см).

Держатели, вставляемые в керамические мостики, изготавливают из молибдена марки МК, а не МЧ, так как проволока из молибдена МЧ при обжиге мостиков до температуры, превышающей  $1300^\circ\text{C}$ , рекристаллизуется и становится хрупкой. Проволока же из молибдена МК рекристаллизуется при более высокой температуре и при нагреве до  $1350^\circ\text{C}$  сохраняет прочность. Держатели для десятикиловаттных и триспиральных прожекторных ламп изготавливают из сплава вольфрама (50%) и молибдена (50%), обладающего большей прочностью и упругостью при высоких температурах, чем молибден.

### 10-6. ЖИДКОЕ СТЕКЛО

Жидким стеклом называют сиропообразную вязкую полупрозрачную с сероватым оттенком жидкость, состоящую из раствора силиката натрия в воде. В производстве ламп его применяют в качестве клея при изготовлении гофрированного картона. Оно обладает способностью хорошо прилипать к бумаге (адгезией) и прочно сцепляться своими частицами между собой (когезией).

Исходным материалом для получения жидкого стекла служит силикат натрия (силикат-глыба), приготовленный сплавлением чистого кварцевого песка с кальцинированной содой. Получающийся продукт внешне похож на обыкновенное стекло, но в отличие от последнего хорошо растворяется в горячей воде с образованием клейкой жидкости.

Силикатный клей, смачивая шероховатую поверхность бумаги, быстро с ней схватывается при сравнительно малой потере влаги и небольшом расходе тепла. Клеевой шов в гофрированном картоне получается более прочным, чем сама бумага, из которой картон приготовлен. Гофрированный картон, изготовленный на других клеях (декстриновом, крахмальном), обладает недостаточной жесткостью и выдерживает меньшее число изгибов.

Химический состав силикат-глыбы выражается формулой  $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ , где  $n$  — коэффициент, называемый кремнистым модулем. Для изготовления клея применяют глыбу с численным значением модуля в пределах 2,6—3. Модулю 2,6 соответствует состав:  $\text{SiO}_2$  — 72,3%,  $\text{Na}_2\text{O}$  — 27,7%, а модулю 3 — состав:  $\text{SiO}_2$  — 75%,  $\text{Na}_2\text{O}$  — 25%.

Песок и соду просеивают через сита и перемешивают в смесителе. Для приготовления силикат-глыбы с модулем 2,6 берут

на 100 весовых частей песка 73—75 весовых частей соды. Подготовленную однородную шихту варят при  $1300\text{--}1400^\circ\text{C}$  в выложенных из шамотного бруса стекловаренных печах непрерывного действия. Сваренную массу сливают непрерывной струей через отверстие в печи в стальные короба или на конвейерную ленту, где она остывает, затвердевает и растрескивается. Хорошо сваренная глыба состоит из стекловидных кусков, не содержащих видимых включений шихты.

Остывшую глыбу дробят в дробилке и измельчают в бегунах или шаровой мельнице. Измельченный порошок растворяют в воде в оборудованном паровым или электрическим нагревом чане при непрерывном перемешивании вращающимися лопатками. При растворении поддерживают температуру кипения ( $100^\circ\text{C}$ ). Процесс растворения значительно ускоряется, если его ведут при более высокой температуре во вращающемся закрытом цилиндрическом барабане — автоклаве с подачей пара при давлении 3—4 ат. При таких условиях силикат-глыбу можно предварительно не измельчать.

С уменьшением содержания влаги в жидком стекле ускоряется схватывание клея с бумагой, но при этом уменьшается проникновение клея в бумагу. При работе с высокопористой бумагой применяют вязкий клей с малым содержанием влаги.

С уменьшением кремнистого модуля растворимость силикат-глыбы улучшается, но клейкость и липкость жидкого стекла ухудшаются и скорость схватывания его замедляется. Высокомодульный силикат труднее растворяется в воде и хуже смачивает бумагу, чем низкомодульный, но зато быстрее высыхает, быстрее и прочнее схватывается с бумагой и лучше сохраняет прочность клеевого соединения. При растворении высокомолекулярного силиката поверхность его под влиянием гидролиза покрывается пленкой кремнезема, замедляющей растворение.

Жидкое стекло не имеет запаха и нетоксично. Из всех клеев оно самое дешевое.

### 10-7. АКВАДАГ

Аквадагом называют водноколлоидный графитовый препарат, состоящий из разведенных в воде тонко раздробленных кристаллов искусственного графита. Он представляет собой черную вязкую жидкость, способную смешиваться с водой в любых соотношениях. В производстве тугоплавких проволок его применяют в качестве жаростойкого смазочного материала при последней ковке и волочении вольфрамовой и молибденовой проволок, а в производстве ламп — для наводки рабочей поверхности металлических форм при выдувании миниатюрных колб.

Кристаллы графита состоят из слабо связанных между собой тончайших шестиугольных пластинок, ориентированных друг относительно друга в параллельных плоскостях и поэтому легко скользящих одна по другой. Слоистая форма кристаллов и относительно большое расстояние между слоями придает графиту превосходные смазывающие свойства. В некоторых условиях, например при высокой температуре, когда смазка даже самыми высококачественными маслами неприемлема, графит служит отличным средством уменьшения трения.

Аквадаг характеризуется размером частиц графита. Чем меньше частицы, тем легче образуется коллоидный раствор и лучше формируются студенистые свойства аквадага. В производстве вольфрамовой и молибденовой проволоки применяют водно-коллоидный графитовый препарат с размерами основной массы частиц не более 3,75 мк (марки В-1), не более 2,3 мк (марки В-0) и не более 0,8 мк (марки ВКГС-0). В производстве миниатюрных колб применяют препарат марки В-0.

Смазку для форм готовят размолом в шаровой мельнице 500 г аквадага, 500 мл дистиллированной воды и 150 мл 25%-ного аммиака. Такая смазка препятствует прилипанию расплавленного стекла к стенкам формы. После размола она не содержит твердых частиц, способных наносить царапины на выдуваемых колбах.

Важной характеристикой аквадага является способность частиц графита равномерно распределяться в его массе без выпадения в осадок. Уменьшение концентрации графита в препарате марки ВКГС-0 и В-0 после отстаивания в течение 8 ч и в препарате марки В-1 после отстаивания в течение 3 ч не превышает 7,5%.

Аквадаг, как и всякий коллоидный раствор, подвержен коагуляции, заключающейся в постепенном слипании и укрупнении частиц и выпадении их в осадок в виде хлопьев. Устойчивость аквадага против коагуляции повышают с помощью поверхностно активных веществ — стабилизаторов, создающих вокруг частиц графита абсорбированный слой и препятствующих слипанию их в более крупные соединения. Препараты В-0 и В-1 стабилизируют сложным веществом, состоящим из желатины, аммиака, хлорного железа и сахара, а препарат ВКГС-0 — сухим сульфитным щелоком.

Графит имеет очень высокую температуру плавления (3800°С). При нагреве до температуры, не превышающей 900°С, он хорошо защищает проволоку и формы от окисления. При более высоких температурах он сгорает. Разведенный аквадаг хорошо смачивает поверхность проволоки и форм, равномерно обтягивая их жирноблестящей плотной тонкой пленкой. При нагреве влага испаряется, а графит хорошо удерживается на поверхности. Хорошая смачиваемость препятствует непосредственному контакту проволоки со стенками волокна,

а стекломассы — со стенками формы. Аквадаг обладает хорошей полирующей способностью. Формы, наведенные аквадагом, придают выдуваемым колбам блеск.

Коллоидно-графитовые препараты не переносят холода. Их нельзя перевозить в холодные месяцы года. При замерзании из них выступают крупинки графита и тогда их никакими способами нельзя восстановить. Препарат хранят в стеклянных банках с притертой пробкой и оберегают от загрязнения.

— 0

## НАЧАЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ СБОРКИ ЛАМП

### 11-1. ИЗГОТОВЛЕНИЕ НОЖЕК

#### а) ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Ножкой называют стеклянный конструктивный узел лампы, через который проходят электроды. Она служит опорой для внутренней арматуры лампы и обеспечивает вместе с колбой герметизацию лампы.

Ножки по конструктивному исполнению разделяются на гребешковые, бусинковые и плоские. Подавляющее большинство ламп накаливания снабжают гребешковой ножкой (рис. 11-1). Миниатюрные и сверхминиатюрные лампы изготавливают с бусинковой ножкой (рис. 11-2). Некоторые специальные лампы с небольшой высотой светового центра изготавливают с плоской ножкой (рис. 11-3). Выводы ламп с плоской ножкой служат одновременно штырьками для присоединения к панели или патрону.

Гребешковые ножки для ламп общего назначения собирают из тарелки, штабика, штенгеля и двух электродов. Вместо отдельных штабика и штенгеля иногда применяют длинный штенгель, часть которого выполняет роль штабика. Ножки для ламп на низкое рабочее напряжение изготавливают без штабика с одной-двумя молибденовыми поддержками или без поддержки. Ножки для двухцветных ламп изготавливают с тремя электродами (рис. 11-4), а для софитных — с одним электродом.

Чем крупнее лампа, тем массивнее должны быть детали, составляющие ножку. При механизированном изготовлении ножек важно, чтобы стеклозаготовки для одного и того же типа ламп имели одинаковые размеры и одинаковую массу стекла.

Основная задача при сборке гребешковых и плоских ножек состоит в обеспечении плотного воздухонепроницаемого впаивания электродов в лампу, не нарушающегося ни при окружающей, ни при рабочей температуре лампы в течение длительного времени ее хранения и эксплуатации. Эту задачу решают впаиванием в ножку звена электродов, которое имеет близкий стеклу

коэффициент теплового расширения и способно хорошо прилипать к стеклу. В лампах подавляющего большинства типов в качестве такого уплотняющего звена служит платинит.

Ножки под платинитовый впаив изготавливают из бесвинцового стекла рецепта С90-1 или свинцового — рецепта С87-1.

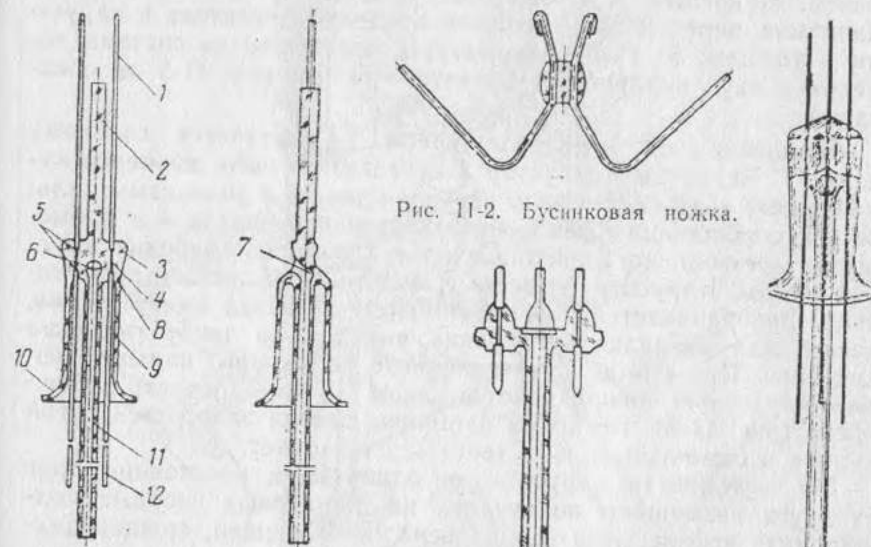


Рис. 11-1. Гребешковая ножка.  
1 — ввод; 2 — штабик; 3 — сжим (лопатка); 4 — впаив; 5 — узлы впаив; 6 — откачное отверстие; 7 — «колбочка»; 8 — шейка; 9 — трубка; 10 — разветка тарелки; 11 — штенгель; 12 — вывод.

Рис. 11-2. Бусинковая ножка.

Рис. 11-3. Плоская ножка.

Рис. 11-4. Трех-электродная гребешковая ножка.

Применение свинцового стекла особенно полезно при изготовлении ножек для малогабаритных и миниатюрных ламп.

Для ламп, работающих в условиях напряженного теплового режима и потребляющих ток более 13—15 а, ножки изготавливают с молибденовым или вольфрамовым впаем. Стекло рецепта С49-2 имеет коэффициент теплового расширения, близкий молибдену, а стекло рецепта С40-1 — вольфраму.

Ножки для миниатюрных ламп не имеют ни тарелки, ни штабика, ни штенгеля и состоят лишь из маленькой стеклянной бусы с впаянными в нее двумя платинитовыми электродами и, иногда, с одной или, редко, двумя молибденовыми поддержками. Буса жестко связывает оба электрода. Внутренние концевые части платинитовых электродов сплющивают и загибают в крючки.



## 6) СБОРКА НОЖЕК НА ПОЛУАВТОМАТЕ

Полуавтомат сборки ножек (рис. 11-5) состоит из: 1) чугунной станины, на которой укреплены все механизмы; 2) 8, 10 или 12-гнездной алюминиевой карусели, вращающейся над станиной; 3) клещей, в которые загружают детали ножек; 4) механизмов, передающих вращение от электродвигателя к карусели и клещам; 5) газовой арматуры, состоящей из системы горелок и двух коллекторов с вентилями (на рис. 11-5 не показаны).

Вращение от электродвигателя 1 передается главному валу 11. Червячный редуктор 2 передает от него движение кулачковому валу 12. На валу укреплен диск 5 с роликовым пальцем 6, сообщающим движение мальтийской звезде 4 в промежутки времени, когда ролик входит в один из глубоких вырезов звезды. Карусель 7 вместе с мальтийской звездой периодически поворачивается и останавливается. Звезда имеет восемь, десять или двенадцать глубоких вырезов по числу гнезд на карусели. При одном полном обороте роликового пальца звезда с каруселью поворачивается на  $1/8$ ,  $1/10$  или  $1/12$  часть окружности (рис. 11-5). Во время остановок звезда запирается дугой кулака и самопроизвольно двигаться не может.

По окружности карусели на одинаковом расстоянии друг от друга размещены во втулках на шариковых упорных подшипниках восемь, десять или двенадцать клещей, вращающихся на рабочих позициях и не имеющих принудительного вращения на загрузочно-разгрузочных позициях и на переходах между позициями.

Клещи (рис. 11-6) поддерживают детали в строго определенном взаимном положении в течение всего цикла изготовления ножек. Они снабжены кубиком с несквозными отверстиями для штабика и электродов, тарелкодержателем, штенгеледержателем и двумя бакенами (расколотками). Губки держателей в закрытом положении удерживаются постоянным усилием пружин. На позициях загрузки и разгрузки они раскрываются вручную посредством рукояток и системы рычагов. Расколотки на всех позициях удерживаются в крайнем раскрытом положении.

Все рабочие позиции оснащены одноотверстными горелками со скрещивающимися огнями.

Детали помещают на загрузочной позиции в следующем порядке: сначала штабик вставляют в центральное отверстие кубика, затем электроды — в его боковые отверстия, далее тарелку зажимают губками тарелкодержателя и, наконец, штенгель устанавливают в штенгеледержатель.

На 2-й позиции, следующей после загрузочной, клещи приводятся во вращение, и детали ножки равномерно нагреваются в мягком пламени двух или четырех горелок. Огни на этой

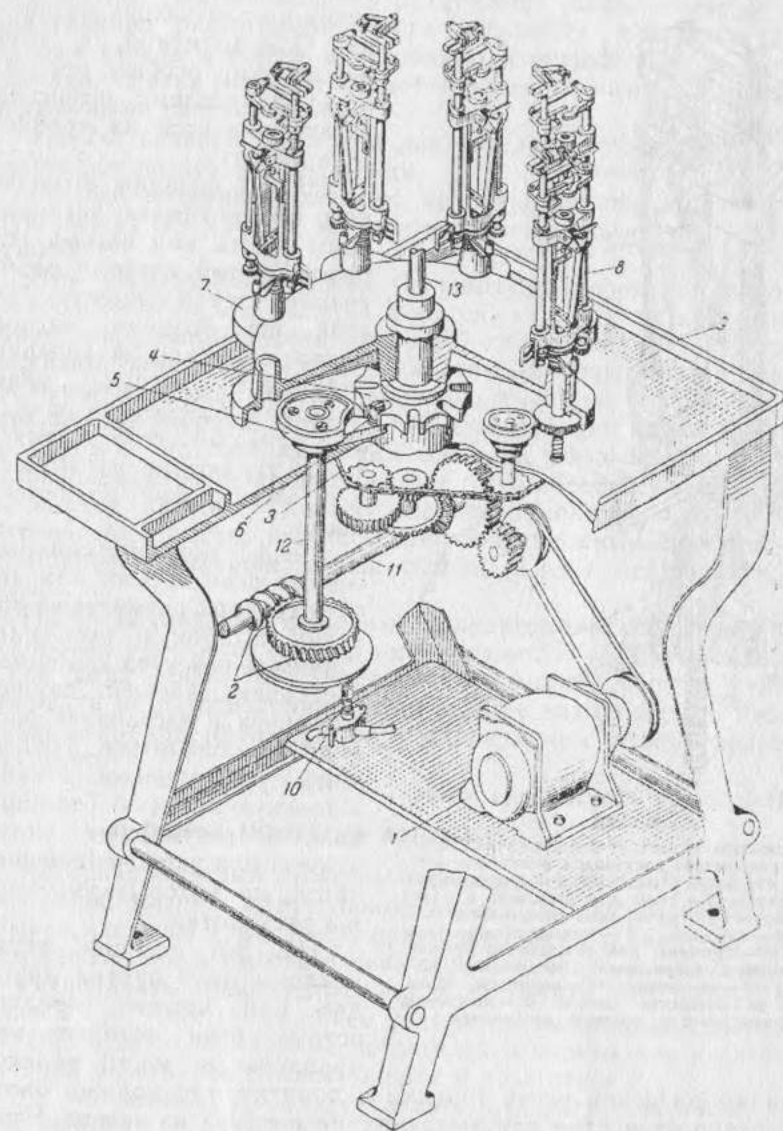


Рис. 11-5. Полуавтомат сборки ножек.

1 — электродвигатель; 2 — червячный редуктор; 3 — гибкая цепь; 4 — мальтийская звезда; 5 — кулак, запирающий мальтийскую звезду; 6 — роликовый палец, поворачивающий мальтийскую звезду; 7 — карусель; 8 — клещи; 9 — станина; 10 — золотник, перекрывающий сжатый воздух на продувании; 11 — главный вал; 12 — кулачковый вал; 13 — центральный вал.

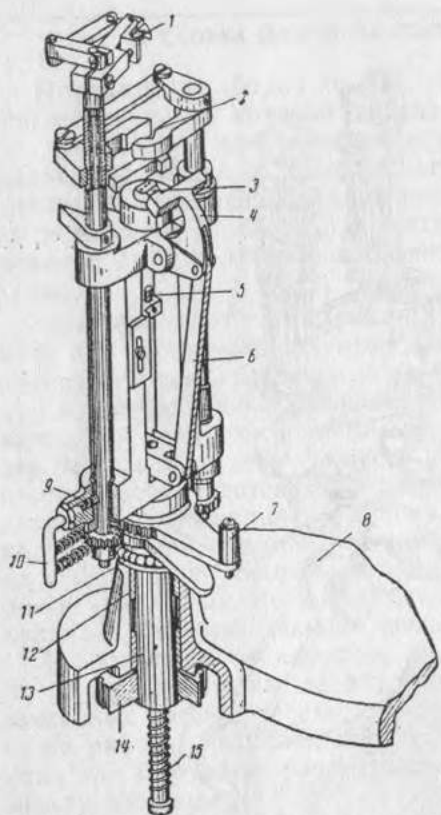


Рис. 11-6. Клещи полуавтомата сборки ножек.

1 — держатель штенгеля; 2 — держатель тарелки; 3 — держатель электродов и штабика («кубик»); 4 — бакен («расколотка») для штамповки лопатки; 5 — упор для штабика; 6 — тяга расколотки; 7 — ручка для открывания клещей; 8 — карусель; 9 — установочный фрикцион; 10 — пружины для закрывания клещей; 11 — упорный шариковый подшипник; 12 — втулка; 13 — хвостовик; 14 — шестерня, приводящая во вращение клещи; 15 — хвостовик, приводящий в действие расколотки.

да цилиндрической части тарелки в лопатку, где должно быть образовано отверстие для выкачивания воздуха из лампы. Чтобы образовать это отверстие, в свободный конец штенгеля вдвигается подогретый технический сжатый воздух. Струя воздуха прорывает пузырек в размягченном стекле, образуя свободный проход через штенгель.

На 6-й позиции огнями четырех горелок оплавляются ровные кромки продутого отверстия и подгреваются шейка и ло-

позиции подготавливают детали к более сильному нагреву на следующих позициях. Одновременно на этой же позиции особым пресси-ком-уравнителем штенгель устанавливается на требуемую высоту.

На 3-й позиции 8-гнездного полуавтомата установлены шесть или восемь горелок, пламя которых разогревает стекло докрасна. На этой же позиции мягкое пламя специальной горелки оплавляет острые края штенгеля. Последняя операция отпадает, если штенгели поступают на изготовление ножек уже оплавленными.

На 4-й позиции сильные острые огни восьми или десяти горелок размягчают тарелку, штабик и штенгель. Специальный узел сообщает хвостовику клещей движение вверх и заставляет расколотки сблизиться и сплющить размягченное стекло в плоскую лопатку. Толщину лопатки регулируют удлинением или укорочением рычагов, на которых укреплены расколотки.

На 5-й позиции установлены друг против друга две или четыре горелки, острые огни которых направлены в место перехо-

патка ножки. На этой же позиции одной или двумя струйками подогретого сжатого воздуха раздувается шейка ножки. Таким раздуванием растягивается образовавшийся действием огней наплыв стекла в шейке и устраняются острые углы в полости тарелки. Стенки шейки становятся более тонкими и менее подверженными растрескиванию.

На 7-й позиции одна или две горелки со слабыми огнями нагревают воздух вокруг ножки.

На 8-й позиции извлекают вручную остывшую затвердевшую ножку из клещей и погружают штабиком вниз в печь отжига.

При изготовлении ножек больших размеров на машинах с небольшим числом позиций и напряженным режимом огневой обработки равномерность прогрева стеклянных деталей обеспечиваются вращением клещей на огневых позициях. При изготовлении же ножек малых размеров, имеющих небольшую поверхность обработки, а также при изготовлении ножек больших размеров на многопозиционных машинах с большим числом горелок равномерный прогрев может быть обеспечен и на невращающихся клещах. Поэтому малопозиционные машины для изготовления малых ножек и многопозиционные машины для изготовления больших ножек обычно имеют невращающиеся клещи.

На 8—12-гнездных ножечных полуавтоматах при одной операционной работнице можно изготавливать 350—500 ножек в час, а при двух — 600—750. Полуавтоматы можно быстро перенастраивать на изготовление ножек разных размеров, что бывает необходимо при производстве мелкосерийных типов специальных ламп.

#### в) СБОРКА НОЖЕК НА АВТОМАТЕ

Механизированный ножечный автомат (рис. 11-7) представляет собой машину карусельного типа с 24 или 28 невращающимися клещами (рис. 11-8), прикрепленными к карусели и поворачивающимися вместе с ней. Большое число клещей позволяет увеличить производительность автомата до 1600—2000 ножек в час. Автомат снабжен узлами автоматической загрузки в клещи штабиков, тарелок, штенгелей и электродов и автоматической перегрузки готовых ножек в печь отжига.

На 1-й позиции 28-гнездного автомата загружается из кассеты штабик.

На 2-й позиции скатывается из бункера тарелка.

На 4 и 5-й позициях из электродного магазина через направляющие воронки соскальзывают внутрь тарелки одновременно два электрода (на рис. 11-7 загрузка электродов не показана). На участке от 4 до 7-й позиции укреплен кулиса, не позволяющая электродам занимать произвольное положение

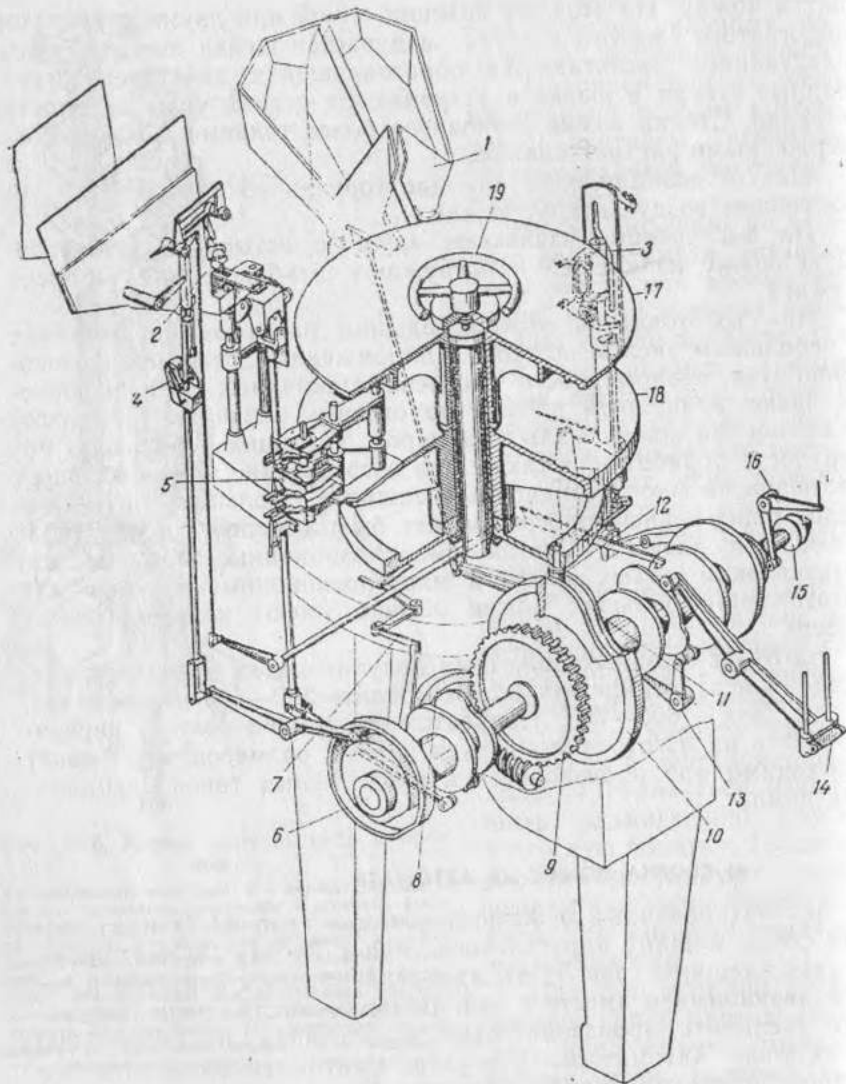


Рис. 11-7. Автомат сборки ножек.

1 — механизм загрузки тарелок; 2 — механизм загрузки штенгелей; 3 — механизм съема ножек; 4 — уравниватель тарелок; 5 — клещи; 6 — управляющий вал; 7 — рычаг открывания клещей; 8 — приводной шкив; 9 — червячная передача; 10 — кулачок поворота карусели; 11 — улитка; 12 — ролик для поворота карусели; 13 — рычаг отклонения горелок во время поворота карусели; 14 — рычаг привода расколота; 15 — ролик привода цепи печи отжига; 16 — рычаг к золотнику, регулирующему продувание отверстия в ножке; 17 — верхний диск карусели; 18 — нижний диск карусели; 19 — маховик подъема и опускания верхнего диска карусели.

до тех пор, пока не закроются губки, фиксирующие положение внешних звеньев электродов (положение внутренних звеньев фиксируется шпильками воронок).

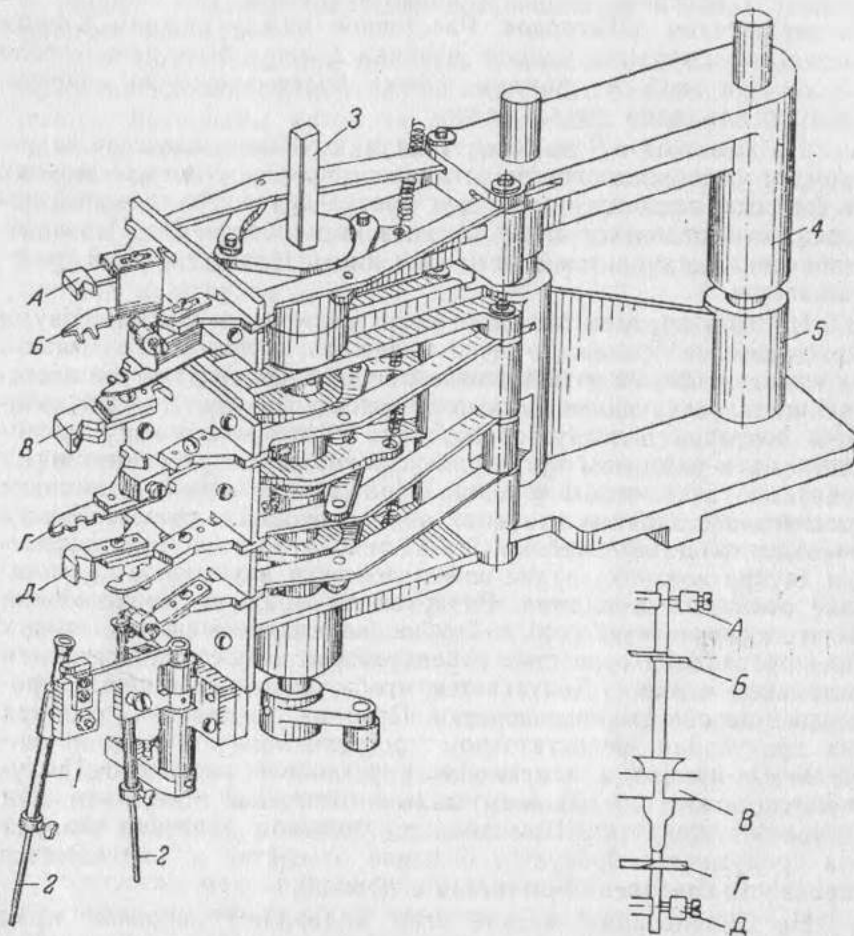


Рис. 11-8. Клещи автомата сборки ножек.

A — губки зажима штенгеля; B — губки развода электродов; B — губки тарелкодержателя; Г — губки зажима электродов; Д — держатель штабика; 1 — воронки держатели электродов; 2 — шпильки для установки электродов по высоте; 3 — валик с кулачками для раскрытия губок; 4 — верхний кронштейн, связанный с верхним диском карусели; 5 — нижний кронштейн, связанный с нижним диском карусели.

На 6-й позиции уравнивается штабик до требуемой высоты.

На 7-й позиции загружается из кассеты штенгель. На этой же позиции начинается нагрев тарелки слабым пламенем одноотверстной горелки.

На 8-й позиции осаживаются тарелка и штенгель для придания им требуемого положения относительно друг друга. После осадки между торцом тарелки и верхней плоскостью держателя электродов остается зазор 0,5—1 мм, требуемый для

лучшего обогрева торца и предотвращения прилипания его к держателям электродов. Расстояние между нижним концом штенгеля и верхним концом штабика должно быть равно около 3 мм. На этой же позиции ножки более энергично подогреваются пламенем двух горелок.

На позициях с 9 по 18-ю тарелка, штабик и штенгель нагреваются сильными огнями откидных парных угловых горелок с соплами, направленными друг против друга. Постепенный нагрев осуществляется снизу вверх, а не наоборот. На 17-й позиции стекло становится пластичным и под действием огня сплющивается.

На 19-й позиции автоматически штампуется лопатка двумя сходящимися бакенами (расколотками). На этой позиции, а также на 20, 21 и 22-й ножка продолжает нагреваться постепенно ослабевающими огнями откидных горелок. На 22-й позиции повторно штампуется лопатка. Расстояние между расколотками в поднятом состоянии устанавливается регулирующими винтами такое, чтобы толщина лопатки при первой штамповке достигала толщины штабика, а при второй — стала немного меньше толщины штабика. На 21 и 22-й позициях производится двукратное раздувание шейки ножки и двукратное продувание откачного отверстия. Раздуванием придают шейке ножки почти сферическую форму. Трубки, подводящие сжатый воздух для продувания отверстия и раздувания шейки, подогреваются пламенем горелок. Допускается, чтобы откачное отверстие продулось по обе стороны лопатки. При низком давлении воздуха на продувании, недостаточном прогреве лопатки, плохой центровке штенгеля и неправильной установке расколоток получаются ножки со слишком малым откачным отверстием или вовсе без отверстия. При слишком большом давлении воздуха на продувании образуется большое отверстие и уменьшается прочность соединения штенгеля с ножкой.

На 22-й позиции мягкие огни оплавливают неровные края откачного отверстия с целью повышения прочности крепления штенгеля.

На 23—27-й позициях огни отсутствуют; ножкам дают остыть и затвердеть для предотвращения их повреждения при разгрузке.

На 28-й позиции все держатели автоматически раскрываются, готовая ножка подхватывается съемником и передается по наклонному скату на движущуюся цепь печи отжига.

Установленные на автомате газовые горелки (рис. 4-19, стр. 137) дают короткое, широкое и вместе с тем достаточно резкое пламя, охватывающее весь требуемый для прогрева участок стекла. Такая система прогрева позволяет применять на автомате невращающиеся клещи. Горелки во время перемещений карусели отводятся взаимодействием рычагов назад и

в момент остановок карусели возвращаются в свое исходное рабочее положение.

Для того чтобы при пропуске в подаче отдельных деталей приостанавливалась подача последующих деталей, все грузочные механизмы автомата блокированы между собой при помощи механических или электрических устройств. В случае отсутствия в клещах штабика приостанавливается загрузка тарелки; в случае отсутствия в клещах тарелки прекращается подача электродов и штенгеля; в случае отсутствия в клещах штенгеля раздается звонок, по которому наладчик устраняет причину незагрузки.

На механизированном ножечном автомате расколотки для штамповки ножек не включены в систему клещей как на «тихоходном» полуавтомате, а установлены неподвижно на станине. Расколотки поочередно штампуют все ножки в два приема. При второй штамповке ножка приобретает правильную форму, которую она частично потеряла после продувания откачного отверстия и раздувания шейки. На некоторых заводах при второй штамповке на одной или обеих сторонах лопатки выдавливают цифры или буквы, условно обозначающие дату изготовления, номер машины или другие данные.

Откачное отверстие продувается тоже в два приема. При втором продувании особый золотник определяет момент подачи сжатого воздуха и приостанавливает дутье после того, как отверстие уже продулось, препятствуя тем самым образованию слишком большого отверстия и уменьшению прочности соединения штенгеля с ножкой.

При помощи упорных винтов клещи так регулируют, чтобы оси зажатых в них стеклянных деталей были строго параллельны оси карусели, а электроды помещались в одной радиальной плоскости.

Карусель механизированного ножечного автомата состоит из связанных между собой верхнего и нижнего дисков. С верхним диском связана верхняя часть клещей, содержащая губки для зажима штенгеля и развода электродов, а с нижним — нижняя часть клещей, содержащая держатели тарелок, электродов и штабиков. Верхний диск вместе с верхними частями всех клещей можно поднимать или опускать вращением маховика, укрепленного на оси автомата. К этому прибегают при настройке автомата на требуемую длину ножек.

Управляющий механизм ножечного автомата, как и многих других автоматов в производстве ламп, состоит из массивного распределительного вала с насаженными на нем эксцентриковыми кулачками, преобразующими вращательное движение в возвратно-последовательное. Распределительный вал управляет в заданной последовательности всеми рабочими механизмами автомата и заведует всеми производимыми на автомате операциями. Для выполнения каждой операции соответствующий ку-

лачок поворачивает сопряженный с ним рычаг, который в свою очередь передает движение тому или иному рабочему механизму. Отношение плеч рычагов и профиль кулачков выбирают такими, чтобы сообщить в требуемые моменты совершенно заданные движения ведомым элементам и обеспечить определенное соотношение между временем их движения и временем покоя (стоянки на позиции).

Описанная на стр. 408 система периодического поворота карусели тихоходного ножечного полуавтомата, состоящая из мальтийского механизма, при скоростях выше 600—700 шт. в час быстро изнашивается и даже при незначительном износе не обеспечивает плавного перемещения карусели и точной фиксации ее положения во время стоянок. Это совершенно неприемлемо для таких машин, на которых загрузочно-разгрузочные и технологические операции производятся автоматическими механизмами, неподвижно закрепленными на станине автомата. Поэтому на механизированном ножечном автомате, как и на большинстве других современных машин с периодическим прерывистым перемещением карусели, поворот карусели осуществляют кулачково-роликовым механизмом, изображенным на рис. 11-9. В этом механизме деталью, ведущей карусель от одной позиции к другой, служит закрепленный на шайбе пазовый кулак (улитка), вращающийся вместе с распределительным валом. Ведомыми деталями служат роликовые пальцы, укрепленные на равном расстоянии друг от друга по окружности специального чугунного диска, жестко связанного с каруселью. Такой механизм преобразовывает равномерно-вращательное движение улитки в прерывисто-вращательное движение карусели. Число роликовых пальцев равно числу позиций автомата. При каждом обороте распределительного вала кулак делает один оборот, при этом криволинейная улитка зацепляется пазом за ролик и плавно поворачивает карусель на один переход а плоская шайба, двигаясь между роликами, точно фиксирует положение карусели во время стоянки.

Рис. 11-9. Механизм поворота карусели.  
1 — улитка; 2 — шайба;  
3 — распределительный вал;  
4 — роликовые пальцы;  
5 — чугунный диск, связанный с каруселью.

Соотношение между длинами криволинейной и цилиндрической частей окружности кулака определяет соотношение между временем перемещения и временем стоянки карусели. Во время перемещения никаких загрузочно-разгрузочных и технологических операций не происходит. В течение этого времени снижается температура разогреваемых деталей и непроизводительно расходуется газ, поэтому стремятся сократить его до минимума и тем самым повысить производительность автомата.

## г) ОТЖИГ НОЖЕК

В ножках, снимаемых с ножечного автомата, под влиянием искусственного охлаждения расколотками и естественного охлаждения окружающим воздухом могут создаваться опасные внутренние напряжения. Чтобы предотвратить возникновение напряжений, а следовательно, и трещин и сделать ножки пригодными для дальнейшей обработки, их отжигают в печи отжига. При этом конусную часть тарелки и выступающую из

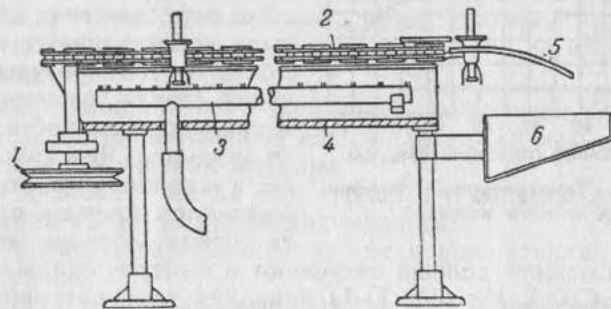


Рис. 11-10. Печь отжига ножек.

1 — привод от ножечного автомата; 2 — гибкая цепь; 3 — газовая труба с отверстиями; 4 — кожух; 5 — спуск для отоженных ножек; 6 — ящик для приема ножек.

тарелки часть штангеля, не подвергавшиеся тепловой обработке при изготовлении ножек, не вводят в зону нагрева печи и не отжигают.

На рис. 11-10 изображена прямая газовая печь отжига ножек. Она состоит из узкой металлической камеры (туннеля) с двойными стенками, заполненными теплоизоляционным материалом. В камере укреплены параллельно две горелки в виде газовых труб с отверстиями. Газовоздушная смесь, выходящая из этих отверстий, образует два параллельных ряда огня. Ножки медленно перемещаются через щель печи по бесконечной гибкой цепи или ленте, приводимой в движение от распределительного вала автомата. В начале печи температура быстро повышается до верхней точки отжига, далее медленно понижается до нижней точки отжига и к моменту выхода из печи быстро достигает температуры, при которой остаточные напряжения в ножках возникнуть уже не могут.

Чем выше требуется температура в каком-либо участке печи, тем с меньшим шагом и большим диаметром высверливают отверстия в горелках. Огни горелок направляют на установленные внутри печи металлические щитки-термоизлучатели, с тем чтобы ножки нагревались их лучистым теплом. Такая система нагрева позволяет избежать деформации штабиков и окисления внутренних звеньев электродов при отжиге. При из-

менении размеров ножек горелки и термоизлучателя можно перемещать по высоте печи. Над щелью печи рекомендуется устанавливать защитный кожух для уменьшения теплоотдачи через щель.

Режим отжига ножек определяется: 1) длиной рабочей части печи; 2) максимальной температурой печи; 3) температурой

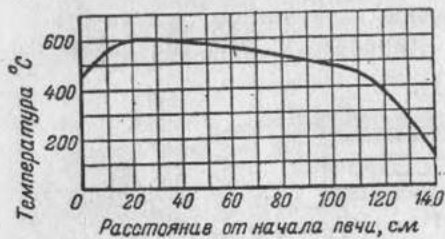


Рис. 11-11. Температурный график печи отжига ножек.

С49-2 при отжиге дольше нагревают и быстрее охлаждают, чем из стекла С90-1. На рис. 11-11 показана температурная кривая отжига ножек из стекла С90-1 для ламп общего назначения мощностью от 15 до 100 вт в печи отжига 28-гнездного ножечно-автомата.

Для получения наилучших результатов отжига придерживаются следующих правил: 1) зажигают печь за 5—10 мин до начала работы; 2) загружают ножки в печь немедленно после съема с ножечной машины; 3) следят, чтобы щель печи всегда была заполнена ножками; 4) периодически проверяют отожженные ножки в полярископе.

Отожженные ножки транспортируют по наклонным направляющим к монтажному автомату или спускают в ящик для последующей разбраковки.

В последние годы получили распространение 48-гнездные кольцевые (карусельные) печи отжига ножек, требующие меньше производственной площади и позволяющие продлевать время отжига.

#### д) ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К НОЖКАМ

1. Ножка и ее детали должны иметь установленные для данного типа ламп размеры. Длина выступающей из тарелки части штенгеля должна быть равна 65—75 мм.

2. В ножке не должно быть трещин, сколов и других дефектов, которые могут привести к натеканию воздуха в лампу.

3. Оси тарелки, штабика и штенгеля не должны иметь заметного на глаз смещения. Оси электродов двухэлектродных ножек должны лежать в одной плоскости с осью штабика.

4. Стекланные детали ножки не должны иметь опасных внутренних напряжений.

5. Диаметр откачного отверстия должен быть приблизительно равным внутреннему диаметру штенгеля; кромки отверстия должны быть оплавлены.

6. Штабик и штенгель должны быть прочно соединены с лопаткой и не обламываться при небольшом давлении.

7. Свободный конец штенгеля должен быть оплавлен.

8. Впай электродов в ложку должен быть герметичен и непроницаем для газов. Расстояния от впаи до края лопатки и до откачного отверстия должны быть не менее 0,5 мм.

10. Сварочные узелки электродов должны размещаться в лопатке симметрично оси ножки и не очень близко к поверхности лопатки.

11. Внутренние звенья электродов не должны быть окислены. Допускается окисление вблизи лопатки, вызываемое действием огня ножечной машины.

12. Никелевые звенья электродов не должны ломаться от пригибания их на последующих операциях.

13. Ножки, изготовленные из свинцового стекла, не должны быть черными.

14. Один или оба электрода ножек биспиральных ламп общего назначения должны иметь во внешнем звене плавкий предохранитель.

#### е) БРАК НОЖЕК

Трещины. Ножки, содержащие остаточные напряжения, близкие пределу прочности стекла, склонны к растрескиванию. Трещины чаще возникают в штенгеле вблизи откачного отверстия, в шейке ножки и конической части тарелки.

Внутри штенгеля около откачного отверстия образуется маленькая «колбочка», от которой зависит прочность соединения штенгеля с лопаткой (см. рис. 11-1). При малой толщине стенок штенгеля или большой толщине стенок тарелки «колбочка» получается тонкостенной и непрочной. Этот же недостаток возникает при слишком сильной струе сжатого воздуха, продувающей откачное отверстие, или при слишком высоко направленных огнях на позициях, предшествующих позиции продувания отверстия. Тонкостенная «колбочка» может служить причиной поломки штенгеля на любой операции сборки ламп, где к штенгелю прилагаются усилия.

При слишком большом давлении воздуха, раздувающего шейку ножки, штенгель у основания сжимается, вследствие чего соединение его с лопаткой становится непрочным. При слишком малом давлении воздуха в шейке образуется большой наплыв стекла, склонный к растрескиванию. Борьба с таким браком облегчается при наблюдении за давлением сжатого воздуха по водяному манометру.

Если огни на позициях, предшествующих штамповке лопатки, недостаточно прогревают стекло, ножка получается неприварившейся, и штенгель, не достигая требуемой пластичности, дает в момент штамповки трещину.

Штенгель иногда обламывается при высоко установленном уравнильнике штенгелей. В этом случае он не приваривается к лопатке, а только прилипает к ней и при легком усилии на последующих операциях обламывается.

Растрескивание шейки и штенгеля может произойти из-за неправильной установки расколотов, сплющивающих лопатку. Вторая пара расколотов должна быть установлена не выше, чем первая, иначе второе сплющивание произойдет при недостаточно прогретой шейке. Последствиями такой неправильной настройки будут трещины.

При изготовлении ножек коническая часть тарелки нагревается не настолько сильно, чтобы в ней могли образоваться опасные напряжения. Трещина в тарелке возникает в случаях, когда какая-либо горелка ножечной машины сбилась с места или засорилась и направляет пламя слишком близко к тарелке. Трещина в тарелке может также возникнуть при трещине ее об острые заусенцы или окалины металлической цепи, передвигающей ножки в печи отжига. В последнем случае трещина бывает настолько незначительной, что зачастую выявляется лишь при заварке ламп, когда она распространяется дальше. Трещина в цилиндрической части тарелки бывает при резких огнях на начальных позициях и при сильном зажиме тарелки тарелкодержателем.

Дефекты впая. Если стекло ножки имеет коэффициент теплового расширения больший, чем платинит, то при зажигании лампы между платинитом и стеклом образуется капиллярный канал, через который в лампу будет просачиваться воздух или из лампы выдавливаться наполняющий газ, а при гашении лампы в лопатке ножки возникнут напряжения, способные вызвать ее растрескивание. Если стекло ножки имеет коэффициент теплового расширения меньший, чем платинит, произойдет обратное: при зажигании лампы ножка может дать трещину, а при гашении в ножке может образоваться канал.

При неизменном содержании никеля в сердечнике коэффициент расширения платинита в поперечном направлении определяется толщиной медной оболочки. Мягкая медная оболочка, легко деформируясь при работе лампы, ослабляет напряжения в стекле. Отклонение среднего содержания меди в меньшую сторону от предельно допустимого и местное утонение медной оболочки вызывают уменьшение коэффициента расширения платинита и растрескивание спая, а отклонение среднего содержания меди в большую сторону от предельно допустимого, а также местное утолщение медной оболочки вызывают увели-

чение коэффициента расширения платинита и отлипание его от стекла. Металлографический анализ поперечных шлифов негерметичных ножек часто выявляет совпадение расположения каналов в ножке с расположением утолщенных участков медной оболочки платинита.

Кривые изменения коэффициента расширения стекла и платинита близко совпадают только в интервале температур до 300° С. При более высокой температуре платинит расширяется в поперечном направлении больше, чем стекло. Если температура ножки при горении лампы превысит 300° С, картина напряжений в лопатке может измениться и опасность натекания возрастает.

Бывают случаи, когда коэффициенты расширения платинита и стекла близки противоположным допустимым пределам. В таких случаях каналы и трещины не образуются благодаря наличию на поверхности платинита борнозакисной пленки, хорошо прилипающей к чисто медной поверхности и стеклу. При изготовлении ножек пленка преграждает кислороду доступ к медной оболочке и препятствует сильному окислению меди. Между медной оболочкой и стеклом образуется переходный слой борной эмали, способный растворяться в металле и стекле. Этот тонкий непроводящий стеклообразный слой, будучи более легкоплавким, чем остальная масса ножечного стекла, заполняет при остывании ножки тончайшие поры и каналы и обеспечивает необходимую герметичность и газонепроницаемость вдоль впая. При небольшом диаметре платинита разница в сжатии платинита и стекла настолько мала, что возникающие напряжения в ножке получаются недостаточными для разрушения стекла. Такие напряжения вызывают лишь незначительную деформацию медной оболочки, не представляющую опасности для впая. Вакуумная плотность впая получается тем выше, чем больше масса лопатки. Сочетание толстого платинита с тонкостенной тарелкой иногда влечет за собой медленное натекание через ножку вследствие образования пустот между платинитом и стеклом, а сочетание слишком тонкого платинита с толстостенной тарелкой тоже влечет за собой натекание вследствие чрезмерного окисления платинита, нагреваемого одновременно с большой массой стекла.

О качестве впая металла в стекло иногда судят по его цвету. Хорошо выполненный впай платинита имеет светлый кирпично-красный цвет, молибдена — коричневым, вольфрама — золотисто-оранжевым.

При изготовлении ножек платинит иногда теряет первоначальный красный цвет и приобретает желтый или светло-золотистый цвет. Такое изменение цвета платинита, если оно не сопровождается скоплением на его поверхности газовых пузырьков, не служит признаком нарушения герметичности впая. Оно чаще наблюдается у ножек с тонким платинитовым впаем,

чем с толстым, и служит признаком хорошего прогрева лопатки и полного растворения закиси меди в стекле. Однако, если первоначальный красный цвет платинита становится золотистым в процессе горения лампы, такое изменение цвета зачастую служит признаком образования опасного капиллярного канала вдоль платинита. Установлены две причины, вызывающие изменение цвета платинита в процессе горения лампы: 1) электролиз стекла под влиянием высокой температуры лопатки и 2) восстановление закиси меди водородом под влиянием высокой температуры впая. Признаком первой причины служит пожелтение платинита у отрицательных электродов и потемнение у положительных; признаком второй — постепенное пожелтение платинита в направлении от узелка с внутренним звеном к узелку с внешним звеном.

Плотное сцепление стекла с платинитом достигается лишь при условии, что слой закиси меди на платините тонок и не имеет разрывов. Если же платинит переокислен и покрыт толстым рыхлым слоем окиси, то стекло связывается только с верхней частью этого слоя и между стеклом и платинитом остается промежуточный пористый слой, не отличающийся ни прочностью, ни герметичностью. Переокисление в равной мере опасно для любого согласованного и несогласованного впая металла в стекло. Если, например, молибденовый впай перед изготовлением ножки переокислен, то образующийся между ним и стеклом пористый слой окиси молибдена может служить источником натекания.

Причинами, вызывающими негерметичность впая, могут быть труднообнаруживаемые микроскопические каналы между сердечником платинита и его медной оболочкой, получившиеся при меднении платинита. Опасность образования таких каналов увеличивается, если в производство платинита попадают сердечники с поверхностными загрязнениями или глубокими царапинами. Большую опасность составляют также продольные риски на медной оболочке, образовавшиеся при волочении. Такие дефекты с трудом поддаются выявлению и могут быть обнаружены лишь изготовлением поперечных шлифов и исследованием их под микроскопом.

На вакуумную плотность впая, помимо качества платинита и стекла, влияет положение впая в лопатке ножки. Близость впая к краям лопатки или к краям откачного отверстия, вызываемая ненадлежащим расстоянием между отверстиями для электродов в кубиках ножечной машины, часто служит причиной натекания через впай. Для обеспечения герметичности впая требуется, чтобы платинит был хорошо обжат стекломассой и стекломасса перед обжатием была доведена до хорошей пластичности. Недостаточно сильное сплющивание лопатки ножки и недогрев стекла перед сплющиванием могут явиться источником образования капилляров.

В лопатке ножки на поверхности раздела платинит-стекло иногда скапливаются газовые пузырьки диаметром от едва заметных невооруженным глазом до 1 мм и более. Небольшая пузырчатость мало влияет на герметичность впая, а большая — сокращает полезную длину платинита и поэтому вредит лампе. Ножки со сплошной цепочкой пузырей могут служить источником медленного просачивания в лампу воздуха или вытекания из лампы наполняющего газа.

Пузырьки образуются главным образом в момент запрессовки электродов в лопатку ножки, когда выделяющийся из платинита газ не может рассеяться и застревает в стекле вдоль впая. Больше всего газит сталеникелевый сердечник, особенно при малой или неравномерной толщине медной оболочки. Увеличение числа промежуточных отжигов платинита в водороде повышает газоотделение сердечника. Источниками газоотделения могут быть также загрязнение маслом электролита при меднении сердечников, загрязнение раствора для борирования, увлажнение борной пленки платинита, наличие на платините глубоких продольных рисок от волочения, переокисление платинита во время изготовления электродов и поверхностное загрязнение платинита углеродом. Так как сердечник составляет основную массу платинита, то из всех приведенных причин главную роль в образовании пузырей играет газоотделение сердечника. Из медной же оболочки газ выделяется в меньшем количестве, так как при изготовлении ножек оболочка быстро обезгаживается перед запрессовкой платинита в стекло.

При изготовлении ножек газ из сердечника диффундирует наружу через слой меди. Поэтому количество и размеры пузырей зависят от скорости диффузии газа через медную оболочку и, следовательно, от толщины и пористости оболочки. Неравномерное крупнокристаллическое осаждение меди на сердечнике вызывает образование в ножках мелких сплошных пузырей.

На образование пузырей оказывает влияние огневой режим автомата сборки ножек. При ненормально сильных огнях на позиции, предшествующей штамповке лопатки, борнозакисный слой платинита полностью растворяется в стекле. Одновременно из внутренних слоев платинита выделяется значительное количество газа, застревающее в спае в виде разрозненных пузырей. Такое явление наблюдается даже тогда, когда медная оболочка платинита имеет нормальную толщину и сердечник платинита не содержит много газа.

Платинит уступает платине, впай которой не дает в стекле пузырей.

Натекания, обусловленные недостатками платинита, обычно являются очень медленными и требуют значительного времени для их обнаружения. Поэтому пузыри и каналы вдоль платинита относятся к недопустимым видам пороков. Особенно опасны каналы, образовавшиеся из-за неравномерного распределения



меди по поверхности сердечника и отслаивания меди от сердечника. Вызываемое ими медленное ухудшение вакуума иногда ошибочно относят за счет недостатков откачки или других причин. Будучи незамеченными в самом начале, они могут выявиться через длительный период времени, даже после того, как лампа уже окажется у потребителя.

## 11-2. ОПЕРАЦИИ ПЕРЕД МОНТАЖОМ СПИРАЛЕЙ

### а) ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА НОЖЕК

Никелевые вводы ножек для некоторых специальных ламп подвергают перед монтажом спирали электрохимическому травлению. Связку ножек зажимают медными щипцами за внешние звенья электродов и погружают внутренними звеньями в ванну с электролитом, приготовленным из 40%-ного раствора серной кислоты. Ванну питают постоянным током. Подводку от отрицательного полюса источника тока закрепляют на корпусе ванны, а гибкий провод, соединенный с положительным полюсом, закрепляют на ручке щипцов. После кратковременного пребывания в электролите поверхностный слой никеля вместе с окислами и загрязнениями стравливается и удаляется. Более энергичное растворение выступов, чем впадин, выравнивает поверхность металла. При достаточно большой плотности тока никель приобретает за несколько секунд блестящую полированную поверхность. Немедленно после травления вводы погружают в нейтрализующий раствор углекислого натрия, тщательно промывают горячей проточной водой и сушат очищенным техническим воздухом или под инфракрасной лампой.

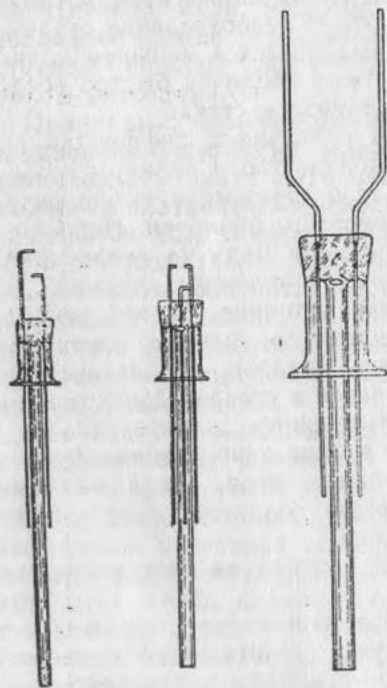


Рис. 11-12. Ножки с отформованными вводами.

Монтаж спиралей для некоторых специальных ламп требует предварительного придания никелевым вводам определенного положения и формы, зависящих от принятой конструкции ламп. Например, для ламп с вертикальным положением спирали кон-

### б) ФОРМОВКА ВВОДОВ

цевые части вводов сгибают внутрь под прямым углом; для ламп с телом накала в форме плоского зигзага вводы сгибают в виде прямоугольной рамки (рис. 11-12). Для большинства ламп согнутые вводы размещают в одной плоскости.

Для гибки и формовки вводов пользуются приспособлением, схематически изображенным на рис. 11-13. Ножку вставляют в приспособление так, чтобы она прижалась тарелкой к ограничительной стойке, а ее вводы легли в пазы вдоль неподвижного стального сухаря. Затем с помощью педали или рукоятки прижимают вводы двумя губками к сухарю и двумя сходящимися ножами к неподвижному ножу. Ножи подрезают концы вводов и одновременно сгибают их под прямым углом вдоль верхней части сухаря. В зависимости от конструкции ламп применяют и другие приспособления для формовки вводов.

При формовке остерегаются гибки вводов около лопатки ножки, чтобы не вызвать скалывания углов лопатки и нарушения герметичности впая. С уменьшением глубины заделки никеля в лопатку и увеличением диаметра никеля возрастает опасность скалывания угла лопатки. Изгиб жесткого никеля более опасен для ножки, чем изгиб мягкого.

Ножки оберегают от загрязнения маслом, которым смазываются трущиеся детали приспособления для формовки.

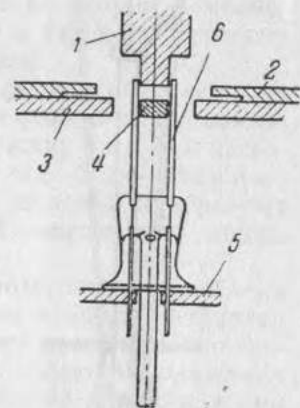


Рис. 11-13. Приспособление для обрубки и формовки электродов.

1 — неподвижный нож; 2 — подвижный нож; 3 — прижимная губка; 4 — сухарь; 5 — ограничительная стойка; 6 — электрод.

### в) МОНТАЖ ТЕПЛОВЫХ ЭКРАНОВ

Ножки ламп общего назначения мощностью 500 вт и выше и зеркальных ламп мощностью 150 вт и выше перед вставлением держателей и монтажом тела накала снабжают слюдяным или металлическим экраном для уменьшения циркуляции наполняющего газа вблизи цоколя.

Слюдяной экран крепят одним из двух способов. По первому — приваривают к никелевым вводам две плоские никелевые поддержки и в поддержках зажимают надетый на штабик и вводы экран (рис. 11-14). По второму — разогревают штабик до размягчения, подводят экран к размягченному месту и сплющивают штабик по обе стороны экрана. При этом способе отпадает надобность в поддержках.

Металлический экран крепят путем приварки его к никелевой поддержке, вставленной в лопатку ножки или в штабик. Опе-

рацию выполняют так, чтобы экран не касался вводов. Для некоторых ламп к бортику экрана приваривают молибденовые держатели, изолированные от экрана керамическими мостиками.

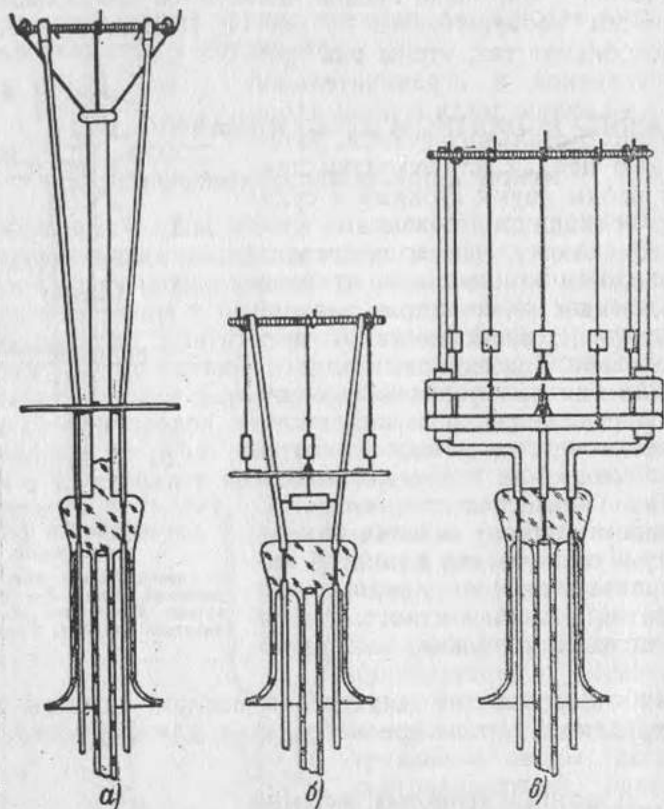


Рис. 11-14. Ножки с тепловым экраном.  
 а — со слюдяным экраном; б — с металлическим экраном;  
 б' — с двумя металлическими экранами.

Металлический экран можно надевать на лопатку ножки без применения сварочных операций. Для этого высекают в середине экрана прямоугольное отверстие и по радиусу экрана узкую щель.

Экраны монтируют в плоскости, перпендикулярной оси штабика. Крепление должно быть достаточно жестким и не нарушаться при транспортировании ламп.

В некоторых зеркальных лампах мощностью 300 вт и выше с целью более эффективного снижения температуры цоколя и патрона устанавливают два тепловых экрана на расстоянии 8—10 мм друг от друга.

## г) ВСТАВЛЕНИЕ ДЕРЖАТЕЛЕЙ

Для ламп специального назначения (судовых, трамвайных, цилиндрических и др.) ручному монтажу спиралей предшествует операция вставления в штабик молибденовых держателей. Ее выполняют вручную в пламени газовой горелки или на специальном полуавтомате. В первом случае пользуются заранее нарезанными и завитыми держателями, а во втором — молибденовой проволокой, из которой нарезают и завивают держатели одновременно с вставлением их в штабик.

Четырехпозиционный одноколончатый полуавтомат вставления держателей имеет карусель с четырьмя стойками для ножек. На 1-й позиции загружают и снимают ножки; на 2-й — нагревают головку штабика до размягчения; на 3-й — штамную стальным пуансоном размягченное стекло штабика и образуют на нем линзообразное утолщение; на 4-й — вставляют концы держателей в линзу.

На штативе, укрепленном на 4-й позиции, установлена катушка с молибденовой проволокой, конец которой заправлен в челнок на колонке автомата. Челнок имеет поступательно-возвратное движение. Губки его при поступательном движении вонзают острый конец молибденовой проволоки в линзу, а при возвратном движении перестают сжимать проволоку и оставляют ее конец в теле линзы. Участок линзы, в который вставляется конец проволоки, предварительно размягчается острым пламенем горелки. Чтобы пламя не пережигало проволоку и чтобы челнок при обратном движении не увлек за собой проволоку из линзы, небольшая заслонка перекрывает пламя в момент вставления проволоки, охлаждают тонкой струей сжатого воздуха. После вставления в линзу конца молибденовой проволоки челнок действием пружины отводится назад, а проволока обрезается ножами и закручивается при помощи особого патрончика с иглой в завиток (свиной хвостик). После завершения операции с первым держателем стойка с ножкой поворачивается на определенный угол и описанным выше способом вставляется, обрезается и завивается следующий держатель и т. д., пока не будет вставлен последний.

Коэффициент расширения молибдена приблизительно на 40% меньше коэффициента расширения платинитового стекла. Поэтому молибденовые держатели, вставленные в линзу, при охлаждении сжимаются меньше, чем участки линзы, в которые они вставлены. В линзе возникают напряжения, вызывающие в неблагоприятных случаях ее растрескивание. Для борьбы с этим явлением прибегают к следующим мерам: 1) держатели применяют из молибденовой проволоки диаметром не более 0,20—0,25 мм; 2) линзу изготавливают с тем большей массой стекла, чем толще держатели; 3) держатели вставляют на минимальную глубину, лишь обеспечивающую их прочное крепление.

### 11-3. МОНТАЖ СПИРАЛЕЙ

#### а) ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Основная задача монтажа тела накала состоит в прочном закреплении вольфрамовой спирали на ножке и создании постоянных электрических контактов между спиралью и вводами. Длинные спирали одновременно с присоединением к вводам укладывают на промежуточные опоры (держатели) из молибденовой проволоки. Держатели обеспечивают постоянство формы спирали и противодействуют силам, возникающим при расширении, сжатии и сотрясении спирали.

В медных вводах спираль закрепляют методом зажима или запрессовки, в платиновых — методом зажима, в никелевых — методом зажима или контактной точечной сварки. Метод зажима состоит в предварительном расплющивании конца ввода в плоскую лопатку, загибании лопатки в виде крючка и защемлении в нем конца спирали. Метод запрессовки состоит во вдавливании твердого тупе спирали в мягкое тело последнего. Метод контактной точечной сварки состоит в нагреве электрическим током места соединения спирали с вводом при одновременном приложении к ним усилия сжатия.

Для большинства ламп общего назначения спирали монтируют в виде венца по дуге окружности в плоскости, перпендикулярной оси штабика. Когда узкая горловина колбы препятствует свободному введению внутрь лампы смонтированной ножки, спираль перегибают несколько раз и размещают в заданном пространстве в форме объемного зигзага, расположенного по поверхности кругового цилиндра, ось которого совпадает с осью лампы.

При монтаже спирали дужкой шаг ее вогнутой части уменьшается, а выпуклой — увеличивается. Деформация шага отрицательно влияет на срок службы ламп в особенности большой мощности. Поэтому всегда, когда это возможно, стремятся монтировать моноспирали и биспиралы по прямой линии. В биспиральных лампах на 110—130 в иногда практикуют вертикальную или наклоненную к оси ножки постановку тела накала с поддержкой ее средней части одним или двумя держателями. При таком монтаже становится целесообразным изготовление ламп мощностью более 100 вт с биспиральным телом накала.

Для некоторых специальных ламп спираль, состоящую из нескольких секций, монтируют в форме плоского зигзага на держателях, вставленных в два стеклянных или керамических мостика (стр. 400). Крайние держатели каждого мостика приваривают к вводам, а на остальные навешивают спираль.

На рис. 11-15 изображены смонтированные ножки для различных типов ламп.

При монтаже важно создать прочные контактные соединения между спиралью и вводами. Ненадежные или нарушенные контакты имеют большое переходное сопротивление и часто служат причиной возникновения искр и выхода ламп из строя. Величина переходного сопротивления зависит от наличия пленок

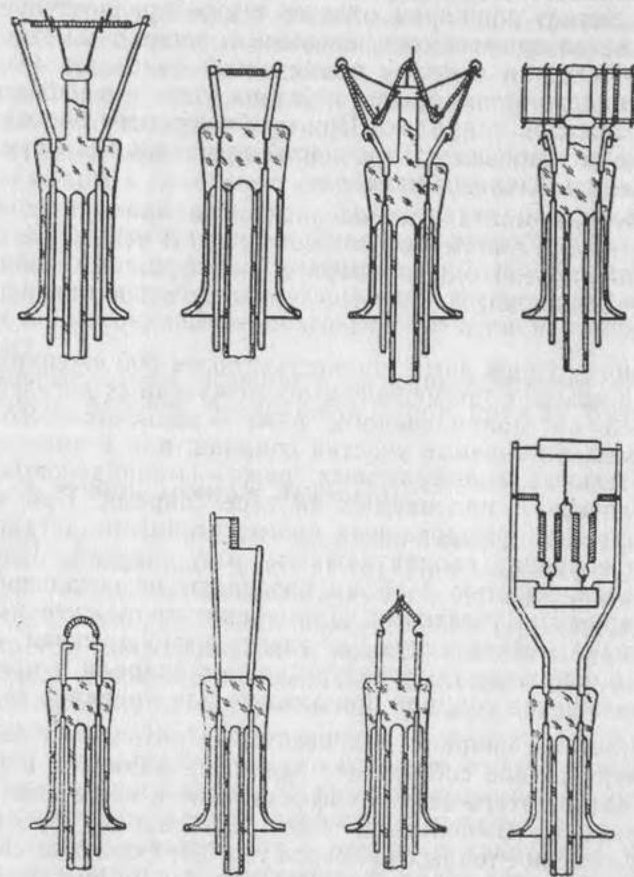


Рис. 11-15. Смонтированные ножки (в разных масштабах).

и микрошероховатостей на контактных поверхностях, препятствующих в большей или меньшей степени слипанию соединяемых металлов. Чем ниже номинальное напряжение лампы, тем большую долю его составляет падение напряжения в контактах и тем сильнее оно влияет на уменьшение светового потока лампы. При монтаже некоторых миниатюрных и сверхминиатюрных ламп с бусиновой ножкой надежность контакта тела накала с электродами повышают снятием буры с концевой части платиновых вводов. Спиральи большинства низковольтных ламп

соединяют с никелевыми вводами электрической сваркой, обеспечивающей более надежное контактное соединение. Рекристаллизованные спирали, в том числе для ламп высокого напряжения, тоже монтируют методом приварки, так как такие спирали отличаются хрупкостью и не выдерживают ударов при зажиме. Методу приварки отдают также предпочтение в тех случаях, когда применяются никелевые вводы диаметром более 0,8—1 мм. Однако лампы с приваренной спиралью отличаются меньшей надежностью против действия ударов и вибраций, чем лампы с зажатой спиралью. При необходимости обеспечить повышенную механическую прочность ламп зажим опирали дает лучшие результаты, чем приварка.

Припоев на монтажных операциях не применяют, так как при работе ламп они легко улетучиваются. В некоторых случаях, когда бывает необходимо сварить вольфрам с молибденом, пользуются никелем в качестве промежуточного звена между ними.

Для многих типов ламп мощностью более 500 вт спираль монтируют на ножки с применением промежуточных деталей в виде вкладышей из молибденового, реже — вольфрамового керна, вставляемых в концевые участки спирали, или в виде коротких вспомогательных вольфрамовых, реже — молибденовых спиралей («чулочков»), надеваемых на тире спирали. При монтаже концы спирали, армированные промежуточными деталями, закрепляют в концах вводов зажимом или сваркой. Начальные витки протяженностью 3—5 мм разделяют от остальной части спирали прямыми участками. Применение промежуточных деталей улучшает механическую и электрическую связи спирали с вводами, понижает температуру концов спирали и предотвращает повреждение спирали при зажиме или приварке ее концов.

При монтаже спирали для некоторых оптических ламп требуется очень точное соблюдение заданных размеров и расстояний, так как от этого зависит эффективность всего светооптического прибора. Выполнение этого требования обеспечивают путем соблюдения точных размеров при изготовлении спиралей, электродов и ножек и в некоторых случаях путем применения на монтаже специальных монтажных оправок.

Точный монтаж очень тонких коротких спиралей, плохо различимых невооруженным глазом и требующих осторожного обращения, выполняют под увеличительным стеклом или микроскопом.

Решающее влияние на качество ламп оказывает соблюдение чистоты на монтажных операциях. Монтажники должны строго соблюдать следующие правила вакуумной гигиены: 1) поддерживать чистоту и порядок на рабочем месте; 2) мыть руки с мылом перед началом работы и после приема пищи; 3) не прикасаться руками к предметам, не связанным с операцией мон-

тажа; 4) работать в чистом белом халате; 5) не касаться спиралей пальцами, а брать их за концы только хромированным пинцетом (никелированный пинцет загрязняет спираль никелем); 6) брать ножку только за штенгель; 7) не хранить на монтажном столе посторонних предметов, особенно пищу; 8) перед работой протирать чистой полотняной тряпкой инструменты, приспособления и матовое стекло, на котором держат спирали; 9) после работы оставлять спирали только во влагозащитной упаковке; 10) следить, чтобы на ножки не попадали пыль, грязь и посторонние частицы<sup>1</sup>.

Любое даже кратковременное прикосновение обнаженных рук монтажники к поверхности спирали оставляет на последней невидимые пятна жира и пота. Такие пятна разлагаются при рабочей температуре лампы и выделяют газообразные продукты, вредно влияющие на раскаленную спираль. Монтаж спиралей с нарушением требований вакуумной гигиены, как правило, влечет за собой сокращение долговечности и уменьшение надежности ламп.

Монтажные столы освещают люминесцентными лампами. Освещенность рабочей поверхности стола должна быть около 3 000 лк.

#### б) РУЧНОЙ МОНТАЖ ЗАЖИМОМ

Рабочий стол монтажа спиралей оборудуют прессиком с педальным управлением (рис. 11-16). При монтаже соблюдают следующую последовательность операций: 1) выпрямляют пинцетом вводы, загибают концы вводов в виде крючка, закладывают пинцетом конец спирали в крючок одного ввода и зажимают спираль в крючке усилием, передаваемым на губки прессика ногой работницы через педаль; 2) захватывают пинцетом второй конец спирали, заводят спираль в завитки молибденовых держателей и зажимают губками прессика второй конец спирали в крючке второго ввода; 3) при необходимости поправляют пинцетом положение вводов, держателей и спиралей.

Концы спирали зажимают в вводах с некоторым усилием. Недостаточное усилие не обеспечивает надежного контакта, особенно в миниатюрных лампах с платинитовыми электродами. Слишком большое усилие приводит к надламыванию близких к вводам витков спирали.

На некоторых заводах педальный привод монтажных прессиков соединяют с электромагнитом, передающим губкам прессика усилие сжатия. Электромагнит позволяет зажимать спираль со строго постоянной силой, не зависящей от физического состояния монтажницы. При изменении диаметра вводов регулируют силу тяги электромагнита.

<sup>1</sup> Чистый воздух содержит от 0,2 до 5 мг пыли в 1 м<sup>3</sup>, а запыленный более 200 мг/м<sup>3</sup>.

Монтажные столы иногда оборудуют втулочно-роликовым цепным транспортером, передающим смонтированные ножки на операцию заварки ламп. На трассе транспортера устанавли-

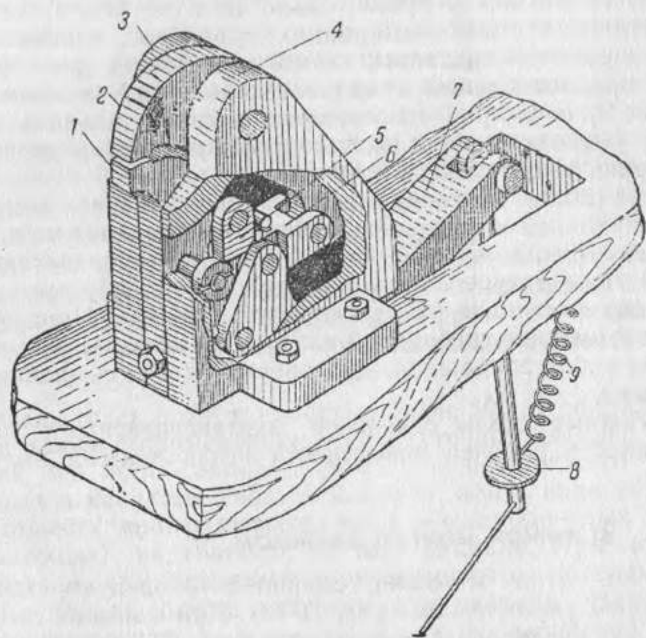


Рис. 11-16. Монтажный прессик.

1, 2 — неподвижная и подвижная губки для зажима спирали; 3, 4 — левая и правая щеки корпуса; 5, 6 — серьги, передающие движение верхней губке; 7 — рычаг, передающий движение серьгам; 8 — тяга на ножную педаль; 9 — пружина, поднимающая верхнюю губку при освобождении педали.

вают газовую или электрическую печь, подогревающую тарелки ножек перед загрузкой смонтированных ножек в автомат заварки.

#### в) МЕХАНИЗИРОВАННЫЙ МОНТАЖ ЗАЖИМОМ

Механизированный монтаж спиралей совмещают с операцией вставки держателей на одном комбинированном 20-позиционном автомате карусельного типа (рис. 11-17). Процесс монтажа на таком автомате разбит на большое число однородных элементарных операций, выполняемых различными исполнительными механизмами. Рабочим циклом автомата управляют три распределительных вала с профилированными кулачками, осуществляющими через системы тяг и рычагов перемещение каждого механизма по строго заданному закону.

На 1-й позиции автоматически загружается ножка в рабочее гнездо карусели в положении штенгелем вверх и лопаткой перпендикулярно радиусу карусели.

На 2-й позиции вводы ножек временно разводятся в стороны.

Позиция 3-я — свободна. При необходимости на ней производят подрезку концов вводов для выравнивания их по длине.

На 4-й позиции концы вводов расплющиваются в лопатку.

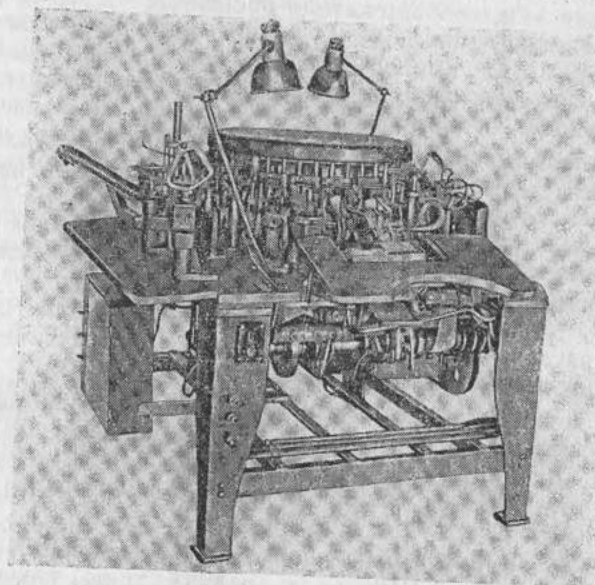


Рис. 11-17. Автомат монтажа спирали.

На 5-й позиции лопатки обоих вводов загибаются в крючки.

На 6-й позиции переносится спираль от поворачивающегося зубчатого барабанного магазина к ножке. Концы спирали присасываются двумя вакуумными присосами, вкладываются в крючки вводов и зажимаются в них с одинаковой силой. Присосы после зажатия спирали разобщаются с подводкой вакуума и сообщаются с подводкой технического воздуха, дутье которого облегчает отделение спирали от присосов. Механизм переноса спирали снабжен блокирующим устройством, отключающим вращение зубчатого барабана и приостанавливающим перенос спирали, если рабочее гнездо на 6-й позиции не загружено ножкой.

На 7-й позиции вводы с зажатой спиралью разворачиваются вокруг своих осей на такой угол, чтобы спираль не изгибалась около зажима. Эта операция выполняется только при монтаже спиралей короче 30 мм.

На 8-й позиции вводы с зажатой спиралью отгибаются по направлению к центру карусели для защиты их от окисления на последующих огневых позициях.

На 9, 10 и 11-й позициях конец штабика разогревается огнями газовых горелок до размягчения. При разогреве вводы с зажатой спиралью экранируются металлическим щитком, установленным перед горелками.

На 12-й позиции формируется линза с концами молибденовых проволок для держателей. Одновременно проволоки обрезаются ножами из твердого сплава на требуемую длину. Молибденовая проволока для каждого держателя посылается к месту формовки линзы отдельным челноком, подводимым к размягченному концу штабика. При кривой молибденовой проволоке или изношенной головке челноков вставляются не все держатели.

Позиция 13-я — свободна.

На 14-й позиции вводы возвращаются в первоначальное положение. Эта операция не производится, если один из концов спирали почему-либо не соединился с вводом.

На 15-й позиции спирали придается горизонтальное положение. Механизм расправляет ее в форме венчика или многогранника и обвивает свободными концами держателей.

Позиция 16-я — свободна. При монтаже ножек в форме объемного зигзага на ней производят предварительное распределение держателей и отгибание вводов.

На 17-й позиции калибруется развод вводов, и спираль окончательно формируется в виде дужки, многогранника или зигзага.

На 18-й позиции спираль погружается во вращающийся сосуд с газопоглотителем, непрерывно перемешивающимся двумя крыльчатками.

На 19-й позиции спираль сушится подогретым до 60—70° С техническим воздухом. Давление воздуха дают такое, чтобы с петель держателей сдулся излишек газопоглотителя.

На 20-й позиции смонтированная ножка автоматически извлекается из гнезда и устанавливается на цепной конвейер, по которому она следует к автомату заварки ламп.

Технический воздух, подводимый на позиции загрузки спирали, набрасывания спирали на держатели и сдувания излишка газопоглотителя, очищают от пыли, грязи и масла фильтром из стеклянной и хлопчатобумажной ваты. Каждую деталь автомата, соприкасающуюся со спиралью, держателями или вводами, ежедневно чистят щеткой, смоченной в амилацетате. При смазке трущихся частей автомата следят, чтобы масло не попадало на поверхности механизмов, касающиеся деталей ножек.

По мере расхода газопоглотителя сосуд доливают свежим. При каждой доливке прибавляют чистый спирт для компенсации его естественного испарения. После доливки проверяют ареометром удельный вес суспензии, который должен быть тем больше, чем толще нить. Фосфорный газопоглотитель для газонаполненных ламп должен иметь удельный вес 0,80—0,82, а фосфорнокриолитовый для вакуумных — 0,9—1,3. Сосуд для

газопоглотителя ежедневно промывают амилацетатом и просушивают.

Монтажный автомат обслуживает одна работница, укладывающая спирали параллельными рядами в ручки периодически поворачивающегося загрузочного барабана. Специальный механизм выравнивает концы спиралей в барабане перед подачей их в загнутые концы вводов. На некоторых заводах освоена автоматическая загрузка спиралей.

Для механизированного монтажа требуются спирали постоянной формы и размеров; спирали непрямолинейные и отличающиеся по длине более чем на 1 мм, а также спирали с неодинаковыми или кривыми типе зажимаются в одном вводе или совсем не зажимаются. Этот же брак возникает при неправильной ориентировке вводов в рабочем гнезде автомата, недостаточном расплющивании лопатки ввода, небрежной укладке спирали в ручки загрузочного барабана и износе или неправильной центровке присосов, захватывающих спираль.

Производительность автомата 1400 шт. в час. При обогащении газовой смеси кислородом производительность может быть повышена.

Кроме повышения съема и улучшения условий труда, механизированный монтаж спиралей отличается следующими достоинствами: 1) спираль равномерно натягивается; 2) шаг спирали сохраняется неизменным; 3) держатели завиваются с малым шагом завитка и закорачивают меньше витков спирали; 4) свободные концы спирали не выступают из вводов; 5) спираль равномерно покрывается газопоглотителем, при покрытии не деформируется и при монтаже не загрязняется; 6) качество монтажа получается однородным, внешний вид монтированной ножки улучшается.

Механизированный монтаж позволяет растягивать спираль до одной и той же длины независимо от длины ее в свободном состоянии. Этим он значительно лучше обеспечивает однородность световых и электрических параметров и срока службы ламп (в особенности биспиральных), чем ручной.

#### г) МОНТАЖ ПРИВАРКОЙ

Спирали приваривают к никелевым вводам джоулевым теплом, выделяющимся при протекании импульса электрического тока через прижатые друг к другу типе спирали и концевые части вводов. Место приварки называют сварной точкой. Операцию выполняют на монтажном столе, оборудованном аппаратом контактной точечной сварки.

Аппарат (рис. 11-18) состоит из двух дугообразных медных электродов (хоботов), электрически изолированных друг от друга. Нижний хобот закреплен в неподвижном плече, а верхний — в плече, имеющем возможность перемещаться по верти-

кали. Верхний хобот может прижиматься своим заостренным концом к нижнему или отходить от него. Размыкание и смыкание хоботов выполняют педальным приводом через две спираль-

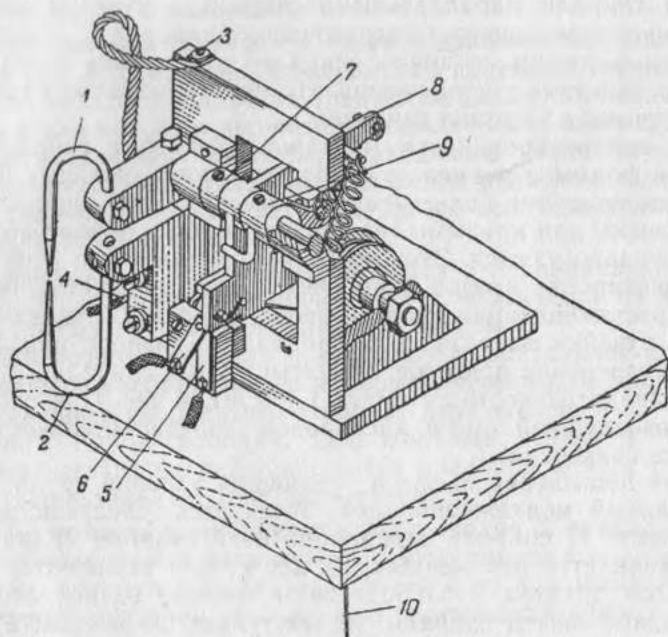


Рис. 11-18. Электросварочный прессик.

1 — подвижный хобот; 2 — неподвижный хобот; 3, 4 — зажимы для подключения вторичной обмотки трансформатора к хоботам; 5, 6 — контакты кратковременного включения первичной обмотки трансформатора; 7 — рычаг привода подвижного хобота; 8 — рычаг замыкания контактов первичной цепи трансформатора; 9 — поводок отвода подвижного хобота в верхнее положение; 10 — гибкая тяга ножной педали.

ные пружины, один конец которых закреплен на корпусе аппарата, а другой на подвижном плече. К аппарату подведено напряжение от понижающего (сварочного) трансформатора, рассчитанного на большой ток во вторичной цепи. В первичную цепь трансформатора включен движковый реостат или лабораторный автотрансформатор со скользящим контактом для регулировки тока во вторичной цепи. В первичную же цепь введено включающее устройство (рис. 11-19).

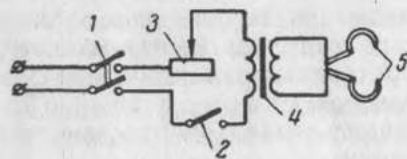


Рис. 11-19. Электрическая схема электросварочного прессика.

1 — рубильник; 2 — включающие контакты; 3 — реостат; 4 — трансформатор; 5 — хоботы.

Перед приваркой выравнивают пинцетом оба ввода. Спираль подносят к вводам так,

чтобы оба ее тире разместились в одной плоскости с вводами. Конец одного ввода с наложенным тире помещают на торец неподвижного хобота аппарата. Далее нажатием ножной педали подводят подвижный хобот к неподвижному и создают давление на свариваемые детали. При дальнейшем нажатии включается ток, время прохождения которого было заранее отрегулировано включающими контактами. Под влиянием тока и давления прилегающие друг к другу участки вольфрама и никеля быстро нагреваются, и вольфрам, обладающий большей твердостью и меньшим диаметром, чем никель, внедряется в расплавленное на небольшую глубину тело никеля. После освобождения педали верхний хобот поднимается, и сваренные детали удаляются.

Аналогичным образом приваривают второе тире к другой стороне конца второго ввода.

Известно, что количество тепла  $q$ , выделяющееся в зоне сварки с сопротивлением  $R$  при прохождении через нее тока  $I$  за время  $t$ , определяется уравнением

$$q = 0,24 I^2 R t. \quad (11-1)$$

Если ток увеличить, например, в 2 раза, то время сварки можно сократить более чем в 4 раза. Сокращение сварочного времени до долей секунды полезно, во-первых, для того, чтобы медные хоботы и свариваемые детали не успевали отводить тепло с места приварки, во-вторых, чтобы тепло, развивающееся в месте соприкосновения свариваемых деталей, не успевало распространиться на все детали, в-третьих, чтобы свариваемые детали не успевали окислиться и, наконец, в-четвертых, чтобы вольфрам в зоне сварки не рекристаллизовался.

Для обеспечения постоянства тепла, выделяющегося при сварке, и, следовательно, для получения сварки однородного качества, требуется, чтобы сварочный ток, сварочное давление и сварочное время были постоянными.

Постоянство сварочного тока поддерживают реостатом или автотрансформатором. Чем толще никелевая и вольфрамовая проволоки, тем больше требуется тепла для их сварки и тем больший должен быть сварочный ток. При достаточно большом токе возрастает объем расплавленного никеля и увеличивается поверхность соприкосновения никеля с вольфрамом. Чрезмерно большой ток вызывает пережог никеля и выплеск металла, а чрезмерно малый — непровар никеля и непрочную сварку.

Постоянство сварочного давления достигают действием ножной педали через пружину, создающую постоянное усилие прижима верхнего хобота к нижнему. Чем толще никелевая и вольфрамовая проволоки, тем больше требуется давление между хоботами. При недостаточном давлении контакт между деталями получается неплотным, количество выделяющегося тепла увеличивается и детали не привариваются друг к другу, а пережигает-

ются. При слишком большом давлении контакт между деталями получается слишком плотным, количество выделяющегося тепла и соответственно объем расплавленного никеля уменьшаются и детали не привариваются друг к другу, а прилипают. Для получения надежного сварного соединения важно, чтобы давление было приложено до момента включения тока и снято после его выключения, когда никель уже затвердеет.

Постоянство сварочного времени определяется временем замыкания управляющих контактов (скоростью нажатия на педаль). На некоторых аппаратах его поддерживают электронным индивидуальным или групповым регулятором времени — таймером, подключенным в цепь первичной обмотки сварочного трансформатора. Он отсекает определенное заданное время протекания сварочного тока кулачками, автоматически замыкающими и размыкающими управляющие контакты. Слишком длительная сварка вызывает расплавление никеля на большую глубину и «пережог» (выплеск металла), а слишком кратковременная — расплавление никеля на недостаточную глубину и «прилипание».

Для сварки очень тонких деталей, легко подверженных пережогу, применяют сварочные аппараты конденсаторного типа. На таких аппаратах перед каждой сваркой заряжают от выпрямителя или аккумулятора батарею конденсаторов, а в момент сварки разряжают ее на первичную обмотку сварочного трансформатора. Через первичную обмотку запасенная в конденсаторах энергия поступает во вторичную и производит сварку. Применение конденсаторов позволяет точно дозировать энергию и время сварки. Значительное увеличение сварочного тока и уменьшение сварочного времени до одного полупериода ( $1/100$  сек) позволяет достигать хорошее обтекание вольфрама никелем.

При длительной работе сварочного аппарата токоведущие части его нагреваются, а контактные поверхности окисляются, вызывая увеличение общего сопротивления электрической цепи. Поэтому все контактные поверхности аппарата периодически зачищают.

Торцы медных хоботов с течением времени тоже окисляются. Проскакивающие между ними и свариваемыми деталями искры постепенно прожигают медь. В результате возрастает переходное сопротивление между хоботами и деталями. В таких условиях детали могут прилипнуть к хоботам, загрязняться выплесками меди и пережигаться. Чтобы этого не происходило, торцы хоботов периодически затачивают напильником или зачищают надфилем и шлифуют друг к другу мелкозернистой шкуркой, следя при этом, чтобы медная пыль не попадала на ножки и чтобы площадь контактной поверхности верхнего хобота сохранялась неизменной.

При сварке имеет значение величина и форма только той

части торцевых поверхностей обоих хоботов, по которой осуществляется контакт между хоботами и от которой зависят размеры и структура сварной точки. Для удобства наложения свариваемых деталей друг на друга нижнему хоботу придают увеличенную торцевую поверхность.

К основным видам брака при приварке спирали относятся непрочно приваренная и пережженная спираль. Непрочная приварка получается в результате слабого нагрева и недостаточного проникновения вольфрамового тире в тело никеля. Причинами такого брака могут быть 1) уменьшение сварочного тока или сварочного времени; 2) увеличение сварочного давления; 3) обгорание, окисление или загрязнение включающих контактов аппарата; 4) затупление контактной поверхности верхнего хобота. Пережог получается в результате расплавления никеля на большую глубину. Причинами такого брака могут быть: 1) увеличение сварочного тока или сварочного времени; 2) уменьшение сварочного давления; 3) уменьшение или окисление контактной поверхности верхнего хобота; 4) загрязнение или окисление никелевых вводов или вольфрамовых тире на предшествующих операциях.

При монтаже трехэлектродных ножек с неодинаковыми спиралями приварку одной и другой спиралей производят на разных аппаратах или на одном аппарате, но после предварительной отработки режима для каждой спирали. Чем толще вольфрамовая проволока, тем менее чувствительны спирали к перегреву и недогреву и тем прочнее достигается сварка.

Приварка спирали не влечет за собой структурных изменений в вольфраме ввиду недостаточной высокой температуры в сварной точке (около  $1500^{\circ}\text{C}$ ) и кратковременности процесса. При сварке следят, чтобы выплески никеля не попадали на спираль.

Качество сварки контролируют внешним осмотром. При малых размерах деталей пользуются лупой. Для контроля механической прочности сварки свободные концы тире отрывают пинцетом. При этом, если сварка выполнена неудовлетворительно, отрывается и сама спираль. При хорошо выполненной сварке тире погружается в никель на половину своего диаметра.

Методом контактной точечной сварки приваривают к никелевым вводам не только спираль, но и различного рода молибденовые и никелевые поддержки, применяемые для закрепления внутренней арматуры специальных ламп. Эти операции выполняют на таком же сварочном аппарате, как и приварку спирали к вводам.

Не все металлы одинаково хорошо соединяются между собой точечной сваркой (табл. 11-1). Способность разнородных металлов свариваться зависит от их физико-химических свойств и, прежде всего, от склонности их к диффузии друг в друга и способности переходить в пластичное состояние. Вольфрам



Таблица 11-1

## Свариваемость металлов при точечной электросварке

Наименование металла	Вольфрам	Молибден	Никель	Железо	Медь	Алюминий
Алюминий . . . . .	П	П	П	З	П	З
Медь . . . . .	П	П	З	Х	З	
Железо . . . . .	З	З	Х	Х		
Никель . . . . .	Х	Х	Х			
Молибден . . . . .	П	П				
Вольфрам . . . . .	П					

Х — хорошо свариваются.  
З — сварка затруднена.  
П — плохо свариваются.

плохо сваривается с молибденом. Молибден плохо сваривается с медью. При необходимости приварить вольфрам к молибдену применяют проволочное или фольговое переходное звено из никеля, к которому отлично приваривается как вольфрам, так и молибден.

При сварке металлов с неодинаковыми теплопроводностью и электропроводностью применяют хоботы разных диаметров и подбирают различный режим тока; со стороны металла с низкой проводимостью для уменьшения его нагрева помещают хобот большего диаметра.

Применяемые при сварке большие кратковременные токи и низкое напряжение безопасны для работающих. Сварочные аппараты экранируют стеклом для защиты глаз работающих от искр.

#### д) ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СМОНТИРОВАННЫМ НОЖКАМ ЛАМП ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

1. Размеры, форма и число держателей, а также порядок их размещения должны соответствовать чертежам.

2. В линзе не должно быть трещин.

3. Держатели должны быть вставлены в линзу на глубину не менее 0,5 мм. Расстояние между концами смежных держателей должно быть 1—2 мм, а между концами противоположных — 3—4 мм.

4. Спираль должна быть прочно закреплена в вводах; контакты между спиралью и вводами должны быть чистыми и плотными. Крючки вводов должны быть сплюснуты без просветов и перекосов. Концевые витки спирали без тире не должны быть разрушены при зажиме.

5. Спираль должна быть слегка натянута на держателях, но витки ее не должны быть растянуты. Она не должна образовывать хорд и резко выраженных углов. Натянутая спираль,

разрезанная ножницами, должна сжаться не более чем на 3% своей длины.

6. Расстояния между петлями смежных держателей и между вводами и петлями крайних держателей должны быть, примерно, одинаковыми.

7. Держатели не должны врезаться в промежутки между витками и не должны препятствовать изменению линейных размеров спирали при включении и выключении лампы.

8. Спираль не должна быть искусственно укорочена неправильным зажимом в вводах. Свободные концы спирали не должны выступать из вводов более чем на 1 мм. У спиралей с тире крайние витки должны отстоять от вводов на 1—2 мм.

9. Спираль должна помещаться в плоскости, перпендикулярной оси штабика, а световой центр — на оси штабика.

10. Зажимы вводов должны задавать направление концам спирали непосредственно к держателям, а не в сторону. Для этого вводы и петли держателей должны быть соответственно повернуты.

11. Вводы должны быть прямолинейными и должны лежать в одной плоскости.

12. Расстояние между вводами в зависимости от номинального напряжения лампы не должно быть ниже установленной величины.

13. Держатели должны закорачивать минимальное число витков спирали; у ножек, смонтированных на автомате, шаг петли держателей должен быть равен диаметру молибденовой проволоки.

14. Спираль не должна иметь мятых витков у зажимов.

15. Смонтированные ножки не должны быть загрязнены смазочным маслом.

16. Спираль не должна иметь сгустков газопоглотителя или участков, не покрытых газопоглотителем.

### 11-4. ОПЕРАЦИИ ПОСЛЕ МОНТАЖА СПИРАЛЕЙ

#### а) СНЯТИЕ НАПРЯЖЕНИЙ С ДЕРЖАТЕЛЕЙ

Для предотвращения деформации толстых молибденовых держателей и коробления вольфрамовых спиралей при первом зажигании некоторых мощных специальных ламп прибегают к отжигу напряженных участков держателей в кислородо-водородном пламени, в котором кислород и водород обменивались своими местами (рис. 11-20). Открытый снизу цилиндрический колпак заполняют через ротаметр проточным водородом. К горелке, укрепленной внутри колпака, подводят через другой ротаметр кислород. Препарируемую ножку на держателе подносят к горелке так, чтобы пламя кратковременно прогрело требуемую часть молибденового держателя. Под влиянием вы-

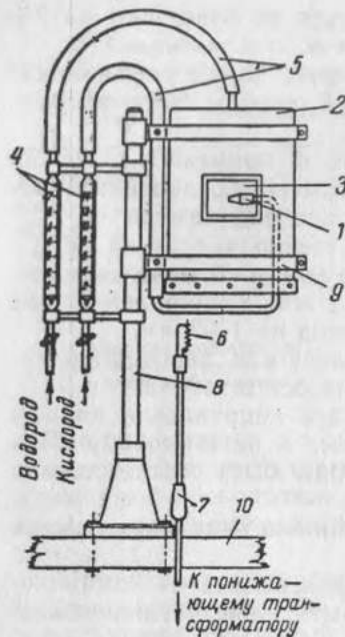


Рис. 11-20. Аппарат приготовления ножек кислородным пламенем.

1 — кислородная горелка; 2 — металлический колпак; 3 — смотровое окно с защитной сеткой; 4 — ротаметры; 5 — резиновые шланги; 6 — спираль поджигателя; 7 — рукоятка; 8 — стойка; 9 — хомут; 10 — рабочий стол.

Промывка кипящей водой полезна только при условии постоянного соблюдения чистоты на этой операции и своевременной смены воды и спирта. Иначе ножки могут не только не очиститься, а еще больше загрязниться. Ножки, снабженные керамическими мостиками, можно промывать водой лишь при условии, что керамика не имеет пор (не впитывает чернил).

Промывка кипящей водой — один из самых дешевых и эффективных способов очистки внутренних деталей ламп.

#### в) ПРЕПАРИРОВАНИЕ НОЖЕК

При сборке и отжиге ножек, а также при приварке поддержек и спиралей к вводам ножек, а также при приварке поддержек и спиралей к вводам поверхность металлов покрывается в местах нагрева тонкой пленкой окислов. Для уничтожения этих окислов ножки некоторых специальных ламп препарируют в атмосфере водорода или препарировочного газа. Эта же операция преследует цель замещения абсорбированных металли-

ческой температуры с прогреваемого участка снимаются механические напряжения. Перед началом работы кислородную горелку поджигают электрозажигателем, представляющим собой ножку с вольфрамовой спиралью. Зажигатель подносят к устью горелки и включают его, одновременно открывая кислородный вентиль.

#### б) ПРОМЫВКА НОЖЕК ВОДОЙ

Смонтированные ножки некоторых специальных ламп перед заваркой в колбу кратковременно промывают кипящей дистиллированной водой с целью удаления водорастворимых загрязнений. В воду погружают только верхнюю часть ножки со спиралью, держателями, керамическими мостиками и концевыми частями вводов. Кипящая вода хорошо растворяет минеральные соли, сводит жирные и масляные пятна и смывает частицы пыли. Промытые ножки окунают в стакан с этиловым спиртом для поглощения остатков влаги и предохранения металлических деталей ножек от окисления. Лотки с промытыми ножками сушат под инфракрасными лампами.

ческими деталями газов водородом, легко удаляемым при последующей откачке ламп. Препарирование производят одним из двух способов: косвенным нагревом лучистым теплом или пря-

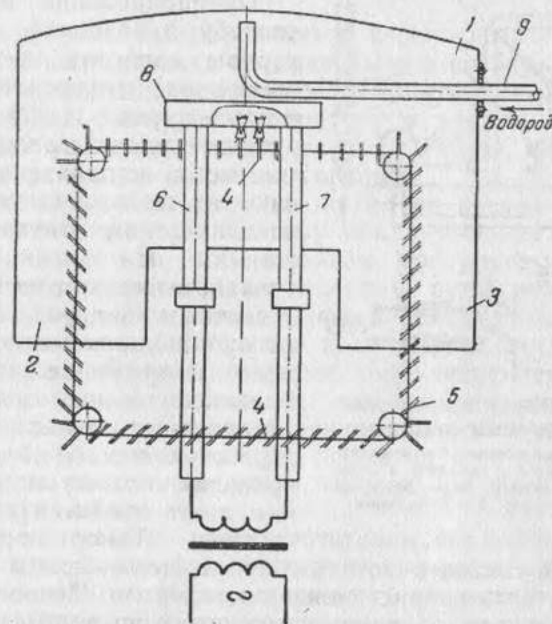


Рис. 11-21. Аппарат приготовления ножек на конвейере.

1 — колпак; 2, 3 — стойки; 4 — втулочно-роликовая бесконечная цепь; 5 — гнезда для ножек; 6, 7 — электроды; 8 — никелевый муфель; 9 — впускной патрубок для водорода.

мым нагревом электрическим током. Первый способ применяют при изготовлении специальных малогабаритных ламп, второй — при изготовлении мощных ламп.

Препарирование по первому способу производят на конвейерном аппарате (рис. 11-21), состоящем из прямоугольного стального колпака 1 и двух открытых снизу стоек 2 и 3. Через колпак проходит бесконечный втулочно-роликовый конвейер 4 с гнездами 5 для ножек. В середине колпака на электродах 6 и 7 закреплен открытый снизу никелевый желоб 8, накаливаемый током до 750—800°С. Водород или препарировочный газ поступает через патрубок 9 и выходит из нижних отверстий стоек 2 и 3. Препарируемые ножки вставляют вручную в гнезда конвейера так, чтобы их вводы проходили через накаленный желоб. Поверхность вводов под действием лучистого тепла и водорода очищается и становится блестящей. Исключением составляют небольшие участки вблизи лопатки ножки, очистка

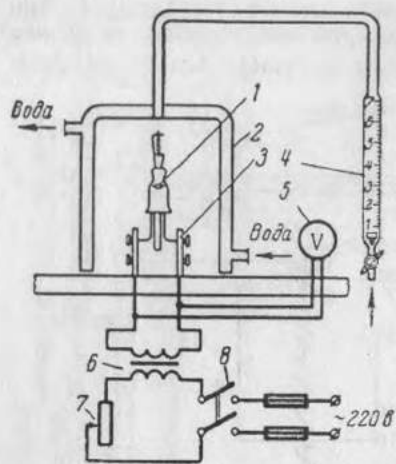


Рис. 11-22. Аппарат приготовления ножек прямым нагревом.  
1 — препарлируемая ножка; 2 — препарировочный колпак; 3 — контакт; 4 — рота-метр; 5 — вольтметр; 6 — трансформатор; 7 — реостат; 8 — рубильник.

позволяет не только очистить спираль, держатели и электроды, но и осуществить рекристаллизацию спирали. После препарирования ножки осматривают и при необходимости поправляют пинцетом держатели и спираль.

#### г) НАНЕСЕНИЕ ГАЗОПОГЛОТИТЕЛЯ НА НОЖКИ

Фосфорный газопоглотитель можно наносить на ножки несколькими способами. По одному способу ножки, установленные на дощечках, опрыскивают распыленной струей суспензии из пульверизатора. Этот способ не производителен, требует повышенного расхода фосфора и поэтому от него отказались. По другому способу смонтированные ножки погружают спиралью в сосуд с суспензией. Этот способ широко применяют на монтажных автоматах. По третьему способу стеклянной палочкой или пипеткой наносят каплю суспензии на спираль или на керамический мостик с последующим стряхиванием излишка.

Циркониевый газопоглотитель наносят обмазыванием чистой волосяной кисточкой поверхности никелевых вводов вблизи места зажима спирали, не задевая самой спирали. Количество наносимого поглотителя должно быть очень незначительным (доли миллиграмма), иначе избыток его будет осыпаться в лампе. В последнее время разработан автоматический способ нанесения циркония.

Алюминиевый газопоглотитель намазывают кисточкой по всему вводу.

которых не обязательно, так как во время работы лампы они остаются относительно холодными.

Препарирование по второму способу производят на стационарном аппарате путем пропускания тока непосредственно через спираль (рис. 11-22). Препарируемые ножки вставляют в рабочее гнездо аппарата и присоединяют их медные выводы к двум металлическим контактным пластинкам. На ножки опускают колпак, вытесняют из него воздух проточным водородом, включают рубильник и медленно повышают напряжение до значения несколько выше номинального напряжения лампы. После выдержки в течение 1—3 мин напряжение плавно снимают, ножкам дают остыть и колпак поднимают. Такое прокалывание

Фосфорный и циркониевый газопоглотители готовят без связующего вещества и разводят не на амилацетате, а на этиловом спирте. В этом случае они не вносят с собой в лампы углерода.

Успех применения неиспаряющихся газопоглотителей в значительной степени зависит от правильного выбора места их нанесения. Это место должно иметь требуемую для работы данного поглотителя рабочую температуру и должно находиться в достаточном удалении от зоны заварки лампы, чтобы поглотитель не повреждался пламенем горелок.

Нанесение газопоглотителя на ножки не позволяет определять процент его привеса. Поэтому при нанесении опрыскиванием, обмазыванием и обмазыванием требуется количество газопоглотителя устанавливают опытным путем, по пробным лампам. Для получения равномерного и однородного покрытия следят за постоянством удельного веса газопоглотителя и возмещают потерю его через испарение добавлением спирта.

Газопоглотители периодически хорошо взбалтывают или перемешивают так, чтобы соотношение жидкости и порошка во всем объеме было одинаковым. Не рекомендуется перемешивать газопоглотители сжатым воздухом, так как при этом они впитывают из воздуха влагу.

Ножки с нанесенным газопоглотителем кратковременно выдерживают при комнатной температуре, чтобы дать им подсохнуть. Газопоглотитель, не содержащий связующего вещества, обладает повышенной гигроскопичностью и быстро портится, особенно в сырую погоду. Поэтому ножки сразу после кратковременной сушки без задержки заваривают в колбу.

### 11-5. ЗАВАРКА ЛАМП

#### а) ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Заварка или, как ее часто называют, запайка — основная сборочная операция при изготовлении ламп. Она заключается в прочном и герметичном соединении смонтированной ножки с колбой (рис. 11-23). Ножку помещают в рабочее гнездо карусельной заварочной машины, а колбу — в то же гнездо поверх ножки. После загрузки нагревают участки стекла, подлежащие соединению. При этом горловину колбы греют на уровне тарелки открытыми огнями, а тарелку — теми же огнями, но сквозь стенки колбы. Рабочие гнезда машины приводят во вращение между газовыми горелками. Стекло колбы постепенно размягчается и вытягивается, зазор между колбой и тарелкой уменьшается, горловина колбы приходит в соприкосновение с оплавленной кромкой тарелки и приваривается к ней. Участок стекла между цилиндрической частью колбы и тарелкой образует горло лампы. Одновременно с приваркой колбы к тарелке

выступающая нижняя концевая часть колбы (юбка) отпаяется от лампы и удаляется.

Состав и свойства стекла для колб, как правило, несколько отличаются от состава и свойств стекла для тарелок. Например, колбы могут быть изготовлены из стекла рецепта С89-1, а тарелки из стекла рецепта С90-1 или колбы и тарелки даже из стекла одного рецепта могут обладать близкими, но не совпадающими коэффициентами теплового расширения. Тем не менее ножка и колба могут быть заварены достаточно прочно и герметично, так как стекло колбы и тарелки при заварке взаимно растворяются друг в друге. На границе между ними образуется промежуточный по составу и свойствам тонкий слой стекла, облегчающий их плотное и прочное соединение.

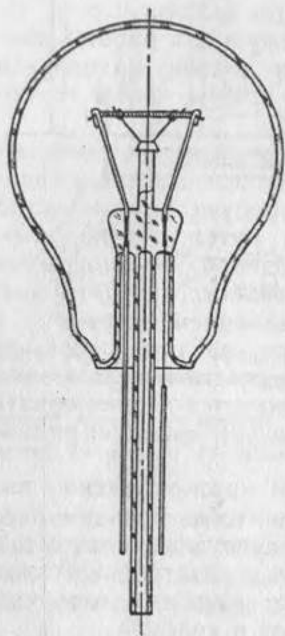


Рис. 11-23. Заваренная лампа.

Месту заварки придают размеры и форму, требуемые для правильной посадки цоколя на лампу и хорошего заполнения цоколевочной мастикой пространства между цоколем и горлом. Для ламп с цоколем 2Ш22-2 формованной части горла придают высоту на 3—4 мм меньше, чем для ламп с цоколем Р27-1. Современные заварочные автоматы снабжают узлом механической формовки горла лампы.

Заварка любых ламп всегда сопровождается неизбежным нагревом внутренних деталей, окруженных воздухом или продуктами горения газа, что, с одной стороны, благоприятно влияет на обезгаживание деталей, но, с другой стороны, может вызвать окисление деталей, близко расположенных к месту заварки. При заварке крупных зеркальных ламп, ламп с встроенным отражателем и мощных прожекторных ламп из стекла С49-2 внутрь колб вдувают чистый азот для защиты зеркала и внутренних металлических деталей от окисления.

Колбы доставляют к заварочным машинам в совершенно сухом виде, чтобы испарение влаги при заварке не вызывало окисления металлических деталей смонтированной ножки и уменьшение эффективности газопоглотителя. Влажные колбы трескаются на огнях и вызывают брак — «черные лампы».

На заварочных автоматах, снабженных механизмом автоматической загрузки колб, иногда производят дополнительную горячую сушку колб на конвейере, доставляющем колбы к позиции загрузки.

При заварке окрашенных изнутри колб тонкий слой стекла, покрытый краской, стекает, благодаря чему тарелка приваривается не к слою покрытия, а к чистому стеклу. В зоне заварки образуется прозрачный участок, не имеющий покрытия. Когда заваривают зеркальные лампы, следят, чтобы отраженное пламя газовых горелок не задевало зеркала и чтобы колбы в зоне заварки не имели зеркального покрытия, так как при нагреве огнями алюминиевое зеркало чернеет. Кроме того, стекло в зоне заварки может дать трещину.

## 6) ЗАВАРКА НА ПОЛУАВТОМАТЕ

Полуавтомат заварки (рис. 11-24) состоит из чугунной станины и поворачивающейся с периодическими остановками горизонтальной алюминиевой карусели. В краевые отверстия карусели вставлены восемь, десять или двенадцать заварочных гнезд, в которые загружают ножки и колбы. Заварочные гнезда (рис. 11-25) состоят из держателя ножки — свечи и держателя колбы — шаблона. Шаблон имеет три металлических опорных выступа, придерживающих колбу по минимальной поверхности соприкосновения. На полуавтоматах заварки малогабаритных ламп опорные выступы снабжают нетеплопроводными вкладышами из слюды, уменьшающими отдачу тепла от шаблонов к колбам. Положение шаблонов можно перемещать вдоль стоек в вертикальном направлении и закреплять винтами на высоте, обеспечивающей получение заданной полной длины зацоколенной лампы.

Заварочные гнезда приводятся во вращение большой центральной шестерней, вращающейся под каруселью и зацепляющей малые шестерни на хвостовике каждого гнезда. Два гнезда, останавливающиеся перед рабочим местом операционной работницы, служат для загрузки ножек и колб и разгрузки заваренных ламп.

Полуавтомат снабжен системой одноотверстных горелок, установленных по несколько штук против каждой рабочей позиции. Огни регулируют вентилями, собранными в коллектор.

На 8-гнездном полуавтомате смонтированную ножку устанавливают в свободную свечу на 1-й позиции. При этом штенгель вводят в канал свечи, тарелку надевают на наконечник свечи, а выводы плотно прижимают к штенгелю, чтобы они вошли в свечу вместе со штенгелем. Вслед за загрузкой ножки устанавливают в шаблон колбу. При этом горло колбы прижимают к упорному винту, центрирующему положение колбы в шаблоне. При загрузке следят, чтобы колба не задела спираль, держателей и вводов и чтобы края колбы не отбились шаблоном. Перед переходом гнезда с 1-й позиции на 2-ю накидывают на рант колбы стальную оттяжку и прижимают ее горловину колбы к упорному винту.

На 2-й позиции штенгель ножки сжимается в канале свечи тремя стальными шариками, скользящими по конической поверхности. Ножка на протяжении всего процесса заварки устойчиво

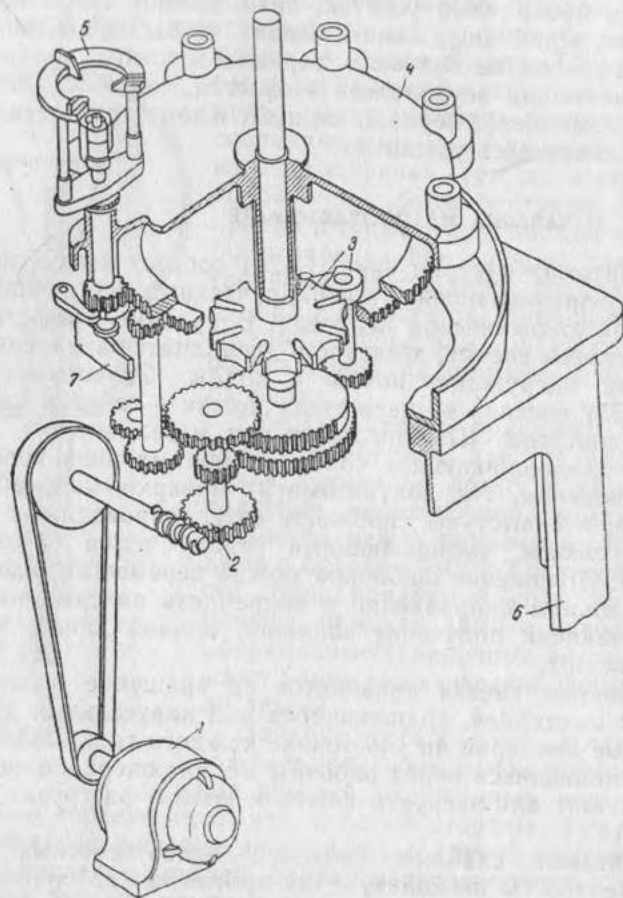


Рис. 11-24. Полуавтомат заварки ламп.

1 — электродвигатель; 2 — червячный редуктор; 3 — мальтийская передача; 4 — карусель; 5 — рабочее гнездо; 6 — станция; 7 — кулак для зажимания ножки в свече.

держится в свече и не шатается при вращении гнезда. 2-я позиция оснащена тремя-четырьмя горелками, мягкое пламя которых направлено через стенку колбы на кромку тарелки.

3-я позиция оснащена двумя группами скрещивающихся горелок по три-четыре в каждой. Сильные, но не острые огни этих горелок направлены немного выше кромки тарелки. Горловина колбы нагревается этими огнями до размягчения, но формы

своей еще не теряет. На 3-й же позиции обогревают мягким пламенем купол и боковую поверхность колбы для обезгаживания стекла.

4-я позиция имеет огни, более резкие, чем предыдущая позиция. Колба нагревается огнями на уровне кромки тарелки. Стенки колбы постепенно сближаются с тарелкой и последняя сильно разогревается. Перед переходом на следующую позицию колба прилипает к тарелке, а нижний колоколообразный остаток (юбка) оттягивается от колбы и опускается вниз.

5-я позиция оснащена горелками с такими же огнями, как на предыдущих двух позициях, но огни крайних двух горелок в каждой группе направлены выше кромки тарелки, — они придают нагреваемому месту форму горла, а огни средних горелок направлены на кромку тарелки, — они приваривают колбу к тарелке.

6-я позиция оснащена двумя группами по три или четыре горелки с сильными острыми огнями, направленными ниже кромки тарелки. Эти огни разрезают колбу и отделяют юбку от лампы. Резка облегчается дутьем сжатого воздуха, под-

водимого в свечу и выходящего тонкими струйками из капиллярных отверстий под конюничником свечи. Тонкие струйки сжатого воздуха препятствуют прилипанию колбы к свече. Одновременно с отделением юбки завершается приварка колбы к тарелке и оплавление шва между ними.

На 7-й позиции слабое пламя одной или двух горелок направлено на шов с целью замедления остывания стекла и ослабления внутренних напряжений. Во время перехода на 8-ю позицию свеча опускается вниз на 2—3 мм, увлекая за собой ножку, а колба продолжает удерживаться шаблоном на прежнем уровне. Такое перемещение колбы относительно ножки

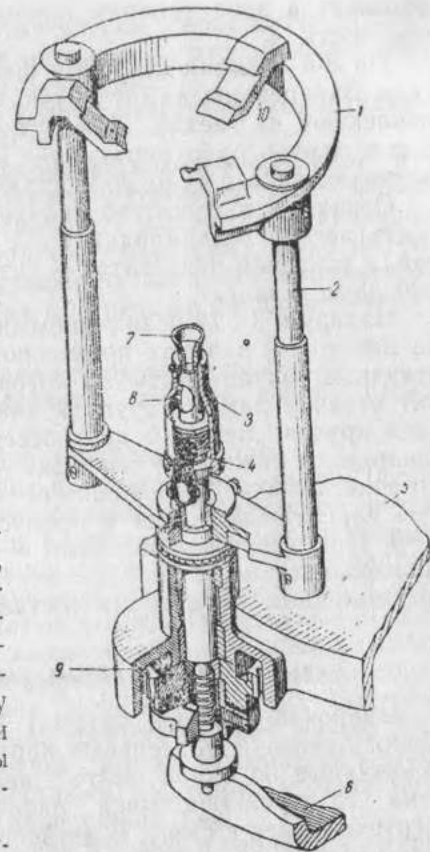


Рис. 11-25. Рабочее гнездо (патрон) заварочной машины.

1 — головка патрона («шаблон»); 2 — стойка; 3 — свеча; 4 — пружина; 5 — карусель; 6 — неподвижный кулак; 7 — конюничник; 8 — стальной шарик; 9 — шестерня; 10 — опорные выступы.

образует в зоне заварки поясок, придающий лампе большую прочность.

На 8-й позиции стальные шарики перестают сжимать штенгель. Заваренную лампу вручную или механическим съемником извлекают из гнезда. При ручном съеме, если ножка сбилась с оси лампы, работница имеет возможность отцентрировать ее вручную, пока стекло полностью не затвердело.

Основное достоинство тихоходного полуавтомата — возможность легкой переналадки его с одного размера ламп на другой, а основной недостаток — низкая производительность (600—800 ламп в час).

Наряду с 8—12-позиционными тихоходными полуавтоматами на некоторых заводах применяют комбинированные заварочно-откатные полуавтоматы, на которых вслед за заваркой производят откачку ламп. Карусель таких полуавтоматов состоит из двух ярусов. Верхний ярус несет 16 вращающихся гнезд для заварки, а нижний — такое же число неподвижных гнезд для откатки. Лампы, прошедшие все позиции верхнего яруса, вручную перегружают вниз и пропускают через все позиции нижнего. При изготовлении ламп в колбах диаметром 60—65 мм производительность полуавтомата при двух обслуживающих операционных работницах составляет 1 100—1 200 ламп в час.

#### в) ЗАВАРКА НА АВТОМАТАХ

Заварочно-откатный автомат Б.332 имеет общую станину, общий привод и отдельные карусели заварки и откатки, расположенные на одной плите. Заварочная часть автомата оснащена 20 вращающимися рабочими гнездами, механизмом загрузки ножек в свечу, конвейером подачи колб с узлом маркировки, механизмом загрузки колб в шаблон, устройством, приостанавливающим загрузку колб при незагрузке ножек, механизмом формовки горла, рычагом, опускающим свечи на позиции сдувания юбки, механизмом переноса заваренной лампы на вращающийся промежуточный диск и с промежуточного диска на 1-ю позицию откатного автомата и золотником, распределяющим воздух для сдувания юбки и формовки горла и подводящим вакуум к механизму переноса заваренной лампы в откатное гнездо.

Ножки, поступающие по конвейеру с монтажного автомата, вручную вставляются в очередное отверстие вращающегося 14-гнездного поворотного диска и механически переносятся оттуда в свечу заварочного гнезда. Колбы после предварительной отбраковки укладываются вручную в гнезда конвейера.

На 1-й позиции ножка с прижатыми к штенгелю выводами автоматически загружается в свечу. При этом штенгель центрируется втулкой свечи, а тарелка опирается на наконечник свечи.

2-я позиция — резервная для ручной загрузки ножек.

На 3-й позиции колба автоматически переносится с конвейера в шаблон. При захвате ее механизмом переноса она центрируется особым конусообразным упором.

4-я позиция — резервная для ручной загрузки колб. Заварочное гнездо начинает вращаться.

На позициях с 5 по 10-ю заваривается колба с ножкой. Во время заварки металлические оттяжки оттягивают юбку колбы вниз и центрируют колбу. При работе с колбами механизированной выработки, имеющими толстостенный рант, юбка колбы опускается под действием собственного веса без применения оттяжки. Сильные пушистые огни обогревают боковую поверхность и купол колбы.

На 11-й позиции юбка продолжает оттягиваться вниз.

На 12 и 13-й позициях подводится сжатый воздух через свечу и обрезается юбка.

На 14-й позиции прогревается заваренный шов.

На 15-й позиции горло лампы формируется механизмом формовки, действующим следующим образом. К заваренной лампе подводятся металлические клещи, плотно охватывающие своими подогретыми губками размягченное горло лампы. После закрытия губок в штенгель лампы вдувается из золотника через осевую канал свечи очищенный сжатый воздух. Пластичные стенки горла раздуваются нагнетающимся воздухом и прижимаются к формирующим губкам. В губках вырезаны четыре канавки, образующие на нижней части горла четыре ребристых выступа. Одновременно с формовкой горла формируется шов между горлом и тарелкой. Во время формовки лампа прижимается к шаблону штоком, обмотанным асбестовым полотном, а свеча опускается на 2 мм для вытяжки заваренного шва.

На 16 и 17-й позициях прогреваются шов и горло для уменьшения внутренних напряжений, возникающих при формовке горла.

На 18-й позиции заварочное гнездо приостанавливает свое вращение, и лампа остывает.

На 19-й позиции заваренная лампа поднимается вакуумным присосом, опускается в поворотный диск и оттуда вторым вакуумным присосом передается в загрузочное гнездо откатной части автомата. Захватный механизм с вакуумным присосом действует следующим образом. Резиновая или металлическая чашечка присоса накладывается на купол колбы. Маленькая камера, образующаяся между чашечкой и куполом, соединяется с вакуумной подводкой. Давление наружного воздуха заставляет поверхность колбы присосаться к чашечке. Когда необходимость в присосе отпадает, особый золотник перекрывает вакуум и впускает сжатый воздух, прекращающий действие присоса. Колба хорошо присасывается только при условии, что ее купол имеет правильную форму, чашечка присоса плотно прилегает к куполу и каналы, подводящие вакуум и сжатый воздух, не

засорены осколками стекла. При необходимости силу присасывания регулируют вентилем, установленным в вакуумной подводке. Чтобы резиновая чашечка присоса не обгорала или металлическая чашечка присоса не вызывала растрескивания

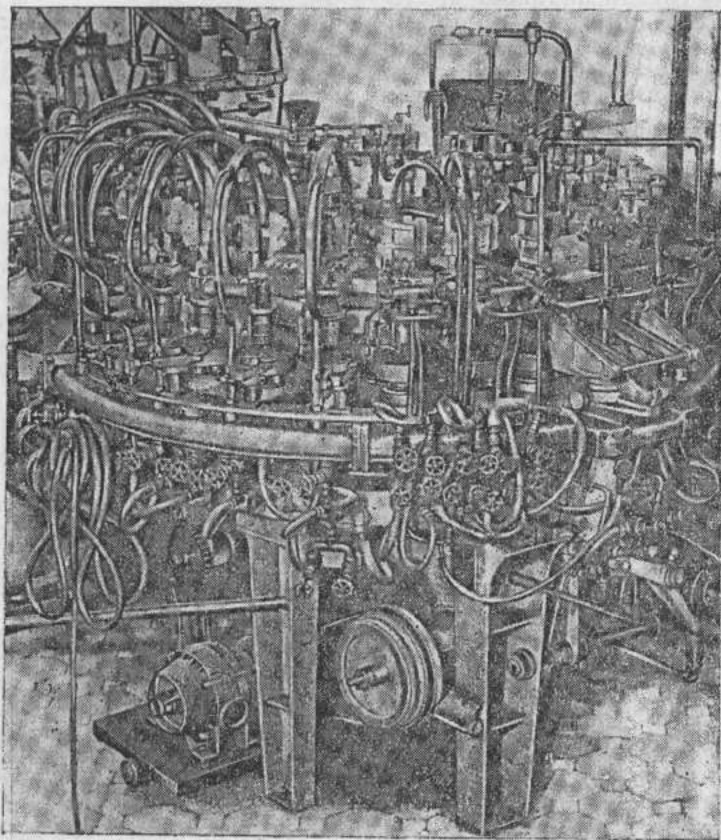


Рис. 11-26. Заварочный автомат «дуплекс».

купола, последний перед позицией переноса заваренной лампы в откачное гнездо усиленно охлаждают сжатым воздухом.

На 20-й позиции свеча опускается и отрезанная юбка колбы сдувается воздухом в ящик для отходов.

Гнезда на позициях 1, 2, 3, 15, 18, 19 и 20-й, где производятся загрузка ножек и колб, формовка горла и разгрузка ламп, во вращение не приводятся. Остальные гнезда вращаются приводом от отдельного электродвигателя.

Производительность автомата 1300—1500 ламп в час.

Наряду с автоматом Б.332 некоторые заводы применяют 12-позиционные 24-гнездные заварочные автоматы «дуплекс»

(рис. 11-26). На таких автоматах обрабатываются одновременно детали в двух смежных заварочных гнездах. Все операции и рабочие механизмы дублированы. При каждом повороте карусели одновременно загружаются по две ножки и колбы и снимаются по две лампы. Применение системы дуплекс позволяет при относительно малой скорости карусели получать высокий выпуск (1200 ламп в час). Недостаток этой системы — необходимость удвоения числа механизмов и увеличение размеров карусели.

#### г) МАРКИРОВКА КОЛБ

Каждую выпускаемую лампу снабжают нестирающимся отпечатком с обозначением типа ламп, товарного знака завода-изготовителя и года выпуска. Такой отпечаток ставят на куполе колбы или на цоколе.

Колбы маркируют мастикой, приготовленной из окиси серебра, размельченного борно-свинцового стекла и склеивающего их глицерина.

Для маркировки применяют механизм, аналогичный изображенному на рис. 11-27. Его устанавливают на одной из начальных позиций заварочного полуавтомата или на каркасе конвейера, транспортирующего колбы к заварочному автомату. Отпечаток наносят резиновым штампом, укрепленным в особом держателе, имеющем возвратно-поступательное движение вверх и вниз. Перед каждым движением вниз на штампель с помощью валика наносится маркировочная мастика. Валик в свою очередь смазывается мастикой, наносимой на диск по мере надобности (через 2—3 ч).

Отпечаток закрепляют на заварочных автоматах пламенем горелок. При температуре около 450°С окись серебра восстанавливается в металлическое серебро и спекается со стеклом колбы, образуя клеймо золотисто-желтого цвета, хорошо различимое на стеклянном фоне.

Отпечаток должен быть прочным. Тонкие штрихи его шрифта должны быть непрерывными и четкими. Каждая буква или цифра должна быть разборчивой и не стираться от трения пальцем. Непрочный отпечаток получается при недоброкачественной маркировочной мастике или недостаточном обжиге. Чтобы устранить причину непрочного отпечатка, стирают пальцем одну его часть, а другую дополнительно обжигают в пламени горелки. Если он после этого сотрется, значит, была недоброкачественная мастика, если не сотрется, значит, был слабый обжиг. Частичная или полная стираемость отпечатка иногда вызывается толстым куполом колб, требующим для закрепления отпечатка более сильный нагрев. Колбы с сильно выраженными дефектами купола не поддаются четкой маркировке.

Валики, штемпель и диск механизма маркировки должны содержаться в чистоте, иначе отпечатки получаются грязными, нечеткими и крупнозернистыми. Изношенный резиновый штемпель должен своевременно заменяться на новый.

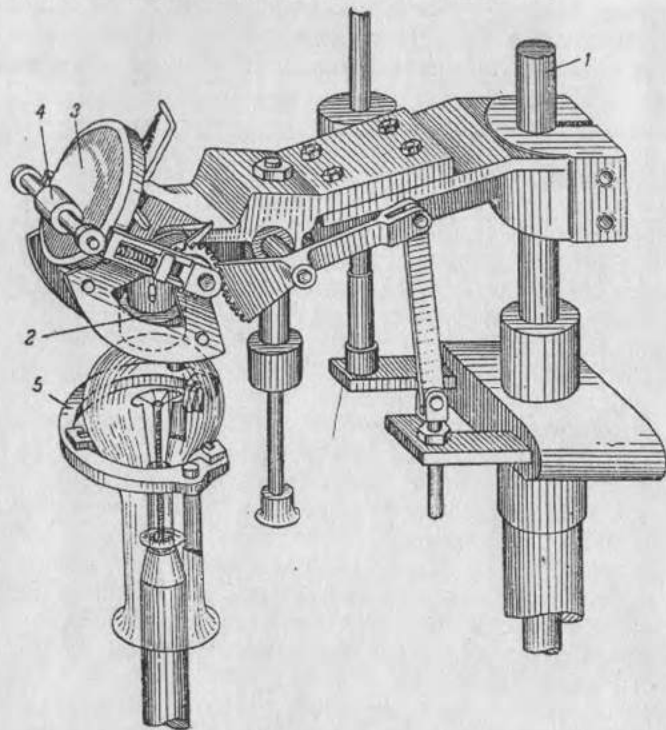


Рис. 11-27. Узел маркировки колб к заварочному полуавтомату.

1 — шток привода узла; 2 — оправка со штемпелем; 3 — диск, покрытый слоем штемпельной мастики; 4 — валик переноса мастики с диска на штемпель; 5 — шаблон заварочного гнезда.

Плохой отпечаток снимают концентрированной азотной кислотой или 5—10%-ным раствором плавиковой кислоты. Его можно удалить также сильным равномерным шлифованием войлочным диском, смазанным пемзовой пастой.

#### д) ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЗАВАРЕННЫМ ЛАМПАМ

1. Горло лампы должно иметь размеры и форму, позволяющие правильно надеть цоколь, горло должно быть симметричным относительно оси лампы.

2. На горле ламп среднего и большого габарита должны быть отформованы четыре симметричных четко выраженных выступа на расстоянии 1—1,5 мм от шва; горло не должно

иметь рубцов, образовавшихся от неплотного закрывания формирующих губок.

3. Ножка не должна быть заварена криво; оси ножки и колбы должны совпадать.

4. Ножка не должна быть заварена высоко или низко; спираль должна помещаться в центре шаровой части колбы.

5. В лампе не должно быть никаких трещин.

6. Шов между колбой и ножкой должен быть прозрачным, газонепроницаемым и прочным.

7. Шов должен быть вытянут у малых ламп на 1—2 мм, у больших — на 2—3 мм.

8. Спираль, держатели и вводы не должны быть повреждены при вставлении колбы в шаблон.

9. Огневой режим на заварке ламп и обжиге марки не должен вызывать воспламенения газопоглотителя и окисления внутриламповых деталей.

10. Выводы не должны быть пережжены огнями.

11. В лампе не должно быть посторонних свободно перемещающихся частиц.

#### е) БРАК ПРИ ЗАВАРКЕ

Трещины. Заваренные лампы после отрезания «юбки» сравнительно быстро остывают. Возникающие при этом остаточные напряжения в шве не принимают разрушительных размеров только благодаря сравнительно незначительной толщине стенок колбы и тарелки. Крупные прожекторные лампы с толстостенными колбами и тарелками из стекла С49-2 помещают после заварки в карусельную печь отжига. Чтобы при этом внутренние детали ламп не окислялись, лампы при заварке наполняют азотом.

На образование трещин в шве оказывает влияние огневой режим заварочной машины. Если, например, огни на позициях размягчения колбы очень сильны или направлены слишком высоко, стекло колбы преждевременно расплавляется и частично стекает ниже кромки тарелки; в этом случае горло лампы получается тонкостенным, а шов — непрочным. Чем тоньше стенки колбы, тем ниже следует держать огни на указанных позициях. Перед началом работы их настраивают под колбы, имеющие некоторую среднюю толщину стенок. При этом, если колбы тонкостенные, огни на позициях размягчения направляют на большую поверхность колбы, тогда горло лампы формируется из большего участка стекла, и стенки сильно не растягиваются. Если же колбы толстостенные, огни на позициях размягчения концентрируют на меньшем участке поверхности колбы, тогда стекло растягивается, становится тоньше и легко разрезается на позициях обрезки.

Обрезающие огни поддерживают достаточно сильными и острыми, чтобы быстро обрезать колбу и прочно приварить ее к та-



релке. При слабых огнях колба не приваривается, а только прилипает к тарелке. Небольшие сотрясения таких ламп вызывают отделение ножки от колбы. Такие последствия получаются, если огни на позициях обрезки установлены на уровне или выше уровня кромки тарелки.

Давление принудительной оттяжки на юбку колбы должно быть тем слабее, чем тоньше стенки колбы. При чрезмерно большом давлении горло прорывается или получается слишком тонкостенным и подверженным растрескиванию.

Сжатый воздух, подводимый через отверстия капиллярных каналов свечи, облегчает обрезку юбки. Если подача воздуха будет недостаточная или в свече будут засорены отверстия, колба не обрежется, а прилипнет к наконечнику свечи. Если же подача воздуха будет слишком большая, колба обрежется, будучи недостаточно прогретой, и шов даст трещину.

На тихоходных заварочных полуавтоматах место заварки колбы с ножкой вытягивается после позиции обрезки с образованием пояска. Если свеча слишком сильно или слабо опускается, пояска получается непрочным. На механизированных заварочных автоматах растрескивание шва бывает из-за несоответствия диаметра развертки тарелки размерам формирующих губок.

У всех заварочных гнезд наконечники свечей должны находиться на строго одинаковом уровне. Иначе обрезающие огни будут направляться на различные зоны тарелки и последствием такой неправильной настройки будут трещины.

При заварке ламп бывают случаи растрескивания конусной части тарелки. Причиной возникновения такого брака чаще всего бывают дефектные тарелки, например плохо отожженные и «драные» тарелки, тарелки, подвергшиеся сразу после изготовления действию сквозняков или соприкасавшиеся до полного затвердевания с холодными тарелками или металлическими предметами, тарелки, изготовленные из толстостенных трубок, плоские тарелки (с мелким конусом).

Трещины в тарелке могут вызываться также нарушениями технологии заварки. Например, плохо прогретые наконечники свечей (обычно в начале работы), как правило, вызывают трещину. Наконечники свечей должны иметь такие размеры и форму, чтобы тарелка садилась на свечу своей конусной частью, а не переходной или цилиндрической. При глубокой посадке тарелки трещины вызываются большой разницей в коэффициентах теплового расширения стекла и материала наконечника. Для разных размеров тарелок должны применяться разные наконечники. С целью уменьшения растрескивания тарелок некоторые заводы применяют наконечники квадратного сечения. В этом случае тарелка опирается не на всю окружность наконечника, а лишь на четыре его угла.

Усиление огней на начальных позициях заварки и предварительный подогрев тарелок смонтированных ножек до 150—200° С

перед заваркой часто служат хорошим средством уменьшения треска тарелок.

Прорванное горло. Во время заварки открытая часть колбы закрывается ножкой и содержащийся внутри завариваемой лампы горячий воздух выдавливается через штенгель в осевой канал свечи. Если этот единственный путь для выхода воздуха будет почему-либо закрыт, то давление в лампе при нагреве возрастет и превысит наружное атмосферное давление. Так как горло лампы во время заварки размягчено, замкнутый внутри лампы воздух, расширяясь от нагревания, прорвет размягченное стекло. Такой брак получается, когда засорен канал свечи, заплавлен свободный конец штенгеля или не продуто откачное отверстие в ножке.

Кривое горло. Разностенные колбы неравномерно нагреваются в огнях заварочной машины. Участки с тонкой стенкой быстрее размягчаются и раньше привариваются к тарелке, чем участки с толстой стенкой. Горло в тонкостенной части получается длинным, а в толстостенной — коротким. Чтобы горло лампы получилось симметричным, разностенность отдельных колб в зоне заварки не должна превышать 0,2 мм.

Чем меньше диаметр горловины колбы, тем легче производить заварку. При узкой горловине уменьшается площадь нагрева и достигается возможность уменьшить огни или увеличить скорость заварочной машины. Кроме того, при узкой горловине уменьшается зазор между колбой и тарелкой, и горло лампы получается более симметричным.

Для каждого типа колб требуется строго определенная установка шаблонов и настройка огней. Если одновременно завариваются колбы, имеющие разный профиль, неодинаковый диаметр или разную толщину стенок, то горло правильно отформируется при работе только с теми колбами, под профиль, диаметр и толщину стенок которых настроены огни и закреплены шаблоны.

Вращающиеся свечи, шаблоны и оттяжки, а также формирующие губки должны быть строго центрированными. Нарушение этих основных требований приводит к получению ламп с кривым горлом.

Заварочные гнезда должны вращаться со скоростью 70—100 об/мин. При слишком быстром вращении изнашивается втулка, в которой вращается вал заварочного гнезда, сбиваются огни стойками, к которым прикреплены шаблоны, и смещаются колбы в шаблонах. В результате получаются лампы с кривым горлом. Замедленное вращение заварочных гнезд обеспечивает лучший прогрев и более правильную формовку горла.

При износе механизма привода карусели последняя неравномерно вращается, дрожит перед каждой остановкой и поворачивается толчками; заварочные гнезда останавливаются не точно против огней, и лампы получаются с кривым горлом.

Сферическая поверхность колбы располагается в шаблоне, опираясь на его три опорных выступа. Чтобы ось колбы не отклонялась в шаблоне от вертикального положения и юбка колбы опускалась после заварки, набрасывают на юбку стальную оттяжку, фиксирующую положение колбы и предохраняющую ее от перекоса в шаблоне. Высоко, низко или криво установленная оттяжка смещает при вращении колбу и искажает форму горла.

Огни на позиции огневой формовки горла должны быть достаточно сильными и иметь правильное направление, иначе горло получается кривым. Механическая формовка горла губками позволяет исправлять кривизну горла. Такая формовка выполняется успешно лишь при постоянстве диаметра горловины колб.

Высоко и низко заваренная ножка. Полная длина лампы должна укладываться в пределы заданных допусков. Это требование может быть выполнено только при условии, что расстояние от купола до горла лампы тоже будет укладываться в определенные допуски. Тарелка ножки должна быть приварена к такому месту горловины колбы, чтобы лампа получилась требуемой длины и чтобы спираль помещалась приблизительно в плоскости наибольшего диаметра колбы. Лампа с высоко заваренной ножкой получается короткой, с низко заваренной — длинной.

Если в заварочном гнезде шаблон установлен высоко, лампа получается с низkozаваренной ножкой, и, наоборот, если низко — с высоkozаваренной ножкой. Во всех гнездах заварочной машины шаблоны должны находиться в одной горизонтальной плоскости.

### ж) ЗАВАРКА МИНИАТЮРНЫХ ЛАМП

Конструкция миниатюрных ламп (рис. 11-28) существенно отличается от конструкции больших ламп. Ножка таких ламп состоит из стеклянной бусы с двумя впаянными в нее платиновыми электродами и иногда одной или двумя молибденовыми поддержками. Колба заваривается не с тарелкой, а встык со штенгелем и вакуумно-непроницаемый впай электродов осуществляется не в бусинковой ножке, а в стыковом спае между колбой и штенгелем.

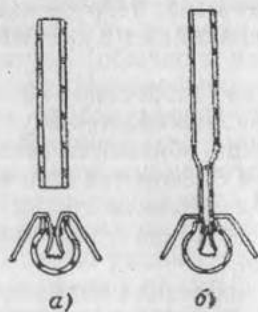


Рис. 11-28. Миниатюрная лампа. а — до заварки; б — после заварки.

Собранную ножку закладывают в подрезанную колбу так, чтобы отогнутые электроды опирались на бортик колбы, а световой центр помещался на оси лампы. В таком положении колбу с ножкой помещают куполом книзу в гнездо зава-

рочной машины. Над колбой в особый держатель заправляют штенгель, диаметр которого равен диаметру шейки колбы. На рабочих позициях гнездо приводится во вращение, торцевая часть колбы и концевая часть штенгеля нагреваются в скрещивающихся огнях горелок и размягчаются. Затем колба и штенгель приводятся в соприкосновение друг с другом и завариваются встык. После заварки наплыв стекла в шве несколько вытягивается для предупреждения образования трещины в спае. Далее штенгель оттягивается кверху, чтобы в размягченном месте образовалась узкая перетяжка, облегчающая в дальнейшем отпайку лампы от откачной установки. На современных линиях сборки миниатюрных ламп все приведенные операции выполняются механически на одном комбинированном заварочно-откачном автомате.

Заваривая миниатюрные лампы, следят, чтобы платинит до оплавления стеклом не обгорал в огнях (иначе вдоль него образуется капиллярный канал или он оборвется) и чтобы продукты сгорания горючего газа не попадали в колбу (иначе электроды получатся грязными и лампы — черными).

Правильная заварка ламп достигается только при условии, что колбы и штенгели имеют стандартные размеры и форму и что их торцевые части не имеют трещин, выщербин и неровностей. При короткообрезанных колбах получается трещина после заварки, при длиннообрезанных — увеличенный носик после откачки, при кривообрезанных — смещенная спираль во время заварки.

В заваренной лампе оси колбы и штенгеля должны совпадать. Ножка должна прямо держаться на двух электродах. Внутренний диаметр перетяжки должен быть не менее 1 мм. Ширина стыкового спае не должна быть увеличенной за счет узлов, образующихся от растекания размягченного стекла по платиниту. Стыковой спае не должен препятствовать правильной посадке цоколя на лампу и не должен способствовать пробою центрального электрода на корпус цоколя.

Все требования, предъявляемые к впай платинита в гребешковую ножку, распространяются на впай платинита между штенгелем и колбой.

Существенный недостаток конструкции бусинковых ламп —

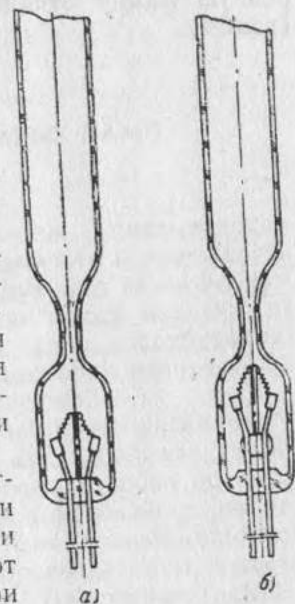


Рис. 11-29. Заваренные сверхминиатюрные лампы.

а — с одной бусинкой; б — с двумя бусинками (увеличено).

пониженная надежность платинитового впаля, имеющего полезную длину всего лишь 0,8—1 мм.

При изготовлении сверхминиатюрных ламп (рис. 11-29) в качестве колбы применяют отрезок штенгельного стекла. Смонтированную бусинковую ножку приваривают к торцу штенгеля на одногнездной заварочной машине. Вакуумно-плотный впаля создают в бусинке. Незадолго перед заваркой внутреннюю поверхность колб обезгаживают прогревом при 300—350° С. Заваренную лампу откачивают через свободный конец штенгеля (колбы).

— ○

### 12-1. ФИЗИКА ОТКАЧКИ ВАКУУМНЫХ ЛАМП

#### а) ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Откачка — важнейшая операция, оказывающая решающее влияние на долговечность и надежность ламп. Неоткачанные лампы содержат воздух при атмосферном давлении. При откачке удаляют основную массу воздуха из объема лампы и значительную часть газов и паров, адсорбированных колбами и внутренними деталями. Некоторая незначительная часть газов и паров не поддается удалению.

Откачкой вакуумных ламп стремятся защитить раскаленное тело накала от действия вредных газов. К вредным в вакуумных

лампах относятся любые остаточные газы, в том числе и инертные, если они содержатся при давлении, превышающем известную норму. Вакуумные лампы, содержащие вредные газы, при включении в электрическую сеть быстро темнеют или перегорают с явлением электрической дуги.

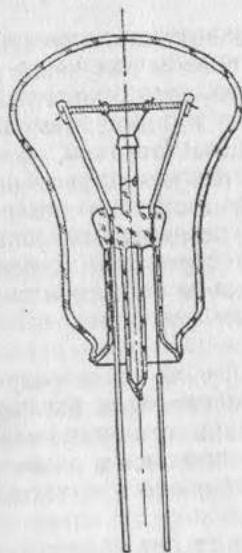


Рис. 12-1. Откачанная лампа с гребешковой ножкой.

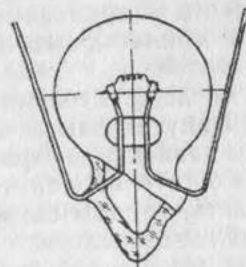


Рис. 12-2. Откачанная лампа с бусинковой ножкой.

Лампы с гребешковой ножкой откачивают через отверстие в ножке (рис. 12-1), а с бусиновой — через горловину колбы (рис. 12-2). Откачку производят через штенгель лампы, присоединенный к вакуумной установке. После завершения откачки штенгель коротко запаивают и лампу снимают с вакуумной установки. Отделившуюся от лампы наружную излишнюю часть штенгеля отбрасывают, а оставшуюся с лампой внутреннюю запаянную часть защищают цоколем.

#### б) ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ И ЧИСТОВАЯ ОТКАЧКИ

Вакуумные (откачные) установки состоят из системы связанных между собой трубопроводов, приборов и устройств, создающих и контролирующих вакуум. Откачку ламп на таких установках производят вакуумными насосами, всасывающими газ из ламп и выбрасывающими его в атмосферу. Так как газ обладает свойством занимать весь предоставленный ему объем, то в насос вместо выбрасываемого газа поступает новый газ из откачиваемых ламп. В результате количество газа в лампах постепенно уменьшается.

Сначала насосами создают в лампах предварительный или начальный (низкий) вакуум, при котором давление понижается от атмосферного до нескольких миллиметров ртутного столба; затем создают более высокий, чистовой вакуум, при котором давление понижается до нескольких сотых долей миллиметра ртутного столба.

Современные вакуумные насосы позволяют получать в лампах и более низкое давление, но, во-первых, получение его значительно удлиняет время откачки, что в условиях массового производства ламп, особенно в связи с применением откачных автоматов, сильно удорожает операцию откачки, во-вторых, более низкое давление и не требуется, так как дальнейшее необходимое улучшение вакуума в лампах достигают без применения насосов, более быстрым путем с помощью газопоглотителей. При откачке миниатюрных ламп стремятся к получению более высокого вакуума, чем при откачке больших ламп, так как вакуум миниатюрных ламп нельзя улучшить с помощью газопоглотителей.

Вообще создать абсолютный вакуум, т. е. такое разрежение, при котором внутри лампы совсем не оставалось бы газов или при котором давление внутри лампы равнялось нулю, невозможно. «Следы» остаточного газа в лампах остаются и их полностью нельзя удалить, какими бы методами современной техники для этой цели ни пользовались.

В лампах, откачанных до  $0,01$  мм рт. ст., содержится приблизительно в  $75\,000$  раз меньше газовых молекул, чем в лампах, совсем не откачанных. Несмотря на такой казалось бы хороший вакуум, число неудаленных из ламп газовых молекул остается

все же очень большим. Например, в лампе  $40$  вт, имеющей колбу объемом  $160$  см<sup>3</sup>, при давлении  $0,01$  мм рт. ст., содержится количество молекул газа, выражающееся числом с 16-ю нулями.

Для нормальной работы вакуумной лампы необходимо, чтобы оставшиеся в лампе молекулы газа перемещались при своем тепловом движении от стенки к стенке, не сталкиваясь друг с другом, т. е. чтобы средняя длина свободного пробега молекул была больше линейных размеров колбы. В лампах такой длины свободного пробега молекул соответствует давление не выше  $0,001$  мм рт. ст. Для доведения давления до еще более низкого значения внутрь ламп вводят газопоглотитель, связывающий при первом зажигании ламп часть остаточных газов и доводящий разрежение до  $10^{-4}$ — $10^{-5}$  мм рт. ст. Такое разрежение вполне достаточно для нормальной работы лампы.

В процессе выкачивания из ламп воздуха меняется процентное содержание газов, входящих в состав остаточного воздуха. Углекислого газа в лампах становится больше, так как он имеет относительно большой молекулярный вес и медленнее диффундирует по направлению к насосу. Паров воды тоже становится больше, так как применяемые для откачки ламп насосы откачивают их хуже, чем другие газы. Инертных газов становится меньше, так как они разбавляются активными газами, выделяющимися из внутриламповых деталей.

#### в) ОБЕЗГАЖИВАНИЕ СТЕКЛА

Для лучшего удаления воздуха из объема лампы и главным образом для ускорения выделения паров воды из стенок колбы процесс откачки ламп сопровождают нагревом. При нагреве адсорбированная стеклом пленка водяного пара разрушается и отделяется от колбы. Выделение паров воды продолжается до тех пор, пока не установится равновесие между поглощенными парами и газами в стекле и остаточными газами в объеме лампы.

Лампы при откачке нагреваются до температуры, не ниже той, какую имеет колба при эксплуатации ламп. наилучшее обезгаживание стекла достигается при нагреве колбы до  $320$ — $350^\circ$  С. При такой температуре с поверхности стекла выделяется большая часть паров воды, и вакуум в лампе получается нормальным. При более низкой температуре происходит неполное удаление паров воды с поверхности стекла, а при более высокой — выделяются не только адсорбированные пары воды, но и пары воды, растворенные в самом стекле, а также газообразные продукты, образующиеся вследствие разложения стекла. Как бы долго ни производился высокотемпературный нагрев и откачка, количество выделяющихся паров и газов не будет убывать, и вакуум в лампе не будет улучшаться. Нагрев до слишком высокой температуры может также вызвать размягчение и смятие колбы, чему содействует превышение внешнего давления

на колбу над внутренним. Наконец, при нагреве до слишком высокой температуры может частично испариться или воспламениться газопоглотитель. По всем этим причинам для ламп в одинаковой мере вредны недогрев и перегрев.

На современных автоматических вакуумных установках откачку ламп с прогревом производят быстрее, чем за одну минуту. Для лучшего обезгаживания стекла в такой короткий срок лампы предварительно обогривают при заварке. Предварительным обогревом сжигают органические соринки, проникшие внутрь лампы, и удаляют с поверхности стекла основную массу адсорбированного водяного пара. Чтобы атмосферные пары воды снова не конденсировались на колбе, горячие лампы откачивают немедленно после заварки. Вакуум в лампах всегда получается лучшим, если лампы откачиваются горячими, сразу после заварки.

Температуру нагрева ламп при откачке можно измерять никель-нихромовой термопарой, спай которой помещают внутри печи. Однако термопара не показывает действительной температуры лампы, потому что показания ее зависят от местоположения спаев. Более удобный метод контроля температуры основан на применении термоиндикаторов в виде красок или солей, резко меняющих свой цвет при воздействии определенных температур. На лампы наносят особыми термокарандашами метки или приклеивают жидким стеклом кристаллы соли и по изменению их цвета судят о температуре. При помощи термоиндикаторов можно отградуировать измерительный прибор, соединенный с термопарой, и тогда проверять температуру термопарой.

## 12-2. ФИЗИКА ОТКАЧКИ И НАПОЛНЕНИЯ ГАЗОНАПОЛНЕННЫХ ЛАМП

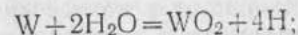
### а) ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Откачка и наполнение газонаполненных ламп — не менее ответственная операция, чем откачка вакуумных ламп. Основная задача ее состоит в том, чтобы создать в лампе плотную газообразную среду, содержащую минимальное количество посторонних и загрязняющих примесей. Только свободная от таких примесей газонаполненная лампа может иметь требуемую долговечность. Для облегчения откачки все внутриламповые детали заблаговременно очищают и обезгаживают прокаливанием в водородных или вакуумных печах.

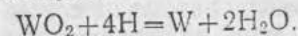
К загрязняющим примесям в газонаполненных лампах относятся прежде всего кислород, пары воды и углекислый газ, которые могут оставаться в лампах из содержавшегося в них атмосферного воздуха, а также водород, окись углерода и углеводороды (пары масла), которые могут проникнуть в лампу во время технологического процесса.

Кислород химически взаимодействует с раскаленным вольфрамом, образуя легко испаряющиеся окислы, которые конденсируются на близлежащих холодных частях лампы. Малое содержание кислорода дает темно-бурый (почти черный) окисел, большое содержание кислорода дает синий окисел, очень большое содержание кислорода дает светло-желтый (почти белый) окисел.

Опасный враг газонаполненной лампы — водяной пар. На холодную вольфрамовую нить он не производит никакого действия, а на раскаленную действует разрушительно. Молекулы воды разлагаются вблизи раскаленной нити на кислород и водород; при этом водород образуется не в виде молекул, а в виде атомов, т. е. в химически очень активной форме. Кислород окисляет вольфрам, образуя окислы, которые отлетают к стенкам колбы, а атомный водород их там восстанавливает до чистого вольфрама. В результате на колбе остаются атомы восстановленного вольфрама, а внутри лампы вновь образуются пары воды. Водяной пар под действием высокой температуры снова разлагается на кислород и атомный водород, кислород окисляет следующие частицы раскаленного вольфрама, а атомный водород их восстанавливает с образованием паров воды и т. д. Описанная реакция образования и разложения воды совершается замкнутыми круговыми циклами и поэтому называется круговой. На поверхности нити она идет в прямом направлении:



а на стенках колбы в обратном:



Таким образом, самые незначительные следы водяного пара, оставленные в лампе, вызывают непрерывный перегор атомов вольфрама с поверхности тела накала на поверхность колбы. В результате кругового процесса поверхность колбы постепенно становится менее прозрачной, а тело накала изнашивается и становится тоньше. Процесс длится в течение всего времени горения лампы до тех пор, пока какое-либо место тела накала, откуда отделилось наибольшее число атомов, не переплавится, т. е. лампа не перегорит. Чем больше давление водяного пара в лампе, тем быстрее переносятся атомы вольфрама на поверхность колбы и, следовательно, тем скорее почернеет и выйдет из строя лампа.

Водяной пар оказывает вредное действие в особенности на лампы с тонкой вольфрамовой нитью, у которых дефекты поверхности нити велики по сравнению с размером ее диаметра. Наиболее дефектные участки подвергаются наиболее быстрому износу.

Действие водорода в лампе при наличии связанного кислорода почти совпадает с действием паров воды. Молекулы водо-

рода под влиянием высокой температуры нити диссоциируют на атомы и восстанавливают в лампе окислы металлов с образованием паров воды. Поэтому наличие водорода может вывести лампу из строя так же, как наличие паров воды. Детали ламп, подвергшиеся водородному отжигу (особенно никелевые), всегда содержат абсорбированный водород. Если они нагреты и сколько-нибудь окислены, то молекулы водорода, выделяясь при горении лампы, восстанавливают окислы и превращаются в молекулы водяного пара. При отсутствии в лампе кислорода водород не вызывает химического распыления вольфрама, но его высокая теплопроводность и диссоциация его молекул на атомы вызывают дополнительные тепловые потери в лампе и уменьшение ее световой отдачи.

Вредное действие углеродсодержащих газов вызывается их разложением под влиянием высокой температуры с образованием свободного углерода. Последний реагирует с раскаленным вольфрамом и образует карбид, сообщаящий спирали хрупкость и склонность к короблению (подробнее см. стр. 565). Особенно опасен для ламп метан, начинающий диссоциировать на углерод и водород уже при 300° С.

## 6) ОТКАЧКА И ПРОМЫВКА ЛАМП

Давление каждого компонента газовой смеси на стенки сосуда, если бы он один находился в этом сосуде, называют парциальным. В газонаполненных лампах парциальное давление вредных газов должно быть более низким, чем давление остаточных газов в вакуумных лампах. Если в вакуумных лампах удаление остаточных газов завершают газопоглотителями, то в газонаполненных — газопоглотители в отсутствие электрического разряда не оказывают такого эффективного действия, как в вакуумных, и поэтому вредные газы из них приходится тщательно удалять в процессе самой откачки.

Сначала лампы подвергают весьма кратковременной откачке, при которой не стремятся получить такой же хороший вакуум, как в вакуумных лампах. Несколько миллиметров и даже несколько десятков миллиметров ртутного столба считается для газонаполненных ламп вполне достаточным начальным давлением.

После того, как достигнуто такое давление, газонаполненные лампы более тщательно освобождают от вредных газов промывкой. Эта операция состоит в том, что лампы после откачки наполняют очищенным азотом, а затем откачивают азот, потом снова наполняют очищенным азотом и снова откачивают. Так поступают несколько раз, пока парциальное давление вредных газов будет доведено до такого значения, при котором они большого вреда уже принести не смогут. При каждом наполнении ламп промывочным газом остаточные вредные газы смешиваются с ним и вместе удаляются из лампы при последующей откачке.

Парциальное давление вредных газов в лампе после нескольких промывок можно определить по уравнению

$$P = P_0 \left( \frac{P_1}{P_2} \right)^n, \quad (12-1)$$

где  $P$  — парциальное давление вредных газов в лампе после последней промывки;

$P_0$  — давление в лампе перед первой промывкой;

$P_1$  — давление в лампе после откачки промывочного газа;

$P_2$  — давление в лампе после наполнения промывочным газом;

$n$  — число промывок.

Так как  $P_1/P_2 < 1$ , то из приведенного уравнения вытекает, что на уменьшение парциального давления вредных газов особенно влияет рост показателя степени  $n$ , т. е. увеличение числа промывок. Многократной промывкой можно создать в лампе такое низкое давление вредных газов, какого нельзя достигнуть никакими совершенными насосами. На практике обычно придерживаются следующих значений:  $P_0$  — от 0,05 до 0,15 мм рт. ст.;  $P_1$  — от 1 до 5 мм рт. ст.;  $P_2$  — от 100 до 200 мм рт. ст.;  $n$  — от 4 до 8. Если  $P_1$  превышает 15—20 мм рт. ст., то  $P_2$  устанавливают 350—450 мм рт. ст.

Уравнение (12-1) действительно только при условии, что промывочный газ достаточно чист и лампы во время промывок не натекают. При наличии в откачной установке неплотных соединений парциальное давление вредных газов повышается за счет поступления газов извне, особенно если натекание происходит во время последних одной-двух промывок.

В качестве промывочного газа применяют азот, потому что он значительно дешевле аргона, и его остаточное давление в лампах после последней откачки не оказывает влияния на качество ламп.

Промывкой удаляют вредные пары и газы, преимущественно из объема лампы, а для удаления паров и газов, поглощенных внутренней поверхностью колбы, прибегают к такому же методу обезгаживания, как в вакуумных лампах, т. е. к прогреву во время заварки и откачки. В качестве промывочного газа на первых двух-трех позициях иногда применяют вместо азота сухой атмосферный воздух. Его вводят в лампы через сосуды со щелочью и фосфорным ангидридом непосредственно из окружающей атмосферы. Промывка горячей лампы сухим воздухом содействует окислению органических пылевидных частиц и превращению их в легко откачиваемые газообразные соединения. Сухой воздух окисляет также некоторую часть фосфорного газопоглотителя, превращая его в сухой фосфорный ангидрид, хорошо поглощающий пары воды.

## в) НАПОЛНЕНИЕ ЛАМП

Чтобы наполняющий лампу газ химически не взаимодействовал с раскаленным вольфрамом, применяют для наполнения ламп не всякий газ, а только инертный. Чтобы наполняющий лампу газ замедлял испарение вольфрама, позволял работать телу накала до наибольшей потери в весе и вызывал наименьшие тепловые потери, применяют для наполнения ламп не всякий инертный газ, а как можно более тяжелый, с большим молекулярным весом. Чтобы наполняющий лампу газ не вызывал пробоя между электродами, применяют для наполнения ламп не в отдельности тяжелый газ, а разбавленный другим более легким газом. Руководствуясь приведенными соображениями, лампы наполняют сухим аргоном, криптоном или ксеноном, разбавленными различным количеством азота.

Так как малый молекулярный вес и относительно хорошая теплопроводность азота отрицательно влияют на световую отдачу ламп, то стремятся вводить в лампы возможно меньше азота, но в количестве, достаточном для предотвращения электрической дуги.

От выбора состава наполняющего газа зависят основные параметры ламп. Нормальные осветительные лампы наполняют смесью 86% аргона и 14% азота. Маломощные нормальные осветительные лампы на 40—100 *вт* наряду с наполненным аргоном-азотной смесью наполняют смесью 86% криптона и 14% азота. Специальные лампы с целью лучшего использования преимуществ аргона и криптона и с целью предотвращения возникновения электрической дуги наполняют газом, разбавленным азотом приблизительно в следующем количестве:

Номинальное напряжение ламп, в	Содержание азота, %
<8	0—0,3
8—16	1,5—2,5
16—32	6—10
>32	12—16

Мощные проекционные лампы, имеющие малое расстояние между секциями спирали и высокую температуру в междуэлектродном пространстве, наполняют чистым азотом. С увеличением мощности ламп уменьшается влияние природы наполняющего газа на световые параметры ламп.

Лампы подавляющего большинства типов наполняют до абсолютного давления, близкого к атмосферному, но не менее 600 *мм рт. ст.* при комнатной температуре. Если учесть, что средняя температура газа, устанавливающаяся при работе нормальных осветительных ламп, составляет 420—440° К, то при зажигании ламп абсолютное давление в них повысится примерно до 860—900 *мм рт. ст.* С повышением давления газового наполнения незначительно возрастают тепловые потери, но одновременно значительно уменьшается скорость испарения вольфра-

рама. Таблица 12-1 показывает, как приблизительно влияет давление газа на среднюю продолжительность горения ламп при неизменной световой отдаче (за 100% принята продолжительность горения ламп при давлении 600 *мм рт. ст.*). Чем ниже давление газового наполнения, тем сильнее оно влияет на долговечность

Таблица 12-1

Средняя продолжительность горения ламп в зависимости от давления в них газа при комнатной температуре

Давление, мм рт. ст.	Продолжительность горения, % номинальной	Давление, мм рт. ст.	Продолжительность горения, % номинальной
200	50	800	117
300	65	900	124
400	78	1 000	130
500	90	1 100	135
600	100	1 200	140
700	109		

ламп. Поэтому всегда стремятся к наполнению ламп до наибольшего давления и во всяком случае не ниже 600 *мм рт. ст.* для холодных ламп. С увеличением мощности ламп возрастает влияние давления газа на продолжительность горения ламп.

Увеличение давления газа допускает более напряженный тепловой режим тела накала и соответственно позволяет несколько увеличить световую отдачу ламп без уменьшения их срока службы или, наоборот, увеличить срок службы ламп без уменьшения их световойдачи. Однако слишком большое увеличение внутреннего давления ограничивается технологическими трудностями, связанными с тем, что при отпайке ламп, наполненных газом до давления выше атмосферного, разряженные стенки штенгеля не сплющиваются, а раздуваются и разрываются.

Для наполнения ламп газом до давления, превышающего атмосферное, предложено много способов. Большинство их основано на отпайке ламп электрическим нагревателем, помещаемым вместе со штенгелем в закрытый объем откачной установки, в котором поддерживается повышенное давление. Эти способы усложняют и удорожают технологию откачки и поэтому в массовом производстве не получили большого распространения.

Увеличение давления наполняющего газа выше атмосферного сопряжено с риском разрыва колбы. Чем крупнее лампа и чем тоньше стенки ее колбы, тем опаснее большее внутреннее давление внутри лампы. Такие лампы при возникновении трещины в стекле разлетаются на куски со взрывом. Наполнение газом до давления выше атмосферного требует особенно осторожного подхода в лампах, работающих в напряженном тепловом и электрическом режиме.

Давление наполняющего газа зависит от температуры лампы во время наполнения. Чтобы лампы имели давление, близкое к атмосферному, наружную поверхность их перед наполнением интенсивно охлаждают воздухом так, чтобы ко времени наполнения они были едва теплыми на ощупь.

Если лампы хорошо обезгажены при заварке и откачиваются немедленно после заварки, то нагрев ламп на откачном автомате производят лишь на первых откачных позициях. В этом случае все позиции промывки снабжают усиленным воздушным дутьем, позволяющим наполнять лампы газом до давления, близкого к атмосферному.)

Таблица 12-2

Международная стандартная атмосфера

Высота над уровнем моря, м	Давление, мм рт. ст.	Температура, °С
0	760	15
500	715,9	11,75
1 000	674,1	8,5
1 500	634,2	5,25
2 000	596,2	2

На электроламповых заводах, расположенных в высокогорных местностях, необходимо с особой тщательностью охлаждать лампы перед наполнением, так как низкое атмосферное давление в этих местностях затрудняет наполнение ламп газом до требуемого давления. В табл. 12-2 приведена зависимость между атмосферным давлением и высотой над уровнем моря. Таблица составлена в предположении, что давление на уровне моря при 15°С составляет 760 мм рт. ст. и падение температуры с высотой равно 6,5 град на 1 000 м.

Лампы откачивают, промывают и наполняют на одних и тех же откачных автоматах методом выравнивания давлений. Переключение ламп с откачки на промывку и с промывки на наполнение осуществляют золотником — особым узлом, автоматически распределяющим потоки газа по различным каналам.)

### 12-3. ВАКУУМНЫЕ НАСОСЫ

#### а) ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Вакуумными насосами называют устройства, откачивающие газ из закрытых сосудов с целью создания вакуума.

Наибольшее распространение получили вакуумные насосы двух систем: 1) механические вращательные насосы, действующие путем механического выталкивания газа движущимися частями насоса и 2) пароструйные насосы, действующие путем

увлечения удаляемого газа непрерывной струей пара. Первые создают более низкий вакуум, чем вторые. В массовом производстве ламп накаливания применяют преимущественно насосы первой системы, обеспечивающие получение требуемого разрежения (0,02—0,03 мм рт. ст.).

Механические вращательные насосы состоят из неподвижного корпуса (статора), эксцентрично вращающейся внутри него рабочей части (ротора) и разделительных пластин, помещенных в теле ротора или статора. Эти детали образуют в насосе изолированные друг от друга камеры переменных объемов, непрерывно меняющихся при вращении ротора. Газ из откачиваемого сосуда засасывается через впускной патрубок в одну из камер до тех пор, пока эта камера в момент своего наибольшего объема не разъединится с впускным патрубком. Далее объем этой камеры уменьшается, и содержащийся в нем газ сжимается до давления, превышающего атмосферное на величину, достаточную для открытия выпускного патрубка.

Внутрь насоса вводят минеральное масло для смазки, охлаждения и уплотнения соединений. Масло уменьшает износ трущихся деталей, отводит тепло, выделяемое при трении деталей и сжатии откачиваемых газов, и препятствует просачиванию газов в камеры насоса.

Вакуумные насосы характеризуются следующими основными параметрами: 1) начальным разрежением, которое нужно предварительно создать в откачиваемом сосуде для нормальной работы насоса или наибольшим допустимым давлением во впускном патрубке; 2) давлением в пространстве, куда насос выбрасывает газ или наибольшим допустимым давлением в выпускном патрубке; 3) предельным давлением, которое насос способен создать при работе «на себя», или наименьшим давлением во впускном патрубке, закрытом заглушкой; 4) быстротой действия или числом литров газа, которое насос может выкачать в единицу времени при давлении, с которым газ поступает в насос.

Наибольшие впускное и выпускное давления зависят от конструкции насоса. По этим параметрам вакуумные насосы иногда разделяют на насосы начального или предварительного вакуума и насосы чистового вакуума. Насосы предварительного вакуума начинают откачивать с атмосферного давления и выбрасывают откачиваемый газ непосредственно в атмосферу, а насосы чистового вакуума начинают работать с давления ниже атмосферного и выбрасывают откачиваемый газ в резервуар, в котором поддерживают давление ниже атмосферного. Один и тот же насос часто заставляют работать для откачки, начиная с атмосферного давления, и одновременно для создания предварительного разрежения насосам более высокого вакуума.

Насосы предварительного вакуума снабжают самодействующим выпускным клапаном, пропускающим газ из насоса и



не впускающим его в обратном направлении в насос. В большинстве случаев клапан состоит из стального шарика и пружины, помещенных за выходным отверстием выпускной камеры ниже уровня масла в насосе. Воздух барботирует через масло и выходит через погруженный в масло клапан лишь тогда, когда давление в выпускной камере превысит вес шарика, давление столба масла над шариком, давление пружины и атмосферное давление. После того как воздух из насоса выброшен наружу, шарик плотно прижимается собственным весом, давлением пружины и масла и атмосферным давлением к стенкам отверстия и препятствует проникновению внешнего воздуха внутрь насоса. Колебания шарика при быстром вращении ротора вызывают характерный стук насоса.

Насосы чистового вакуума не имеют клапана. Они могут работать лишь при условии, что их впускное и выпускное давление не превышают установленного максимума.

Любой насос может выкачивать газ из закрытого сосуда только до определенного разрежения. С течением времени количество газа, выкачиваемого из сосуда, становится равным количеству газа, поступающего обратно в сосуд, в результате чего в нем устанавливается постоянное давление, хотя насос продолжает работать. Это постоянное давление называют предельным вакуумом данного насоса. Его можно определить при работе насоса без нагрузки путем присоединения манометра непосредственно к впускному патрубку насоса. Предельный вакуум насоса зависит от упругости пара и количества залитого в насос масла, выделения газа с его внутренних стенок, скорости натекания внешнего воздуха через неплотности и размеров так называемого вредного пространства насоса, из которого газ не вытесняется.

Быстрота действия насоса зависит от скорости вращения ротора, которая в свою очередь устанавливается заводом-изготовителем в зависимости от выбранной конструкции насоса. При числе оборотов ротора в минуту выше номинального повышается быстрота действия, но вследствие перегрева и усиленного испарения масла, а также нарушения возросшими силами инерции нормальных уплотнений между внутренними деталями насоса ухудшается предельный вакуум. При числе оборотов ротора в минуту ниже номинального улучшается предельный вакуум, но одновременно уменьшается быстрота действия насоса. При каждом обороте ротора объем выкачиваемого газа остается неизменным и равным объему всасывающей камеры, а масса откачиваемого газа постепенно уменьшается и становится равной нулю при достижении насосом предельного вакуума.

С целью повышения быстроты действия иногда прибегают к параллельному соединению насосов; предельный вакуум при таком соединении остается таким же, как при откачке одним

насосом. С целью улучшения предельного вакуума прибегают к последовательному соединению насосов; быстрота действия при таком соединении остается такой же, как при откачке одним насосом.

Вместо последовательного соединения двух насосов часто применяют двухступенные насосы, создающие перепад давления действием двух рабочих ступеней. В таких насосах вторая ступень разрежения создает предварительный вакуум для первой ступени.

Чтобы установкой большого числа малых насосов не загромождать возле откачного автомата производственной площади, применяют многокамерные насосы. Такие насосные агрегаты состоят из 3—12 независимых друг от друга насосов, помещенных в прямоугольный чугунный бак с маслом и снабженных общим приводом от одного электродвигателя. Насосы, помещенные в один бак, соединяют для параллельной или последовательной работы, или используют как самостоятельные насосы.

Для выкачивания значительных масс воздуха из больших объемов и для создания предварительного разрежения в откачиваемых лампах применяют центральную или местную систему предварительного вакуума. При центральной системе создают вакуум в магистрали, проходящей по цехам завода. К магистрали через разводки труб присоединяют откачные установки. При такой системе предварительный вакуум одинаков на всех откачных установках, соединенных с магистралью. При местной системе предварительного вакуума каждую откачную установку снабжают отдельным вакуумным насосом, создающим предварительный вакуум в данной установке. Центральная и местная системы имеют свои недостатки и достоинства. Система центрального вакуума требует применения одного или нескольких мощных вакуумных насосов и поэтому более удобна в обслуживании и дешева в эксплуатации. Система местного вакуума требует применения большого числа малых вакуумных насосов и поэтому более дорога в эксплуатации. Насосы центрального вакуума способны откачивать в единицу времени много воздуха, т. е. обладают большой быстротой действия, но создаваемый ими предельный вакуум низок (1—10 мм рт. ст.) и отличается непостоянством. Насосы местного вакуума за такой же период времени откачивают мало воздуха, но создаваемый ими предельный вакуум более высок (0,1—0,05 мм рт. ст.) и отличается постоянством. При системе центрального вакуума случайное повышение давления в общей магистрали ухудшает откачку одновременно на всех откачных установках; при системе местного вакуума ухудшение откачки на одной откачной установке не влияет на работу других. При системе центрального вакуума отсутствует утомляющий шум, которым сопровождается работа насосов местного вакуума. Насосы местного

## Параметры вращательных

Тип насоса	Обозначение типа	Число рабочих камер	Число ступеней откачки	Требуемое предварительное разрежение, мм рт. ст.	Предельный вакуум, создаваемый каждой камерой, мм рт. ст.	Размеры, мм			Вес без масла, кг
						Длина	Ширина	Высота	
Золотниковый . .	ВН-1	1	2	760	$5 \cdot 10^{-3}$	905	620	600	265
То же . . . . .	ВН-2	1	2	760	$3 \cdot 10^{-3}$	685	555	480	140
Пластинчатостаторный . . . . .	РВН-20	1	2	760	$1 \cdot 10^{-3}$	620	330	445	86
То же . . . . .	ВН-461	1	2	760	$1 \cdot 10^{-3}$	670	294	415	65
Пластинчатороторный . . . . .	ММЗ	3	1	10	$8 \cdot 10^{-3}$	750	450	410	110
То же . . . . .	ИО75.003	10	1	760	$5 \cdot 10^{-3}$	910	680	455	250

вакуума выбрасывают вместе с выкачиваемым воздухом масляный туман, осаждающийся тонким слоем на всех предметах.

Некоторые заводы оборудуют три независимые системы центрального вакуума: одну давлением не более 10 мм рт. ст. для откачки воздуха на первых позициях откачных автоматов и для привода вакуумных присосов на монтажных и заварочных автоматах; вторую давлением около 1 мм рт. ст. для создания предварительного вакуума насосам, обслуживающим последние позиции откачных автоматов; третью давлением около 5 мм рт. ст. для откачки азота на промывочных позициях.

Для центральной вакуумной сети обычно применяют поршневые насосы с возвратно-поступательным движением поршня или многопластинчатые вращательные насосы. Устройство таких насосов аналогично описанному на стр. 108 устройству компрессоров и газодувок, с той лишь разницей, что воздух из них не нагнетается в трубы, а выбрасывается в атмосферу. Наличие у них значительных зазоров между движущимися частями при отсутствии масляного уплотнения, приводит к понижению создаваемого ими вакуума, но зато большое число оборотов ротора позволяет увеличить их быстроту действия. Такие насосы производят пульсирующую откачку, поэтому их впускной трубопровод для устранения колебаний давления в сети присоединяют к буферному резервуару, аналогичному ресиверу для сжатого воздуха.

Все вращательные масляные насосы отличаются одним общим недостатком, заключающимся в неспособности их откачивать пары воды и пары масла. В процессе сжатия в выпускной камере насоса пары воды конденсируются и, смешиваясь с маслом, образуют эмульсию. Между давлением паров воды в насосе и паров воды в откачиваемых лампах устанавливается подвижное равновесие, препятствующее выкачиванию их из ламп. По этой же причине пары масла выкачиваются из ламп

## вакуумных насосов

Быстрота действия каждой камеры, л/мин	Скорость вращения ротора, об/мин	Потребное количество масла, л	Мощность привода двигателя, кВт	Размеры, мм			Вес без масла, кг
				Длина	Ширина	Высота	
1 100	500	3,8	2,8	905	620	600	265
430	525	2,0	1,7	685	555	480	140
200	425	0,8	0,5	620	330	445	86
50	540	2,3	0,6	670	294	415	65
110	450	32	0,52	750	450	410	110
115	500	10	1,1	910	680	455	250

только до давления, равного упругости паров масла в насосе.

Вращательные масляные насосы по конструкции разделяются на: 1) пластинчато-роторные, в которых всасывающая сторона отделяется от выбрасывающей пластинами, скользящими в теле ротора; 2) пластинчато-статорные, в которых всасывающая сторона отделяется от выбрасывающей пластинами, скользящими в теле статора и 3) золотниковые, в которых всасывающая сторона отделяется от выбрасывающей особым золотником. В табл. 12-3 приведены технические параметры этих насосов.

Для различных откачных установок выбирают те или иные типы насосов в зависимости от величины давления, которое нужно создать в лампах, размеров ламп, пропускной способности вакуум-проводов и требуемой производительности. Небольшие насосы устанавливают прямо на полу без закрепления, подкладывая под них лист резины для уменьшения шума, а большие устанавливают на фундаменте.

## 6) ПЛАСТИНЧАТО-РОТОРНЫЕ НАСОСЫ

Пластинчато-роторный насос (рис. 12-3) представляет собой чугунное кольцо 5 (статор), закрытое с двух сторон плоскими чугунными стенками. Внутри статора вращается цилиндрический барабан 2 (ротор), ось которого проходит через одну из боковых стенок статора с некоторым смещением от оси цилиндрической расточки статора. Узкая полоса поверхности вращающегося ротора постоянно плотно обкатывает поверхность статора по выточке 3. Место касания непрерывно перемещается по поверхности ротора. В статоре имеются два отверстия 11 и 12. К отверстию 11 присоединена всасывающая (впускная) трубка 1, а к отверстию 12 — выбрасывающая (выпускная) камера 8. Ротор рассечен в центральной части по диа-

метру сквозной прорезью, в которой размещены две закаленные и отшлифованные пластины 4, плотно прижимающиеся центробежной силой и спиральными стальными пружинами 10 к внутренней поверхности статора. При вращении ротора в направлении, указанном стрелкой, пластины свободно скользят в прорезях и разделяют пространство внутри статора на три изолированные друг от друга полости переменной объема— впуска, переноса и выпуска.

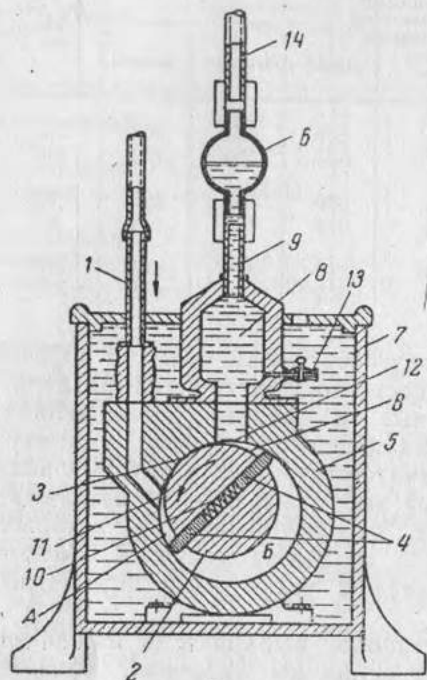


Рис. 12-3. Пластинчато-роторный насос.

1 — приемник; 2 — ротор; 3 — место касания ротора со статором; 4 — разделительные пластины; 5 — статор; 6 — маслоуловительный шар; 7 — чугунная коробка с маслом; 8 — выпускная камера; 9 — выпускной патрубок; 10 — пружины; 11 — впускное отверстие; 12 — выпускное отверстие; 13 — кран для наполнения выпускной камеры маслом; 14 — вакуумная резиновая трубка.

средственно в атмосферу; в противном случае для нормальной работы насоса должен быть создан посторонним источником разрежения предварительный вакуум в выбрасывающей камере 8.

Пластинчато-роторные насосы изготавливают одно- и двухступенными. В двухступенных — цилиндр статора разделен перегородкой на две полости, в каждой из которых вращается ротор с пластинами. Выпускное отверстие первой ступени соединено каналом в теле статора с впускным отверстием второй ступени, а выпускное отверстие второй ступени обычно снабже-

но клапаном и залито маслом. Таким образом, первая ступень служит насосом чистового вакуума, а вторая создает для первой предварительный вакуум, выбрасывая газ в атмосферу. Чтобы исключить возможность натекания атмосферного воздуха через неплотности сальникового уплотнения у выхода приводного вала из корпуса, насос помещают в чугунную коробку

но клапаном и залито маслом. Таким образом, первая ступень служит насосом чистового вакуума, а вторая создает для первой предварительный вакуум, выбрасывая газ в атмосферу.

Чтобы исключить возможность натекания атмосферного воздуха через неплотности сальникового уплотнения у выхода приводного вала из корпуса, насос помещают в чугунную коробку

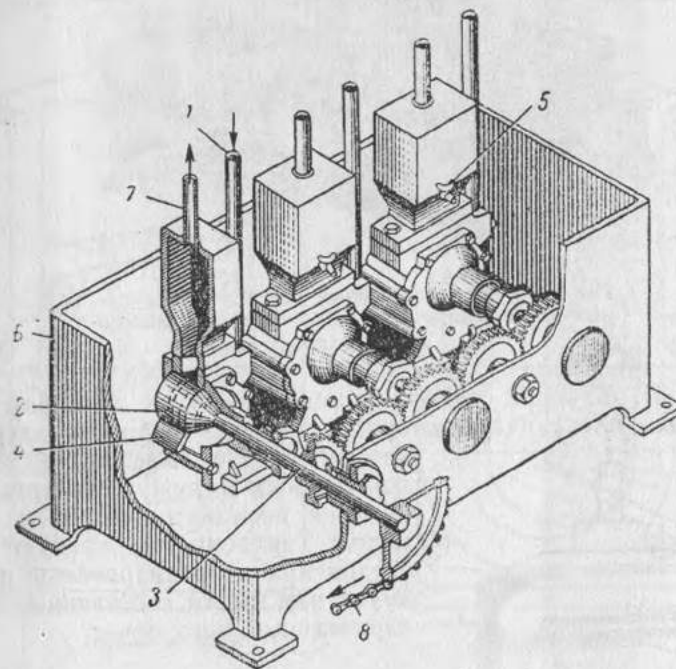


Рис. 12-4. Тройной пластинчато-роторный насос ММЗ.

1 — впускной патрубок; 2 — ротор; 3 — приводной вал; 4 — разделительная пластина; 5 — кран для наполнения выпускной камеры маслом; 6 — чугунная коробка с маслом; 7 — выпускной патрубок; 8 — цепь к электродвигателю.

с маслом и закрепляют ко дну коробки болтами; при этом масло заливают до уровня немного выше выпускного клапана (если он имеется), и оно выполняет в этом случае роль смазывающей, уплотняющей и дополнительно охлаждающей жидкости.

Как указано было выше, иногда для экономии места, материалов и электроэнергии в одну коробку помещают несколько насосов, связанных между собой зубчатым или цепным приводом от электродвигателя (рис. 12-4). Коробку заливают маслом и плотно закрывают крышкой для предохранения масла от загрязнения.

На автоматах откачки вакуумных ламп успешно применяют вакуумные насосы, состоящие из 10 откачных секций пластинчато-роторного типа, работающих от одного электродвигателя

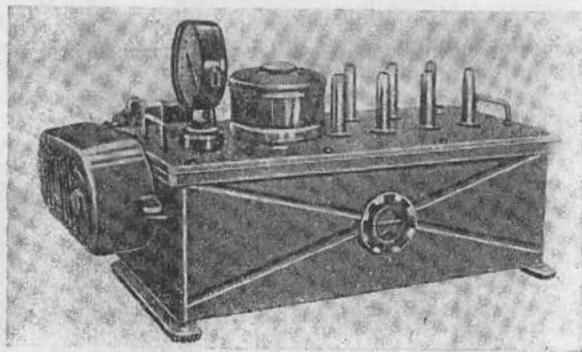


Рис. 12-5. Десятикамерный пластинчато-роторный насос с двумя камерами предварительного разрежения.

(рис. 12-5). Каждая секция принципиально не отличается от описанного пластинчато-роторного насоса. Впускные патрубки каждой секции выведены из чугунной коробки наружу для присоединения к позициям откачных автоматов. Такие насосы требуют присоединения к предварительному вакууму или имеют собственный предварительный вакуум.

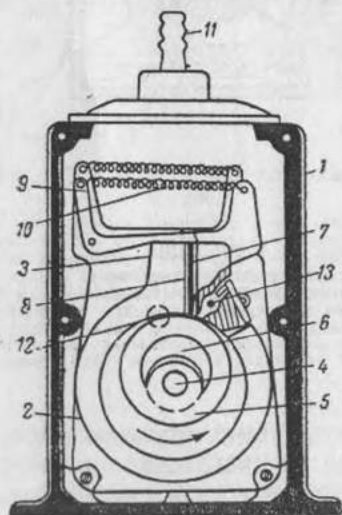


Рис. 12-6. Пластинчато-статорный насос.

1 — корпус; 2 — статор; 3 — прилив статора; 4 — ось; 5 — ротор; 6 — шьемка в роторе; 7 — стальная пластина; 8 — щель; 9 — рычаг пластины; 10 — пружины; 11 — впускной патрубок; 12 — впускное отверстие; 13 — шариковый клапан.

#### в) ПЛАСТИНЧАТО-СТАТОРНЫЕ НАСОСЫ

Пластинчато-статорный насос (рис. 12-6) состоит из статора 2, помещенного внутрь залитого маслом кожуха 1, и ротора 5, вращающегося внутри статора. Ось вращения ротора совпадает с осью статора, а геометрическая ось ротора смещена от оси статора. В теле ротора выточена полость 6 для облегчения его веса и перемещения центра тяжести на ось вращения. Ротор, вращаясь, скользит по статору, и место его касания непрерывно перемещается по внутренней поверхности статора.

Для достижения более плотного прилегания ротора к статору часть цилиндрической поверхности ротора на дуге длиной 1,5—2 см обработана по радиусу внутренней расточки статора. На участке между впускным и выпускным отверстиями насоса в прорези специального прилива 3 статора размещена пласти-

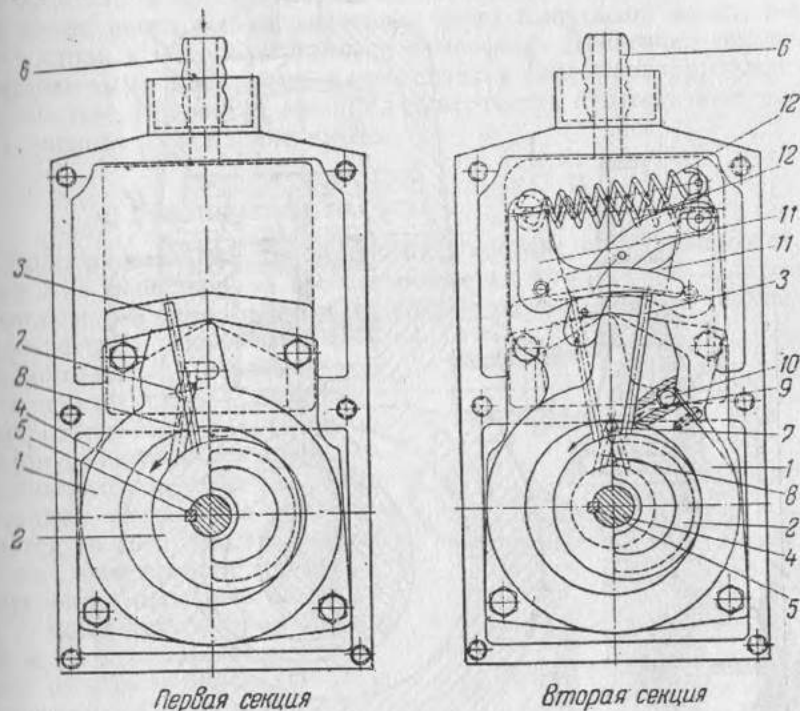


Рис. 12-7. Двухступенный пластинчато-статорный насос ВН-461.

1 — статор; 2 — ротор; 3 — разделительная пластина; 4 — вал; 5 — шпонка ротора; 6 — впускной патрубок; 7 — впускное отверстие; 8 — впускной канал; 9 — выпускное отверстие в атмосферу; 10 — шариковый клапан; 11 — рычаги, прижимающие разделительные пластины; 12 — пружины, прижимающие рычаги.

на 7, которая делит пространство между статором и ротором на две полости: впускную и выпускную. Пластина плотно прижимается к ротору угловым рычагом 9, натянутым спиральной пружиной 10.

При вращении ротора по направлению, указанному стрелкой, происходит сначала засасывание газа из патрубка 11 через отверстие 12, затем расширение газа в впускной полости, далее сжатие его в выпускной полости и, наконец, выталкивание его через шариковый клапан 13 в атмосферу.

Для повышения предельного вакуума пластинчато-статорные насосы изготовляют двойного действия. Такие двухступенные насосы типа ВН-461 (рис. 12-7) снабжены двумя роторами,

вращающимися на общем валу. Газ через впускной патрубок поступает во всасывающую камеру первой ступени, затем переходит во вторую ступень, а оттуда через выпускной клапан вы-

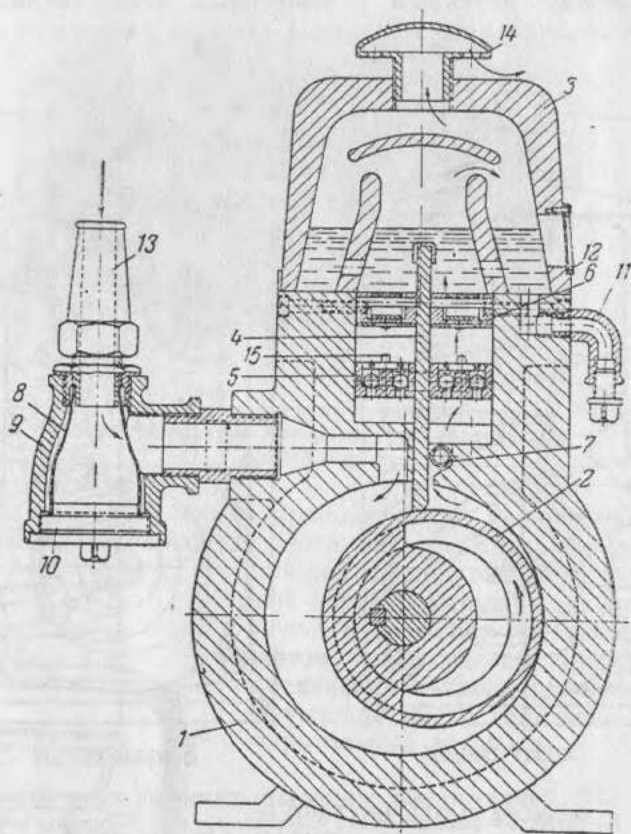


Рис. 12-8. Пластинчато-статорный насос РВН-20.

1 — статор; 2 — ротор; 3 — масляная камера; 4 — разделительная пластинка; 5 — поршень второй ступени с шариковыми клапанами; 6 — пластинчатые выпускные клапаны второй ступени; 7 — подвижная выбрасывающая трубка; 8 — сетчатый фильтр; 9 — грязеуловитель; 10 — пробка для прочистки грязеуловителя; 11 — патрубок для слива масла; 12 — маслостерное окно; 13 — впускной патрубок; 14 — выпускной колок; 15 — стержни, открывающие пластинчатый клапан.

брасывается в атмосферу. Камера сжатия первой ступени выбрасывает откачиваемый газ в то время, когда камера расширения второй ступени производит всасывание.

Пластинчато-статорный насос РВН-20 (рис. 12-8) тоже может быть отнесен к числу двухступенных насосов. Вторая ступень его выполнена в виде поршневого насоса. Разделительная пластина, скользящая в теле статора, снабжена четырехуголь-

ним поршнем, имеющим четыре ряда отверстий с шариковыми клапанами. Поршень вместе с пластиной совершает возвратно-поступательное движение в своей камере. При движении вверх поршень засасывает газ из полости сжатия в пространство под поршнем, затем при движении вниз нагнетает его через шариковые клапаны в пространство над поршнем и далее при движении снова вверх выбрасывает газ через выпускной пластинчатый клапан и масляную ванну в атмосферу. Действием поршня с шариковыми клапанами насос создает себе предварительное разрежение. Ребристая внешняя поверхность статора облегчает естественное охлаждение насоса.

### г) ЗОЛОТНИКОВЫЕ НАСОСЫ

Золотниковые насосы (рис. 12-9) состоят из чугунного статора 1 и эксцентрично вращающегося в нем ротора 2. Ротор заключен в обойму 3, переходящую сверху в поршень 4. Поршень имеет форму открытой сверху прямоугольной коробки со сквозной щелью 5. При вращении ротора обойма катится по статору, плотно касаясь его внутренней поверхности. Место касания непрерывно перемещается по поверхности обоймы и по поверхности статора. Внутреннее пространство насоса разделяется ротором и поршнем на две полости переменного объема — впускную А и выпускную Б.

Ротор сообщает поршню возвратно-поступательное движение вверх и вниз и качательное движение в обе стороны. Одновременно с перемещением поршня поворачивается золотник 6, позволяя тем самым поршню качаться влево и вправо.

Газ поступает через всасывающее отверстие 7 в камеру 8 и оттуда в поршень. Когда при движении поршня сверху вниз щель его доходит до пространства, образуемого между обоймой и внутренней поверхностью статора, газ из поршня поступает в это пространство. В нижнем положении ротора щель в поршне полностью открывается, и газ свободно заполняет весь объем полости А. При дальнейшем перемещении ротора

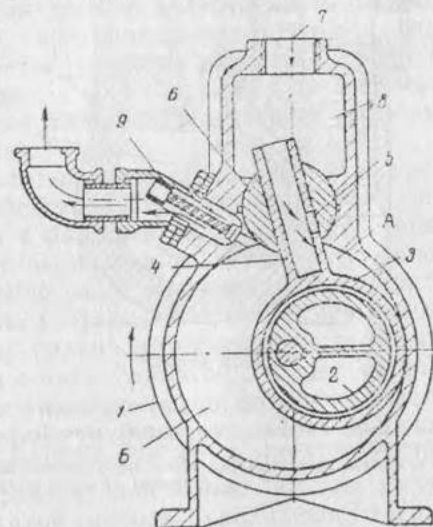


Рис. 12-9. Золотниковый насос.

1 — статор; 2 — ротор; 3 — обойма; 4 — поршень; 5 — отверстие в поршне; 6 — золотник (вкладыш); 7 — впускное отверстие; 8 — впускная камера; 9 — выпускной клапан.

поршень движется снизу вверх, и щель в поршне постепенно перекрывается. Объем полости А увеличивается, но поступление в него газа из поршня уменьшается, пока щель не закроется. В этом положении газ полностью запирается в полости А. Одновременно с заполнением полости А ранее заполненная газом

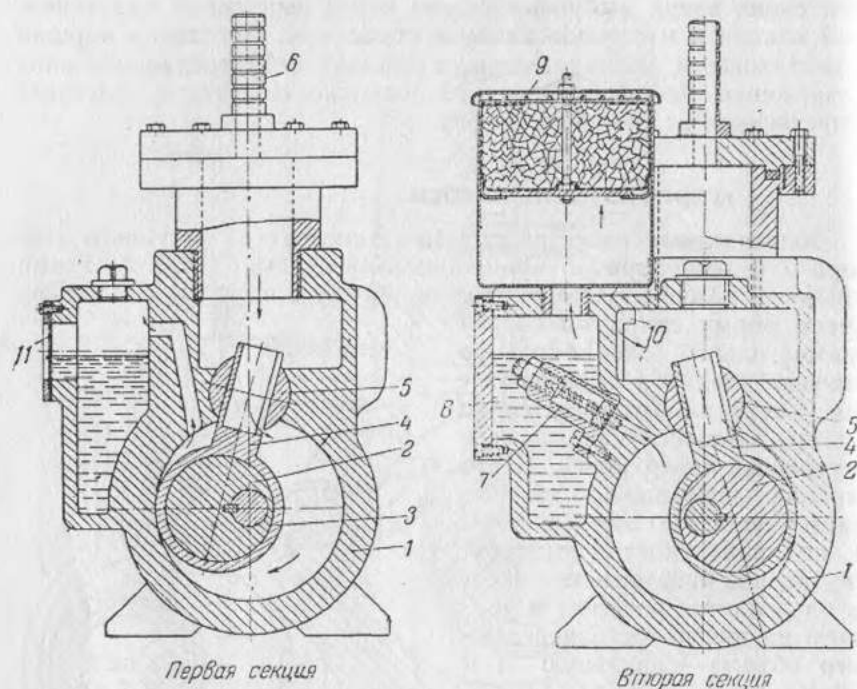


Рис. 12-10. Двухступенный золотниковый насос ВН-2.

1 — статор; 2 — ротор; 3 — обойма ротора; 4 — поршень; 5 — золотник (вкладыш); 6 — впускной патрубок; 7 — выпускной клапан; 8 — масляная камера; 9 — маслоуловитель; 10 — канал, соединяющий выпускную камеру первой ступени с впускной камерой второй ступени; 11 — указатель уровня масла.

полость В постепенно уменьшается, и содержащийся в ней газ сжимается и выталкивается через выпускной клапан 9 наружу.

В производстве ламп применяют золотниковые насосы типов ВН-1 и ВН-2. Они имеют одинаковое устройство и отличаются друг от друга только размерами и быстротой действия. Оба насоса — двухступенные. Вторая ступень создает предварительный вакуум для первой (рис. 12-10).

Золотниковые насосы принадлежат к числу наиболее производительных быстродействующих вакуумных насосов, способных откачивать большие объемы газа. Высокая производительность позволяет создавать насосом ВН-1 центральный вакуум одновременно для нескольких линий сборки ламп.

#### А) УХОД ЗА НАСОСАМИ

Успешная работа вращательных насосов требует соблюдения ряда условий: 1) разделительные пластины должны быть припаяны и притерты к внутренней поверхности статора или ротора; 2) спиральные пружины должны плотно прижимать пластины к поверхности статора или ротора; 3) рабочие поверхности статора и ротора не должны иметь шероховатостей и царапин; 4) полоса касания ротора со статором должна быть непроницаемой для газа.

Несоблюдение этих требований вызывает просачивание газа из камеры сжатия в камеру разрежения и соответственно ухудшение предельного вакуума насоса.

Приведенные требования не означают, что при сборке насосов требуется исключительная плотность прилегания их частей. Уплотнение подвижных соединений обеспечивается прежде всего постоянным наличием тонкого слоя масла на трущихся поверхностях. Поэтому подвижные детали должны быть только точно припаяны одна к другой; чрезмерная же плотность их прилегания не только не требуется, но даже вредна. Обильный слой масла между вращающимися и неподвижными частями насоса замедляет их неизбежный износ и препятствует до поры до времени возникновению течей.

Вращательные насосы рассчитывают на определенную производительность (быстроту действия). При откачке ламп не требуется применения насосов с большой быстротой действия, так как штенгели ламп имеют ограниченную пропускную способность. Однако если какой-либо насос заставить выкачивать газ в количестве, на которое он не рассчитан, например, когда загружают откачную установку сильно натекающими лампами, то насос не будет справляться с такой работой и будет «захлебываться»; поступающий в него воздух будет вытеснять масло из камеры сжатия в выпускной трубопровод. При большом числе натекающих ламп все масло может вытесниться в трубопровод. Частое повторение таких случаев может повлечь за собой перегрев подвижных деталей насоса, увеличение трения между ними и даже выведение насоса из строя.

При внезапных остановках в работе насоса, например, из-за неожиданного выключения электрической энергии или соскакивания со шкива приводной цепи или ремня, ротор приостанавливает вращение и затем вследствие превышения давления в камере сжатия над давлением в камере расширения поворачивается в обратную сторону. В результате масло проникает через прорезы в роторе или статоре в рабочие полости насоса и оттуда через впускной патрубок поднимается вверх в вакуумную арматуру и даже откачиваемые лампы. Наличие клапана на выпускном канале значительно замедляет проникновение масла в арматуру, но не исключает его полностью.

Подключая электродвигатель насоса к сети, нужно убедиться, что его шкив вращается в правильном направлении (по часовой стрелке). Для этого двигатель включают при снятом приводном ремне. Соблюдение такой предосторожности исключает случаи повреждения откачных установок, вызываемых попаданием масла в откачную систему.

За время остановки насоса во впускную полость его проникает некоторое количество масла. Перед возобновлением работы это масло нужно удалить. Для этого следует провернуть шкив несколькими быстрыми включениями и выключениями электродвигателя или два-три раза от руки.

Перед остановкой насоса следует сначала зажать резиновые трубки, соединяющие впускной патрубок с откачной установкой, и затем выключить рубильник электродвигателя. При пуске насоса следует поступать наоборот, т. е. сначала включить рубильник электродвигателя и затем освободить резиновую трубку, соединяющую впускной патрубок с откачной установкой. При неожиданном отключении электроэнергии следует немедленно зажать резиновую трубку, соединяющую насос с откачной установкой, и выключить рубильник. Для остановки двух последовательно соединенных насосов сначала выключают насос более высокого вакуума, затем более низкого; для пуска, наоборот, сначала включают насос более низкого вакуума, затем более высокого.

Насосы включают за 10—15 мин до начала работы откачных установок с тем, чтобы из вакуумного масла успели выделиться пузырьки водяного пара. Перед прекращением работы на длительное время насосы разобщают от откачной установки.

В некоторых насосах для уменьшения опасности проникновения в откачную арматуру масла создают перед впускным отверстием предохранительную полость или присоединяют к впускному патрубку предохранительный стеклянный шар. Полость или шар при внезапных остановках насоса вбирает в себя часть масла. Объем полости или шара должен быть несколько больше объема масла, находящегося в насосе выше уровня клапана.

Из насоса вместе с откачиваемыми газами выбрасывается некоторая часть масла в виде масляного тумана. Эту естественную убыль масла периодически пополняют новым. Несвоевременное пополнение ухудшает предельный вакуум насоса.

Масло с течением времени загрязняется грязью из подволок, газопоглотителем из ламп и влагой из стекла. Эти загрязнения, реагируя с образующимися на поверхностях трущихся деталей окислами железа и растворенными в масле органическими кислотами, вызывают постепенное осмоление и заедание деталей, перегрев приводного электродвигателя и ухудшение предельного вакуума. Во избежание таких последствий масло по мере загрязнения и возрастания вязкости, но не реже раза в полгода

при двухсменной работе, меняют на чистое. Перед заполнением чистым маслом насос 2—3 раза промывают чистым же маслом.

Выкачиваемый из ламп воздух сжимается в выпускной камере насоса в несколько сотен раз. При сжатии содержащийся в воздухе водяной пар частично конденсируется и превращается в воду. Проходя через масло, вода рассеивается в нем в виде мелких пузырьков. В результате упругость паров масла повышается, а предельный вакуум насоса понижается. Для предотвращения загрязнения масла парами воды некоторые откачные установки снабжают ловушкой с фосфорным ангидридом, помещаемой между насосом и откачиваемым объемом.

Трение подвижных деталей насоса и сжатие воздуха перед выхлопом вызывают нагрев деталей и масла. При длительной работе в нормальном охлаждении нагрев масла достигает 50—60°С\*.

Превышение этой температуры бывает при большой скорости вращения ротора, большом числе натекающих ламп и высокой температуре в помещении цеха (в летние жаркие дни). Перегрев масла вреден, потому что он, во-первых, уменьшает вязкость и, следовательно, ухудшает способность масла служить уплотнением, во-вторых, увеличивает упругость паров масла и содержащихся в масле загрязнений, что приводит к ухудшению предельного вакуума и облегчению проникновения масляных паров в откачиваемые лампы, и, в-третьих, повышает окисляемость масла, а следовательно, увеличивает его склонность к осмолению. Перегрев деталей насоса вреден, потому что он приводит к увеличению их теплового расширения, которое в свою очередь вызывает уменьшение зазоров и возрастание трения между деталями, заедание разделительных пластин, поломку пружин и т. п. Насосы после сильного перегрева рекомендуются разбирать, очищать от загрязнений и промывать маслом.

Насосы нужно оберегать от попадания осколков стекла и других посторонних частиц, способных повреждать рабочие поверхности и нарушать уплотнения (у пластин срабатываются края, а в статоре образуются царапины и канавки). С этой целью перед впускным отверстием некоторых насосов помещают фильтр из тонкой проволоки.

На действующих откачных установках рекомендуется регулярно каждые две-три недели проверять предельный вакуум вакуумных насосов переносным вакууметром. Персонал, обслуживающий вакуумные насосы, должен следить: 1) за температурой охлаждающей воды (если ее применяют в насосе), которая должна быть на выходе не выше 30°С; 2) за температурой газа, выбрасываемого насосом, которая должна быть не выше

\* Некоторые насосы с целью охлаждения масла снабжают змеевиком или рубашкой с проточной водой.

70—80°С; 3) за уровнем масла в насосе, который должен быть выше клапана на постоянной установленной отметке; 4) за отсутствием посторонних шумов и стуков внутри насоса; 5) за отсутствием сильной вибрации насоса, вызываемой разбалансировкой ротора; 6) за содержанием насоса в чистоте.

Впускные патрубки отсоединенных насосов плотно прикрывают пробкой.

Хороший уход, регулярный осмотр и своевременный ремонт — важнейшие условия успешной работы вакуумных насосов.

## 12-4. ВАКУУМНЫЕ УСТАНОВКИ

### а) ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Вакуумными или откачными установками называют устройства, предназначенные для откачки вакуумных ламп или откачки, промывки и наполнения газонаполненных. Они включают в себя систему герметизированных каналов и емкостей, соединяющих лампы с вакуумными насосами и подводками промывочного и наполняющего газов. Перемещение газа по вакуум- и газопроводам вакуумной установки происходит под действием перепада давления и разности температур в конечных пунктах установки. Газ перемещается от пунктов с высоким давлением и высокой температурой к пунктам с низким давлением и низкой температурой.

Каждую вакуумную установку можно рассматривать как совокупность нескольких последовательно и параллельно соединенных трубопроводов разных сечений. Сопротивление каждого трубопровода определяет время, в течение которого трубопровод способен пропустить через себя единицу объема газа. Это сопротивление зависит от внутренних размеров трубок, а также от режима течения газа. При течения газа в условиях низкого вакуума, т. е. когда длина свободного пробега молекул меньше диаметра трубопровода, оно пропорционально длине трубки и обратно пропорционально четвертой степени диаметра трубки. Сопротивление вакуумной установки, состоящей из отдельных последовательно соединенных трубок, равно сумме сопротивлений этих трубок. При оборудовании вакуумных установок стремятся к тому, чтобы соединительные трубопроводы были по возможности широкими и короткими и насосы были установлены как можно ближе к установкам.

Вакуумные установки характеризуются предельным вакуумом и быстротой откачки (производительностью), зависящими от предельного вакуума и скорости действия вакуумных насосов. Предельный вакуум вакуумной установки ниже предельного вакуума вакуумных насосов на величину, зависящую от герметичности и скорости газоотделения внутренних поверхно-

стей вакуум-проводов. Быстрота откачки (производительность) вакуумной установки меньше скорости действия вакуумных насосов на величину, зависящую от сопротивления вакуум-проводов. Время, необходимое для откачки лампы до предельного вакуума, сокращается с увеличением скорости действия насосов, понижением начального давления в лампах, уменьшением объема лампы и в особенности увеличением внутреннего диаметра штенгеля и диаметра откачного отверстия в ножке. Для откачки крупных ламп вакуумные установки оборудуют насосами, обладающими большой скоростью действия.

При проектировании вакуумных установок стремятся применять вакуум-проводы с минимальным числом деталей, так как каждая из деталей может явиться источником выделения газа или быть причиной натекания воздуха в установку. При эксплуатации вакуумных установок следят за их полной герметичностью. Это относится в равной мере к установкам для вакуумных и газонаполненных ламп.

Современные вакуумные установки, применяемые для массового изготовления ламп, представляют собой высокопроизводительные карусельные автоматы, состоящие из большого числа отдельных вакуумных ячеек, одновременно откачивающих, промывающих и наполняющих два-три десятка ламп. Такие автоматы оснащены самодельствующими механизмами перестановки заваренных ламп в откачное гнездо, отпайки и съема откачанных и наполненных ламп, удаления остатков штенгелей из откачного гнезда и изолирования негерметичных ламп. Производительность автоматов повышается с увеличением числа позиций и рабочих гнезд!

### б) АВТОМАТЫ ОТКАЧКИ

На станине откачного автомата (рис. 12-11) поворачивается с периодическими остановками горизонтальная карусель. По окружности карусели размещены на одинаковом расстоянии друг от друга рабочие гнезда для вставления и уплотнения ламп, подлежащих откачке.

Автомат снабжен золотником, позволяющим соединять в определенной последовательности откачиваемые лампы с неподвижно установленными насосами и подводками промывочного и наполняющего газов. Он состоит из двух прилегающих друг к другу плоских массивных стальных дисков диаметром 200—300 мм (рис. 12-12). Нижний диск неподвижно установлен на станине автомата, а верхний установлен на нижнем и поворачивается вместе с каруселью. Карусель, перемещаясь, увлекает за собой верхний диск при помощи траверсы и двух или трех поводковых пальцев, нижние концы которых входят в специальные отверстия верхнего диска. Изменением длины поводковых пальцев можно регулировать величину



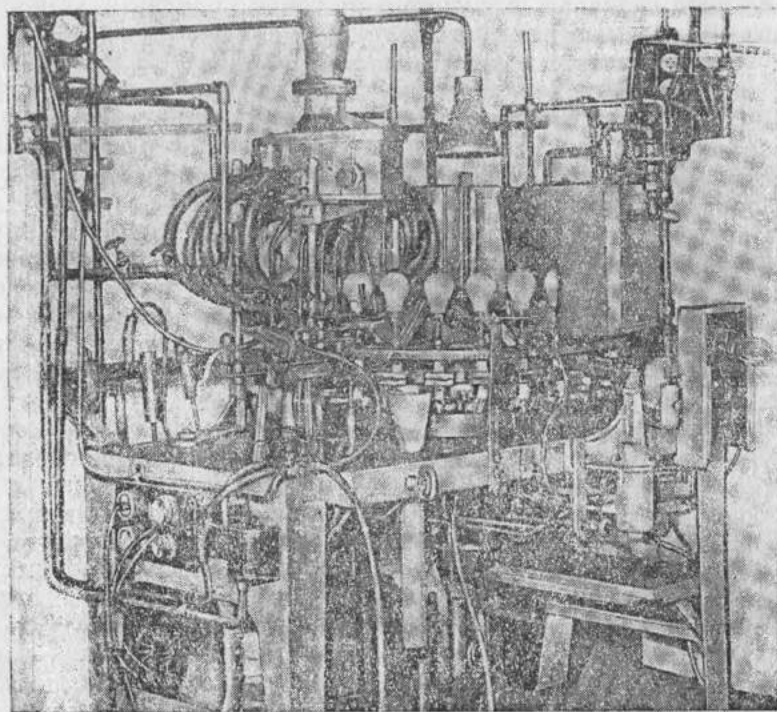


Рис. 12-11. Полуавтомат откачки ламп.

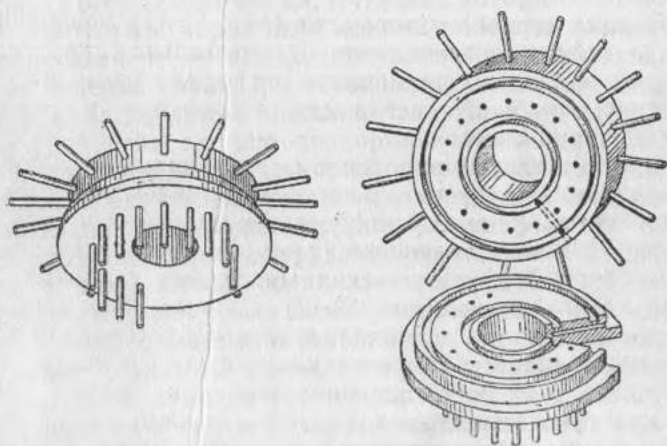


Рис. 12-12. Золотниковые диски откачного автомата.

усилия, с которым верхний диск поджимается к нижнему. Это усилие равномерно распределяется по поверхности прилегания дисков при помощи резиновых или пружинных амортизаторов.

Подвижный диск имеет от 16 до 36 (по числу гнезд автомата) каналов Г-образной формы диаметром 5—6 мм. Участки этих

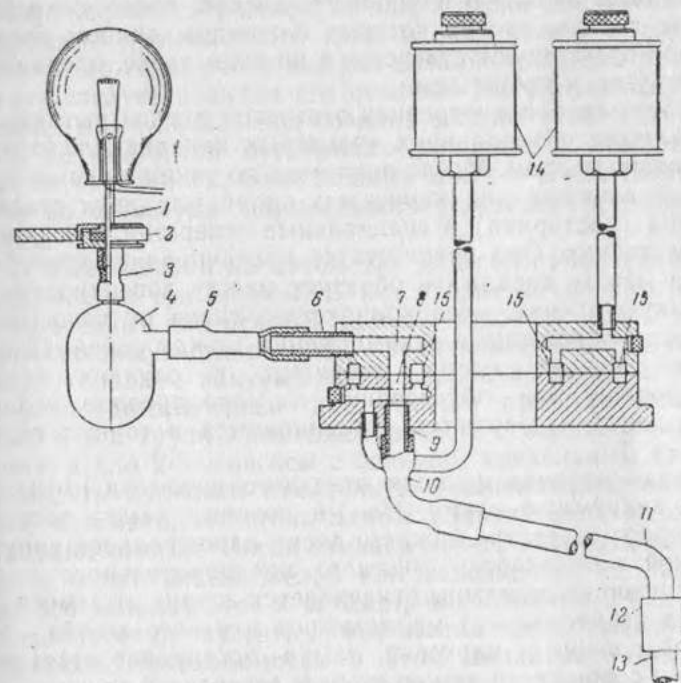


Рис. 12-13. Вакуумная ячейка откачного автомата.

1 — штенгель лампы; 2 — зажимное гнездо; 3 — резиновая трубка; 4 — соединитель; 5 — резиновая трубка; 6 — патрубок подвижного диска; 7 — вакуумный канал в подвижном диске; 8 — вакуумный канал в неподвижном диске; 9 — патрубок неподвижного диска; 10 — резиновая трубка; 11 — медная трубка; 12 — резиновая трубка; 13 — приемник вакуумного насоса; 14 — касторницы; 15 — уплотняющие канавки в верхнем и нижнем дисках.

каналов, просверленные перпендикулярно к плоскости прилегания дисков, равномерно распределены по средней окружности диска, а участки, просверленные радиально, герметично соединены на газовой резьбе со стальными рожекми, расходящимися от диска лучами в горизонтальной плоскости. Рожки соединены резиновыми трубками со стеклянными ловушками (соединителями). На вторые концы ловушек надеты резиновые трубки, в которые вставляют штенгели откачиваемых ламп (рис. 12-13).

Неподвижный золотниковый диск тоже имеет сквозные каналы, но только направленные перпендикулярно к плоскости прилегания дисков. Отверстия их размещены на окружности

такого же диаметра, как отверстия каналов верхнего диска. Расстояние между отверстиями у нижнего и верхнего дисков одинаковое, а число отверстий у нижнего на два-четыре меньше. Рожки нижнего диска соединены резиновыми и металлическими трубками с приемниками вакуумных насосов или подводками промывочного и наполняющего газов. Во время остановок карусели каналы верхнего и нижнего дисков точно совмещаются. Рабочие гнезда, против которых в каждом данном положении карусели отсутствуют отверстия в нижнем диске, предназначены для загрузки и съема ламп.

С обеих сторон внутренних отверстий дисков вытачивают по одной или две совпадающих кольцевых канавки для заполнения касторовым маслом. Масло поступает по узким медным трубкам из установленных над каруселью одной или двух стеклянных масленок (касторниц) в специальные отверстия в верхнем или нижнем дисках. Оно препятствует просачиванию атмосферного воздуха между дисками и образует между поверхностями дисков тонкую пленку, предохраняющую диски от непосредственного соприкосновения и сухого трения между собой. При нерегулярной подаче масла, например, в случаях засорения маслопровода или образования в маслопроводе воздушной пробки диски нагреваются, изнашиваются и теряют герметичность.

Каждая рабочая позиция откачного автомата имеет собственную вакуумную схему. На 1-й позиции лампа сообщается через первое отверстие нижнего диска с центральной вакуумной подводкой или насосом местного предварительного вакуума. На этой позиции из лампы откачивается воздух от атмосферного давления до нескольких миллиметров ртутного столба.

После поворота карусели лампа останавливается на 2-й позиции и сообщается там со вторым отверстием нижнего диска. Обычно это отверстие соединяют с контактным манометром или с вакуумным контактором, приводящим в действие световой или звуковой сигнал в случае, если откачиваемая лампа негерметична. По такому сигналу перекрывают зажимом резиновую трубку откачного гнезда для изоляции натекающей лампы от вакуумной системы. На механизированных откачных автоматах замыканием контактного манометра или действием вакуумного контактора автоматически включается электромагнитное реле, которое приводит в действие механизм, отключающий негерметичную лампу от вакуумной системы или останавливающий вращение карусели для замены негерметичной лампы на исправную. Позиция, к которой подключается манометр или контактор, может быть глухой или присоединенной к линии предварительного вакуума.

Со 2-й позиции лампа переходит на 3-ю и сообщается там с третьим отверстием нижнего диска, соединенным с подводкой предварительного вакуума. Далее лампа перемещается на 4-ю

позицию, затем на 5-ю, 6-ю и т. д., пока не дойдет до последней. После каждого перемещения с позиции на позицию она сообщается через канал в верхнем диске с очередным каналом нижнего. На автоматах откачки вакуумных ламп рожки нижнего диска соединены только с подводками низкого и более высокого вакуума, а на автоматах откачки и наполнения газонаполненных ламп несколько рожков нижнего диска соединено также с подводками промывочного газа, а один рожок с подводкой наполняющего газа; после каждой позиции введения промывочного газа следует позиция его откачки. На автоматах откачки вакуумных ламп назначение позиций состоит в постепенном доведении до минимума остаточного давления в лампах, а на автоматах откачки газонаполненных ламп — в постепенном доведении до минимума парциального давления вредных газов в лампах.

Откачные позиции на автоматах для газонаполненных ламп разделяются на три группы. В 1-ю входят начальные позиции, предназначенные для откачки из ламп основной массы воздуха. Во 2-ю — последующие позиции, предназначенные для создания в лампах хорошего вакуума перед первой промывкой. В 3-ю — позиции, предназначенные для откачки промывочного азота. Для 1-й и 3-й групп применяют насосы с большой быстротой действия, а для 2-й — насосы с большим предельным вакуумом.

Перед тем как снять откачанную и наполненную лампу с откачного автомата, штенгель лампы вблизи горла подогревают и отпайвают огнями. После отпайки лампа автоматически сбрасывается в наклонный желоб или переносится на ленту конвейера, доставляющую ее к автомату цоколевания. В тех случаях, когда требуется пропустить лампу неотпаянной, горелку отводят от штенгеля. Необходимость в этом возникает тогда, когда через позицию отпайки проходят одна-две лампы, следующие за натекающей. При наличии приспособления, автоматически перекрывающего негерметичные лампы, надобность в отведении горелки отпадает.

На позиции после отпайки извлекают остаток штенгеля из откачного гнезда<sup>1</sup>. Если он извлекается с усилием, то свободный конец штенгеля следующей лампы смазывают касторовым маслом. Смазывание производят так, чтобы масло не проникло внутрь штенгеля. На механизированных автоматах, оборудованных зажимными гнездами и механизмом извлечения отпаянного конца штенгеля из гнезда, смазка штенгелей не требуется. На некоторых автоматах к позиции извлечения конца штенгеля подводят через нижний золотниковый диск отфильтрованный сжатый воздух, сдувающий из откачного гнезда осколки стекла.

<sup>1</sup> После откачки миниатюрных ламп отпаянные штенгели используют для изготовления миниатюрных колб.

При наполнении ламп азотом или аргоном некоторое количество газа теряется в подводящем канале между отверстием в верхнем золотниковом диске и отпаянным концом штенгеля, оставшимся в резиновом гнезде. Объем этого канала в зависимости от конструкции откачного автомата составляет 10—30 см<sup>3</sup>. Потери газа вызываются тем, что после извлечения отпаянного штенгеля из резинового гнезда подводящий канал сообщается с атмосферой, и содержащийся в нем газ перемешивается с воздухом. Улавливание и утилизация этих отходов азота или аргона экономически себя не оправдывают. При наполнении же ламп криптоном или ксеноном использование даже небольшого количества этих дорогих газов, остающихся в канале между золотником и запаянным концом штенгеля, экономически целесообразно. Для отбора отходящего криптона (ксенона) гнездо, следующее за позицией отпайки лампы, сообщают через отверстие в нижнем золотниковом диске с отдельным вакуумным насосом. Откачиваемый газ собирают в газосборник и оттуда перекачивают мембранным компрессором в стальные баллоны. С целью уменьшения потерь криптона (ксенона) рабочие гнезда откачных автоматов должны иметь минимальный объем подводящих каналов.

На откачных автоматах пространство, в котором перемещаются лампы, окружают неподвижной дугообразной туннельной печью с газовым (редко электрическим) нагревом. Откачиваемые лампы проходят зону нагрева печи, начинающуюся от 2-й или 3-й позиции и заканчивающуюся на автоматах для вакуумных ламп на позиции, предшествующей отпайке, а на автоматах для газонаполненных ламп — на четыре—десять позиций раньше. Чтобы лампы беспрепятственно могли перемещаться вдоль печи и чтобы атмосферный воздух мог свободно подходить к отверстиям трубчатых диффузионных горелок, в основании туннеля сделана прорезь шириной около 30 мм. Внутренние стенки туннеля изолируют толстым слоем асбестового картона для уменьшения теплоизлучения и защиты резиновых гнезд от перегрева. Входное и выходное отверстия печи закрывают завесами из асбестового шнура. За состоянием горелочных отверстий ведут наблюдение, так как засорение их может вызвать изменение направления огня и растрескивание тарелок.

Лампы всегда стремятся откачивать сразу после заварки. Прогрев ламп при заварке позволяет удалить из лампы основную массу адсорбированных паров воды до откачки. Современные откачные автоматы строят на общей станине с заварочными. На таких комбинированных автоматах колбу прогревают во время заварки, и горячую лампу вставляют в откачное гнездо немедленно после заварки. Нагретое стекло легко отдает при откачке оставшуюся адсорбированную влагу. Комбинированные автоматы заварки и откачки строят двух типов. У одних кару-

если заварки и откачки вращаются на общем валу, у других — на двух отдельных валах, связанных общим приводом. На комбинированных заварочно-откачных автоматах для вакуумных ламп вместо туннельной печи для обогрева ламп используются открытыми газовыми горелками, нагревающими лампы на двух-трех позициях откачки, а на автоматах для газонаполненных ламп обходятся вовсе без нагрева.

На автоматах для газонаполненных ламп на последних четырех — десяти позициях, предшествующих отпайке, внешнюю поверхность колбы после прогрева интенсивно охлаждают холодным воздухом от вентилятора или технически сжатым воздухом из сети. Верхний предел давления газа берут несколько меньше того, при котором прорывается носик на отпайке лампы. Скорость вращения карусели откачного автомата, а следовательно, и производительность автомата устанавливают из расчета, чтобы лампы за промежуток времени между последней позицией прогрева и позицией наполнения успевали достаточно остыть. Чем крупнее лампа, тем дольше нужно ее откачивать и дольше охлаждать перед наполнением. Размеры откачиваемых ламп определяют размеры откачных автоматов.

По мере откачки качество вакуума в вакуумных лампах повышается постепенно. Если бы откачку ламп на всех позициях производил один мощный вакуумный насос, то через приемник этого насоса давление в лампах на всех позициях уравнивалось бы, и качество вакуума в откаченных лампах получалось бы низким. Поэтому откачные автоматы снабжают несколькими вакуумными насосами. На первой половине откачного цикла насосы присоединяют по одному на два-три рожка нижнего золотникового диска, а на второй половине — по одному на каждый рожок.

На рис. 12-14 изображены вакуумная схема автомата откачки вакуумных ламп и две вакуумные схемы автоматов откачки, промывки и наполнения газонаполненных ламп.

На автоматах для мощных газонаполненных ламп откачку азота перед наполнением аргоном производят не на одной, а на двух-трех откачных позициях с тем, чтобы не допустить попадания в лампы лишнего азота.

С целью увеличения числа промывок иногда в нижнем золотниковом диске просверливают дополнительные отверстия между основными. Дополнительные отверстия соединяют с подводкой промывочного азота, а основные — с вакуумными насосами. Во время переходов карусели отверстия верхнего диска быстро проходят над дополнительными отверстиями нижнего диска. За короткое время, в течение которого верхние и нижние отверстия сообщаются, в лампы поступает требуемое количество азота. Во время остановок карусели азот, поступивший в лампы через дополнительные отверстия, откачивается через следующие основные отверстия.

На 12-позиционных 24-гнездных откачных автоматах системы «дуплекс» загружается одновременно по две лампы; карусель автомата перемещается на два гнезда; откачка, промывка, наполнение, отпайка и съем ламп производятся парами. На рис. 12-15 и 12-16 изображены вакуумные схемы вакуумных автоматов

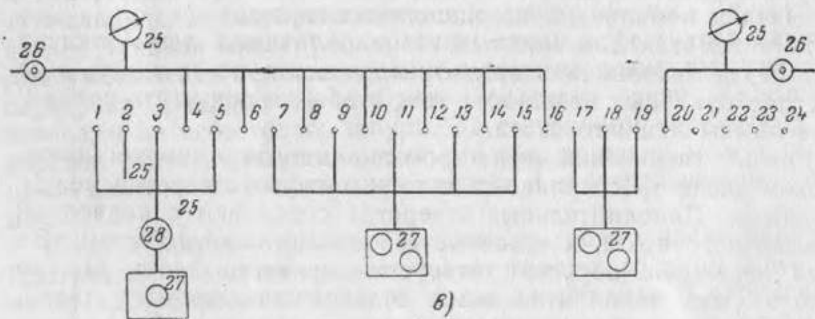
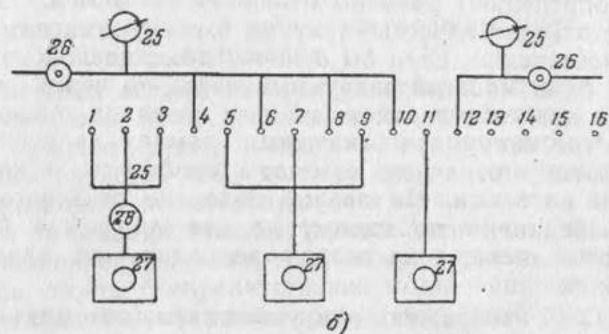
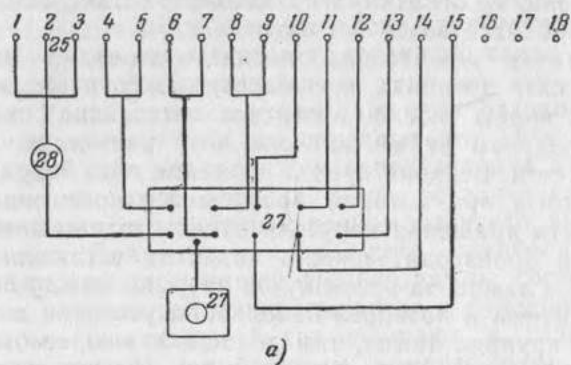


Рис. 12-14. Вакуумные схемы откачных автоматов.

а — 18-гнездного автомата для вакуумных ламп; б — 16-гнездного автомата для газонаполненных ламп; в — 24-гнездного автомата для газонаполненных ламп; 1—24 — рабочие позиции; 25 — манометры; 26 — детандеры; 27 — вакуумные насосы; 28 — буферные бачки.

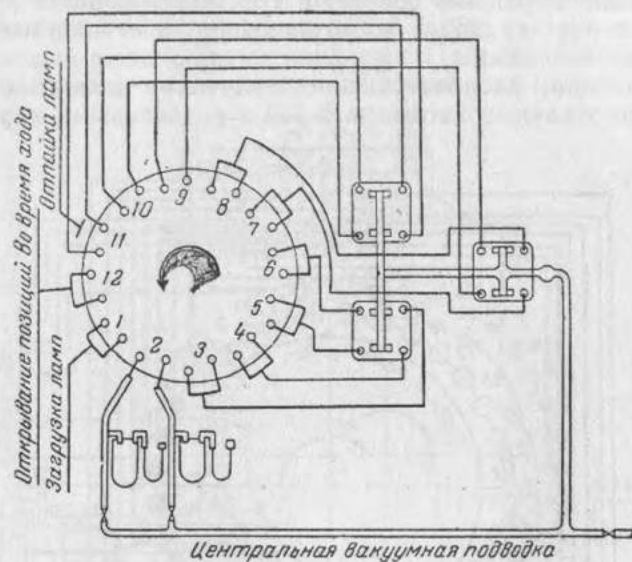


Рис. 12-15. Вакуумная схема откачного автомата «дуплекс» для вакуумных ламп.

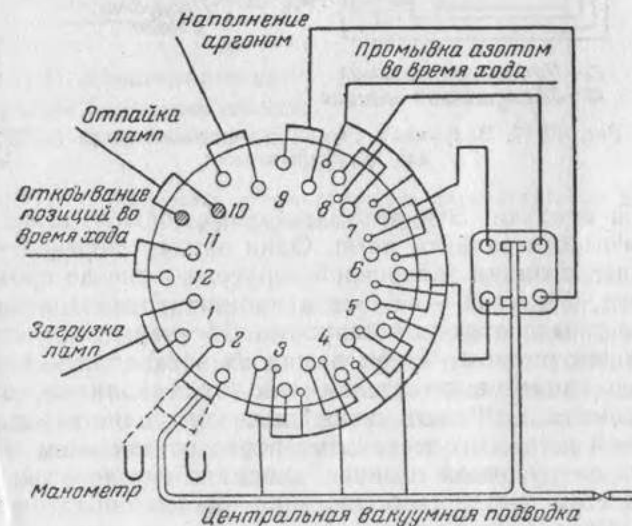


Рис. 12-16. Вакуумная схема откачного автомата «дуплекс» для газонаполненных ламп.

«дуплекс» для вакуумных и газонаполненных ламп. Недостаток конструкции «дуплекс» состоит в том, что малейшее натекание в одну лампу приводит к загрязнению откачиваемой с ней в паре другой лампы.

Наибольшее распространение получили механизированные заварочно-откачные автоматы Б.332 с отдельными каруселями

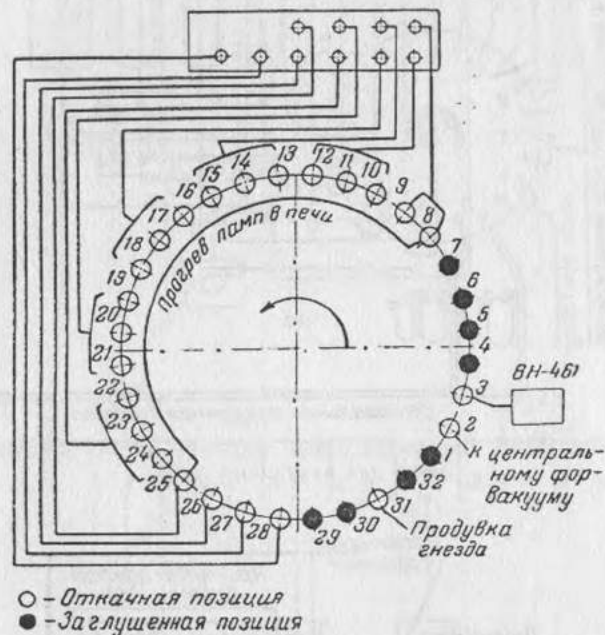


Рис. 12-17. Вакуумная схема откачного автомата Б-332 для вакуумных ламп.

заварки и откачки. Эти автоматы оборудованы двумя узлами автоматического захвата ламп. Один захват переносит лампы с последней позиции заварочной карусели в гнездо промежуточного диска, а другой — из гнезда промежуточного диска в загрузочное гнездо откачной карусели. Обе карусели жестко связаны единым ритмом. Чтобы лампа не вставлялась в загрузочное гнездо, занятое штенгелем или его осколками, откачную часть автомата снабжают механизмом контроля чистоты гнезда. Стержневой шуп этого механизма перед вставлением очередной лампы на загрузочной позиции входит в гнездо этой позиции. В случае, если гнездо свободно, шуп выходит обратно в исходное положение, а если занято или засорено осколками, приводит в действие звуковой или световой сигнал, по которому работница снимает лампу с промежуточного диска и, чтобы следующая лампа не попала в засоренное гнездо, очищает его сжатым воздухом. Отпаянная лампа снимается специальным механиз-

мом с 30-й позиции откачной части автомата и переносится на конвейер, доставляющий ее к цоколевочному автомату.

Каждое откачное гнездо автомата Б.332 связано с верхним золотниковым диском двумя каналами. По одному каналу откачиваются газы и вводится наполняющий газ через основные

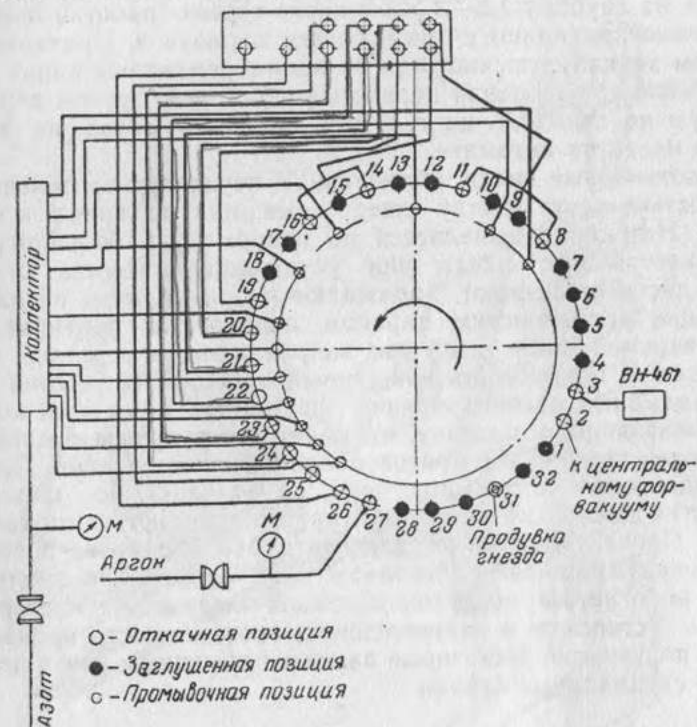


Рис. 12-18. Вакуумная схема откачного автомата Б-332 для газонаполненных ламп.

отверстия нижнего диска, а по другому — вводится промывочный газ через промежуточные отверстия нижнего диска. При такой схеме промывочный газ не проходит по тому пути, по которому протекать откачиваемые газы, что предохраняет его от загрязнения в соединительных ловушках. Каналы в золотнике имеют неодинаковое поперечное сечение. Диаметр вакуумных каналов в верхнем и нижнем дисках равен 5 мм, азотных каналов в верхнем диске — 3 мм и нижнем — 2 мм, аргоновых каналов в верхнем и нижнем дисках — по 3 мм. На рис. 12-17 и 12-18 изображены вакуумные схемы автоматов Б.332 для вакуумных и газонаполненных ламп.

На автомате Б.332 для газонаполненных ламп некоторые отверстия в нижнем золотниковом диске заглушают. Это дела-

ется с целью достижения лучшего перемешивания газов внутри лампы на заглушенной позиции и осуществления более тщательной откачки на позиции, следующей за заглушенной.

Золотниковые диски откачных автоматов изготавливают из мягкой стали марки 20 или 20Х. Рабочие поверхности их цементируют на глубину 1,5—2 мм и после термообработки шлифуют и взаимно притирают с применением абразивов. Притирка придает им зеркальную чистоту. Во время ремонтных работ диски во избежание засорения перевязывают друг с другом веревкой, которую не снимают до тех пор, пока они снова не займут своего места на автомате.

Золотниковые диски, обладающие неудовлетворительной поверхностью, текут между отверстиями или от краев к отверстиям. Натекание выявляется по ненормально большому расходу касторового масла или ухудшению качества откачки. Тогда диски открывают, промывают и при наличии на их прилегающих поверхностях царапин подвергают притирке. Для этого верхний диск устойчиво закрепляют на верстаке, насыпают на его поверхность наждачный порошок (минутник № 5) и накладывают на него нижний диск. Легко прижимая нижний диск, оказавшийся наверху, приводят его в круговое движение по часовой стрелке и в противоположном направлении. Притирку продолжают до тех пор, пока не исчезнут все царапины. Отверстия дисков на время притирки заполняют тампонами из марли. После притирки каналы, патрубки и рабочие поверхности дисков промывают бензином или спиртом и продувают сухим подогретым воздухом. Зеркала смазывают касторовым маслом. Установку и закрепление дисков на место производят строго по уровню. Некоторые заводы применяют для притирки дисков специальные станки.

#### в) ОТПАЙКА ЛАМП

Вакуумные лампы после завершения откачки и газонаполненные после заполнения газом автоматически отпаивают от откачного автомата (рис. 12-19). Огни горелок на одной-двух позициях, предшествующих позиции отпайки, нагревают штенгель лампы до температуры, близкой к размягчению. Далее на позиции отпайки специальный механизм, приводимый в действие одним из кулачков распределительного вала автомата, приподнимает лампу и заставляя размягченное место штенгеля растянуться и сузиться в капиллярную перетяжку. Отпаянные огни переплавляют в месте перетяжки стекло и отделяют лампу от нижней части штенгеля. Лампа подхватывается другим механизмом и переносится в транспортер для передачи на следующую операцию.

Правильная отпайка ламп требует точной настройки огней отпаячной горелки. Неточная настройка может служить причи-

ной натекания воздуха в лампу. Наличие внутренних напряжений в носике может привести к его растрескиванию. Полезным средством против натекания и растрескивания служит предварительный подогрев штенгеля перед позицией отпайки. Подогревные огни позволяют поддерживать отпаянные огни

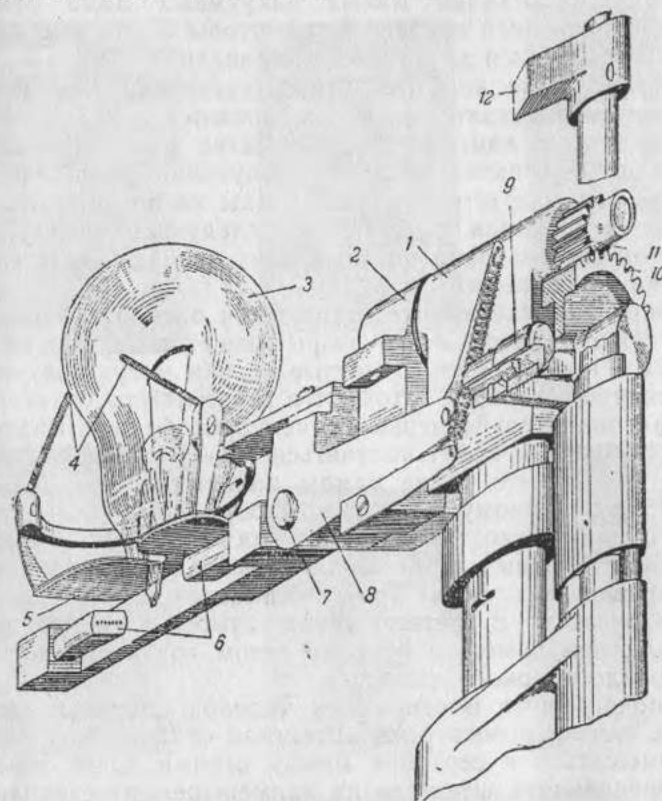


Рис. 12-19. Механизм отпаячной горелки.

1 — подшипник; 2 — корпус; 3 — лампа; 4 — спиральные держатели; 5 — пластина для экранирования огней; 6 — сопла горелки; 7 — ось; 8 — рычаг; 9 — ролик; 10 — зубчатый сектор; 11 — шестерня; 12 — упор.

менее резкими и быстро отпаивать лампы за время кратковременной остановки карусели, что особенно важно для автоматов с большой производительностью.

Во время отпайки из размягченного стекла выделяется абсорбированный газ, ухудшающий вакуум в вакуумных лампах или загрязняющий газ в газонаполненных. Выделяющийся газ особенно вреден в лампах, изготавливаемых в малой колбе. Его приходится впоследствии обезвреживать газопоглотителем. Предварительный подогрев места будущего носика на

одной-двух позициях, предшествующих позиции отпайки, позволяет откачать из лампы значительную часть газа, выделяющегося из штенгеля. Слишком сильный подогрев уже недопустим, так как может вызвать частичное плавление штенгеля, препятствующее откачке или наполнению лампы.

На автоматах откачки малых вакуумных ламп отпайку ведут при непрерывной откачке с тем, чтобы выделяющийся из стекла газ откачивался до момента заплавления канала в штенгеле; при такой схеме, когда во время отпайки случайно ломается штенгель или трескается лампа, понижается вакуум в последующих двух-трех лампах. На автоматах откачки больших вакуумных ламп отпайку ведут на заглушенной позиции; при такой схеме поломка штенгеля или лампы на позиции отпайки не вызывает понижения давления в последующих лампах. На автоматах откачки газонаполненных ламп отпайку ведут всегда на заглушенной позиции.

Носик при отпайке иногда втягивается с образованием непрочного, тонкостенного, легко разрывающегося пузырька или раздувается и прорывается. Втянутые носики могут получаться только у вакуумных ламп, потому что такие лампы откачивают до давления, значительно меньшего, чем атмосферное. Раздутые и прорванные носики могут получаться только у газонаполненных ламп, потому что такие лампы наполняют до давления, близкого к атмосферному. Втянутые и прорванные носики часто получаются при тонкостенных штенгелях или при слишком резких огнях отпаячных горелок. С уменьшением атмосферного давления отпайка вакуумных ламп облегчается, а газонаполненных — затрудняется. В летнее время атмосферное давление бывает ниже, чем зимой, и поэтому летом труднее наполнять лампы газом до высокого давления.

Сопла подогревных и отпаячных горелок должны давать одинаковые симметричные огни. Штенгель отпаяваемой лампы должен помещаться в середине между огнями. Огни горелок должны переплавлять штенгель на наименьшем расстоянии от горла лампы. При несоблюдении этих требований получают длинные, кривые, загнутые, царапающие, втянутые, прорванные, утолщенные, треснутые носики. Наличие в носике трещины можно распознать по легкости, с которой кончик его обламывается пальцем. Исправление отпаянного носика пламенем горелки не допускается, так как выделяющийся при этом газ загрязняет лампу.

Носик должен быть коротким, чтобы не мешать надеванию цоколя на лампу. Огни отпаячных горелок не должны задевать тарелки, иначе тарелка треснет. Для предохранения тарелок от растрескивания огни иногда экранируют металлической пластинкой. После отпайки следует оберегать разогретый носик от соприкосновения с холодными предметами. Выводы электродов перед загрузкой ламп в откачное гнездо или при движении на

откачной карусели отводят от штенгеля, чтобы они не мешали отпайке носика и не обгорали в огнях отпаячной горелки.

Носик принадлежит к одному из уязвимых мест, подверженных растрескиванию при последующих технологических опера-

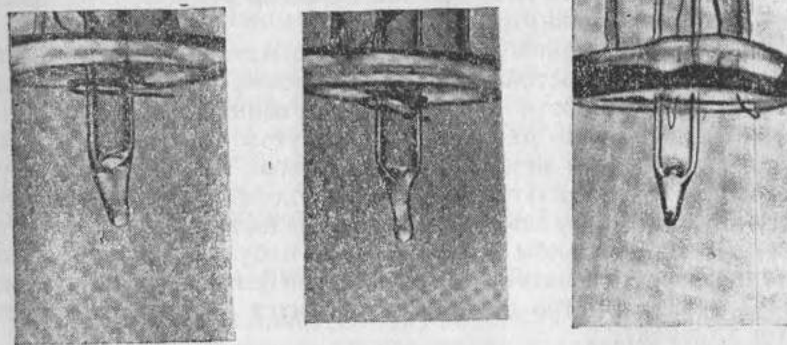


Рис. 12-20. Правильно отпаянные носики.

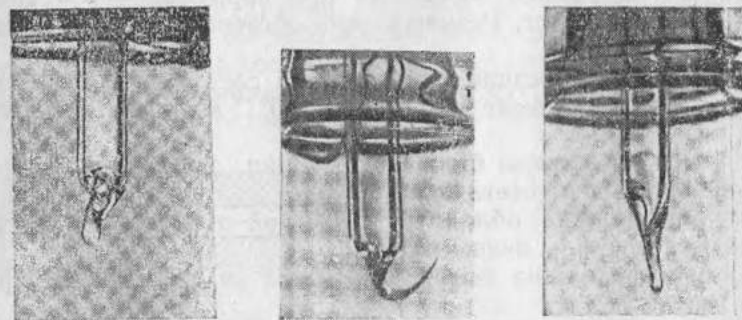


Рис. 12-21. Неправильно отпаянные носики.

циях и хранении готовых ламп. Поэтому качество носиков должно быть под постоянным наблюдением наладчиков и контролеров. На рис. 12-20 и 12-21 показано несколько образцов хорошо и плохо оформленных носиков.

## 12-5. ВАКУУМНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

### а) ВАКУУМНАЯ РЕЗИНА

Вакуумной резиной называют толстостенные трубки (шланги) из сплошной газонепроницаемой резины без прокладок и швов. Ее применяют для гибкого и плотного соединения отдельных деталей вакуум- и газопроводов в тех случаях, когда соединения не могут быть выполнены герметично посредством сварки или когда требуется защитить откачную установку от

вибрации насосов, или когда бывают необходимы небольшие перемещения соединяемых деталей.

В производстве ламп чаще всего применяют шланги 6×6 и 9×9. Первый множитель обозначает внутренний диаметр, второй — толщину стенок в миллиметрах. Толстая стенка требуется для предотвращения сдавливания шлангов атмосферным давлением при вакууме внутри шлангов.

Достоинство резины как вакуумного материала заключается в ее хорошей влагостойкости, непроницаемости для паров воды и газов, эластичности и упругости. Резина, сжатая в одном месте, одновременно расширяется в другом, при этом ее общий объем остается без изменения. Недостаток резины как вакуумного материала заключается в ее неудовлетворительной стойкости против минеральных масел и недостаточной термостойкости. В минеральном масле резина набухает и теряет свои механические свойства, а при температуре, превышающей 100°С, резина быстро стареет (становится неэластичной, жесткой и хрупкой).

Новая резина первое время выделяет много паров и газов, особенно углеводородов. Упругость (давление) собственных паров старой резины составляет при нормальной температуре около  $10^{-5}$  мм рт. ст. Резину можно обезгаживать при температуре не выше 100°С.

К вакуумной резине предъявляют следующие требования:

- 1) она должна выделять при 50—60°С минимальное количество газов;

- 2) в ней не должно быть пор, трещин, пузырей и надрывов, нарушающих ее герметичность;

- 3) она должна обладать требуемой твердостью, не быть очень жесткой или очень мягкой;

- 4) она не должна быстро портиться от действия минерального масла;

- 5) она должна выдерживать нагрев до 50—60°С, сохраняя эластичность;

- 6) она не должна растрескиваться или деформироваться при многократном сжатии и разжимании металлическими зажимами;

- 7) ее отверстие не должно быть овальным или эксцентричным.

Твердость резины определяют твердомером ТМ-2 (Шора) по высоте отскакивания конического ударника, падающего на гладкую поверхность резины с постоянной высоты. Вакуумная резина должна иметь твердость по Шору 40—50.

Вакуумную резину хранят в темном месте при температуре не выше +25°С и не ниже —10°С. На морозе и при высокой температуре резина трескается. Нельзя хранить резину близко от теплоизлучающих установок (паропроводов, радиаторов и пр.). При хранении нужно оберегать ее от масел, жиров,

бензина и других растворителей. Резина не должна залеживаться, так как при длительном хранении она теряет свои упругие свойства и становится более жесткой (стареет). Ее нужно расходовать в порядке поступления.

Длинные шланги нарезают на отрезки длиной, позволяющей вставлять в них металлические патрубки на глубину 40—50 мм и пережимать их зажимными щипцами на участке 100—150 мм. К пережиму резины прибегают при необходимости разобщить один участок вакуумной системы от другого.

Нарезанные трубки перед применением очищают от талька протягиванием через них ткани и смазывают у концов минимальным слоем касторового масла. Не допускается смазка трубок минеральным маслом. При эксплуатации следует остерегаться слишком большого износа резины в одном месте.

## 6) РЕЗИНА ДЛЯ ОТКАЧНЫХ ГНЕЗД

Штенгельные резиновые трубки, или трубки Гофмана (рис. 12-22), и резиновые уплотняющие вкладыши (рис. 12-23) применяют в откачных гнездах для соединения штенгелей откачиваемых ламп с патрубками соединительных ловушек.

По ГОСТ 4392-48 трубки Гофмана имеют наружный диаметр 20 мм и длину 80—130 мм. Их канал имеет неодинаковый диаметр. Со стороны конца трубок, в который вставляют штенгель, канал имеет диаметр 1,5 мм, а со стороны конца, в который продевают отросток соединителя, — 6 мм. Длина узкой



Рис. 12-22. Штенгельная резиновая трубка (трубка Гофмана).

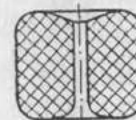


Рис. 12-23. Резиновый уплотняющий вкладыш зажимного гнезда.

части канала должна быть не менее глубины, на которую вставляют штенгель (обычно 20 мм). Узкая часть канала должна быть соосна с широкой частью.

Уплотняющие резиновые вкладыши имеют наружный диаметр 20 мм, длину тоже 20 мм и внутренний диаметр 2—3 мм.

Штенгельные резиновые трубки и уплотняющие вкладыши имеют твердость по Шору 30—40. Они должны удовлетворять приведенным выше требованиям на вакуумную резину, но быть более мягкими и эластичными. При чрезмерно жесткой резине штенгели с трудом входят в ее узкий канал, с трудом извлекаются из канала и часто при этом ломаются. Слишком мягкая резина тоже неприемлема, так как она быстро изнашивается и растягивается, и ее узкий канал становится свободным.



На одном откачном автомате следует откачивать лампы со штенгелями, отличающимися по диаметру не более чем на 0,2 мм. При необходимости откачивать лампы со штенгелем меньшего диаметра следует предварительно сменить штенгельную резину, так как после растяжения толстыми штенгелями резина слабо обжимает тонкие.

Штенгели ламп вставляют в резину так, чтобы они проходили через всю узкую часть канала. При недостаточно глубоком вставлении нераздвинутая узкая часть канала будет замедлять откачку. Откачные автоматы обычно снабжают уравниателем, регулирующим глубину вставления штенгеля в резину.

Штенгельную резину оберегают от перегрева, чтобы она не изнашивалась, не выделяла газов и не заносила в лампы вместе с промывочным и наполняющим газом оторвавшихся от нее частиц. Изношенные неэластичные и негерметичные трубки и вкладыши своевременно меняют на новые.

#### в) ВАКУУМНОЕ МАСЛО

Вакуумное масло применяют в качестве рабочей и уплотняющей жидкости в механических вращательных вакуумных насосах. В производстве ламп иногда пользуются в качестве вакуумного масла некоторыми смазочными минеральными маслами, состоящими из смеси углеводородов и получаемыми при переработке нефти. Чаще всего применяют специальное вакуумное масло марки ВМ-4, представляющее собой машинное масло марки СУ, из которого отогнано под вакуумом около 15% легколетучих фракций углеводородов.

Важным свойством вакуумного масла является его вязкость. Недостаточно вязкое масло легко выдавливается из зазоров между трущимися поверхностями и вызывает просачивание газов между камерами насосов. Слишком вязкое масло плохо отводит тепло, вызывает перегрев насосов, особенно при большой скорости ротора, требует применения приводного электродвигателя повышенной мощности.

Вязкость масла возрастает с понижением температуры. В холодные периоды года, когда в производственных помещениях бывает низкая температура, масло иногда настолько загустевает, что для пуска насосов приходится предварительно проворачивать их ротор рукой. Зимой полезно применять менее вязкое масло, чем летом.

Вязкость масла измеряют вискозиметром. В СССР приняты вискозиметр условной вязкости (Энглера) и единица вязкости — условный градус ( $^{\circ}E$ ). Число условных градусов определяют отношением времени истечения 200 см<sup>3</sup> масла из вискозиметра Энглера ко времени истечения из того же прибора 200 см<sup>3</sup> дистиллированной воды при 20 $^{\circ}C$ . К наилучшим маслам для

заполнения насосов принадлежат такие, которые при 50 $^{\circ}C$  имеют вязкость 5—7 $^{\circ}E$ .

Вакуумное масло не должно содержать легколетучих низкокипящих составных частей. Масло, содержащее такие составные части, имеет большую упругость (давление) пара и поэтому неприемлемо для заполнения насосов. Летучие пары такого масла способны проникать через вакуумную установку в откачиваемые лампы. Упругостью насыщенных паров масла ограничивается предельный вакуум вращательных масляных насосов. Об испаряемости или летучести масла судят по температуре вспышки, т. е. по температуре, до которой нужно быстро нагреть масло, чтобы при поднесении пламени в закрытое над ним пространство мгновенно вспыхнули его пары. Чем меньше масло содержит легколетучих фракций, тем выше его температура вспышки и тем ниже его упругость насыщенного пара. По температуре вспышки судят также об огнеопасности масла. Для заполнения вращательных насосов применяют масло с температурой вспышки не ниже 200 $^{\circ}C$  или упругостью насыщенного пара при 20 $^{\circ}C$  не выше 10<sup>-3</sup> мм рт. ст. По ГОСТ 7903-56 масло ВМ-4 имеет температуру вспышки 206—213 $^{\circ}C$  и упругость пара при 20 $^{\circ}C$  не выше 4·10<sup>-5</sup> мм рт. ст.

Масло следует хранить в чистой плотно закрывающейся таре. Оно не должно содержать пыли, песка, волокон тряпок и других твердых примесей, попадающих в него при небрежном хранении на складах. Засоренное масло следует перед употреблением процеживать через воронку с матерчатым фильтром.

Масло не должно быть гигроскопичным. При охлаждении оно должно поглощать, а при нагреве выделять минимальное количество водяного пара. Масло, содержащее влагу, вспенивается при нагреве.

В процессе работы масло нагревается и, соприкасаясь с кислородом воздуха, окисляется (стареет). Признаком старения служат потемнение, помутнение и повышение вязкости масла. Смолистые вещества, образующиеся при старении масла, налипают на движущиеся детали насоса и могут вызвать увеличение трения вплоть до полного заклинивания насоса.

Старое масло, обладая примерно в 10 раз большей упругостью пара, чем свежее, ухудшает предельный вакуум насоса.

В последнее время разработано новое вакуумное масло (марки ВМ-6), обладающее в сравнении с маслом ВМ-4 меньшей вязкостью при пониженных температурах (0—20 $^{\circ}C$ ), большей стойкостью против окисления и образования эмульсии парами воды.

#### г) КАСТОРОВОЕ МАСЛО

Прозрачное бесцветное рафинированное касторовое масло (ГОСТ 6755-53) применяют для смазки и уплотнения скользящих поверхностей золотниковых дисков откачных автоматов,

смазки штенгелей перед вставлением в откачное гнездо и смазки патрубков деталей вакуумной арматуры перед надеванием на них резиновых трубок.

Касторовое масло добывают из семян клещевины. Оно отличается от других растительных масел высоким удельным весом (0,95) и большой вязкостью (130—140°Е при 20°С и 15—18°Е при 50°С). Масло, обладающее такой вязкостью, не выдавливается из зазоров между золотниковыми дисками и препятствует просачиванию воздуха между дисками. Наряду с большой вязкостью и высокой смазывающей способностью касторовое масло обладает при обычной температуре малой упругостью насыщенного пара (меньше  $10^{-4}$  мм рт. ст.). В отличие от других растительных масел оно практически не высыхает. Давление паров касторового масла резко возрастает с температурой. Касторовое масло не склонно к окислению в тонком слое и поэтому не образует твердой пленки. Температура вспышки его — около 240°С. Пары его почти не проникают в пространство, в котором поддерживается вакуум, и не проходят в лампы вместе с наполняющим газом.

Резина, смазанная касторовым маслом, становится более мягкой и эластичной. Касторовое масло предохраняет резину от высыхания и не разъедает ее, как минеральное. Это свойство касторового масла позволяет без больших усилий вставлять штенгели в резиновые гнезда откачных автоматов и соединять детали вакуумной арматуры с резиновыми трубками. Касторовое масло хорошо растворяется в этиловом спирте и ацетоне, поэтому при необходимости отмывать от него золотниковые диски пользуются одним из этих растворителей.

Масло, применяемое для смазки золотниковых дисков, должно быть безукоризненно чистым и совершенно свободным от механических примесей.

## 12-6. ВАКУУМНАЯ АРМАТУРА

### а) ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Вакуумной арматурой называют устанавливаемые на откачных установках вспомогательные детали, приборы и устройства, по которым во время откачки и наполнения проходят газы. К вакуумной арматуре относятся стеклянные и металлические трубки, стеклянные соединители и ловушки, краны, зажимы, манометры, фосфорницы, детандеры и др. Все эти соединенные между собой детали образуют изолированные от наружного воздуха каналы для перемещения газов. При недостаточном плотном соединении арматуры воздух просачивается через капиллярные просветы и загрязняет лампы. Наибольшему натеканию подвержена та часть арматуры, которая содержит

газ при наименьшем давлении и обслуживает последние позиции откачных автоматов.

Каждое соединение деталей вакуумной арматуры служит возможным источником просачивания воздуха в откачную установку. Для обеспечения герметичности и газонепроницаемости всей откачной установки сводят до минимума количество арматуры и число ее соединений. Детали арматуры соединяют между собой пайкой твердыми припоями, автогенной или дуговой сваркой или вакуумными резиновыми трубками. Резиновые трубки применяют с внутренним диаметром, меньшим наружного диаметра детали, на которую они надеваются, с тем чтобы надевание происходило с некоторым усилием. Для уменьшения количества газов, выделяемых резиной, стремятся максимально сократить открытую поверхность резины, обращенную в сторону вакуума.

Для лучшего использования производительности вакуумных насосов применяют арматуру, оказывающую наименьшее сопротивление движению откачиваемых газов и легко отдающую поглощенные газы. Проходное сечение арматуры должно быть по возможности просторным, протяженность короткой, а внутренняя поверхность гладкой. Арматура должна быть чистой и перед установкой отпрепарирована, промыта или протерта.

Стекланную арматуру изготавливают из толстостенного стекла рецепта С89-2, обладающего хорошей термостойкостью и способностью противостоять атмосферному давлению.

В целях предупреждения брака регулярно каждые два-три месяца по заранее составленному графику арматуру откачных автоматов подвергают тщательной профилактической чистке со сменой всех резиновых и стеклянных деталей, разборкой и прожигом металлических соединений.

### б) ВАКУУМ-ПРОВОДЫ

Вакуум-проводы служат для соединения отдельных элементов вакуумных установок. Их собирают из холоднотянутых медных труб наружным диаметром 12—15 мм и толщиной стенок 1,5 мм. На откачных автоматах ими соединяют патрубки нижнего золотникового диска с вакуумными насосами и подводками промывочного и наполняющего газов. Соединения выполняют вакуумными резиновыми трубками. Для изменения направления вакуум-проводов медные трубы гнут под требуемым углом. Для этого их набивают сухим просеянным песком, забивают с концов деревянными пробками, нагревают сильным пламенем горелки и изгибают по шаблону. Такой способ позволяет получать колена и отводы с гладкими закруглениями, без складок.

На откачных автоматах для параллельного распределения вакуума и промывочного газа применяют коллекторы (гребен-

ки) из бесшовных стальных или латунных труб диаметром 35—50 мм с приваренными к ним впускными и выпускными патрубками диаметром 12—15 мм. К вакуумному коллектору присоединяют выпускные патрубки одноступенчатых вращательных насосов и впускной патрубков местного форвакуумного насоса или центральной вакуумной подводки. Число и расположение патрубков зависят от вакуумной схемы автомата. Коллектор снабжают манометром для контроля давления. Концы коллектора герметично закрывают заглушками, которые можно удалить при чистке.

Вакуумные трубопроводы и гребенки при достаточно больших сечениях служат буферной емкостью, сглаживающей колебания давления протекающего газа и позволяющей поддерживать устойчивое низкое давление между вакуумными насосами и откачным автоматом.

#### в) СОЕДИНИТЕЛИ

Стекланными соединителями (рис. 12-24) соединяют откачиваемые лампы с рожками верхнего золотникового диска откачного автомата. Края патрубков соединителей оплавливают, чтобы они не повреждали резину. Соединители делают с небольшой ловушкой для касторового масла и осколков штенгелей.

Во время работы откачных автоматов следят за проходимостью и чистотой соединителей, которые не реже 1 раза в неделю меняют на новые. Чем выше вакуум в лампах, тем опаснее грязь в соединителях, так как при высоком вакууме легче проникают в лампы испарения, особенно если соединители горячие. В газонаполненные лампы загрязнения легко вносятся из соединителей вместе с промывочным и наполняющим газами. Результатом скопления в соединителях масла могут быть хрупкие и провисающие спирали.

При поломке ламп на откачных автоматах осколки разбитых или обломанных штенгелей извлекают крючком из резиновых трубок, не допуская проникновения их в соединители. Осколки, задуваясь откачиваемым воздухом или промывочным азотом в вакуумные насосы и золотниковые диски, забивают их каналы и наносят царапины на их рабочих поверхностях.

Соединители рекомендуется периодически продувать сжатым воздухом или азотом. Для этого к одному из патрубков нижнего золотникового диска подводят воздух или азот и, приведя карусель во вращение, последовательно продувают все рабочие гнезда.

Грязные соединители можно применять повторно после промывки в бензине. Смену соединителей во избежание травмы следует производить в перчатках с помощью специального приспособления.

#### г) ЗАЖИМНЫЕ ГНЕЗДА

Современные откачные автоматы оборудуют зажимными гнездами с резиновыми уплотняющими вкладышами, заменяю-

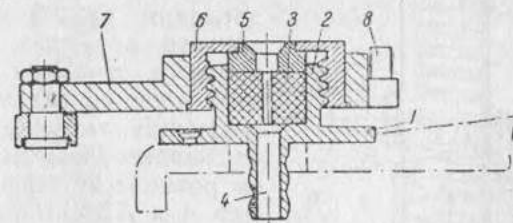


Рис. 12-25. Зажимное гнездо откачного автомата.

щими дорогостоящие штенгельные резиновые трубки. Зажимные гнезда служат для вакуумноплотного соединения штенгеля лампы с откачной системой.

Зажимное гнездо (рис. 12-25) состоит из корпуса 1, закрепленного на карусели откачного автомата. Верхняя часть корпуса снабжена гнездом 2 с наружной резьбой. Вложенный в гнездо толстостенный резиновый вкладыш 3 упирается своим основанием в дно гнезда, отросток которого 4 соединяет гнездо с вакуумной подводкой. Сверху вкладыш прижат металлическим прижимом 5 с надетым на него кольцом 6, имеющим внутреннюю резьбу.

Штенгель лампы без усилия вставляют в отверстие резинового вкладыша. Изменяя давление на вкладыш в осевом направлении, можно плотно обжимать или освобождать штенгель во вкладыше. Обжатие или освобождение штенгеля производится автоматически при завертывании или отвертывании резьбового кольца 6 с помощью роликового пальца 7 и выступа 8 наружной обоймы. На холостых позициях откачного автомата, где вытаскиваются остатки штенгелей и загружаются лампы, штенгели освобождаются в гнездах, а на рабочих позициях, где должна быть обеспечена непроницаемость для внешнего воздуха, штенгели плотно обжимаются. Существуют другие конструкции зажимных гнезд.

#### д) ВАКУУМНЫЙ КОНТАКТОР

Вакуумным контактором называют устройство, присоединяемое к откачным автоматам, для сигнализации о протекающей лампе (рис. 12-26). Он состоит из двух плотно соеди-

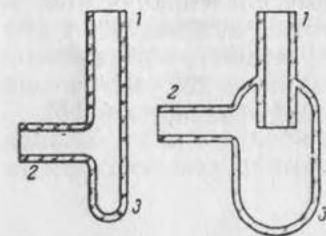


Рис. 12-24. Стекланные соединители.

1 — патрубок к штенгельной резиновой трубке; 2 — патрубок к вакуумной резиновой трубке; 3 — ловушка для масла и осколков стекла.

ненных металлических дисков с внутренней полостью, разделенной резиновой мембраной на две камеры А и Б. Камера А сообщается с патрубком 2, присоединенным ко 2-й рабочей позиции откачного автомата, а камера Б сообщается с патрубком 9, присоединенным к насосу предварительного вакуума.

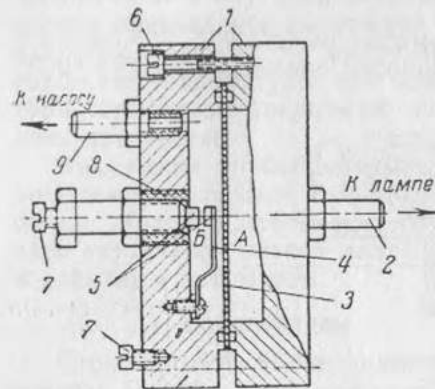


Рис. 12-26. Вакуумный контактор.  
1 — корпус; 2 — патрубок; 3 — мембрана; 4 — контактная пружина; 5 — контакты; 6 — соединительный винт; 7 — винты для крепления выводов от сигнальной лампы; 8 — изоляционная втулка; 9 — патрубок.

При внезапном повышении давления на 2-й позиции откачного автомата, например, когда в откачном гнезде на этой позиции оказывается протекающая лампа или вовсе не оказывается лампы, нарушается равновесие разрежения камер А и Б. Мембрана изгибается, нажимает на латунную пружину 4 с серебряным контактом и замыкает через другой контакт внешнюю цепь с сигнальной лампой или звонком.

#### е) ДЕТАНДЕР

В электрическую цепь вакуумного контактора включают промежуточное реле, которое при замыкании цепи приводит в действие устройство, автоматически пережимающее резиновую трубку откачного гнезда и изолирующее лампу от всей вакуумной системы. На немеханизированных линиях резиновую трубку по сигналу вакуумного контактора пережимают вручную.

Детандером, или мембранным клапаном, называют устройство, автоматически преобразующее переменное повышенное давление газа в постоянное пониженное. Детандеры устанавливают перед фосфорнидами газоочистительных систем и в подводках промывочного и наполняющего газов откачных автоматов. К детандеру присоединяют два манометра; один для измерения давления газа на входе, а другой — на выходе.

Детандер (рис. 12-27) состоит из литого бронзового корпуса 3, скрепленного болтами 10 с литой бронзовой или чугушной крышкой 9. Между корпусом и крышкой зажата мембрана 5, представляющая собой круглый нагартованный лист латуни толщиной 0,2—0,3 мм или резины толщиной 2—3 мм. Пространство, заключенное между стенками корпуса и мембраной, герметично изолировано от внешнего воздуха. Газ поступает под повышенным давлением из подводящего трубопровода, заполняет через патрубок 1 и впускное отверстие 13 подмембранную

полость А и выходит из него через патрубок 8 в потребляющий трубопровод под постоянным пониженным давлением, заранее отрегулированным поворотом гаек 12.

Внутри корпуса помещается металлический клапан 2 с эбонитовой фибровой вставкой 4. Клапан упирается своим основанием в связанный с мембраной диск 11. При завертыва-

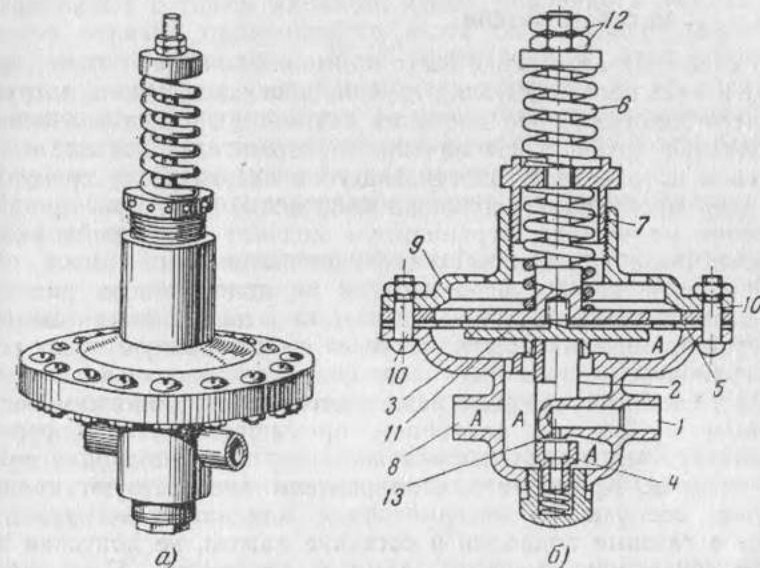


Рис. 12-27. Детандер.

а — общий вид; б — разрез; 1 — впускной патрубок; 2 — клапан; 3 — корпус; 4 — эбонитовая вставка клапана; 5 — мембрана; 6, 7 — пружины; 8 — выпускное отверстие; 9 — крышка; 10 — болты, скрепляющие корпус с крышкой; 11 — металлический диск; 12 — гайки; 13 — впускное отверстие; А — подмембранная полость.

нии гаек 12 пружины 6 и 7 устанавливают мембрану и связанный с ней клапан в определенное положение; между эбонитовой вставкой и кромкой отверстия 13 образуется щель, через которую газ проходит в полость А. Независимо от того, насколько фактическое давление в подводящем трубопроводе превышает требуемое давление в потребляющем трубопроводе, давление в последнем сохраняется постоянным благодаря автоматическому изменению величины щели. Например, при повышении давления в подводящем трубопроводе давление на поверхность мембраны повышается, мембрана выгибается по направлению к пружине 7, заставляя ее сжаться, эбонитовая вставка приближается к кромке отверстия в корпусе, щель между ними уменьшается, и подача газа тоже уменьшается. При понижении давления в подводящем трубопроводе давление на поверхность мембраны понижается, мембрана под действием пружины 7 выгибается в обратную сторону, эбонитовая вставка отдалится

от кромки отверстия в корпусе, щель между ними увеличивается, и подача газа тоже увеличивается.

Детандеры не требуют особого ухода. Во время профилактического ремонта откачного оборудования их демонтируют, разбирают и промывают водой; после сборки их проверяют на герметичность и обезгаживают под вакуумом.

#### ж) ОГРАНИЧИТЕЛИ

В откачных автоматах часто применяют ограничители (дроссели) в виде коротких узких трубок, закладываемых в патрубки нижнего золотникового диска на позициях промывки азотом и наполнения аргоном. Назначение ограничителей состоит в торможении потока газа, поступающего в лампы. В то время как детандер пропускает различное количество газа при заданном давлении на выходе, ограничитель создает после себя разное давление газа при заданном его количестве.

Рабочему каналу ограничителя придают такие размеры, чтобы при остановках карусели автомата на определенный промежуток времени он пропускал через себя заданную массу газа.

Ограничители позволяют содержать промывочный и наполняющий газы в подводках между детандером и нижним золотниковым диском под давлением, превышающим атмосферное, препятствуя тем самым протеканию в эту часть подводки внешнего воздуха. Кроме того, ограничители препятствуют проникновению воздуха из негерметичной или случайно разбитой лампы в газовые подводки и соседние лампы, не допуская тем самым приведения хороших ламп в негодность. При работе с ограничителями можно пропускать по кругу автомата открытое гнездо без опасения заразить соседние лампы воздухом, несмотря на то, что общая подводка газа связывает на позициях промывки несколько ламп.

Польза от применения ограничителей заключается еще в том, что газ на позициях промывки и наполнения вводится в лампы замедленно, а не сильным рывком, увлекающим за собой в золотниковые диски и лампы частицы фосфорного ангидрида, резины, стекла, масла и пр.

Ограничители могут работать только совместно с детандером. Детандер настраивают на давление, превышающее атмосферное, с тем чтобы избыток давления «срезался» ограничителем. В случае любого изменения скорости откачного автомата или изменения размеров откачиваемых ламп необходимо завертывать или отвертывать гайку детандера, чтобы ограничитель смог пропустить заданную массу газа.

За время остановки откачной карусели в лампу поступает требуемое количество газа лишь при условии строгой увязки между собой диаметра отверстия ограничителей, скорости откачной карусели, объема наполняемых ламп, размера проход-

ного сечения детандера, рода газа и температуры газа в ограничителе.

Ограничители иногда применяют на позициях откачки промывочного азота. В этом случае они замедляют скорость потока откачиваемого азота и препятствуют обратному поступлению газов из вакуумной подводки в лампы. Вакуумные ограничители изготавливают с таким каналом, чтобы давление в лампах на позициях откачки промывочного азота было выше давления в вакуумных подводках. Если промывочный азот откачан из лампы ранее, чем наступит момент перехода ее на следующую позицию, то ограничитель воспрепятствует обратному проникновению газов из вакуумной подводки в лампу и тем самым не допустит, чтобы промывка стала бесполезной.

При работе с ограничителями следят, чтобы их каналы не забивались грязью.

Во время профилактической чистки откачной арматуры извлекают ограничители из патрубков золотниковых дисков, проверяют правильность их размеров, чистят спиртовым раствором каустической соды и снова ввинчивают в патрубки дисков. Если на какой-либо промывочной позиции ошибочно не вставлен ограничитель, наиболее слабые лампы на этой позиции могут разрываться.

При работе с ограничителями можно применять на откачных автоматах вместо местных вакуумных насосов централизованные вакуумные подводки.

## 12-7. ВАКУУМНЫЙ КОНТРОЛЬ

### а) ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

При изготовлении ламп необходимо вести постоянный контроль за давлением газа в откачных установках, вакуумных и газовых подводках и самих лампах. Для этой цели применяют различные вакуумные контрольно-измерительные приборы.

Одни приборы непосредственно измеряют давление газа, а другие измеряют какое-либо свойство газа, зависящее от давления. Одни дают качественную оценку давления, другие — количественную. Одни измеряют большие давления, другие — малые.

Приборы, измеряющие давление газа в замкнутом пространстве, имеют общее название манометров. Манометры, предназначенные для измерения разности между атмосферным (барометрическим) давлением и давлением разреженного газа, называют вакуумметрами. Приборы, применяемые для одновременного измерения давлений, больших и меньших атмосферного, называют мановакуумметрами. Приборы, применяемые для обнаружения мест неплотностей и протечек, называют теченскателями.

## б) ПРУЖИННЫЙ И МЕМБРАННЫЙ МАНОМЕТРЫ

Устройство пружинного манометра основано на изменении формы изогнутой упругой трубки под действием содержащегося внутри нее газа. Такой манометр (рис. 12-28) состоит из цилиндрической коробки, в которой заключена одновитковая трубчатая металлическая пружина. Открытый конец пружины



Рис. 12-28. Пружинный манометр.

1 — корпус; 2 — трубчатая пружина; 3 — зубчатый сектор; 4 — стрелка; 5 — держатель; 6 — ниппель.



Рис. 12-29. Мембранный манометр.

1 — фланец; 2 — складчатая пластина (мембрана); 3 — стержень; 4 — зубчатый сектор; 5 — стрелка.

впаян в держатель, оканчивающийся ниппелем с резьбой для присоединения к источнику измеряемого давления, а закрытый конец соединен с чувствительным механизмом, приводящим в движение указательную стрелку.

Атмосферный воздух давит на внешнюю поверхность пружины, а газ, давление которого измеряют, давит на ее внутреннюю поверхность. Под влиянием разности этих давлений упругие стенки пружины деформируются и перемещают закрытый конец пружины и стрелку. Последняя указывает на шкале циферблата численные значения измеряемого давления.

В манометрах для измерения давления выше атмосферного пружина раскручивается, и стрелка поворачивается слева направо. Измеряемое абсолютное давление равно давлению, указываемому стрелкой, сложенному с атмосферным давлением. Такие манометры получили применение в газоочистительных системах, в установках для получения азота, аргона, кислорода и водорода, в сетях сжатого воздуха и др.

В манометрах для измерения давления ниже атмосферного пружина скручивается, и стрелка поворачивается справа налево. Измеряемое абсолютное давление равно атмосферному за вычетом давления, указываемого стрелкой. Такие манометры получили применение на откачных автоматах в подводках промывочного и наполняющего газов, в централизованных вакуумных подводках и др.

Наряду с пружинными манометрами в производстве ламп применяют мембранные манометры, в которых измеряемое давление определяют по величине прогиба встроенной в них упругой мембраны (рис. 12-29). Мембрана герметично отделяет пространство А, откачанное до давления не выше  $10^{-4}$  мм рт. ст., от пространства В, соединенного с откачиваемым объемом. В отличие от пружинного манометра показания мембранного не зависят от атмосферного давления, и чувствительность его значительно выше (нижний предел измеряемых давлений достигает 0,1 мм рт. ст.). Применение его позволяет более точно измерять давление в условиях вибраций и сотрясений.

Циферблаты пружинных и мембранных манометров иногда снабжают контактными деталями для подключения к электрической цепи со звонком или лампой. Последние сигнализируют достижение определенных значений давления.

С течением времени технические манометры теряют начальную точность показаний. Поэтому они подлежат периодическому сравнению с образцовым манометром и при необходимости ремонту.

## в) ТЕПЛОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАНОМЕТРЫ

Устройство теплоэлектрических манометров основано на явлении уменьшения теплопроводности разреженного газа с уменьшением давления (стр. 62).

Существуют два типа теплоэлектрических манометров — сопротивления и термопарный. Оба типа состоят из манометрической лампы (датчика), воспринимающей давление, и приборов, измеряющих давление. Штенгель датчика подсоединяют к откачиваемому объему, например к приемнику насоса, если требуется измерить разрежение в насосе, или вставляют в резиновое гнездо откачного автомата, если требуется измерить разрежение в гнезде автомата.

При нагревании током металлической нити датчика газ, окружающий нить, переносит тепло к холодным стенкам колбы. В начале откачки теплоотдача нити, вызванная теплопроводностью газа, не изменяется, а с момента, когда средняя длина свободного пробега молекул достигнет величины расстояния между накаленной нитью и стенкой колбы (при давлении 0,10—0,15 мм рт. ст.), теплопроводность газа и соответственно теплоотдача нити через газ начнут уменьшаться. По мере дальнейшего понижения давления и соответственно уменьшения теплоотдачи увеличивается сопротивление и повышается температура нити. Манометром сопротивления измеряют давление по изменению сопротивления нити, а термопарным манометром — по изменению температуры нити<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Манометр сопротивления не получил распространения на отечественных электроламповых заводах, поэтому он здесь не описывается.

Датчик термодатного манометра (рис. 12-30) состоит из стеклянного баллона с припаянным к его куполу штенгелем и ножки с четырьмя электродами. К внутренним концам крайних электродов приварен подогреватель из платиновой ленты, а к внутренним концам средних электродов — хромель-алюмелевая термопара. Середина подогревателя и середина термопары приварены друг к другу точечной сваркой. Внешние концы электродов припаяны к четырехштырьковому цоколю. В цепь подогревателя включен источник постоянного тока, реостат и миллиамперметр, а в цепь термопары — милливольтметр.

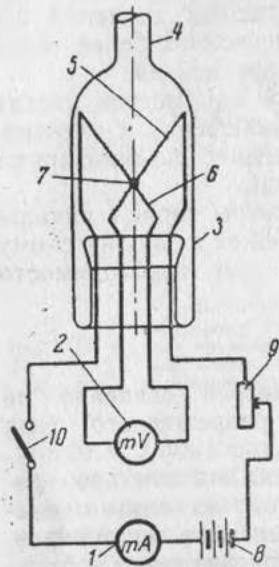


Рис. 12-30. Термодатный манометр.

1 — миллиамперметр; 2 — милливольтметр; 3 — манометрическая лампа (датчик); 4 — штенгель (откачная трубка); 5 — подогреватель; 6 — термопара; 7 — спай подогревателя с термопарой; 8 — аккумулятор; 9 — реостат; 10 — выключатель.

По мере откачки датчика теплопроводность газа уменьшается, вызывая повышение температуры подогревателя и спая термопары. В замкнутом контуре, образованном термопарой и милливольтметром, возникает слабый электрический ток, напряжение которого изменяется с изменением температуры спая термопары, а следовательно, и давления в датчике. При понижении давления теплопроводность газа уменьшается, температура нагревателя повышается и показания милливольтметра в цепи термопары увеличиваются. Милливольтметр градуируют в милливольты или непосредственно в миллиметрах ртутного столба. В первом случае, пользуясь переводной таблицей или градуировочной кривой, приделают давление в миллиметрах ртутного столба.

Переводную таблицу составляют по одновременному показанию двух манометров.

Термодатным манометром можно измерять давление от 1 до 0,001 мм рт. ст. Он позволяет непрерывно наблюдать за изменением давления и отсутствием натеканий в вакуумных установках. Благодаря точности измерений и простоте эксплуатации он нашел широкое применение на отечественных электроламповых заводах.

## г) ИСКРОВОЙ ТЕЧЕИСКАТЕЛЬ

Манометры позволяют устанавливать факт натекания, но не устанавливают места, через которое происходит натекание. Для точного определения места течи пользуются искровым теческателем, действие которого основано на проникновении электрического разряда через течь. Теческателем служит высокочастотный индуктор, преобразующий ток низкого напряжения (127 или 220 в) и низкой частоты (50 гц) в ток высокого напряжения (выше 30 000 в) и высокой частоты (выше 100 000 гц).

Прикосновение одного из выводов такой катушки к откачиваемой лампе вызывает в объеме лампы под влиянием электрического поля электрический разряд, сопровождающийся световыми явлениями. Чем тоньше стенки колбы, тем разряд интенсивней. При приближении вывода к месту течи разряд переходит в яркую искру.

Искровым теческателем обнаруживают самые незначительные отверстия в лампах. По красному цвету свечения и наличию искры устанавливают, какая лампа повреждена, и снимают ее с откачной установки.

На автоматах откачки вакуумных ламп один из выводов искрового теческателя подвешивают над позицией, предшествующей позиции отпайки, а на автоматах откачки и наполнения газонаполненных ламп — над позицией, предшествующей позиции наполнения. Чтобы возникающие искры не пробивали стекла, вывод применяют в виде метелки из тонких проволок, не царапающих стекло. При красном свечении газов, являющимся результатом недостаточной откачки, отводят отпайчную горелку и снова откачивают лампу. При красном свечении газов, являющимся результатом механического повреждения стекла, лампу бракуют.

Токи высокой частоты способны жестить вакуумную лампу. Поэтому пребывание ламп на откачной позиции в высокочастотном электрическом поле не только позволяет выявлять течь в лампах, но и содействует лучшему обезгаживанию деталей ламп и соединительных ловушек. Выделяющиеся под влиянием разряда газы выкачиваются перед отпайкой ламп.

## д) АППАРАТ ТЕСЛЫ

Описанными выше приборами можно контролировать давление газа в процессе откачки ламп, но нельзя оценивать его в готовых лампах. Для приближенной и быстрой оценки вакуума в отпаянных лампах применяют высокочастотный аппарат Теслы, возбуждающий в лампах свечение. Внешний вид свечения позволяет судить о давлении газа.

Устройство аппарата Теслы основано на явлении электрического резонанса, заключающегося в резком возрастании

нии амплитуды собственных электрических колебаний при наложении на них других электрических колебаний.

Аппарат (рис. 12-31) состоит из трансформатора 2, повышающего напряжение с 220 до 3600 в, конденсатора 3, прерывателя с искровым промежутком 4, резонанс-трансформатора Теслы 5, повышающего напряжение до нескольких десятков тысяч вольт, и деревянного ящика с металлической крышкой 6.

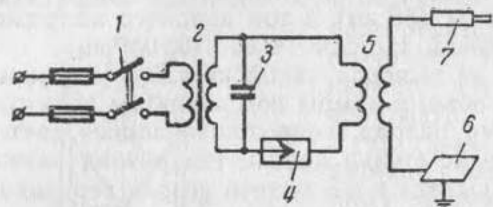


Рис. 12-31. Аппарат Теслы.

1 — рубильник; 2 — трансформатор; 3 — конденсатор; 4 — искровой разрядник; 5 — трансформатор без сердечника; 6 — металлический экран на крышке ящика; 7 — кольцо с рукояткой.

Один вывод вторичной катушки трансформатора Теслы заземлен, а другой — соединен гибким шлангом с изолированным толстостенной резиной металлическим кольцом 7, служащим щупом. Конденсатор, искровой промежуток и первичная катушка Теслы составляют колебательный контур, в котором при периодическом разряде и заряде конденсатора возникают высокочастотные колебания тока, индуктирующие во вторичной обмотке трансформатора Теслы ток высокого напряжения с частотой выше 250 000 гц. Первичный и вторичный контуры трансформатора Теслы настроены в резонанс, благодаря чему в пространстве между выводами вторичной обмотки создается сильное быстропеременное электромагнитное поле, колебания которого повторяются с частотой вибрации прерывателя. В вакуумных приборах, помещенных в такое поле, зажигается электрический разряд, сопровождающийся свечением разреженных газов. Окраска свечения зависит от физической природы, давления и чистоты газа.

Вакуум в лампах проверяют следующим образом: ставят коробку с лампами на крышку деревянного ящика, в котором заключен аппарат Теслы, и проводят резиновым щупом незаземленного вывода по поверхности ламп. Соприкосновение со щупом вызывает свечение ламп, которое становится тем заметнее, чем темнее окружающий фон. С уменьшением давления остаточного газа свечение последовательно переходит от красного к оранжевому, фиолетовому и зеленому. Полное отсутствие свечения характеризует предельные значения давления, т. е. близкое к атмосферному, или наилучший вакуум («темный вакуум»). В сильно натекающих лампах проскакивают светящиеся фиолетовые искры от спирали и электродов к колбе.

Аппаратом Теслы можно пользоваться в качестве теченскателя. При приближении щупа аппарата к трещине возникает ярко-белый искровой разряд, точно показывающий место трещины.

Длиной искрового промежутка регулируют частоту и напряжение разрядного тока, а следовательно, и электрического поля. При слишком большом искровом промежутке возникают интенсивные искры между щупом и лампой, которые могут пробить стекло колбы и образовать в нем небольшое отверстие, так как давление, создаваемое ионами в электрической искре, достигает нескольких сотен атмосфер. Опасность пробоя возрастает с уменьшением толщины стенок колбы и увеличением длительности воздействия искры на одно и то же место колбы. В лампе, долго находившейся в поле аппарата Теслы, может ухудшиться вакуум, так как плохо обезгаженное стекло способно в таких условиях обезгаживаться. Длительная бомбардировка электронами вызывает нагревание деталей лампы и выделение из них газов. После нескольких минут пребывания в сильном поле аппарата Теслы лампы начинают светиться мутным молочным светом. Если колба заранее хорошо обезгажена, а давление остаточного газа в лампе относительно большое, то пребывание лампы в поле аппарата Теслы может способствовать улучшению в ней вакуума, так как хорошо обезгаженное стекло способно поглощать из разряда положительные ионы газа. В лампах с очень тонкой вольфрамовой нитью ток разряда может разрушить нить.

Давление газа в горячей лампе выше, чем в остывшей. Поэтому для правильной оценки вакуума нужно после откачки давать лампам остыть, а потом проверять вакуум.

Аппаратом Теслы обычно проверяют только вакуумные лампы. В газонаполненных лампах, помещенных в поле аппарата Теслы, зажигается искровой разряд между спиралью и колбой. Цвет разряда в азоте и аргоне — красный, в криптоне и ксеноне — серый. Загрязнение криптона и ксенона углеродами окрашивает разряд в зеленый цвет.

Создаваемое вокруг аппарата Теслы высокочастотное электрическое поле распространяется на большое расстояние и мешает радиоприему, поэтому законодательство обязывает снабжать аппараты Теслы защитными устройствами, препятствующими распространению радиопомех.

Организм человека переносит воздействие электрического тока высокого напряжения с частотой выше нескольких десятков тысяч герц без серьезных болезненных последствий. Токи высокой частоты незначительной мощности проходят по наружному слою кожного покрова, не задевая нервных окончаний. При прикосновении рукой к изолированному толстостенной резиной щупу аппарата Теслы можно без боли выдерживать искры, проходящие между щупом и рукой. Пропуская через свое тело токи высокой частоты, можно прикосновением руки заставлять светиться вакуумные лампы. Однако считать высокочастотные токи совершенно безопасными нельзя, так как при большой мощности они вызывают сильные ожоги.



Оценка вакуума аппаратом Теслы нашла широкое применение при массовом контроле ламп. Аппарат обладает большой пропускной способностью и дает быстрое и надежное средство выявления ламп с плохим вакуумом. Работа на нем проста и может быть быстро освоена любой работницей.

#### е) ВЫЯВЛЕНИЕ ТЕЧЕЙ В ОТКАЧНЫХ УСТАНОВКАХ

Любые течи в вакуумной установке происходят под влиянием разности давления газа в установке и давления атмосферного воздуха. Существует несколько приемов, которыми можно обнаружить течи.

1. Наполняют испытываемый участок вакуумной установки азотом до давления, превышающего атмосферное, после чего перекрывают его. По показаниям присоединенного манометра останавливают наличие течи.

2. Наполняют испытываемый участок вакуумной установки азотом до давления, превышающего атмосферное, после чего наносят по местам соединений, пайки и сварки пленку мыльной воды. Образующиеся мыльные пузыри указывают место и величину неплотности.

3. Откачивают испытываемый участок вакуумной установки до наименьшего давления, после чего разобщают его с вакуумным насосом. По присоединенному к этому участку манометру останавливают наличие течи.

4. Загружают гнезда откачного автомата лампами, откачивают лампы при перекрытых подводках промывочного и наполняющего газов до тех пор, пока стрелки манометров в этих подводках не перестанут двигаться, после чего перекрывают насосы, останавливают карусель на 10—15 мин и следят за стрелками манометров. Перемещение стрелок в сторону большего давления указывает на натекание в подводках.

5. Погружают испытываемую металлическую арматуру в ванну с водой и вводят внутрь арматуры сжатый воздух или азот до давления 3 ат. По скорости образования и величине пузырьков газа определяют место и величину отверстия.

6. Откачивают испытываемую стеклянную арматуру, после чего проводят концом высокочастотного провода искрового теческателья по ее поверхности. В негерметичном месте проходит разряд в виде ярко светящихся пучков искр.

7. Переводят карусель откачного автомата в промежуточное положение, после чего проверяют лампы и стеклянные соединители искровым теческателем. При наличии течи лампа и соединитель дают красное свечение.

#### ж) ЛЮМИНЕСЦЕНТНАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ

В производстве бывают случаи, когда лампы при зажигании «перегорают с воздухом» без каких-либо видимых повреждений. В таких случаях микроскопические трещины и течи в деталях

ламп удобно выявлять при помощи люминесцирующих синтетических красителей (люмогенов), способных светиться в ультрафиолетовых лучах.

Подозреваемую в негерметичности лампу очищают от загрязнений, обезжиривают в трихлорэтилене и погружают в сильно разбавленный раствор люмогена в трихлорэтилене (100—200 мг порошка люмогена оранжевого на 1 л трихлорэтилена).

Хорошо смачивающие жидкости способны подниматься по каналу капилляра. Если лампа имеет трещину, раствор люмогена, просачиваясь под действием капиллярных сил через трещину, накапливается на противоположной стенке. Выдержанную в растворе лампу отмывают трихлорэтиленом от люмогена и освещают ультрафиолетовым светом ртутно-кварцевой лампы, заэкранированной черным светофильтром.

Просочившийся в трещину люмоген излучает под действием ультрафиолетовых лучей красный точечный свет, указывающий место течи. Для лучшего обнаружения течи пользуются лупой, фокусирующей ультрафиолетовые лучи и увеличивающей видимую поверхность и яркость светящейся «точки».

Если после некоторой выдержки в люминесцирующем растворе светящаяся точка нигде не появится, то лампу снова промывают трихлорэтиленом и снова закладывают в раствор.

Метод люминесцентной дефектоскопии отличается высокой чувствительностью. В отличие от других методов он не требует откачки ламп для выявления течи и может быть применен для проверки спаев и отыскания течи в отдельных открытых деталях ламп, например незаваренных ножках.

При выдержке натекающей лампы в люминесцирующем растворе можно выявить течь порядка  $10^{-3}$  мм рт. ст. · см<sup>3</sup>/сек в течение нескольких минут, течь порядка  $10^{-4}$  мм рт. ст. · см<sup>3</sup>/сек в течение нескольких часов и течь порядка  $10^{-5}$  мм рт. ст. · см<sup>3</sup>/сек в течение нескольких суток.

#### з) ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ В ГАЗОНАПОЛНЕННЫХ ЛАМПАХ

Для проверки давления наполняющего газа лампу погружают в воду и под водой обламывают штенгель. Внутри лампы вытягивается некоторое количество воды, сжимающей газ до атмосферного давления. Наполнение считается нормальным, если объем воды в лампе не превышает  $1/5$  объема лампы.

Для более точного определения давления производят три взвешивания: 1) лампы со втянутой водой; 2) лампы, целиком наполненной водой; 3) лампы без воды. Искомое давление  $P$  подсчитывают по уравнению

$$P = P_0 \frac{Q_2 - Q_3}{Q_3 - Q_1}, \quad (12-2)$$

где  $Q_1$  — вес лампы;

$Q_2$  — вес лампы со втянутой водой;  
 $Q_3$  — вес лампы, полностью заполненной водой;  
 $P_0$  — атмосферное давление в момент, когда производится измерение.

Можно точно измерить давление в лампе, не производя взвешиваний. Для этого под водой обламывают штенгель и впускают в лампу воду. Затем вскрывают в лампе второе отверстие и измеряют мензуркой объем втянутой воды  $V_1$ . Далее лампу целиком заполняют водой и измеряют мензуркой объем всей воды  $V_2$ . Искомое давление  $P$  подсчитывают по уравнению

$$P = P_0 \frac{V_2 - V_1}{V_2}. \quad (12-3)$$

Лампы перед вскрытием охлаждают до комнатной температуры. Если температура помещения сильно отличается от обычной, то значение давления газа, полученное по уравнению (12-3), пересчитывают на то значение, которое будет иметь место при  $17^\circ\text{C}$ :

$$P = P_t \frac{273 + 17}{273 + t} = P_t \frac{290}{273 + t}, \quad (12-4)$$

где  $t$  — фактическая температура помещения,  $^\circ\text{C}$ ;  
 $P_t$  — давление в лампе при фактической температуре.

Приведенные методы измерения давления наполняющего газа применимы только к лампам, наполненным до давления меньше атмосферного. При давлениях больше атмосферного лампу разбивают в воде, собирают газ в перевернутую воронку и измеряют его объем.

## 12-8. БРАК ПРИ ОТКАЧКЕ И НАПОЛНЕНИИ ЛАМП

### а) «КРАСНЫЕ» ЛАМПЫ

Красными называют вакуумные лампы с давлением остаточных газов, превышающим  $0,06 \text{ мм рт. ст.}$ , дающие в электрическом поле аппарата Теслы красное объемное свечение. Красные лампы при включении в электрическую сеть перегорают с явлением электрической дуги. Красные миниатюрные и сверхминиатюрные лампы потребляют повышенную мощность, излучают малый световой поток и сильно темнеют после непродолжительного горения.

Красные лампы могут получаться при неисправностях вакуумных насосов, закупорке вакуум-проводов, натекании атмосферного воздуха в вакуумную систему и выделении пара или газа внутри вакуумной системы.

Для того чтобы в каждом отдельном случае выявить причину потери вакуума, необходимо прежде всего установить, потеряются ли красными единичные лампы или целиком все лампы. Если среди откачанных ламп только часть ламп имеет плохой вакуум, а у остальных вакуум хороший, то причину брака следует искать на участке от верхнего золотникового диска до откачиваемых ламп включительно, т. е. во вращающейся части откачного автомата. Если же плохой вакуум наблюдается у всех откачанных ламп, то причину брака следует искать на участке от нижнего золотникового диска до насосов предварительного вакуума включительно, т. е. в неподвижной части откачного автомата.

Предположим, что аппаратом Теслы установлено, что часть ламп имеет красное свечение, а остальные лампы хорошие. В этом случае нужно осмотреть каждую красную лампу и выявить, нет ли в ней пропусков или трещин. Особенно внимательно нужно осмотреть лопатку ножки, тарелку, шов между колбой и тарелкой и носик, в которых наиболее часто бывают пропуски и трещины. Если даже из всех красных ламп только у части обнаружены дефекты, то причиной «покраснения» все же нужно считать негерметичность отдельных ламп, потому что вакуумные насосы после откачки натекающих ламп требуют некоторого времени для восстановления вакуума, вследствие чего одна или несколько ламп, следующих за натекающей, могут оказаться красными. При отсутствии на откачных автоматах механизма отключения негерметичных ламп сильно натекающие лампы легко распознаются по ненормальному стуку насосов.

Предположим, что при просмотре ламп не было обнаружено дефектных. Тогда причину брака нужно искать в деталях вакуумной арматуры, находящихся над поверхностью соприкосновения золотниковых дисков, а именно в зажимных гнездах, штенгельных резиновых трубках, стеклянных соединительных ловушках и вакуумных резиновых трубках, соединяющих ловушки с рожками верхнего диска. Чтобы установить, какая именно резина или какой соединитель забит или пропускает воздух, нужно откачать и отпаять один-два круга ламп, уложить лампы в лотке в таком порядке, в каком они откачивались на автомате, и затем проверкой ламп на аппарате Теслы выявить номера гнезд, в которых лампы плохо откачивались. Зная номер откачного гнезда, нетрудно точно определить место, являющееся источником нарушения вакуума, и ликвидировать его.

Бывает, что проверкой ламп по гнездам не удается установить какой-либо закономерности, т. е. аппарат Теслы показывает, что отдельные лампы — красные, но эти красные лампы откачивались не в одних и тех же гнездах, а в разных. В этих случаях следует проверить, не слишком ли мало откачное отверстие в ножках, не узки ли штенгели, не слишком ли заплавлен свободный конец штенгелей, хорошо ли прогрета лопатка ножек,

правильно ли впаян платинит в ножки, исправно ли работает реле, выключающее негерметичную лампу<sup>1</sup>.

На автоматах с ручной загрузкой ламп отдельные красные лампы могут получаться по неопытности откачницы, например, когда она недостаточно глубоко вставляет лампы в резиновое гнездо или не перекрывает по сигналу контактного манометра гнездо с натекающей лампой, или допускает закупорку штенгельной резины и соединительных ловушек обломками штенгелей и маслом и т. д.

Предположим теперь, что при проверке ламп аппаратом Теслы обнаружилось, что не отдельные экземпляры ламп, а все лампы без исключения имеют красное свечение. В этом случае причину брака нужно искать в деталях и частях откачного автомата, находящихся под поверхностью соприкосновения золотниковых дисков. Прежде всего нужно проверить проходимость вакуумных каналов на начальных позициях. Частые случаи перекрытия зажимного гнезда при отсутствии течи в лампах означают, что на начальных позициях забиты вакуумные каналы. В таких случаях следует продуть их сжатым воздухом. Если после исключения этой причины качество вакуума не улучшилось, нужно установить, на какой позиции автомата происходит потеря вакуума. Для этого вставляют манометрическую лампу в какое-либо откачное гнездо автомата и поочередно проверяют вакуум на каждой позиции. Если при вращении карусели манометр покажет на какой-либо позиции неудовлетворительный вакуум, следует выявить, вызвано ли это плохо работающим вакуумным насосом на этой позиции или негерметичной позиционной арматурой. Для этого останавливают вращение карусели, перекрывают заподозренный насос и измеряют давление на позиции. Давление, не изменяющееся в течение нескольких минут, означает, что брак вызван плохой работой насоса, а возрастающее давление указывает на наличие течи через позиционную арматуру.

Все насосы должны давать одинаково хороший вакуум. Пусть установлено, что причиной брака оказалась неудовлетворительная работа какого-либо насоса. Для подтверждения такого вывода нужно прислушаться к стуку насоса, проверить, не слишком ли он греется, посмотреть, достаточно ли в нем масла. Кроме такой внешней проверки, можно убедиться в его неисправности подсоединением манометрической лампы непосредственно к его впускному патрубку. Неисправный насос следует заменить.

Пусть теперь установлено, что причиной брака оказалась позиционная вакуумная арматура. В этом случае нужно осмотреть ее, начиная от патрубка нижнего золотникового диска

<sup>1</sup> Миниатюрные лампы с бусиновой ножкой, завариваемые встык со штенгелем, имеющие короткий платинитовый впай, более склонны к потере вакуума, чем лампа с гребешковой ножкой.

и кончая приемником насоса. Одновременно нужно проверить действие системы смазки золотника. Отсутствие касторового масла в касторнице, ненормально большой расход касторового масла, низкое качество касторового масла и засорение касторницы или маслопровода вызывают нарушение герметичности между золотниковыми дисками, препятствующее нормальной откачке ламп.

Если тщательная внешняя проверка арматуры и системы смазки золотника не обнаружила отклонений, то идут на крайнюю меру—останавливают автомат, открывают золотниковые диски, промывают их каналы и зеркальные поверхности спиртом и в случае обнаружения на зеркалах царапин, шероховатостей или других недостатков заново их притирают.

Неисправность золотниковых дисков—случай сравнительно редкий. Опыт показывает, что наиболее частые случаи массового получения красных ламп вызываются не плохим состоянием золотниковых дисков, а нарушением герметичности или закупоркой соединительной арматуры и неисправностью какого-либо вакуумного насоса или одной из его камер.

Вакуумные насосы обладают определенной быстротой действия. Поэтому если откачной автомат оборудован недостаточным числом насосов или насосные камеры соединены с автоматом по неправильной схеме, или сечение вакуумной арматуры слишком мало, или вакуумная арматура засорена и частично потеряла проходимость, или скорость вращения карусели слишком велика, или отверстия верхнего и нижнего золотниковых дисков не точно совмещаются, или, наконец, размеры ламп относительно велики, то во всех этих случаях могут получаться красные лампы.

Для изготовления ламп хорошего качества рекомендуется ежедневно проводить следующие испытания: 1) перед началом работы, после того как откачной автомат сделал несколько оборотов, остановить вращение карусели и проверить соединительные ловушки искровым теченскателем; 2) снять с откачного автомата несколько ламп, у которых искровой теченскатель показал хороший вакуум, проверить их аппаратом Теслы и испытать на 15-часовое горение.

Лампы, получившиеся красными по причинам, зависящим от них самих, являются в большинстве случаев окончательным браком и подлежат уничтожению. Лампы же, оказавшиеся красными по причинам, не зависящим от них, могут быть исправлены путем обрезки носика, напайки нового штенгеля и повторной откачки.

## 6) «ЧЕРНЫЕ» ЛАМПЫ

Черными называют газонаполненные лампы, содержащие вредные химически активные пары и газы, действие которых на раскаленную спираль вызывает образование и испарение низ-

правильно ли впаян платинит в ножки, исправно ли работает реле, выключающее негерметичную лампу<sup>1</sup>.

На автоматах с ручной загрузкой ламп отдельные красные лампы могут получаться по неопытности откачницы, например, когда она недостаточно глубоко вставляет лампы в резиновое гнездо или не перекрывает по сигналу контактного манометра гнездо с натекающей лампой, или допускает закупорку штенгельной резины и соединительных ловушек обломками штенгелей и маслом и т. д.

Предположим теперь, что при проверке ламп аппаратом Теслы обнаружилось, что не отдельные экземпляры ламп, а все лампы без исключения имеют красное свечение. В этом случае причину брака нужно искать в деталях и частях откачного автомата, находящихся под поверхностью соприкосновения золотниковых дисков. Прежде всего нужно проверить проходимость вакуумных каналов на начальных позициях. Частые случаи перекрытия зажимного гнезда при отсутствии течи в лампах означают, что на начальных позициях забиты вакуумные каналы. В таких случаях следует продуть их сжатым воздухом. Если после исключения этой причины качество вакуума не улучшилось, нужно установить, на какой позиции автомата происходит потеря вакуума. Для этого вставляют манометрическую лампу в какое-либо откачное гнездо автомата и поочередно проверяют вакуум на каждой позиции. Если при вращении карусели манометр покажет на какой-либо позиции неудовлетворительный вакуум, следует выявить, вызвано ли это плохо работающим вакуумным насосом на этой позиции или негерметичной позиционной арматурой. Для этого останавливают вращение карусели, перекрывают заподозренный насос и измеряют давление на позиции. Давление, не изменяющееся в течение нескольких минут, означает, что брак вызван плохой работой насоса, а возрастающее давление указывает на наличие течи через позиционную арматуру.

Все насосы должны давать одинаково хороший вакуум. Пусть установлено, что причиной брака оказалась неудовлетворительная работа какого-либо насоса. Для подтверждения такого вывода нужно прислушаться к стуку насоса, проверить, не слишком ли он греется, посмотреть, достаточно ли в нем масла. Кроме такой внешней проверки, можно убедиться в его неисправности подсоединением манометрической лампы непосредственно к его впускному патрубку. Неисправный насос следует заменить.

Пусть теперь установлено, что причиной брака оказалась позиционная вакуумная арматура. В этом случае нужно осмотреть ее, начиная от патрубка нижнего золотникового диска

<sup>1</sup> Миниатюрные лампы с бусинковой ножкой, завариваемые встык со штенгелем, имеющие короткий платинитовый впай, более склонны к потере вакуума, чем лампа с гребешковой ножкой.

и кончая приемником насоса. Одновременно нужно проверить действие системы смазки золотника. Отсутствие касторового масла в касторнице, ненормально большой расход касторового масла, низкое качество касторового масла и засорение касторницы или маслопровода вызывают нарушение герметичности между золотниковыми дисками, препятствующее нормальной откачке ламп.

Если тщательная внешняя проверка арматуры и системы смазки золотника не обнаружила отклонений, то идут на крайнюю меру—останавливают автомат, открывают золотниковые диски, промывают их каналы и зеркальные поверхности спиртом и в случае обнаружения на зеркалах царапин, шероховатостей или других недостатков заново их притирают.

Неисправность золотниковых дисков—случай сравнительно редкий. Опыт показывает, что наиболее частые случаи массового получения красных ламп вызываются не плохим состоянием золотниковых дисков, а нарушением герметичности или закупоркой соединительной арматуры и неисправностью какого-либо вакуумного насоса или одной из его камер.

Вакуумные насосы обладают определенной быстротой действия. Поэтому если откачной автомат оборудован недостаточным числом насосов или насосные камеры соединены с автоматом по неправильной схеме, или сечение вакуумной арматуры слишком мало, или вакуумная арматура засорена и частично потеряла проходимость, или скорость вращения карусели слишком велика, или отверстия верхнего и нижнего золотниковых дисков не точно совмещаются, или, наконец, размеры ламп относительно велики, то во всех этих случаях могут получаться красные лампы.

Для изготовления ламп хорошего качества рекомендуется ежедневно проводить следующие испытания: 1) перед началом работы, после того как откачной автомат сделал несколько оборотов, остановить вращение карусели и проверить соединительные ловушки искровым теченскателем; 2) снять с откачного автомата несколько ламп, у которых искровой теченскатель показал хороший вакуум, проверить их аппаратом Теслы и испытать на 15-часовое горение.

Лампы, получившиеся красными по причинам, зависящим от них самих, являются в большинстве случаев окончательным браком и подлежат уничтожению. Лампы же, оказавшиеся красными по причинам, не зависящим от них, могут быть исправлены путем обрезки носка, напайки нового штенгеля и повторной откачки.

## 6) «ЧЕРНЫЕ» ЛАМПЫ

Черными называют газонаполненные лампы, содержащие вредные химически активные пары и газы, действие которых на раскаленную спираль вызывает образование и испарение низ-

ших окислов вольфрама и конденсацию их на внутренних поверхностях лампы в виде темного налета. Черные лампы после сравнительно непродолжительного горения в большинстве случаев перегорают.

Вредные газы реагируют с вольфрамом со скоростью, пропорциональной их парциальному давлению. В одних случаях реакция между газами и вольфрамом заканчивается за первые несколько минут горения лампы, и тогда образовавшийся налет не прогрессирует. В других случаях реакция между ними длится в течение всего времени горения лампы, и тогда образовавшийся налет непрерывно прогрессирует до тех пор, пока спираль не перегорит. Лампы со значительным темным налетом на колбе обычно классифицируют не как «черные», а как «натекающие» или «с воздухом». Газонаполненные лампы «с воздухом» получают по тем же причинам и устраняются такими же приемами, как и вакуумные «красные» лампы.

Черные лампы чаще всего получаются в результате воздействия на вольфрам остаточных паров воды. В случаях, когда атмосферный воздух содержит пары воды более  $27 \text{ г/м}^3$ , следует опасаться появления черных ламп, если не компенсировать вредное влияние влаги применением газопоглотителей или принятием других мер. В летнее время воздух более влажен, чем в зимнее; днем воздух более влажен, чем ночью; в местностях с теплым климатом воздух более влажен, чем в местностях с холодным климатом; при работе на природном горючем газе воздух в помещении более влажен, чем при работе на водяном газе. При изготовлении газонаполненных ламп это различное содержание влаги в воздухе оказывает соответственно большее или меньшее влияние на появление черных ламп.

Образование черного налета в лампах часто сопровождается провисанием или короблением спирали.

Начальный черный налет бывает настолько незначительным, что становится заметным лишь на сильно освещенном белом фоне. Чаще всего налет можно рассмотреть на молибденовых держателях, концах никелевых вводов и колбах. На держателях черное пятно образуется на расстоянии нескольких миллиметров от завитка. Это — наиболее близкое от спирали препятствие на пути атомов вольфрама от тела накала к стенкам колбы, и поэтому на нем конденсируется наиболее плотный осадок вольфрама. В местах, непосредственно прилегающих к раскаленной спирали, налет не удерживается и возгоняется. На вводах, как и на держателях, черное пятно образуется не у самой спирали, а на расстоянии нескольких миллиметров от спирали. На колбах наибольший налет оседает на куполе, куда атомы вольфрама переносятся конвекционными потоками газа при горении лампы поколем книзу.

Установление причин появления черных ламп начинают с проверки чистоты промывочного и наполняющего газов. Когда

черные лампы обнаруживаются только на сборочных линиях, питаемых газом от какой-то одной газоочистительной системы, и индикаторными лампами подтверждено, что эта система плохо очищает газ, следует переключить питание линий газом на другую систему.)

Если установлено, что газоочистительная система работает исправно, то нужно проверить состояние газовой подводки от системы к откачному автомату. Для этого перекрывают с обоих концов испытываемый участок подводки и измеряют в нем давление. По показаниям манометра судят герметична ли подводка или нет. При этом принимают во внимание, что одинаковая утечка сильнее сказывается в малом объеме перекрытого участка, чем в большом. Точное место течи устанавливают смачиванием мыльной водой соединений трубопроводов. Одновременно с испытанием герметичности трубопроводов проверяют, не занесены ли в них загрязнения из заглушенных тупиковых ответвлений («мешков»). Следует помнить, что газ, находящийся некоторое время в трубопроводе в неподвижном состоянии, как правило, постепенно становится грязным.

Появление черных ламп в массовом количестве на одном-двух откачных автоматах, когда на остальных автоматах лампы проходят нормально, вызывается причинами местного характера. Для их установления полезно горячие лампы, заваренные на сборочной линии, где выявлены черные лампы, откачать и наполнить на линии, где черных ламп нет, и наоборот. Подобная перекрестная проверка позволяет установить правильное направление, в котором следует искать причины почернения ламп, а именно: в недостатках откачного автомата или в недостатках самих ламп.)

Предположим, установлено, что почернение ламп вызывается каким-то недостатком в откачном автомате. В этом случае нужно прежде всего выяснить, каков вакуум на данном автомате. Для этого нужно проверить искровым течеискателем или термометром герметичность вакуумной арматуры, осмотреть, правильно ли работают вакуумные насосы, проверить, достаточно ли в насосах масла, и т. д. Особенно внимательно следует проверить состояние вакуума на позиции, предшествующей наполнению ламп аргоном, так как самое незначительное натекание на этой позиции влечет за собой попадание в лампы воздуха. При выявлении каких-либо отклонений следует принять соответствующие меры, а именно: сменить вакуумную резину, устранить натекание в арматуре, исправить или заменить вакуумный насос и т. д.

Если при проверке вакуума никаких отклонений не обнаружено, нужно установить, не появляются ли черные лампы из-за загрязнения промывочного или наполняющего газа на самом откачном автомате. В этом случае одним из способов, приведенных на стр. 520, проверяют герметичность арматуры от гнезд

промывки и наполнения в нижнем золотниковом диске до подводок промывочного и наполняющего газов. Все позиции наполнения промывочным азотом связаны общей подводкой газа, поэтому при отсутствии ограничителей на позициях промывки и при давлении в азотном коллекторе ниже атмосферного малейшая неплотность на одной из промывочных позиций или авария с какой-либо лампой вызывает просачивание воздуха одновременно в несколько ламп. Сочетание промывки ламп на переходах между позициями со слишком высоким давлением в азотном коллекторе может вызывать подъем верхнего золотникового диска, утечку масла между дисками и появление черных ламп.

При выкачивании из ламп промывочного азота давление в лампах становится равным давлению в вакуумной подводке. Если вслед за откачкой азота почему-либо повысится давление в вакуумной подводке, обратная волна грязного газа пройдет из нее в лампы.

Предположим теперь, что путем перекрестной откачки и наполнения ламп на двух откачных автоматах выявлено, что причины почернения следует искать в дефектах самих ламп. Таки ми причинами могут быть следующие:

- 1) колбы нечисто вымыты, недостаточно высушены или загрязнены при длительном хранении;
- 2) спирали плохо очищены при травлении или препарировании, загрязнены при монтаже на ножки или запылились при хранении ножек;
- 3) держатели или электроды изготовлены из окисленной молибденовой или никелевой проволоки;
- 4) лампы содержат посторонние механические частицы, выделяющие при нагреве газы;
- 5) лампы плохо прогреты при заварке и откачке или откачаны не сразу после заварки;
- 6) концы никелевых вводов сильно окислены при приварке спирали;
- 7) газопоглотитель приготовлен из недостаточно измельченных или плохо очищенных материалов, введен в лампу в недостаточном количестве, плохо просушен после нанесения на спираль, впитал влагу из атмосферного воздуха или нанесен на окисленную поверхность вводов и поэтому осыпался;
- 8) керамические мостики в специальных лампах приготовленные из нечистых материалов или плохо обожжены (впитывают чернила).

Для установления, какая именно из всех этих причин вызвала появление черных ламп, нужно заменой соответствующих полуфабрикатов последовательно исключить одну причину за другой, пока не будет обнаружена такая, после устранения которой почернение ламп прекратится. Для выявления источника загрязнений бывает полезно начальный обжиг ламп производить не только при нормальном, но и темно-красном накале спи-

рали. Если загрязнены спирали или наполняющий газ, то лампы почернеют в обоих случаях, если же загрязнены колбы, то лампы почернеют только в первом случае. В малогабаритных газонаполненных лампах на низкое напряжение обильным источником образования водяного пара могут быть окисленные никелевые вводы. Во время горения лампы участки вводов около спирали, нагреваясь до  $800^{\circ}\text{C}$  и выше, выделяют водород, который восстанавливает окись никеля, загрязняя наполняющий газ водяным паром.

Каждый материал, вводимый внутрь лампы, как бы ни казался чистым при наружном осмотре, может содержать незаметные для глаза загрязнения. При первом зажигании лампы эти загрязнения оказывают суммарное вредное влияние на тело накала. Одно и то же количество загрязнений, выделяющееся, например, из спиралей, в одних условиях вызывает почернение ламп, а в других не вызывает, потому что в первом случае совокупность всех загрязнений оказалась незначительной, а в другом случае превысила некоторое критическое значение. По этой причине, когда в производстве наблюдается повышенный процент черных ламп, полезно наряду с выявлением основной причины брака проводить любые другие мероприятия, направленные на уменьшение загрязнений в лампе. В зависимости от влияния той или иной причины можно уменьшением загрязнения одной детали компенсировать загрязнение другой.

Многообразие причин, порождающих черные лампы, зачастую затрудняет быстрое определение необходимых мер для устранения этого брака. Опыт показывает, что чем меньше размеры лампы, тем труднее их изготовить без налета. Если не удастся обеспечить, чтобы общее количество загрязнений не превышало предела, выше которого уже получаются черные лампы, то прибегают к обезвреживанию этих загрязнений газопоглотителем. В первую очередь нуждаются в эффективном газопоглотителе лампы малого объема, содержащие большую массу металлических деталей. При изготовлении малогабаритных ламп с высокой температурой тела накала, например самолетных, автомобильных, киноламп и др., имеющих никелевые вводы и вольфрамовую нить относительно больших диаметров, применение газопоглотителя обязательно. В лампах общего назначения хорошим средством предупреждения черного налета служит одновременное применение алюминиевого газопоглотителя, нанесенного на держатели, и фосфорного, нанесенного на спираль.

Выявление той или иной причины возникновения черных ламп из множества возможных иногда требует затраты большого времени. Поэтому основная борьба с черными лампами должна вестись не после того, как брак обнаружился, а профилактическими мерами, предупреждающими этот брак. Для профилактической борьбы с черными лампами рекомендуется регуляр-

но проводить следующие испытания: 1) перед началом работы и периодически во время работы снимать с откачного автомата несколько ламп без газопоглотителя и временно обжигать их колбой вверх при напряжении на 15% выше номинального; 2) ежедневно снимать с каждой позиции откачного автомата по одной лампе и включать их на 15-часовое горение при номинальном напряжении. Изготовленные лампы можно считать удовлетворительными, если в испытываемых лампах держатели, вводы и колбы не будут иметь видимого почернения и спирали не будут провисать или коробиться.

При изготовлении ламп в матированных и окрашенных колбах следует попеременно с ними изготавливать лампы в прозрачных колбах для своевременного обнаружения черных ламп. Лампы, окрашенные внутри двуокисью титана, следует заваривать и откачивать немедленно после выжигания нитроклетчатки, иначе они станут черными.

В лампах, наполненных криптоном, водяные пары вблизи вольфрамовой нити концентрируются в большей степени, чем в лампах, наполненных аргоном, так как водяные пары имеют большую разницу в молекулярном весе с криптоном, чем с аргоном. По этой причине криптоновые лампы в присутствии одного и того же количества водяных паров чернеют быстрее, чем аргоновые. Чем выше молекулярный вес наполняющего газа, тем более строго следует заботиться о его очистке.

После длительных перерывов в работе откачных автоматов первые лампы обычно получаются черными. Поэтому, начиная работу на автоматах после продолжительных простоев, следует перекрыть все откачные гнезда запаянными штенгелями и промыть автомат, включая подводы азота и аргона. Под промывкой откачного автомата понимают работу его с закрытыми откачными гнездами, включенными насосами и открытыми подводами промывочного и наполняющего газов.

Новая вакуумная резина выделяет много газов, поэтому после смены отдельных резиновых трубок автомат промывают несколько минут, а после смены всех трубок — несколько часов.

Для профилактической борьбы с черными лампами нужно соблюдать следующие правила вакуумной гигиены: защищать детали от пыли и влаги на всех производственных операциях; убирать в периоды проведения уборки помещения полуфабрикаты и материалы в закрытую тару; не допускать залеживания полуфабрикатов перед сборкой ламп и употреблять при сборке ламп в первую очередь те полуфабрикаты из запаса, которые хранились более длительное время; применять для сборки ламп детали, после обезгаживания которых прошел небольшой промежуток времени; наносить газопоглотитель непосредственно перед заваркой ламп.

Откачные автоматы нужно содержать в безупречной чистоте. Это особенно важно при изготовлении биспиральных и крипто-

новых ламп, подверженных вредному влиянию загрязнений в большей мере, чем моноспиральные и аргоновые. Для очистки автоматов от осколков стекла и грязи не рекомендуется применять сжатый воздух, так как при этом стеклянные частицы, грязь и пыль попадают на колбы и смонтированные ножки. Для чистки автоматов достаточно применять щетки.

Откачные гнезда не бывают абсолютно герметичными. Поэтому, прекращая на некоторое время работу на откачных автоматах, нужно останавливать карусель на полупереходе между позициями и закрывать гнезда откачиваемыми лампами или отпаянными штенгелями.

Бездействующие откачные автоматы могут быть источником медленного просачивания воздуха. Поэтому подводы промывочного и наполняющего газов к неработающим откачным автоматам следует надежно перекрывать на коллекторе газоочистительной станции.

Часто бывают случаи, когда черные лампы исчезают сами собой раньше, чем кто-либо успеет выявить их причину. Такие «вспышки» брака объясняются тем, что где-то в производстве были допущены кратковременные нарушения технологии или вакуумной гигиены, и с прекращением этих нарушений брак исчез с такой же внезапностью, с какой появился. К основным средствам предотвращения черных ламп относятся: строгое и точное соблюдение технологической дисциплины и вакуумной гигиены. Не следует компенсировать какие-либо недостатки технологического процесса применением газопоглотителя.

Прекращение работы на электроламповых заводах в связи с очередными отпусками следует приурочивать к летнему месяцу, когда температура воздуха наивысшая и атмосферная влажность наибольшая. Перед остановкой сборочных линий нужно сработать все ножки и запаянные лампы, тщательно упаковать остатки электродов и спиралей, закрыть отверстия откачных автоматов и перекрыть вентили коллекторов промывочного и наполняющего газов на газоочистительной станции.

— ○

## ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ СБОРКИ ЛАМП

### 13-1. ЦОКОЛЕВАНИЕ ЛАМП

#### а) ЦОКОЛЕВАНИЕ МАСТИКОЙ

Цоколевание преследует цель прочного прикрепления цоколя к лампе. Цоколь, намазанный мастикой, надевают на горло лампы; при этом один электрод выводят через отверстие в контактной пластинке цоколя, а другой — через полость между цоколем и горлом. При применении двухконтактных штифтовых цоколей два электрода выводят из отверстия в контактных пластинках, а третий (общий электрод у двухсветных ламп) — выводят к корпусу цоколя. Если в изоляции цоколя имеется специальное отверстие, боковой электрод выводят через это отверстие. У биспиральных ламп электрод с плавкой вставкой выводят к контактной пластинке. Выведе-

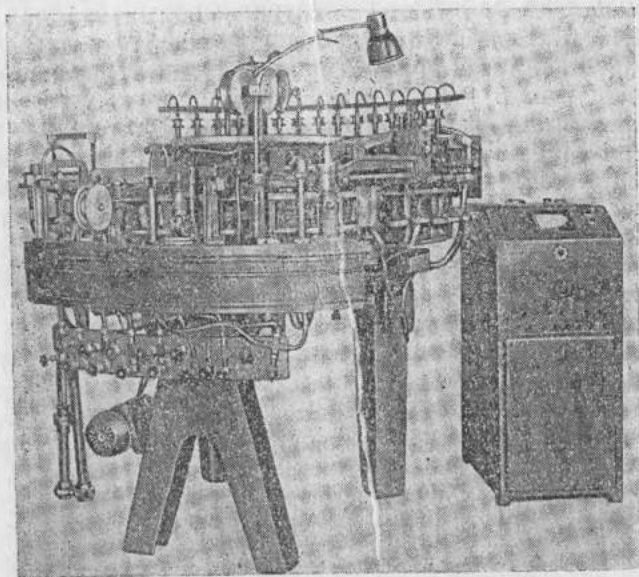


Рис. 13-1. Автомат цоколевания ламп.

ние плавкой вставки к корпусу цоколя может вызвать при ее расплавлении растрескивание тарелки и приварку цоколя к патрону.

Лампы с надетым цоколем нагревают в зоне распределения мастики. В начальной стадии нагрева мастика стекает вниз и равномерно заполняет промежуток между цоколем и горлом. При дальнейшем нагреве идиол вступает в соединение с уротропином, полимеризуется и схватывается с цоколем и горлом. После завершения полимеризации цоколь плотно обжимает горло. Под влиянием выделения газов и испарения спирта мастика разбухает и становится пористой.

Рабочие гнезда карусельного цоколевочного автомата (рис. 13-1 и 13-2) состоят из расположенных на одной оси неподвижного патрона и подвижного штока с шаблоном-чашечкой. Нажатием купола лампы шаблон оттягивают вниз; лампу с надетым цоколем вставляют в патрон, и шаблон отпускают, одновременно центрируя резьбовой цоколь в случае его перекоса или поправляя посадку штифтового цоколя в случае неправильного расположения штифтов относительно тела накала. Действием пружины шток поджимает лампу к цоколю, а цоколь к патрону. Устройство некоторых автоматов позволяет вращением штурвала в центре карусели перемещать патроны всех рабочих гнезд вверх и вниз, что бывает необходимо при изменении длины ламп.

Цоколи ламп подвергают нагреву через стенки патронов огнями двух заглушенных с торцов трубчатых горелок, концентрически расположенных по обе стороны патронов и имеющих против каждой позиции два-три отверстия или сопла. Огни экранируют металлическими пластинками, чтобы они не направлялись непосредственно на цоколи и не задевали колб. Под влиянием нагрева мастика высыхает и создает жесткую связь между лампой и цоколем. На последних позициях цоколи охлаждают сжатым воздухом.

Прочность соединения цоколя с лампой определяется способностью мастики хорошо приклеиваться к поверхности стекла

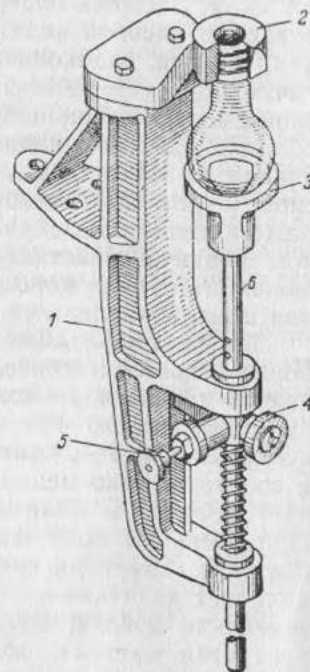


Рис. 13-2. Рабочее гнездо цоколевочного автомата.

1 — корпус; 2 — патрон; 3 — шаблон держателя лампы; 4 — ролик автоматического опускания шаблона на позицию разгрузки; 5 — фиксатор уровня шаблона при незагруженном гнезде; 6 — шток.



и металла (адгезией), прочностью самой мастики между склеиваемыми поверхностями (когезией) и состоянием поверхности стекла и металла (степенью шероховатости, загрязненности и пр.). Особо важное значение имеет величина адгезии мастики к стеклу. Внешняя поверхность стекла бывает покрыта адсорбированной пленкой водяного пара, испаряющейся при цоколевании. У ламп, зацоклеванных с некоторой задержкой после откочки, образуется вблизи поверхности раздела стекло — мастика слой смолы, насыщенный пузырьками водяного пара и поэтому обладающий пониженной механической прочностью. Отрыв цоколя от лампы чаще всего происходит в этом пограничном слое. Отрыв на границе цоколь — мастика бывает значительно реже и лишь в тех случаях, когда латунный цоколь имеет слишком гладкую блестящую внутреннюю поверхность. Большую опасность отрыва цоколя от лампы вызывает загрязнение горла или цоколя масляными или жировыми пленками.

Для полимеризации и затвердевания мастики требуется тем более сильный и длительный нагрев, чем больше мастики введено в цоколь. При цоколевании ламп цоколем Р27 температуру поднимают до 190—250°С с таким расчетом, чтобы спирт испарился за 1—2 мин. При низкой температуре цоколевания и соответственно медленном испарении спирта мастика не успевает полностью полимеризоваться и плохо обжимает цоколь. При очень высокой температуре цоколевания и соответственно быстром испарении спирта мастика сильно расширяется и увеличивает давление на горло лампы. В первом случае возможно отделение цоколя, во втором — растрескивание горла. Плохо прогретая мастика обладает недостаточной влагостойкостью, а слишком перегретая — недостаточной термостойкостью. Излишне высокий нагрев может вызывать обугливание мастики и коррозию цоколей.

Охлаждение зацоклеванной лампы до комнатной температуры вызывает усадку цоколя и горла лампы. Материал цоколя имеет коэффициент расширения значительно больший, чем стекло, поэтому усадка вызывает сильное обжатие цоколем горла лампы. Такое обжатие, с одной стороны, повышает прочность крепления цоколя, но, с другой стороны, приводит к возникновению в стекле внутренних напряжений, которые распределяются не только на участке горла, соприкасающемся с мастикой, но и на участках выше ранта цоколя и в тарелке ножки. Они могут превысить предел прочности стекла и вызвать круговую трещину вблизи ранта цоколя и, реже, трещину в тарелке.

Мастика, помещенная в полость между цоколем и горлом, сама по себе не создает давления на стекло, так как она не обладает для этого достаточной прочностью. Роль ее заключается в буферном действии, т. е. в способности в большей или меньшей мере смягчать внутренние напряжения, создаваемые давлением цоколя.

Опасность образования круговой трещины около цоколя возрастает с увеличением жесткости и коэффициента расширения материала цоколя, увеличением толщины стенок цоколя, уменьшением толщины стенок горла, уменьшением зазора между цоколем и горлом, повышением температуры цоколевания, уменьшением содержания в мастике канифоли и увеличением содержания идитола.

Все приведенные факторы, повышающие опасность образования трещины в лампе, одновременно являются факторами, уменьшающими опасность отделения цоколя от горла.

На качество мастики после цоколевания сильно влияет зернистый состав наполнителя (мраморного порошка). При очень мелком порошке активная поверхность частиц мрамора становится большой, смачивание частиц смолой получается недостаточно полным, и в результате повышается опасность отделения цоколя. При слишком крупном порошке повышается опасность растрескивания стекла.

Цоколь прочно закрепляется на лампе лишь после того, как температура цоколевочной мастики сравняется с температурой окружающего воздуха, и содержащаяся в мастике канифоль полностью затвердеет. При извлечении неостывшей лампы из рабочего гнезда избегают незначительных смещений цоколя, способных вызвать разрывы мастики.

Патроны рабочих гнезд периодически очищают от нагара и загрязнений для предотвращения заедания цоколей. На некоторых цоколевочных автоматах позицию разгрузки оснащают специальным механизмом, автоматически опускающим шаблон рабочего гнезда и выталкивающим зацоклеванную лампу на транспортную ленту.

Попадание на наружную поверхность цоколя загрязненного спирта или мастики вызывает при нагреве запекание пятен и ухудшение внешнего вида лампы. При удалении выступающего за край цоколя излишка затвердевшей мастики следует остерегаться наносить царапины на горле лампы. Нельзя зачищать мастику над цоколем острым стальным ножом.

При цоколевании миниатюрных ламп с бусиновой ножкой цоколь надевают на лампы без предварительной намазки мастикой. На цоколевочном автомате мастику впрыскивают внутрь цоколя через отверстие в контактной пластинке и заглубляют струей сжатого воздуха.

Вводимый в мастику зеленый индикатор при 160—185°С разлагается и обесцвечивается, показывая тем самым, что цоколевание произведено при правильной температуре. Зеленый цвет мастики указывает на недогрев, светло-коричневый — на нормальный нагрев, темно-коричневый — на перегрев. При темном цвете цоколевочной мастики в лампах с малой высотой светового центра большая доля падающего на мастику света поглощается цоколем. Введение в состав мастики для малых ламп

двуокиси титана или литопона позволяет увеличить коэффициент отражения мастики и улучшить внешний вид ламп. Миниатюрные лампы для карманных фонарей, зацоколеванные белой мастикой, излучают большой световой поток и имеют лучшее светораспределение.

#### б) ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЗАЦОКОВАННЫМ ЛАМПАМ

1. Цоколь должен быть прочно прикреплен к колбе. Прочность крепления не должна нарушаться при приложении к цоколю заданного крутящего момента или отрывного усилия.

2. Мастика должна быть влаго- и термостойкой. Крепление цоколя не должно нарушаться после заданных климатических воздействий, а также после испытания ламп на продолжительность горения.

3. Ось цоколя должна совпадать с осью колбы. Отклонение осей, измеренное в месте наибольшего диаметра колбы, не должно превышать 5% диаметра колбы.

4. Штифты штифтового цоколя должны иметь заданную ориентировку относительно тела накала.

5. Наружная поверхность цоколя не должна быть окислена или загрязнена цоколевочной мастикой.

6. Мастика должна заполнять всю полость между горлом и цоколем и не вытекать на горло лампы.

7. Цвет мастики должен свидетельствовать об ее удовлетворительном и равномерном прогреве со всех сторон.

8. Выводы не должны соприкасаться друг с другом внутри цоколя.

#### в) БРАК ПРИ ЦОКОВЕНИИ

К основным видам брака ламп при цоколевании относятся непрочное крепление и кривая посадка цоколя.

Непрочное крепление цоколя вызывается следующими причинами:

1) горло лампы имеет малую поверхность соприкосновения с цоколевочной мастикой (цоколь имеет мелкую посадку);

2) размеры ранта цоколя не соответствуют размерам горла лампы;

3) мастика приготовлена по неправильному рецепту или составлена из недоброкачественных материалов;

4) мастика не обладает требуемой текучестью и до цоколевания стекает на дно цоколя или при цоколевании плохо заполняет полость между цоколем и горлом;

5) в мастике имеется избыток спирта, испарение которого охлаждает ее при цоколевании;

6) цоколи намазаны неравномерно или намазаны недостаточным количеством мастики;

7) намазанные цоколи перед цоколеванием хранились длительное время, и образовавшаяся испарением спирта корка препятствует прочному схватыванию мастики со стеклом;

8) скорость вращения карусели цоколевочной машины не соответствует требуемому режиму прогрева цоколей;

9) карусель машины сбита, и патроны карусели не устанавливаются точно против огней;

10) намазанный цоколь слабо прижат во время цоколевания к горлу лампы (пружина шаблона слаба);

11) огни горелок сильны, и составные части мастики обуглились;

12) огни горелок слабы, и мастика недостаточно отвердела;

13) лампа неаккуратно извлечена из патрона машины или извлечена при недостаточно охлажденной мастике.

С повышением рабочей температуры цоколя и увеличением веса лампы возрастает опасность отставания цоколя от колбы при эксплуатации лампы.

У ламп, срок службы которых близок к 1 000 ч, температура, измеренная прижатием расплющенного шарика хромель-алюмелевой термопары к поверхности ранта цоколя, не должна превышать 125—130°С, или температура, измеренная погружением термометра в масло, налитое в полость ножки, не должна превышать 180°С. При применении специальной термостойкой мастики температура допускается более высокой.

Температура ранта цоколя зависит от ряда факторов: размеров, формы и положения лампы, размеров и рабочей температуры тела накала, природы и давления наполняющего газа, условий теплообмена между цоколем и окружающей средой и др. Температура наполняющего газа, а следовательно, и температура цоколя, с увеличением тепловых потерь в лампе повышается, а с увеличением объема наполняющего газа при постоянном давлении — понижается. При горении лампы в арматуре в положении цоколем вверх температура на цоколе в значительной мере зависит от конструкции верхней части патрона и наличия вентиляционных промежутков в арматуре под зоной максимальной температуры лампы.

При разработке ламп используют следующие средства понижения температуры цоколя:

1) увеличивают объем колбы;

2) увеличивают высоту светового центра;

3) уменьшают диаметр горловины колбы;

4) применяют светлую цоколевочную мастику;

5) устанавливают тепловой экран между телом накала и цоколем;

6) применяют для наполнения ламп газовую смесь с большим молекулярным весом;

7) применяют биспиральное тело накала вместо моноспирального;

8) регламентируют работу лампы в положении цоколем книзу или в условиях хорошего контакта цоколя и патрона с окружающим воздухом.

При прочих равных условиях температура цоколя и цоколевочной мастики снижается при замене азота 86%-ным аргонном — на 20—30 град, при замене слюдяного экрана металлическим — на 15—20 град, при применении двух металлических экранов вместо одного — на 30—40 град. Лампы одинаковой мощности на 220 в имеют более высокие тепловые потери, чем лампы на 127 в, и соответственно более высокую температуру цоколя (на 10—20 град). Работа лампы в патроне повышает температуру цоколя на 10—15 град, а работа в осветительной арматуре — еще на несколько градусов. Все тепло, поглощенное цоколем, рассеивается в патроне, деталях арматуры и окружающем воздухе.

Не следует делать ошибки, допуская температуру цоколевочной мастики у мощных ламп более высокой, чем у маломощных.

Одним из средств повышения прочности крепления цоколя служит механическая формовка горла лампы с образованием на нем четырех выступов. Другим эффективным средством служит намазка цоколей повышенной дозой мастики (до 3 г на цоколь Р27-1), так чтобы мастика заполняла не только промежуток между цоколем и горлом, но и полость внутри тарелки. С увеличением дозировки мастики при правильном ее распределении уменьшается температура поверхности цоколя.

Нанесение на лампу, особенно на купол колбы, диффузных, зеркальных, цветных и прочих покрытий повышает температуру цоколя. Такое же влияние оказывает работа ламп в герметизированных патронах и закрытых арматурах. Температура цоколя к концу срока службы ламп вследствие потемнения стенок колбы и обугливания цоколевочной мастики повышается, и прочность крепления цоколя соответственно уменьшается. В особенности это относится к лампам с большим сроком службы.

Применение термостойкой цоколевочной мастики позволяет повысить допустимую температуру цоколя. Максимально допустимая температура цоколя ограничивает возможность уменьшения размеров ламп.

Лампы с непрочно закрепленным цоколем — опасный и недопустимый брак. При вывертывании таких ламп из патрона цоколь отрывается от колбы и застревает в патроне, затрудняя замену ламп.

Кривая посадка цоколя вызывается следующими причинами:

- 1) горло лампы несимметрично отформовано;
- 2) заваренный шов между колбой и тарелкой имеет выступы;
- 3) диаметр ранта цоколя не соответствует размерам горла лампы;

4) цоколь криво установлен на горле или сбит при вставлении лампы в рабочее гнездо цоколевочной машины;

5) патроны и шаблоны цоколевочной машины плохо отцентрированы.

Кривая посадка цоколя портит внешний вид лампы и препятствует правильному положению лампы в осветительном приборе.

Лампы, имеющие недостатки, связанные с цоколеванием, например кривую посадку цоколя или скрещенные выводы, поддаются исправлению снятием старого цоколя и падеванием нового. Старый цоколь снимают нагревом в цоколевочной машине без применения воздушного охлаждения. При нагреве канифоль, содержащаяся в мастике, размягчается, и цоколь легко отделяется от лампы, оставляя на ее горле слой полимеризованной мастики.

#### г) МЕХАНИЧЕСКОЕ ЦОКОЛЕВАНИЕ

При горении мощных нормальных осветительных и зеркальных ламп цоколь сильно нагревается, и цоколевочная мастика, постепенно обугливаясь, теряет способность прочно соединять цоколь с лампой. Для надежного прикрепления большого резьбового цоколя к таким лампам разработаны механические способы цоколевания без применения мастики. Эти способы придают цоколю нечувствительность к перегреву.

Из латунной ленты изготавливают кольцеобразную гильзу с резьбой и четырьмя круглыми выступами (рис. 13-3). Нижнюю часть горла лампы формуют на заварочном автомате в виде цилиндрического пояса с четырьмя круглыми углублениями (пуклями). На отформованный пояс откатанной лампы надевают гильзу так, чтобы ее выступы на внутренней стороне плотно вошли в углубление горла. Далее на гильзу навинчивают цоколь Р40-1 с кольцевой накаткой в ранте. При навинчивании до отката кольцевая накатка плотно прижимает гильзу к горлу лампы. Чтобы цоколь и гильза не отвинчивались друг от друга, их прокалывают на готовой лампе в трех точках. При проколке образующиеся заусенцы цоколя входят в заусенцы гильзы.

Другой метод крепления цоколя на лампе без применения мастики состоит

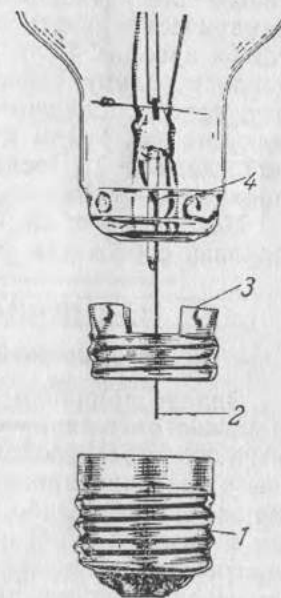


Рис. 13-3. Цоколевание без мастики.

1 — латунный резьбовой цоколь; 2 — центральный вывод лампы; 3 — выступы на гильзе; 4 — углубления в лампе.

в формировании горла лампы в виде резьбы, повторяющей форму резьбы цоколя, и навинчивании на формованное горло резьбового цоколя.

Механические методы крепления цоколя к лампе применимы только в том случае, если горловина колбы имеет достаточно толстую и прочную стенку.

Механическое цоколевание обходится дороже цоколевания на мастике.

#### д) ЦОКОВАННИЕ НА АСБЕСТЕ

Некоторые мощные специальные лампы, работающие в условиях напряженного теплового режима, цоколюют на асбесте, плохо проводящем тепло и электричество и не изменяющемся при высокой температуре. Из асбестового картона толщиной 0,5—1 мм нарезают полоски шириной и длиной, определяемыми диаметрами цоколя и цилиндрической части колбы. Полоску свертывают в гильзу и приклеивают жидким стеклом к корпусу цоколя так, чтобы она плотно легла на внутренние стенки корпуса. Выступающие из цоколя края гильзы погружают в воду. Вода, впитываясь между волокнами асбеста, придает гильзе пластичность. Далее цоколь надевают до отказа на цилиндрическую часть колбы и запрессовывают от руки или винтовым прессом. Если пробная лампа запрессовывается с малым усилием, длину асбестовой прокладки увеличивают, и, наоборот, если со слишком большим усилием — уменьшают. Выступающие над краем цоколя излишки асбеста счищают деревянной гладилкой. После испарения влаги эластичная асбестовая прокладка прочно связывает цоколь с лампой.

Цоколевание на асбесте требует применения специальных цоколей с большим рантом.

### 13-2. ПРИПАЙКА И ПРИВАРКА ВЫВОДОВ

#### а) ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Задача припайки или приварки выводов состоит в создании надежного механического и электрического соединения внешнего звена электродов с контактными элементами цоколя. Лампы с непрочно припаянными или приваренными выводами либо не загораются, либо загораются с миганием спирали, искрением в патроне и обгоранием контактов. Большое переходное сопротивление и возникновение искр между цоколем и патроном вызывает перегрев патрона, ослабление и пережог его контактных пружин и быстрый износ патрона. Припайка и приварка выводов тем ответственнее, чем ниже напряжение и больше рабочий ток лампы.

Нагрев деталей при припайке выводов осуществляют одним из трех способов: 1) газовым паяльником; 2) газовым пламе-

нем; 3) электрическим паяльником. Первый способ применяют при ручной припайке выводов мягким припоем; второй — при автоматической припайке выводов мягким припоем; третий — при ручной припайке выводов твердым припоем.

#### б) ПРИПАЙКА МЯГКИМ ПРИПОЕМ

Перед припайкой вручную концы выводов подрезают и одновременно прижимают к цоколю. Припойную проволоку погружают в губку или ткань, пропитанную паяльным флюсом, и помещают между прижатым выводом и стержнем нагретого газового паяльника, плотно прижимая цоколь к паяльнику (рис. 13-4).

Стержень паяльника быстро нагревает цоколь и вывод и плавит припойную проволоку. Жидкий припой затекает под действием капиллярных сил в узкий зазор между выводом и цоколем, диффундирует в поверхностный слой вывода и цоколя и, застывая, прочно их соединяет.

Стержень паяльника изготавливают из красной меди, мало окисляющейся при нагреве и обладающей способностью легко накапливать тепло (теплоемкостью) и быстро принимать и отдавать тепло (теплопроводностью). Стержень непрерывно разогревают газовой горелкой до температуры на 100—150 град выше температуры плавления припоя. Массу стержня и пламя горелки подбирают такими, чтобы паяльник быстро расплавлял припой и интенсивно нагревал место пайки. Чем толще выводы и чем выше температура плавления припоя, тем массивнее должен быть стержень паяльника. При работе с перегретым паяльником рабочий конец его быстро окисляется (выгорает) и покрывается плохо теплопроводным нагаром, затрудняющим плавление припоя и загрязняющим пайку. Перед началом работы и периодически во время работы его затачивают напильником, зачищают нашатырем и залуживают припоем. Нашатырь замедляет образование нагара.

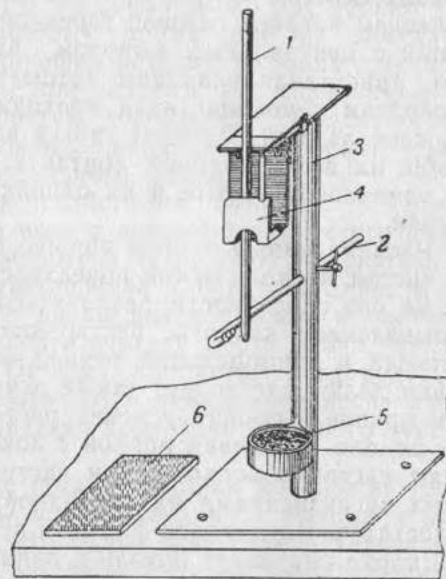


Рис. 13-4. Газовый паяльник для припайки электродов.

1 — медный стержень; 2 — газовая горелка; 3 — стойка паяльника; 4 — зажим паяльника; 5 — ванна для флюса; 6 — стальная щетка для зачистки контактных пластинок.

Автоматическую припайку выводов совмещают с операцией цоколевания. Цоколевочный автомат оснащают предназначенными для этой цели механизмами, приводимыми в действие распределительным кулачковым валом. При загрузке ламп выводам придают точную ориентацию относительно механизмов, для чего следят по особому указателю, чтобы боковой вывод располагался строго по радиусу карусели и был оттянут горизонтально, а верхний вывод располагался вертикально. На нескольких позициях после завершения прогрева цоколевочной мастики производится отрезка излишнего конца бокового вывода, сдувание отрезанного излишка, смачивание бокового вывода флюсом и припайка его припойной проволокой с применением нагрева газовой горелкой. Далее следуют те же операции с центральным выводом. Автомат снабжают устройством, приостанавливающим автоматическую подачу припойной проволоки к цоколю, если проходящее рабочее гнездо не загружено лампой. Рабочие гнезда закрепляют на карусели так, чтобы на всех позициях контактные пластинки цоколей были на одинаковой высоте и на одинаковом расстоянии от оси карусели.

Расплавленный припой хорошо пристает только к совершенно чистой металлической поверхности. Действие флюса основано на его способности разлагаться при высокой температуре с выделением кислоты, растворяющей окислы на поверхности металла и защищающей металл от окисления в момент припайки. Флюс растворяет также окисную пленку на расплавленном припое, улучшая условия растекания припоя по поверхности цоколя. Связывая припой с цоколем и вытесняясь припоем, флюс частично испаряется и частично всплывает с растворенными загрязнениями на поверхность припоя. При применении недостаточно активного флюса и при наличии загрязнений припой плохо смачивает цоколь и принимает под влиянием поверхностного натяжения форму мелких шариков.

В качестве флюса для припайки выводов может служить раствор хлористого цинка в соляной кислоте. При пользовании им выводы припаяются особенно быстро и надежно. Но остатки этого флюса создают вокруг припоя «ореол» коррозии. Разбрызгиваясь во время паяния, он оседает в виде мельчайших капель на цоколе. Места, на которые попали брызги флюса, покрываются у латунных цоколей красными и зелеными пятнами, а у стальных цинкованных — серыми и черными. Излишек кислого флюса затекает в трещины и капиллярные пространства изоляции цоколя, образуя проводящие и полупроводящие мостики между его контактными деталями. В лампах с плавким предохранителем затекающий внутрь цоколя кислый флюс может перетравить предохранитель.

Другие флюсы, содержащие соли, тоже вызывают коррозию, но в меньшей степени. При работе со стальными цинкованными

и латунными цоколями хорошие результаты дает нейтральный флюс, состоящий из нейтрализованного аммиаком 35%-ного раствора хлористого цинка в соляной кислоте. При меньшей концентрации хлористого цинка этот флюс разбрызгивается и плохо смачивает цоколь, а при большей концентрации — повышает проводимость изоляции.

Еще лучшие результаты дают бескислотные флюсы, к которым относятся различные органические вещества, такие как канифоль, парафин, глицерин и др. Эти вещества не поглощают влаги и хорошо предохраняют металл от окисления в момент пайки. Остатки их неэлектропроводны и не вызывают коррозии. Недостаток их состоит в том, что они, хорошо предохраняя металл от окисления, в то же время плохо растворяют уже образовавшиеся окислы. Поэтому применение их замедляет пайку. Такие флюсы дают хорошие результаты лишь при работе с латунными цоколями и при условии, что спаиваемые металлы имеют совершенно чистую поверхность. Очень удобно пользоваться трубчатой оловянно-свинцовой припойной проволокой с сердцевинкой из канифольного флюса.

Хорошими флюсующими свойствами обладает 35%-ный раствор хлористого цинка в воде с добавкой хлористого аммония, диэтиламина и триэаноламина (стр. 396). Хлористый водород, образующийся при растворении хлористого цинка в воде, частично связывается до пайки диэтиламином и частично уходит на растворение окислов и очистку места пайки, обеспечивая растекание припоя. Остатки хлористого водорода, не участвующие в реакции, связываются немедленно после пайки триэаноламином, предотвращая коррозию паянного соединения.

Образующиеся на цоколе после припайки небольшие плоские бугорки припоя должны прочно соединять выводы с контактными деталями цоколя. Выводное отверстие в контактной пластинке и острые концы выводов должны быть полностью покрыты припоем. Припой не должен попадать на резьбу цоколя и не должен препятствовать вставлению или ввертыванию цоколя в соответствующий патрон. У ламп с двухконтактным штифтовым цоколем оба бугорка припоя должны быть одинаково высокими. Припой должен быть нанесен лишь в таком минимальном количестве, какое требуется, чтобы полностью закрыть пружинящий конец вывода. При слишком большой высоте припоя не обеспечивается электрическая связь между нижней частью корпуса цоколя и боковой контактной пластиной патрона, у которого резьбовая гильза обесточена. Наибольшая высота припоя нормируется ГОСТ 2520-63 на цоколи и проверяется калибрами.

Применение контактных пластинок с небольшой вогнутой лункой вокруг выводного отверстия улучшает качество пайки и уменьшает расход припойной проволоки.

В зависимости от рабочей температуры цоколя применяют припойную проволоку с различным содержанием свинца и олова. Так как олово значительно дороже свинца, стремятся использовать проволоку с возможно меньшим содержанием олова. При слишком малом его содержании (менее 6—8%) припой медленно плавится, медленно затвердевает и вызывает при пайке выводов растрескивание стеклянной изоляции цоколя. При слишком большом содержании олова возникает опасность размягчения припоя у горячей лампы и спайки контактных деталей цоколя с контактными деталями патрона.

Пламя горелки, нагревающее паяльник, должно быть достаточно сильным, чтобы не замедлялся процесс паяния. Однако при слишком сильном нагреве жидкий припой затекает через отверстие контактной пластинки в тарелку ножки. Такой же результат получается, если цоколи недостаточно остужены после цокования.

При автоматической припайке выводов нельзя перегревать зону бокового припоя, чтобы не вызывать растрескивания горла лампы. Прикосновение только что припаянных выводов к колбам соседних ламп может вызвать у последних незаметную трещину. При ручной припайке выводов нельзя искусственно охлаждать припой нанесением на него капли флюса.

Работницы на ручной припайке выводов должны иметь перед собой стеклянный экран или работать в очках, защищающих глаза от брызг флюса.

#### в) ПРИПАЙКА ТВЕРДЫМ ПРИПОЕМ

Свободные концы наружных выводов мощных ламп припаивают к цоколю методом сопротивления, т. е. прямым электрическим нагревом. Припоём служит меднофосфорный сплав, способный к самофлюсованию (стр. 397). Перед припайкой лишние концы выводов откусывают кусачками. Соединяемые металлы и припой включают в цепь электрического паяльника между латунным и угольным электродами. Гранулу припоя укладывают на цоколь вблизи вывода и прижимают концом угольного электрода к цоколю. Нажатием педали сводят оба электрода и сдавливают между ними лампу. Дальнейшим нажатием педали включают напряжение. Участок между припоём и спаиваемыми поверхностями, имеющий наибольшее переходное сопротивление, нагревается за счет тепла, выделяющегося при прохождении тока непосредственно в соединяемых металлах и за счет теплопроводности нагретого угольного электрода. Разогрев ведут до тех пор, пока припой не расплавится и не закроет вывода. Тогда педалью снимают сначала напряжение, а потом давление. Припайка затрудняется, если поверхности металлов загрязнены жирами и окислами или если состав меднофосфорного припоя отклоняется от эвтектического.

Паяние описанным методом сходно с точечной сваркой. Разница заключается в том, что точечная сварка требует низкое вторичное напряжение, большую силу тока, малое время и большое давление, а пайка сопротивлением — более высокое напряжение, меньшую силу тока, большее время и очень низкое давление. Применение угольного электрода, имеющего большое удельное сопротивление и быстро нагревающегося до высокой температуры, позволяет ускорить операцию припайки.

Меднофосфорным припоём можно припаивать выводы только к латунному цоколю. Чтобы изоляция цоколя не растрескивалась при паянии тугоплавким припоём, ее изготавливают из фарфора, обладающего большей термостойкостью, чем стекло.

#### г) ПРИВАРКА

С целью экономии дефицитных припоёв боковой вывод можно не припаивать к цоколю, а приваривать. Медь с латунию плохо сваривается, а медь со сталью и особенно платинит со сталью хорошо свариваются. Поэтому боковой вывод с успехом приваривают к стальным цинкованным цоколям, особенно если он изготовлен из платинита (миниатюрные лампы). Приварку производят на таком же аппарате точечной сварки, какой применяют для приварки спирали (рис. 11-18 на стр. 436), с той лишь разницей, что рабочему концу его нижнего хобота придают форму корытца. Вывод, протянутый между горлом лампы и краем надетого на него цоколя, обрезают так коротко, чтобы придать ему жесткость, необходимую для получения хорошего контакта при сварке. В зазоре, образующемся между корпусом цоколя и верхним хоботом аппарата, возникает дуга, вплавляющая вывод в цоколь.

Около приваренных выводов улетучивается слой цинка. Однако образующееся окисное пятно препятствует развитию коррозии. Такое же пятно образуется на противоположной стороне цоколя, если последний во время приварки был неплотно прижат к концу нижнего хобота. Грязные или окисленные выводы затрудняют приварку. Для выборочной оценки прочности приварки пользуются прибором, которым зацепляют приваренный вывод и оттягивают его с приложением силы 0,5 кг; хорошо приваренный вывод не должен при этом отделяться от цоколя.

Условия труда при приварке более благоприятны, чем при припайке, благодаря отсутствию вредных испарений припоя и флюса.

#### 13-3. ФОКУСИРОВАНИЕ ЛАМП

Под фокусированием ламп понимают операцию точного закрепления заданного положения тела накала по отношению к цоколю. Выполнение этой операции позволяет лампе при вставлении в соответствующий патрон занять в осветительном

приборе одно строго определенное положение без дополнительной выверки или регулировки и сохранять это положение неизменным во время работы. Благодаря фокусированию можно совмещать световой центр лампы со световым центром осветительного прибора с точностью до 0,25—0,5 мм, что позволяет обеспечивать взаимозаменяемость лампы и прибора и требуемое светораспределение прибора.

У некоторых ламп тело накала фокусируют по отношению к опорным штифтам цоколя. Для этого одну из загрузочных позиций цоколевочной машины снабжают оптическим устройством, при помощи которого устанавливают требуемое положение тела накала по отношению к штифтам цоколя. Однако такое фокусирование не обеспечивает точного положения тела накала в осветительном приборе, так как цоколь, вставленный в патрон, фиксируется лишь в двух точках и при наличии зазора между цоколем и патроном может качаться. Кроме того, конструкция штифтового цоколя допускает два положения тела накала в осветительном приборе.

У некоторых ламп тело накала фокусируют по отношению к опорным штифтам цоколя. Для этого одну из загрузочных позиций цоколевочной машины снабжают оптическим устройством, при помощи которого устанавливают требуемое положение тела накала по отношению к штифтам цоколя. Однако такое фокусирование не обеспечивает точного положения тела накала в осветительном приборе, так как цоколь, вставленный в патрон, фиксируется лишь в двух точках и при наличии зазора между цоколем и патроном может качаться. Кроме того, конструкция штифтового цоколя допускает два положения тела накала в осветительном приборе.

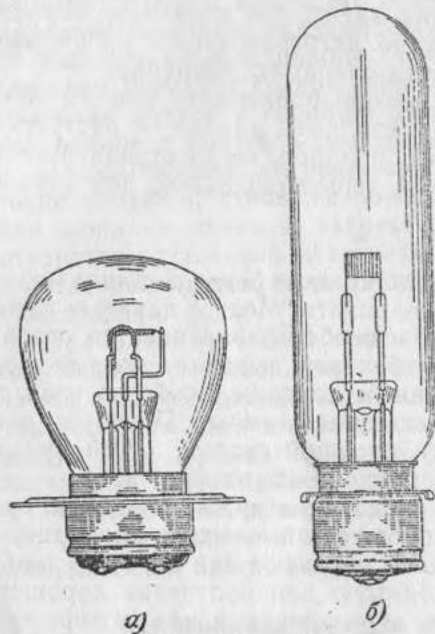


Рис. 13-5. Лампы с фокусирующими цоколями.  
а — автомобильная с цоколем 2FD42; б — кинопроекционная с цоколем 1FC34.

ре в зависимости от того, какой из штифтов цоколя попадает в ту или иную прорезь патрона. По этим причинам лампы, требующие более точное совмещение светового центра с фокусом осветительного прибора, снабжают специальным фокусирующим цоколем, состоящим из двух отдельных деталей, одну из которых (внутреннюю) прикрепляют к лампе, а другую (наружную) припаивают к внутренней (рис. 13-5). Наружная деталь в виде фланца, диска, кольца и т. п. после припайки к внутренней служит частью, сопрягаемой с патроном осветительного прибора. Наличие на этих деталях фиксирующих высечек или выступов позволяет без регулировки точно устанавливать лампу в патрон прибора.

Для того чтобы с максимальной точностью прикрепить наружную деталь цоколя к внутренней, пользуются аппаратом фокусирования (рис. 13-6), состоящим из укрепленной на металлической плите оптической системы. В центре плиты установлен

патрон 2 для размещения наружной детали цоколя и лампы. По сторонам патрона помещаются два фонаря 4, снабженные линзами 5. Фонари расположены так, чтобы световой луч одного был перпендикулярен световому лучу другого и оба луча пересекались на вертикальной оси наружной детали цоколя. За патроном на продолжении лучей установлены в оправках линзы 6, имеющие возможность передвигаться в любую сторону для

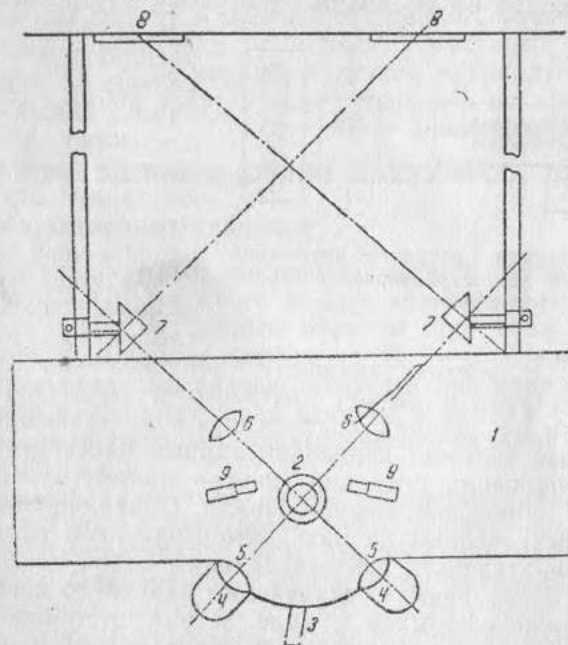


Рис. 13-6. Аппарат фокусирования лампы.

1 — металлическая плита; 2 — патрон для фокусируемой лампы и наружной детали цоколя; 3 — рычаг, закрепляющий в патроне наружную деталь фокусирующего цоколя; 4 — фонари с проекционными лампами; 5, 6 — оптические линзы; 7 — оптические призмы; 8 — белый экран; 9 — горелки для припайки наружной детали цоколя к внутренней.

получения резкого изображения тела накала лампы на экранах. Лучи, пройдя через линзы, падают на призмы 7, преломляются в них и отбрасывают увеличенное теневое изображение спирали на экраны 8.

На операцию фокусирования поступают лампы, уже снабженные внутренней деталью цоколя. При фокусировании сначала устанавливают наружную деталь в патрон аппарата и закрепляют ее нажатием педали. Далее вставляют лампу в тот же патрон так, чтобы внутренняя деталь вошла в наружную. Перемещением лампы в горизонтальной и вертикальной плоскостях добиваются того, чтобы геометрический центр тела накала совместился с точкой пересечения осевых линий обоих экранов

и чтобы изображения тела накала на экранах не выходили за пределы прямоугольных габаритных рамок, вычерченных на экранах с учетом коэффициента увеличения аппарата. Затем нажимают ногой педаль, направляющую острое пламя укрепленных на плите горелок в зазор между внутренней и наружной деталями цоколя, обмакивают конец припойной проволоки в паяльную жидкость (смесь нейтрального и канифольного флюсов) и проводят им по краям разогретых внутренней и наруж-

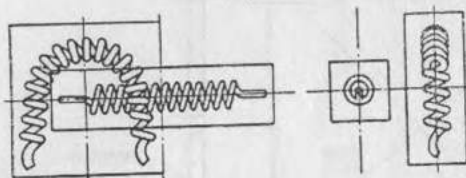


Рис. 13-7. Проекция спиралей двусветной автомобильной лампы на экране аппарата фокусирования.

ной деталей до затекания расплавленного припоя в кольцевую щель между ними. После припайки отпускают педаль и несколько секунд охлаждают припой струей сжатого воздуха из трубок, укрепленных на горелках. Размеры и положение вычерченных на экранах габаритных рамок устанавливают с учетом заданных допусков на габаритные размеры спирали и высоту светового центра. Оба изображения спирали на экранах соответствуют ее проекциям на две вертикальные взаимно перпендикулярные плоскости. При правильном положении проекций (внутри прямоугольников) обеспечивается точное положение спирали. Правильность установки экрана и вычерченных на нем прямоугольников проверяют металлическим эталоном, представляющим собой цилиндрический стержень с основанием, имитирующим наружную деталь цоколя. Конец стержня оформлен в виде острого отстоящего от фиксирующего выступа или высебки в основании на длину, равную точно высоте светового центра.

Фокусирование двусветных ламп выполняют таким же образом, как и одноцветных, с той лишь разницей, что у двусветных положение каждой спирали на обоих экранах проверяют по «своим» габаритным рамкам (рис. 13-7).

Для успешной эксплуатации ламп важно, чтобы наружные детали фокусирующего цоколя были изготовлены из достаточно жесткого нагартованного металла. Иначе нежесткие элементы цоколя при вставлении в патрон деформируются и могут вызвать смещение светового центра от фокуса осветительного прибора.

Для припайки наружной детали к внутренней пользуются 30%-ным оловянно-свинцовым припоем. В мощных лампах, а также в маломощных высоконагруженных лампах, работающих в герметизированных арматурах, применение легкоплавкого припоя может вызвать нарушение положения наружной детали цоколя относительно тела накала или отпайку наружной детали

цоколя от внутренней. Поэтому такие лампы фокусируют с применением оловянно-свинцового припоя с меньшим содержанием олова.

При фокусировании ламп латунные цоколи под влиянием газового пламени и паяльного флюса окисляются и загрязняются. Для удаления остатков флюса и красных пятен коррозии цоколи после фокусирования чистят до блеска вращающейся металлической щеткой и протирают тряпкой. Эти операции становятся излишними, если применяются латунные никелированные цоколи или если наружная деталь закрепляется на внутренней при помощи электрической сварки, а не припайки.

## 13-4. АБЛИЦ И ОБЖИГ ВАКУУМНЫХ ЛАМП

### а) ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Из вакуумных ламп во время откачки удаляют воздух и влагу до 0,05—0,01 мм рт. ст. Воздух удаляют главным образом насосами, а влагу — главным образом прогревом. Дальнейшее уменьшение давления в лампах до  $10^{-4}$ — $10^{-5}$  мм рт. ст. осуществляют с помощью газопоглотителей при первом зажигании ламп. Такой метод улучшения вакуума в лампах, сопровождающийся явлением тлеющего электрического разряда в газе, носит название аблица.

При первом зажигании лампы вольфрамовая нить накаливается и испускает электроны, ионизирующие под ускоряющим действием электрического поля (напряжение на лампе) остаточные газы. Одновременно из нагретых деталей лампы выделяются поглощенные газы, а с поверхности тела накала испаряется фосфорный газопоглотитель. Выделение газов и быстрое испарение газопоглотителя вызывают сначала повышение давления в лампе. Выделенные газы и пары ионизируются и становятся токопроводящими; ток в цепи лампы начинает проходить не только через вольфрамовую нить, но и через газы и пары, вырывая при некотором определенном напряжении их свечение. Когда газопоглотитель свяжет значительную часть газов, давление в лампе понизится. Так как в высоком вакууме столкновений между молекулами газа и электронами не происходит и, следовательно, условия для распада молекул на ионы отсутствуют, то с завершением поглощения газов напряжение, подведенное к лампе, становится недостаточным для поддержания разряда, пространственный ток уменьшается, и свечение газов прекращается. При достаточно высоком напряжении (не менее 40 в), высокой температуре нити (1500—2000° К) и относительно малом начальном давлении (сотые доли миллиметра ртутного столба) свечение исчезает так быстро, что производит впечатление кратковременной синей вспышки, заполняющей весь объем лампы, но особенно интенсивной в промежутке между



концами вводов. При недостаточной электронной эмиссии (низком напряжении, тонкой вольфрамовой нити или низкой температуре накала) вспышка получается менее заметной и более продолжительной и заканчивается раньше, чем достигнуто достаточно полное удаление остаточного газа. При слишком высоком напряжении происходит интенсивный разряд с большими скоростями ионов и электронов, которые своей бомбардировкой концов спирали подтачивают ее и делают ее предрасположенной к быстрому перегоранию вблизи вводов.

Механизм действия фосфорного газопоглотителя заключается приблизительно в следующем. Часть паров красного фосфора химически взаимодействует с остатками кислорода, еще имеющегося в лампе, и образует сухой фосфорный ангидрид, который химически соединяется с остаточными парами воды в прозрачную фосфорную кислоту и оседает с ними на внутренней поверхности колбы. Другая часть паров красного фосфора жадно сорбирует остаточные газы из объема лампы, увлекает их с собой и конденсируется с ними на холодных стенках колбы, превращаясь в желтый фосфор. Свежая пористая поверхность желтого фосфора, непрерывно обновляющаяся в процессе испарения красного фосфора, обладает хорошей сорбционной способностью. Ионы и нейтральные молекулы газа, ударяясь о рыхлую поверхность фосфора, застревают в ее неровностях и прочно удерживаются молекулярными силами. Слои фосфора на колбе образуют как бы прокладки между последовательными слоями газа и препятствуют обратному выделению газа при работе лампы. Химические реакции и адсорбция протекают особенно интенсивно благодаря наличию электрического поля и повышению физической и химической активности паров фосфора и остаточных газов в ионизованном состоянии. В результате этих процессов значительное количество газа прочно удерживается под тонким твердым прозрачным осадком фосфора, уменьшая тем самым давление в лампе в несколько сотен раз.

После исчезновения синей вспышки лампы некоторое время оставляют под напряжением. Накаливание лампы после аблица носит название выжигания или обжига. Во время обжига нагретые лучистым теплом стенки колбы и внутренние детали лампы выделяют еще некоторое количество газа, которое поглощается отложившимся на стенках колбы активным слоем фосфора. Эмиттируемые накаленной вольфрамовой спиралью электроны, сталкиваясь с молекулами газа, вбивают их в стенки колбы, а активный слой фосфора закрепляет их на поверхности стекла. В результате вакуум в лампе улучшается (лампа жестится) и постепенно достигает такого значения, при котором устанавливается подвижное равновесие между выделяющимися и поглощающимися газами.

Лампы обжигают несколько минут при напряжении на 15% выше номинального. Обжиг можно производить при несколько

меньшем или большем напряжении, но с соответственно увеличенной или уменьшенной затратой времени.

В газопоглотитель для вакуумных ламп, кроме красного фосфора, вводят криолит. При  $1000^{\circ}\text{C}$  криолит испаряется и оседает на стенках колбы, не производя никакого действия. При обжиге ламп и главным образом при их эксплуатации криолит взаимодействует с распыленным вольфрамом и образует почти прозрачное фтористое соединение, препятствующее образованию темного налета на колбе. Кроме того, молекулы криолита физически разбавляют на поверхности колбы атомы вольфрама и не дают им укрупняться в большие непрозрачные кристаллы и скапливаться в плотные непрозрачные слои. В таком действии криолита можно убедиться следующим образом: поместить перед заваркой лампы внутрь колбы экран и коротковременно зажечь готовую лампу; криолит осядет на стенках колбы и экрана; если теперь удалить экран и подвергнуть лампу длительному горению, то колба почернеет значительно сильнее в той части, которая была затенена экраном. Обесцвечивающее действие криолита позволяет сохранять лампу в работе более прозрачной. Количество вводимого в лампу криолита увеличивают с повышением скорости испарения вольфрама и увеличением поверхности тела накала.

Сам вольфрам в раскаленном состоянии тоже работает как газопоглотитель. Атомы вольфрама испаряются с поверхности тела накала и «прибивают» молекулы остаточных газов к стенкам колбы. Чем дольше горит лампа, тем лучше в ней становится вакуум.

Аблиц и обжиг вакуумных ламп протекают правильно только при условии, что температура колбы при горении лампы не превышает  $80\text{--}100^{\circ}\text{C}$ . В противном случае стенки колбы не удерживают «прибитых» фосфором водяных паров и газов, и давление в лампе не понижается до требуемого значения. Такое явление наблюдается в относительно мощных вакуумных лампах, изготовленных в колбах сравнительно малых размеров.

Быстрое действие газопоглотителя делает аблиц и обжиг удобными средствами обезгаживания вакуумных ламп. Аблиц и обжиг особенно ценны тем, что весь процесс обезгаживания протекает внутри самой лампы и не требует удаления из нее поглощенных газов. Во время аблица и обжига выявляются хорошие и плохие качества, приобретенные лампами на предыдущих операциях.

С понижением номинального напряжения и уменьшением мощности ламп ослабляется действие электрического поля между вводами, уменьшается электронная эмиссия нити и соответственно замедляется процесс обезгаживания ламп. В лампах на напряжение ниже  $40\text{ В}$  остаточные газы вовсе не ионизируются и жестчение происходит неполно и медленно. В таких лампах давление понижается главным образом за счет химического погло-

нения фосфором кислорода и паров воды. В вакуумные лампы на напряжение ниже 6 в газопоглотитель не вводят, так как он не может в них существенно понизить давление. В этих лампах вакуум улучшается медленным жестчением при эксплуатации за счет поглощения газов распыляющимся вольфрамом. В миниатюрные и сверхминиатюрные вакуумные лампы газопоглотитель не вводят, так как нельзя обеспечить, чтобы он не сгорел при заварке. Эффективным средством улучшения вакуума в сверхминиатюрных лампах служит зажигание их на откачном посту с 15—25%-ным перекалом при продолжающейся откачке диффузионным насосом и вымораживанием паров ловушкой с жидким азотом.

Хорошо обожженные вакуумные лампы не дают свечения в поле аппарата Теслы. Лампы на низкое напряжение могут давать слабое голубоватое объемное свечение, так как аблиц таких ламп затруднен. Плохой вакуум у них распознают по белому или розовому объемному свечению в поле аппарата Теслы и по повышенной температуре колбы, обнаруживаемой на ощупь после 2—3 мин горения.

#### б) АБЛИЦ И ОБЖИГ НА АВТОМАТЕ

Автоматический аблиц и обжиг ламп производят на специальных автоматах обжига или на комбинированных автоматах цоколевания, припайки электродов и обжига. В первом случае аблиц и обжиг совершают в патронах 10—20-гнездной прерывисто вращающейся карусели, к которым подводят разное напряжение от ступенчатого трансформатора. Во втором случае аблиц и обжиг совершают одновременно с цоколеванием в патронах цоколевочной карусели, снабженных для этой цели изолированными контактными пластинками; последние при вращении карусели соединяются пружинами с токоведущими медными шинами, разделенными изолирующими вставками на секторы; к секторам подводится напряжение от ступенчатого трансформатора.

На 1-й рабочей позиции лампа включается на напряжение несколько ниже номинального. Последовательно с этой позицией включен движковый реостат со скользящим контактом. Перед тем как обжигать лампы нового типа, перемещением скользящего контакта устанавливают такое напряжение на 1-й позиции, чтобы в лампе появилась синяя вспышка.

На 2-й позиции лампа включается через постоянное сопротивление на более высокое напряжение, чем на 1-й. На этой позиции синяя вспышка исчезает, если она не исчезла на 1-й позиции.

На последующих позициях к лампам подводится через магазин сопротивлений напряжение, превышающее номинальное на 10—20%. Предпоследняя позиция соединена последовательно

с контрольной лампой, по накалу которой судят о пригодности обжигаемой лампы. Последняя позиция используется для разгрузки и загрузки ламп.

Из всех позиций автомата первые две имеют наиболее важное значение, так как на них совершается аблиц и на них чаще, чем на других позициях, лампы подвержены перегоранию. Перегорание на 1-й позиции показывает, что к этой позиции подведено слишком высокое напряжение для аблица данных ламп. В этом случае, чтобы лампы не перегорали, следует понизить напряжение на 1-й позиции. Перегорание на 2-й позиции показывает, что к 1-й позиции подведено слишком низкое напряжение для аблица данных ламп, и лампы недостаточно подготовлены для напряжения на 2-й позиции. В этом случае, чтобы лампы не перегорали, следует повысить напряжение на 1-й позиции. Таким образом, к 1-й позиции следует подводить такое напряжение, при котором лампы не будут перегорать ни на 1-й, ни на 2-й позициях. При правильно отрегулированном напряжении поглотитель легко испаряется, и разряд в лампе быстро завершается.

Выше уже отмечалось, что в момент появления синей вспышки сильно уменьшается электрическое сопротивление между вводами лампы. Уменьшение сопротивления могло бы вызвать возрастание тока и возникновение дугового разряда между электродами, что привело бы к разрушению лампы. Но это не происходит, так как с возрастанием тока увеличивается падение напряжения в реостате и магазине сопротивлений, что в свою очередь приводит к понижению напряжения между вводами лампы и тем самым препятствует возникновению дуги. Как только светящийся разряд прекратится, ток в междуэлектродном пространстве резко уменьшится и напряжение на лампе повысится.

Персонал, обслуживающий оборудование для обжига ламп, должен следить за хорошим состоянием патронов и чистотой контактных соединений. Если лампы не будут накаливаться на начальных позициях при пониженном напряжении, они, внезапно загораясь на последующих позициях при повышенном напряжении, будут перегорать.

#### в) АБЛИЦ И ОБЖИГ НА СТОЛЕ

В гладкие патроны, смонтированные на небольшом столе, вставляют 25 ламп, подлежащих обжигу. Против них на том же столе в резьбовых патронах держат постоянно ввернутыми другие 25 так называемых буферных ламп. Все буферные и обжигаемые лампы соединены между собой последовательно, а каждая пара последовательно соединенных ламп включена в общую схему параллельно. После загрузки стола лампами включают напряжение и быстро выводят сопротивление движ-

кового реостата до такого положения движка, при котором в обжигаемых лампах появляется синяя вспышка разряда. Выждав несколько секунд, пока исчезнет вспышка у всех ламп, плавно выводят сопротивления реостата, доводя напряжение на обжигаемых лампах до значения, превышающего номинальное на 15%, и выдерживают при таком напряжении в течение 10—15 мин.

На столах обжига, как и на автоматах обжига, начальное напряжение подводят достаточно высокое, чтобы газопоглотитель быстро испарился, иначе он перетравит спираль. При слишком высоком напряжении светящийся разряд может перейти в дуговой и лампа перегорит. Буферные лампы на столах обжига, так же как реостаты автоматов обжига, поглощают часть напряжения (а следовательно, и мощности) в периоды максимальной нагрузки в обжигаемых лампах. Они ограничивают ток в цепи обжигаемых ламп, препятствуя перегоранию спирали во время аблица и перегоранию сетевых предохранителей в случаях короткого замыкания. Чем больше напряжения поглощают буферные лампы, тем меньше вероятность перегорания обжигаемых ламп. Полезно пользоваться от питающего ступенчатого трансформатора как можно более высоким напряжением и весь его излишек поглощать буферными лампами.

В качестве буферных применяют обычные лампы накаливания. Они обладают более эффективным буферным действием, чем реостаты и магазины сопротивления, благодаря высокому температурному коэффициенту вольфрама. С возникновением разряда возрастает ток в цепи обжигаемой и буферной ламп, а возросший ток, проходя по буферной лампе, повышает сопротивление ее вольфрамовой нити и, следовательно, понижает напряжение на обжигаемой лампе, предотвращая перегорание последней.

Для каждого типа обжигаемых ламп требуется свой тип буферных. Последние подбираются такими, чтобы они накаливались во время работы достаточно сильно, обеспечивая буферное действие, но не перегорали при прохождении максимального тока. Напряжение на обжигаемой лампе равно подводимому напряжению от автотрансформатора за вычетом падения напряжения в буферной лампе.

Столы обжига особенно удобны при производстве ламп небольшими партиями.

#### г) ПРОВЕРКА «ОСТРЫМ ТОКОМ»

Под «острым током» подразумевают такой электрический ток в цепи лампы, напряжение которого не ниже номинального и который проходит через лампы непосредственно от трансформатора или электрической сети без участия реостата или буферных ламп. Плохие лампы реже перегорают, если их включить

последовательно с буферным сопротивлением. Например, лампы с невыжигающейся синевой при включении в цепь с сопротивлением могут не перегорать, а при включении на острый ток обязательно перегорят.

Все готовые вакуумные лампы с целью испытания на электрическую прочность включают на острый ток при напряжении на 5—10% выше номинального и выдерживают под напряжением в течение нескольких секунд. Если лампы не перегорят при таком повышенном напряжении, есть основание полагать, что они не перегорят у потребителя при номинальном напряжении.

Проверку острым током производят автоматически на цоколевочном автомате после позиций аблица и обжига или вручную на рейках с патронами одновременно с контролем ламп по внешнему виду.

### 13-5. ОБЖИГ ГАЗОНАПОЛНЕННЫХ ЛАМП

#### а) ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Газонаполненные лампы обжигают в целях создания условий для действия газопоглотителя, формирования надлежащей кристаллической структуры тела накала и выявления некачественных ламп, недостатки которых могут быть обнаружены только при горении, например с обрывом внутренней цепи лампы, черные, с воздухом, с провисшей спиралью, перегорающие с электрической дугой и др.

Обжиг производят на вращающихся с постоянной скоростью карусельных рамах или на вращающихся с периодическими остановками цоколевочных автоматах.

В первом случае зацоколеванные лампы с припаянными выводами вставляют в патроны рамы и пропускают через 16—24 позиций, к которым подводят напряжение. Токоведущие шины рамы разделены на несколько отдельных электрически разобщенных секций. Различное напряжение, подведенное к секциям, передается патронам через пружинящие контактные щетки, укрепленные на карусели и скользящие по шинам.

Во втором случае лампы с надетым цоколем и неприпаянными выводами вставляют в рабочие гнезда цоколевочного автомата и зажигают их на позициях прогрева цоколей и цоколевочной мастики. 54-позиционный автомат цоколевания маломощных ламп имеет 13 позиций обжига. Для создания надежного контактного соединения с неприпаянными выводами позиции обжига снабжают подвижными зажимами, которые во время останова карусели прижимаются к цоколям сжатым воздухом, а во время поворотов отводятся от цоколей вакуумным отсосом.

К рамам обжига и цоколевочным автоматам подводят напряжение от ступенчатого автотрансформатора. Начальные позиции обжига питают напряжением, равным 85—90% номиналь-

ного, а последние — равным 115—120% номинального. Биспиральные и мощные моноспиральные лампы обжигают поочередным включением на четыре ступени с напряжением: 60—70, 75—85, 95—105 и 100—120% номинального. Двухсветные лампы обжигают одновременным включением обеих спиралей. В отличие от вакуумных ламп обжиг газонаполненных протекает без электрического разряда через газ, и поэтому проведение его не требует применения буферных сопротивлений.

На первых ступенях обжига снимаются внутренние напряжения со спиралей (происходит первичная рекристаллизация), а на последних — формируется окончательная кристаллическая структура вольфрама (завершается вторичная рекристаллизация). Структура рекристаллизованной спирали получается более благоприятной, если напряжение при обжиге ламп повышается постепенно. Излишняя длительность обжига вызывает бесполезный расход электроэнергии и ухудшает условия труда.

Лампы на всех позициях обжига должны безотказно зажигаться. Для этого все патроны и контактные соединения нужно содержать в постоянной чистоте и исправности.

#### 6) ПОГЛОЩЕНИЕ ГАЗОВ

Обжиг газонаполненных ламп при напряжении, превышающем номинальное, вызывает активное выделение газов из внутренних деталей. Введенный в лампы газопоглотитель, взаимодействуя с водяным паром и другими вредными газами, уменьшает их парциальное давление. Когда в дальнейшем обожженную лампу зажигают у потребителя при номинальном напряжении, в ее деталях развивается более низкая рабочая температура, чем при начальном обжиге, и газоотделения деталей практически больше не происходит.

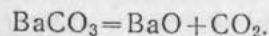
В маломощные газонаполненные лампы на 50—250 в чаще всего вводят фосфорный газопоглотитель. Действие его в газонаполненных лампах при отсутствии разряда через газ протекает с меньшим эффектом, чем в вакуумных лампах. В начальной стадии обжига фосфор испаряется и соединяется с остаточным кислородом. Образующийся фосфорный ангидрид осаждается на колбе в виде тончайшего прозрачного налета, хорошо поглощающего остаточную влагу. Насыщенный пар красного фосфора противодействует возникновению в лампе электрической дуги. Установлено, что введение фосфора благоприятно влияет на срок службы маломощных газонаполненных ламп не только тогда, когда в лампах имеются вредные примеси, но и тогда, когда они почти отсутствуют, т. е. при хорошей откачке ламп, хорошем прогреве и достаточной чистоте газа.

В низковольтные газонаполненные лампы, работающие с тепловой перегрузкой, фосфорный газопоглотитель не вводят, так как в таких лампах он недостаточно эффективен. При вы-

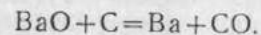
сокой температуре парообразная фаза фосфора склонна к взаимодействию с никелевыми электродами и образованию на колбе темного налета фосфида никеля.

В лампы на 6—36 в раньше вводили сажевый или фосфорно-сажевый газопоглотитель. Углерод сажи, химически реагируя с остаточным кислородом, образует окись углерода, которая остается в лампе в адсорбированном состоянии. При этом углерод поглощает не только свободный кислород, но и кислород, выделяющийся при разложении водяных паров накаливаемой спирали. Поглощение кислорода прерывает круговую реакцию между парами воды и вольфрамом, вызывающую перенос атомов вольфрама на внутреннюю поверхность колбы. Введение углерода в избыточном количестве уменьшает прочность и формустойчивость спирали и снижает световой поток лампы.

Некоторые заводы применяют в маломощных лампах на 6—12 в газопоглотитель из углекислого бария с небольшой добавкой углерода (сажи). Первое зажигание таких ламп производят на откачном автомате на позиции откачки перед наполнением аргоном. Углекислый барий, нагреваясь до температуры выше 800° С, испаряется и разлагается на окись бария и углекислый газ:



Часть окиси бария восстанавливается углеродом (сажей) в металлический барий:



Окись и двуокись углерода откачиваются насосом, а окись бария и металлический барий, испаряясь и оседая на стенки колбы, жадно поглощают водяной пар и свободный кислород. Бариевый поглотитель в отличие от фосфорно-сажевого не влияет на механическую прочность спирали и поэтому с успехом применяется в лампах, работающих в условиях повышенной механической нагрузки. Пленка окиси бария вызывает образование на поверхности колбы мутных налетов, что, однако, мало влияет на световые параметры ламп, но несколько портит их внешний вид. К недостаткам бариевого поглотителя следует также отнести постепенное загрязнение вакуумных насосов соединениями бария, выкачиваемыми при зажигании ламп. Лампы с бариевым поглотителем обжигают на рамах обычным способом. Повторная дымка при обжиге свидетельствует о неполном испарении поглотителя во время откачки, что считается ненормальным.

В качестве газопоглотителя для многих типов специальных ламп получил применение порошкообразный цирконий, разведенный на этиловом спирте. Цирконий при обжиге, а также в течение всего срока службы ламп химически взаимодействует со свободным и связанным кислородом и жадно сорбирует во-

дород, благодаря чему подобно углероду прерывает круговую реакцию между вольфрамом и парами воды.

Цирконий активно удерживает водород при 300—400°С и кислород при 700—800°С. Для наиболее полного поглощения этих газов его наносят на определенные места вводов, которые воспринимают указанные температуры во время эксплуатации лампы. У большинства ламп такими местами являются концы вводов вблизи спирали. Часть циркония, нанесенная непосредственно около спирали, хорошо поглощает кислород, а часть, более удаленная от спирали, хорошо поглощает водород. Цирконий как газопоглотитель отличается тем достоинством, что не влияет на световые и электрические параметры ламп и не уменьшает механической прочности спирали. Избыток его лишь сильно чернит вводы или корками осыпается внутрь лампы. Чем тоньше измельчен порошок циркония, тем прочнее он удерживается на вводах, меньше разбрызгивается при заварке ламп и активнее поглощает газы. Случайное нанесение циркония на спираль вредно влияет на прочность спирали и срок службы ламп, а в мощных лампах даже вызывает перегорание спирали с электрической дугой. В лампах общего назначения циркониевый газопоглотитель не применяют, так как вводы в этих лампах не нагреваются до температуры, требуемой цирконию для заметного поглощения газов.

В лампы общего назначения и некоторые специальные газонаполненные лампы вместо фосфорного или наряду с фосфорным газопоглотителем иногда вводят алюминиевый. Его наносят на молибденовую проволоку перед изготовлением держателей (стр. 288). Его же с добавкой или без добавки циркониевого газопоглотителя наносят в виде разведенного в биндере порошка на вводы ламп мощностью более 2 квт. Механизм действия алюминиевого газопоглотителя, нанесенного на вводы, состоит в том, что при нагреве до 660—800°С окисная пленка на его поверхности разрывается, и через разрывы пленки испаряется чистый алюминий. Пары алюминия жадно поглощают свободный кислород и связанный кислород из паров воды. Реакция происходит в объеме колбы. Образующаяся при этом прозрачная окись алюминия осаждается на холодных поверхностях внутри лампы и не оказывает влияния на световой поток ламп. Активность алюминиевого газопоглотителя только при высоких температурах допускает применение его лишь в тех лампах, у которых температура электродов (или держателей) во время работы превышает 660°С.

При обжиге ламп с алюминированными держателями алюминий частично испаряется, а частично сохраняется на держателях в твердом виде. Испаряющаяся часть поглощает газы при первом зажигании лампы, а остающаяся твердая часть поглощает их при длительном горении ламп. При обжиге ламп остающаяся часть алюминия меняет свой цвет вблизи спирали

с серебристо-белого на темно-серый, чем затрудняет выявление «черных» ламп. К лампам с алюминированными держателями подводят напряжение на первых позициях обжига, равное 75—85% номинального. При более низком напряжении алюминий, смачивая вольфрам, отрицательно влияет на прочность спирали, а при более высоком — алюминий, интенсивно испаряясь, облегчает условия для перегорания ламп с дугой. Эти особенности алюминированного молибдена требуют осторожного применения его в ударо- и вибропрочных лампах.

Дозировка алюминия определяется числом молибденовых держателей в лампе. Поэтому в лампы с малым числом держателей, наряду с применением алюминированного молибдена, вводят фосфорный газопоглотитель. Совместная работа обоих газопоглотителей более полно связывает вредные газы.

При обжиге газонаполненных ламп в положении куполом вверх легче обнаружить на куполе темный налет, указывающий на черные лампы. Однако в этом случае в лампах со спиралью из толстой вольфрамовой проволоки оседают на куполе также твердые загрязнения, выделяющиеся из спирали при ее первом зажигании, а в лампах со спиралью из тонкой вольфрамовой проволоки оседает на куполе также дымчатый или желтый налет не участвовавших в реакции газопоглотителей. Лампы с такими налетами иногда ошибочно принимают за «черные» или «с воздухом». В этом случае, чтобы исключить ошибки в определении характера налета, лампы обжигают в положении куполом вниз. При обжиге в таком положении безвредные твердые выделения из спирали уносятся конвекционными газовыми потоками к цоколю, оставляя купол лампы чистым.

Лампы с неиспаряющимся газопоглотителем обжигают в обязательном порядке куполом вниз, так как при обжиге в таком положении газопоглотитель, нанесенный на вводы или держатели, сильнее нагревается и активнее поглощает газы.

Выборочный обжиг ламп в отделе технического контроля производят в положении куполом вверх для лучшего выявления черных ламп.

В газонаполненные лампы в отличие от вакуумных криолит не вводят, так как газовое наполнение и без криолита препятствует потемнению колбы. Атомы вольфрама в газонаполненных лампах теряют способность реагировать с криолитом, потому что, испаряясь с раскаленного тела накала, они сталкиваются на пути к стенкам колбы с молекулами газа, уносятся его конвекционными потоками и достигают колбы уже лишенной энергии.

#### в) РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ СПИРАЛИ

Как уже было сказано (стр. 555), обжигом ламп преследуют цель не только создать необходимые условия для действия газопоглотителя, но и намеренно вызвать рекристаллизацию вольфрамовой спирали.

Сначала обжигом освобождают спираль от внутренних напряжений (снимают наклеп), а потом создают условия для рекристаллизации и полного разупрочнения спирали. При этом кристаллическая структура сначала превращается из волокнистой в мелкозернистую, а затем в крупнозернистую. После 20—

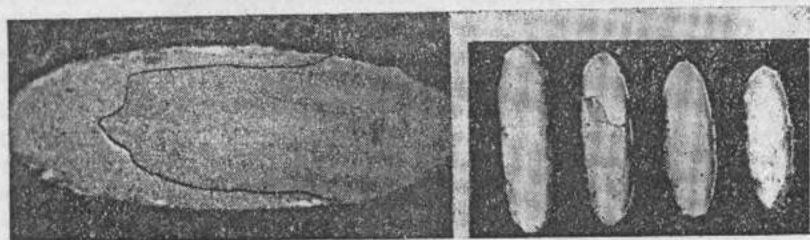


Рис. 13-8. Микроструктура вольфрамовой спирали нормального качества.

30-секундного обжига при напряжении, превышающем номинальное на 10—15%, перегруппировка кристаллов почти заканчивается и проволока превращается в соединенные между собой отдельные крупные кристаллы. Укрупнение кристаллов облегчается постепенным подъемом температуры спирали. После нескольких часов эксплуатации структура спирали устанавливается окончательно.

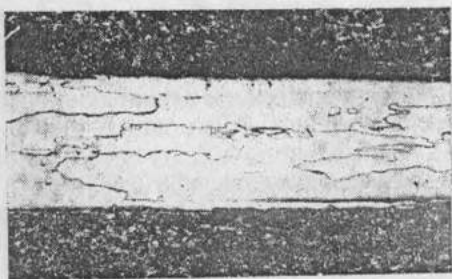


Рис. 13-9. Микроструктура недорекристаллизованного типа нормального качества.

На скорость роста кристаллов существенно влияют небольшие количества искусственных присадок, введенных в вольфрам. Присадка алюмосиликата калия в вольфраме ВА содействует укрупнению и прочному сплелению кристаллов и препятствует смещению и скольжению их относительно друг друга. Структура рекристаллизованной спирали признается хорошей, если: 1) кристаллы имеют толщину, равную диаметру проволоки, и длину, во много раз превышающую диаметр проволоки; 2) смежные кристаллы соединены друг с другом внахлестку; 3) поверхность соединения кристаллов не гладкая, а с извилинами и зазубринами и имеет уклон вдоль оси проволоки. Такие структуры называют стапельными. Примером спирали с хорошей стапельной структурой служит также такая, у которой в любом сечении помещаются два-три удлиненных захватывающих друг друга зерна, не имеющих поперечных

стыков. На рис. 13-8 и 13-9 изображены спирали с удовлетворительной микроструктурой и на рис. 13-10 — с неудовлетворительной.

Спираль со стапельной структурой обладает хорошей формоустойчивостью и одновременно стойкостью против сотрясений. Если бы при рекристаллизационном обжиге удавалось превра-

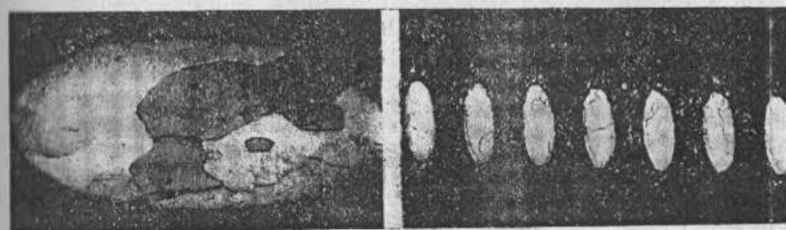


Рис. 13-10. Микроструктура вольфрамовой спирали плохого качества.

тить всю спираль в один сплошной кристалл (монокристалл), то даже после 1000 ч горения ее можно было бы растянуть без обрыва. На рис. 13-11 изображены увеличенные под микроскопом три витка спирали, состоящие из одного монокристалла.

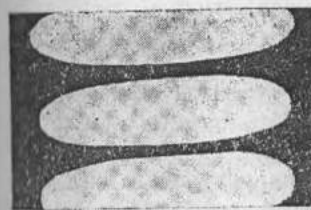


Рис. 13-11. Витки спирали, состоящие из одного монокристалла.

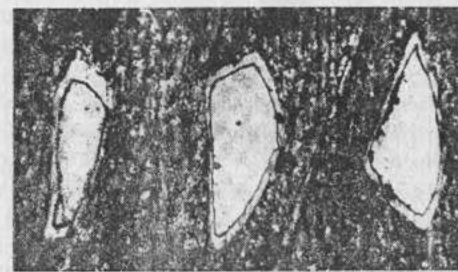


Рис. 13-12. Микроструктура спирали, снятой с газонаполненной лампы после 1000 ч горения.

В процессе длительного горения ламп, сопровождающемся непрерывным испарением вольфрама, происходит дальнейшее постепенное укрупнение кристаллов, вызываемое перегруппировкой их атомов. В газонаполненных лампах укрупнение кристаллов происходит также за счет обратного возвращения на спираль испарившихся атомов вольфрама после их соударения с молекулами наполняющего газа. Уже после нескольких сотен часов горения газонаполненных ламп кристаллы вольфрама на поверхности спирали становятся настолько крупными, что невооруженным глазом можно заметить блеск их граней. В процессе

горения места стыков кристаллов во многих местах округляются и разрушаются в результате чего взаимная связь между ними ослабляется. После 1000 ч горения ламп отдельные кристаллы занимают все поперечное сечение проволоки, а витки спирали превращаются из круглых в многогранные (рис. 13-12). Образование выступающих граней ускоряет процессы распыления и ослабления спирали по границам кристаллов и соответственно приближает момент выхода ламп из строя.

Одновременно с рекристаллизацией вольфрамовой спирали происходит рекристаллизация петлевых частей молибденовых держателей, соприкасающихся с раскаленной спиралью. При чрезмерно малом диаметре держателей и высокой температуре спирали эти части приобретают крупнозернистую структуру и становятся хрупкими. Остальные места сохраняют мелкозернистую структуру и упругие свойства.

### 13-6. БРАК ПРИ ОБЖИГЕ ЛАМП

#### а) «СИНИЕ» И «ЖЕЛТЫЕ» ЛАМПЫ

Требуемая дозировка фосфорного газопоглотителя в вакуумных лампах определяется главным образом площадью поверхности колбы и условиями откачки. Недостаток или избыток газопоглотителя отрицательно сказывается на качестве ламп.

Предположим, что в вакуумную лампу было введено мало поглотителя или введенный в лампу поглотитель частично сгорел, окислился или осыпался при заварке или откачке. Во время аблица некоторая часть остаточных газов свяжется фосфором, а остальная часть останется свободной. В лампе появится синяя вспышка, которая должна была бы исчезнуть, как только фосфор поглотит основную массу газов. Но так как фосфора было введено недостаточно, часть газов останется несвязанной, и синяя вспышка не исчезнет до тех пор, пока тлеющий разряд в лампе не перейдет в дуговой и лампа не перегорит. Такие лампы называют синими или с невыжигающейся синевой. Синие лампы получают также в тех случаях, когда они плохо прогреты при заварке и откачке, плохо откачаны и содержат вещества, выделяющие газы, например, когда их молибденовые держатели загрязнены смазочным маслом или среда внутри ламп загрязнена вакуумным или касторовым маслом. Синие лампы, как и лампы с незаконченным аблицем, легко распознаются на аппарате Теслы по молочно-мутному свечению газового разряда. Иногда удается «вылечить» некоторую долю синих ламп путем длительного обжига. Однако срок службы таких ламп мал.

Предположим теперь, что в вакуумную лампу было введено много поглотителя. Во время аблица фосфор поглотит основную массу остаточных газов, но так как его было введено слишком

много, излишек его останется в лампе неиспользованным и он в виде желтого налета осядет на всей поверхности колбы и штабика. Такие лампы называют желтыми. Незначительный желтый налет не приносит вреда, скорее свидетельствует об удовлетворительном качестве лампы, потому что он получается лишь в том случае, когда большая часть газов свяжется газопоглотителем. Обильный желтый налет становится уже вредным, так как он влечет за собой перегрев колбы во время работы лампы, усиливает газоотделение стекла, поглощает часть светового потока и портит внешний вид лампы. Излишняя желтизна, кроме того, препятствует криолиту предохранять лампу от почернения и ослабляет его полезное действие. Избыток фосфора оказывает также вредное влияние на механическую прочность спиралей, особенно изготовленных из тонкой вольфрамовой проволоки.

Приметой правильного привеса газопоглотителя служит незначительная желтизна колбы у обожженной лампы, заметная при сличении ее с необожженной. Желтый налет хорошо просматривается на лампах в матированной или окрашенной в белый цвет колбе, а также на лампах в прозрачной бесцветной колбе на фоне молочного стекла.

Чем выше давление остаточных газов до аблица, тем больше работы приходится на долю газопоглотителя. Один и тот же привес газопоглотителя может при худшем вакууме дать синие лампы, а при лучшем — желтые.

На желтизну колб влияет режим прогрева ламп во время откачки. При низкой температуре в откачной печи или при откачке холодных ламп спустя длительное время после заварки поверхность колбы сразу после начального обжига покрывается равномерным желтым налетом. По истечении некоторого времени налет начинает светлеть и одновременно переходить на горловину колбы независимо от положения лампы во время горения. Такие лампы дают в поле аппарата Теслы молочно-синее свечение; колба их во время горения сильно нагревается; на линзе в местах впайки держателей появляются черные точки. Описываемое явление объясняется тем, что, когда поверхность стекла покрыта слоем газа, фосфор непрочно удерживается на ней и при повышении температуры быстро покидает ее, освобождая тем самым тот газ, который он своим слоем удерживал на поверхности колбы. Поэтому, а также потому, что газ, еще не выделенный стеклом, теперь беспрепятственно может выделяться, вакуум в лампе ухудшается.

На появление желтых и синих ламп оказывает влияние влажность атмосферного воздуха. В вакуумных лампах в условиях откачки при влажном воздухе вакуум хуже, чем в условиях откачки при сухом атмосферном воздухе. Для этих разных условий требуется разный привес газопоглотителя. Если привес установлен применительно к сухому атмосферному воз-

духу, то при влажном воздухе могут получаться синие лампы. Если с целью устранения синих ламп повысить привес газопоглотителя, то при возвращении к нормальным условиям, т. е. сухому воздуху, лампы окажутся желтыми.

В летнее время вследствие повышения окружающей температуры ускоряется испарение летучей части газопоглотителя. Чтобы в этих условиях не получались желтые лампы, нужно на монтажном автомате чаще доливать спирт в газопоглотитель.

Газонаполненные лампы с фосфорным газопоглотителем получают желтыми при большом привесе и черными при малом привесе. Испаряющийся со спирали фосфор осаждается не на всей поверхности колбы, как в вакуумных лампах, а уносится конвекционными потоками газа вверх. При горении лампы цоколем кверху желтый налет оседает преимущественно в шейке колбы, т. е. в том месте лампы, где наличие его не имеет существенного значения.

### 6) ОБРЫВ СПИРАЛИ

Хрупкость вольфрамовой спирали в готовых лампах вызывается в основном двумя причинами — рекристаллизацией вольфрама и загрязнением поверхностного слоя спирали.

Любая вольфрамовая спираль, поскольку она рекристаллизована, склонна к обрывам. Особенно чувствительна к обрывам спираль, у которой прошел процесс первичной рекристаллизации, но не закончился процесс собирательной рекристаллизации или которая изготовлена из вольфрама, не способного принимать стапельную структуру. Спирали из вольфрама с короткими прямыми межкристаллитными стыками хуже противостоят сотрясениям, чем спирали из вольфрама с большими перекрывающимися друг друга кристаллами и длинными косыми или извилистыми стыками.

Холодная спираль более хрупка, чем раскаленная; поэтому при ударах и вибрациях спираль негорящей лампы более подвержена обрыву, чем растяжению. Раскаленная спираль более эластична, чем холодная; поэтому при ударах и вибрациях спираль горящей лампы более подвержена растяжению, чем обрыву.

Чувствительность тела накала к обрыву повышается с уменьшением площади поперечного сечения нити. Поэтому лампы для высокого напряжения больше склонны к обрыву спирали, чем лампы для низкого.

Долго горевшие лампы с ослабленной спиралью хуже переносят сотрясения, чем новые. Например, когда лампы снимают для контрольного фотометрирования после нескольких сотен часов горения, бывает достаточно сравнительно небольшого сотрясения, чтобы их спираль оборвалась.

Рекристаллизация спирали в среде, содержащей углерод, или накаливание ранее рекристаллизованной спирали в углеродсодержащей среде вызывает диффузию углерода в вольфрам и образование в поверхностных слоях спирали карбида  $W_2C$ . Включения карбида влекют за собой резко выраженное местное (локальное) понижение прочности спирали. Источниками образования карбида могут быть остатки графита, полностью удаленные с поверхности спирали, углеродсодержащие примеси в препарировочном или наполняющем газе, пары масла в техническом воздухе, подводимом на позицию формирования горла при заварке ламп, углеродистые газопоглотители, введенные в лампы в больших дозах. Карбид может также образовываться в результате случайного проникновения в лампы углеводородов, например вакуумного, касторового и смазочного масел или топливного газа. Особую опасность представляют случаи загрязнения маслом. При высокой температуре пары масла диссоциируют на водород и углерод, а последний поглощается вольфрамом с образованием карбида.

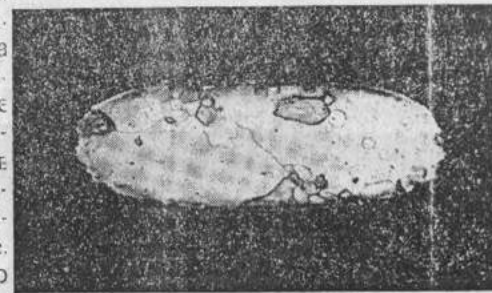


Рис. 13-13. Микроструктура рекристаллизованной спирали, загрязненной углеродом.

Криптон чаще, чем аргон и азот, бывает загрязнен углеводородами (стр. 78). Поэтому высоконадежные лампы избегают наполнять криптоном. Загрязнение криптона углеводородами легко обнаруживается по объемному зеленому свечению необожженных ламп в электрическом поле аппарата Теслы.

Во время работы лампы карбид вольфрама, обладающий значительно более низкой температурой плавления, чем вольфрам, почти полностью улетучивается, успевая, однако, оказать вредное влияние на вольфрам. Металлографические исследования показывают, что спирали, зараженные карбидом, имеют на границах крупных кристаллов много мелких (рис. 13-13).

Одним из способов выявления науглероженных участков спирали служит разрядка емкости батареи конденсаторов на обожженную лампу (спотконтроль). При отсутствии науглероживания разрядный ток вызывает слабый накал всей спирали, а при наличии науглероживания на фоне слабого накала всей нити выделяются яркие светящиеся пятна.

Исследование ламп, содержащих углерод, показывает, что науглероженные участки тела накала обладают увеличенным омическим сопротивлением, плохой формоустойчивостью при высоких температурах и резко выраженной хрупкостью. Уста-



новлено также, что легче поражаются углеродом спирали из тонкой вольфрамовой проволоки, чем из толстой, спирали с низкой температурой накала, чем с высокой, и спирали из деформированного вольфрама, чем из рекристаллизованного.

Нанесение углеродистого газопоглотителя на спирали, особенно если оно выполняется вручную, исключает возможность постоянной однородной дозировки углерода в лампах. Даже одно и то же количество поглотителя в одинаковых лампах при одних условиях может быть недостаточным и способствовать по-

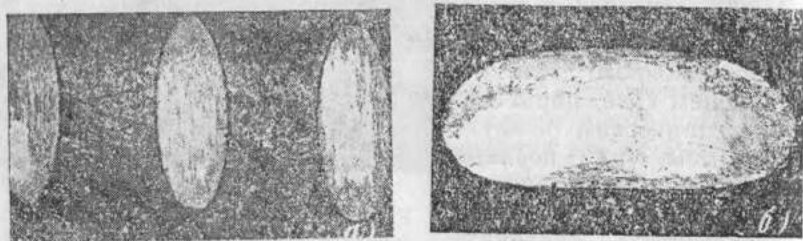


Рис. 13-14. Витки спирали с незавершенной собирательной рекристаллизацией.

лучению черных ламп, а при других — избыточным и приводит к хрупкости спирали. Например, различная степень окисления никелевых электродов или различные условия травления и препарирования спиралей при одном и том же привесе газопоглотителя влекут за собой избыток или недостаток углерода в лампах, т. е. черные лампы или хрупкие спирали. Применение углеродистого поглотителя приводит к такому нелепому положению, когда с улучшением откачки ламп увеличивается опасность науглероживания спирали. В связи с невозможностью точного дозирования в каждой отдельной лампе требуемого ей количества углеродистого газопоглотителя и регулирования в лампах некоторого постоянного количества загрязнений на электроламповых заводах отказались от применения камфары, сажи, туши и других углеродистых газопоглотителей и заменили их фосфорным, циркониевым и алюминиевым. Последние при первом зажигании ламп менее активно поглощают остаточные газы, но зато избыток их не нарушает прочности спирали.

Хрупкие участки спирали после обжига ламп чаще бывают вблизи вводов и держателей, чем в других местах. В этих участках совершается только первичная рекристаллизация вольфрама с образованием неоднородной мелкозернистой структуры (рис. 13-14), а вольфрам, обладающий такой структурой, легко реагирует с углеродом, сообщаящим ему хрупкость. Спираль, рекристаллизованная при 2300—2400°С перед монтажом на ножку, менее подвержена вредному воздействию углерода и поэтому обладает большей прочностью при эксплуатации лампы. На обрыв спирали вблизи держателей, по-видимому, влия-

также проникновение углеродсодержащих загрязнений с поверхности держателей, механическое воздействие держателей на спираль, вибрация спирали в держателях, деформация шага спирали вблизи держателей и действие собственного веса спирали на участке, заключенном между смежными держателями. На прочность спирали вблизи вводов неблагоприятно влияют внутренние напряжения, вызываемые большой разницей в коэффициентах теплового расширения вольфрама и никеля.

Одним из средств повышения прочности рекристаллизованной спирали служит спирализация вольфрамовой проволоки на хорошо очищенном керне.

Причинами хрупкого обрыва спирали после обжига могут быть загрязнение вольфрама малыми количествами железа, никеля или алюминия, измельчающими структуру вольфрама (рис. 13-15). Атомы этих примесей размещаются по границам зерен вольфрама, вступают в химическое соединение с атомами вольфрама и ослабляют связь между зернами. Они порождают начальные микротрещины, склонные к быстрому росту по межзеренным границам через все сечение проволоки. Ввиду того что никель, железо и алюминий сопутствуют вольфраму на пути производственного процесса, а никель во многих лампах даже приваривается к вольфраму, приходится постоянно помнить об опасности, какую составляют эти металлы для ламп. При отжиге спиралей на стальном керне или в стальных лодках следует остерегаться чрезмерно высокой температуры в печи.

Сильнейший враг прочности спирали — водяной пар. Механические испытания ламп с небольшим черным налетом, указывающим на присутствие в лампе водяного пара, как правило, показывают низкие значения прочности.

Замечено, что применение умеренной дозы фосфорного газопоглотителя, связывающего водяной пар в маломощных газонаполненных лампах, благотворно влияет на уменьшение случаев обрыва спирали.

Замечено также, что азот оказывает замедляющее действие на диффузию углерода в вольфрам и тем самым благоприятно влияет на уменьшение хрупкости вольфрама.

Спираль с продольными трещинами (расслоем) склонна к обрывам в местах с ослабленным сечением, хотя эти места при работе лампы имеют пониженную температуру.

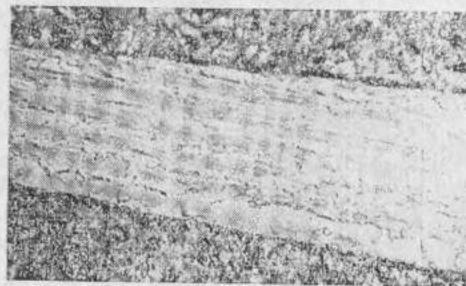


Рис. 13-15. Тире спирали, загрязненное железом.

### а) ПРОВИСАНИЕ И КОРОБЛЕНИЕ СПИРАЛИ

При начальном обжиге ламп тело накала под влиянием скольжения зерен вольфрама относительно друг друга претерпевает некоторое изменение своей формы. Различают два вида деформации спиралей при обжиге и горении ламп — провисание и коробление. Первое происходит под действием силы тяжести спиралей в условиях ослабления ее витков высокотемпературным нагревом. Второе — под действием снятия механических напряжений со спиралей в условиях жесткого закрепления ее в неподвижных опорах или под влиянием возникновения тепловых напряжений в спирали при очень быстром или неравномерном ее нагреве. Спираль в лампах на высокое напряжение иногда провисают с образованием глубоких дугообразных гирлянд (рис. 13-16). Спираль в лампах на низкое напряжение иногда коробятся со смещением отдельных витков и искажением осевой линии (рис. 13-17).

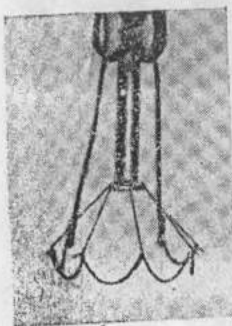


Рис. 13-16. Провисание спирали.

У провисшей спирали увеличивается расстояние между смежными витками и возрастает поверхность, омываемая конвекционными потоками газа. Поэтому лампы с провисшей спиралью имеют повышенные тепловые потери и излучают соответственно меньший световой поток. Провисание одновременно вызывает и увеличение потребляемой мощности вследствие уменьшения сопротивления охлажденных витков спирали и возрастания тока через спираль. При возросшем токе нерастянутые участки спирали имеют вблизи держателей более высокую температуру по сравнению с той, которую имела бы спираль с равномерным шагом. Поэтому провисание приводит к усилению испарения вольфрама с нерастянутых участков и сокращению срока службы лампы. Любое неравномерное растяжение спирали газонаполненной лампы вызывает уменьшение световой отдачи и одновременно сокращение срока службы. Из двух ламп с одинаковой световой отдачей быстрее перегорает та, у которой сильнее провисает спираль.

Биспиральное тело накала отличается меньшей формоустойчивостью, чем моноспиральное, потому что оно работает при более высокой температуре, и провисание его складывается из одновременного провисания первичной и вторичной спиралей.

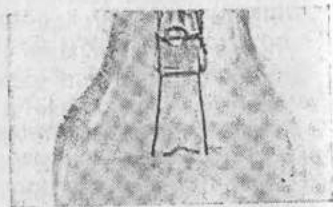


Рис. 13-17. Коробление спирали.

Пространство между витками биспиралей настолько мал, что даже самое незначительное провисание или коробление вредно отражается на световой отдаче и продолжительности горения ламп.

Провисание и коробление спирали особенно недопустимо в лампах для оптических приборов, работа которых требует соблюдения точных размеров тела накала.

Формоустойчивость тела накала определяется внутренней структурой спирали в рекристаллизованном состоянии. Различают начальное или первичное провисание и коробление, происходящее в течение первых нескольких секунд горения лампы, и вторичное, происходящее в течение последующих нескольких минут горения лампы. Начальное провисание и коробление обусловлено процессом собирательной рекристаллизации вольфрама при первом зажигании лампы, когда атомы вольфрама легко перегруппировываются из деформированной (волокнутой) структуры в кристаллическую. Вторичное провисание и коробление наблюдаются после завершения собирательной рекристаллизации, когда под влиянием среды внутри лампы кристаллы вольфрама измельчаются с увеличением общей поверхности их стыков. От начального и вторичного провисания отличаются еще провисание, вызываемое ползучестью вольфрама в процессе длительного горения лампы. Под ползучестью понимают способность металла медленно и непрерывно менять свою форму при воздействии температуры и малых механических напряжений. С повышением температуры и увеличением длительности воздействия напряжений ползучесть вольфрама значительно возрастает.

Основное средство, повышающее сопротивляемость спирали провисанию и короблению, состоит в применении вольфрамовой проволоки, обладающей после рекристаллизации стапельной структурой и полностью освобожденной от остаточных напряжений, возникших в ней при волочении и спирализации. В раскаленном теле накала, имеющем стапельную структуру, кристаллы не скользят по границам друг друга, а хорошо связываются между собой без искажения первоначальной формы и размеров витков. Присадка в вольфраме алюмосиликата калия создает благоприятные условия для придания спирали стапельной структуры и соответственно сохранения ее формы. Незначительное первичное провисание спирали из вольфрама с присадкой алюмосиликата калия, которое образуется после начального обжига ламп, как правило, больше не прогрессирует и сохраняется почти неизменным во время последующего горения лампы.

На структуру и формоустойчивость вольфрамовой проволоки, помимо состава присадки, влияет присутствие загрязняющих примесей в самом вольфраме (особенно примеси кальция), а также температурный режим на операциях изготовления порошкообразного и компактного вольфрама и водородный режим

Такие случаи бывают тогда, когда при монтаже холодная спираль сильно стягивает держатели, а при обжиге держатели, стремясь принять исходное положение, растягивают спираль.

Коробление спирали у низковольтных ламп часто вызывается недостаточным натягиванием при приварке второго тире, а у высоковольтных ламп — нарушением прямолинейности ее при зажиме в вводах. Недостаточное снятие внутренних напряжений при термической обработке спиралей повышает склонность спиралей к короблению.

Для суждения о величине провисания измеряют стрелу прогиба спирали ( $a$ ) и половину расстояния между двумя смежными точками опоры спирали ( $b$ ). Отношение  $a/b$ , равное тангенсу угла прогиба, называют коэффициентом провисания спирали. У хороших ламп после горения в течение 5 ч коэффициент провисания спирали не превышает 0,2 и шаг первичной и вторичной спиралей остается равномерным. Биспиральные лампы с коэффициентом провисания 1,0—1,5 дополнительно теряют в световой отдаче за счет провисания до 7%.

#### г) РАСПЫЛЕНИЕ ВОЛЬФРАМА

При обжиге и длительном горении ламп происходит распыление тела накала; атомы вольфрама отрываются от поверхности спирали и осаждаются тонким слоем на холодных стенках колбы. Скорость распыления возрастает с увеличением средней длины свободного пробега молекул газа. Распыление вызывает увеличение электрического сопротивления тела накала, уменьшение прозрачности колбы и уменьшение механической прочности тела накала. Уменьшение прозрачности колбы в свою очередь вызывает перегрев стенок колбы, уменьшение световой отдачи и сокращение срока службы ламп. В зеркальных лампах распыление вольфрама ухудшает отражающие свойства зеркала.

Не все места спирали распыляются одинаково. Сильнее распыляются те участки, которые имеют более высокую температуру. Например, если температура в каком-либо месте будет на 1,7% выше средней температуры нити, то распыление вольфрама из этого места будет происходить в 2 раза быстрее, чем из других мест нити. В месте наивысшей температуры спираль перегорит.

В разреженной среде вакуумных ламп скорость распыления вольфрама не зависит от диаметра нити; испарившиеся атомы вольфрама не возвращаются обратно на нить; продукты распыления обильнее отлагаются на тех участках поверхности колбы, которые расположены ближе к телу накала; поперечное сечение нити за время горения сохраняется почти круглым.

В плотной среде газонаполненных ламп скорость распыле-

ния вольфрама возрастает с уменьшением диаметра нити; продукты распыления частично возвращаются обратно на нить и частично уносятся конвекционными потоками газа в верхнюю часть колбы; поперечное сечение нити за время горения из круглого превращается в многогранное.

Распыление вольфрама в основном вызывается двумя причинами — термическим испарением вещества спирали и действием на спираль химически активных остаточных газов. Кроме термического и химического, иногда различают еще электрическое и механическое распыление. Все виды распыления накладываются друг на друга и действуют в лампе одновременно.

Термическое распыление происходит под действием высокой температуры тела накала. Поверхностные атомы раскаленного вольфрама преодолевают молекулярные силы притяжения с соседними частицами, отрываются от спирали и оседают на ближайших более холодных точках ее поверхности или конденсируются на стенках колбы. В вакуумных лампах толщина налета прямо пропорциональна световой отдаче и величине поверхности тела накала и обратно пропорциональна величине поверхности колбы. К концу срока службы количество осаждаемого на колбе вольфрама становится тем больше, чем больше критическая потеря в весе тела накала. В вакууме вольфрамовая нить работает до большей потери в весе, чем в газе, и вакуумные лампы соответственно больше темнеют к концу срока службы, чем газонаполненные. Прямые нити горят до большей потери в весе, чем спирализованные, моноспиральные до большей потери в весе, чем биспиральные, криптоновые до большей потери в весе, чем аргоновые.

В качестве мер, замедляющих термическое распыление, рекомендуется не допускать чрезмерного накала спирали (ненормально высокой световой отдачи), наполнять газонаполненные лампы до максимально большого давления, изготавливать спирали компактной формы с наименьшим шагом, применять для изготовления ламп колбы сравнительно больших размеров и применять вольфрамовую проволоку, способную принимать после рекристаллизации стапельную структуру.

Химическое распыление происходит в результате химического взаимодействия вольфрама с остаточными вредными газами и образования летучих окислов вольфрама. Остаточные газы усиливают разрушение вольфрама и значительно сокращают полезный срок службы ламп. Химическое распыление чаще всего наблюдается у ламп, плохо освобожденных от кислорода и водяных паров, а также у медленно натекающих ламп<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Лампы на напряжение 127 в мощностью 60 вт без газопоглотителя чернеют после начального обжига при содержании сухого воздуха более 0,005 мм рт. ст. или паров воды более 0,001 мм рт. ст.

Кислород ведет к образованию белого и синего окислов вольфрама, которые легко испаряются с поверхности спирали и осаждаются на более холодных поверхностях внутри лампы. Так как из спирали при обжиге обычно выделяется некоторое количество водорода, то налет окислов часто сочетается с черным налетом чистого вольфрама, получающимся вследствие частичного восстановления водородом испаряющихся окислов.

Водяной пар тоже ведет к окислению спирали, но испаряющаяся окись вольфрама целиком восстанавливается водородом и поэтому образует только черный налет. Пары воды вызывают перенос частиц вольфрама с участков нити, имеющих более высокую температуру, на участки нити около держателей, имеющих более низкую температуру. В перегретых участках вольфрам окисляется, а окислы вольфрама, возгораясь, переносятся на более холодные места, где они восстанавливаются. Бывает достаточно самого незначительного количества водяных паров, чтобы превратить часть накаленной вольфрамовой нити в черный осадок.

В качестве мер, уменьшающих химическое распыление, рекомендуется не допускать в стеклянных деталях ламп больших остаточных внутренних напряжений, тщательно обезгаживать вводимые в лампы детали, улучшать очистку промывочного и наполняющего газов, обеспечивать удовлетворительную работу вакуумных насосов, следить за герметичностью вакуумной арматуры откачных установок и применять активные газопоглотители.

Электрическое (катодное) распыление происходит вследствие разрушения поверхности раскаленной спирали ударами положительных ионов. Оно наблюдается у вакуумных ламп, у которых средняя длина свободного пробега молекул меньше линейных размеров колбы. У таких ламп термоэлектронная эмиссия вызывает ионизацию остаточного газа. При высоком напряжении на вводах положительные ионы с большой скоростью устремляются к отрицательному концу спирали, бомбардируют его и выбивают из него атомы вольфрама. Энергия при ударах тяжелых ионов вызывает кратковременный высокотемпературный нагрев небольших элементов поверхности спирали и усиленное испарение из них атомов вольфрама. При работе на переменном токе распыляются попеременно оба концевых участка спирали, а при работе на постоянном токе распыляется один концевой участок (катод).

В качестве мер, препятствующих электрическому распылению, рекомендуется откачивать лампы до наилучшего вакуума, тщательно обезгаживать детали перед сборкой ламп, усиливать нагрев ламп во время заварки и откачки, вводить в лампы активный газопоглотитель.

Механическое распыление происходит под действием бурного выделения из спирали абсорбированных газов,

увлекающих с поверхности спирали частицы окисленного и металлического вольфрама. Такое распыление наблюдается в особенности у ламп с телом накала из толстой вольфрамовой проволоки и проявляется в виде дымка, выделяющегося из спирали при первом зажигании ламп.

В качестве мер, уменьшающих механическое распыление, рекомендуется хорошо промывать спирали в щелочи и воде после вытравливания керны, тщательно обезгаживать спирали препарированием и не допускать длительного хранения спиралей и смонтированных ножек после препарирования.

#### А) ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ДУГА В ЛАМПЕ

Всякое не проводящее электричество вещество (диэлектрик) при превышении некоторого предела приложенного к нему напряжения пробивается: сопротивление его падает до ничтожной величины, и в месте пробоя возникает разряд, переходящий при достаточно большой мощности источника напряжения в электрическую дугу. В случае пробоя лампы через стекло или керамику разрушается стеклянная или керамическая деталь, а в случае пробоя через газ плавятся концы вводов (рис. 13-18). Расплавленный металл вводов под влиянием сил поверхностного натяжения собирается в каплю, которая может оторваться от ввода и вплавиться в баллон лампы, образуя в нем точечную трещину или сквозное отверстие. Дуговой разряд выводит лампу из строя. Чаще всего он возникает при первом зажигании лампы или в конце ее срока службы. В последнем случае он обычно является не причиной, а результатом разрыва спирали.

Наименьшее напряжение, при котором возникает электрическая дуга, называют пробивным. Величина его уменьшается с повышением температуры и увеличением влажности диэлектрика. У газов пробивное напряжение понижается с уменьшением давления до  $10^{-2}$ — $10^{-3}$  мм рт. ст. и затем снова повышается. В лампах накаливания пробивное напряжение между вводами возрастает с увеличением расстояния между витками

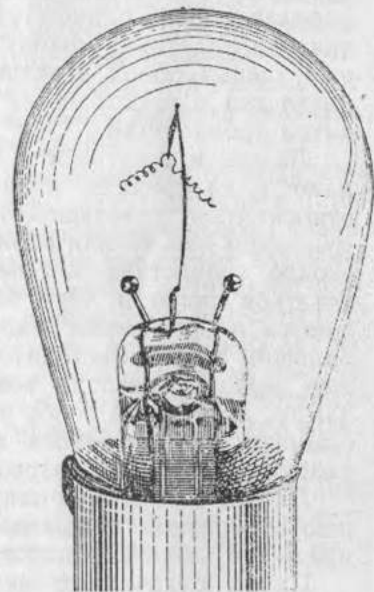


Рис. 13-18. Лампа, перегоревшая с электрической дугой.

спирали. Если электроны в газовых промежутках между витками разгоняются напряжением ниже некоторого минимального значения, пробой не наступает.

Величина пробивного напряжения зависит от режима включения ламп. Если к лампе приложить сразу полное напряжение, может произойти пробой, а если включить ее последовательно с добавочным сопротивлением и медленно подымать напряжение, пробой может не произойти или произойти при более высоком напряжении.

Дуговой разряд между элементами лампы часто завершается коротким замыканием, т. е. резким возрастанием тока в электрической цепи, вызывающим перегрев и расплавление проводников. В лампах накаливания короткое замыкание бывает внешнее и внутреннее. Внешнее происходит тогда, когда переклеиваются наружные звенья электродов, когда в капиллярные трещины изоляции цоколя проникает паяльный флюс или когда расплавленный припой стекает через отверстие горячей контактной пластинки цоколя в тарелку ножки и соединяет наружные звенья обоих электродов. Внутреннее происходит тогда, когда газ в пространстве между вводами ионизируется и становится проводящим.

Лампы в зависимости от величины разрядного тока перегорают с внутренним коротким замыканием по-разному. При относительно небольшом токе перегорание ограничивается разрушением одного или обоих концов накаленной спирали вблизи вводов вследствие интенсивной ионной бомбардировки этих участков спирали. При большем токе концы вводов расплавляются и принимают вид оплавленных шариков. При очень большом токе происходит быстрое расширение впаи, разрывающее ножку. Внезапно возрастающее давление среды внутри лампы, падение на колбу расплавленной капли металла и удар осколков разорвавшейся ножки иногда вызывают мгновенное разрушение колбы и взрыв лампы<sup>1</sup>.

Лампы на высокое напряжение более подвержены перегоранию с коротким замыканием, чем на низкое. В лампах на напряжение ниже 12 в короткое замыкание бывает редко.

Плохо откачанные или медленно натекающие вакуумные лампы, а также вакуумные лампы с невыжигающейся синевой при включении на острый ток, как правило, перегорают с электрической дугой. Спираль таких ламп не успевает накалиться до рабочей температуры, как электрический пробой через разреженный газ вызывает местный перегрев и расплавление концов спирали и вводов и выведение ламп из строя. Перегорание

<sup>1</sup> При взрывах осколки стекла могут разлетаться с большой силой. Такая опасность требует применения при обжиге ламп закрытого кожуха над патронами и мелкоплетеной проволочной оградительной сетки или козырька из темного стекла перед рабочим местом, защищающих персонал от осколков стекла и яркого света ламп.

наблюдается независимо от того, являются ли остаточные газы по отношению к вольфрамовой нити химически инертными или активными.

Электрическая дуга в вакуумных лампах вызывается также отключкой их через длительное время после заварки, а также отключкой с прогревом до температуры ниже 170°С. Лампы, обожженные после аблица при пониженном напряжении или обожженные в течение малого промежутка времени, тоже склонны к перегоранию с дугой.

В газонаполненных лампах тело накала работает при высокой температуре, термоэлектронная эмиссия велика и соударения между электронами и атомами часты. Газ в пространстве между витками спирали сильно нагревается и легко ионизируется. При большом токе через газ происходит короткое замыкание, сопровождающееся электрической дугой. Если лампа работает в положении цоколем вверх, дуга распространяется по никелевым вводам вверх, разрушая при этом сами вводы, а затем и стеклянную ножку. В редких случаях дуга проникает через цоколь наружу и производит разрушение в патроне. Если лампа работает в горизонтальном положении или в положении цоколем вниз, дуга, поднимаясь вверх, может вызвать сильный местный перегрев и разрушение стенок колбы.

Склонность ламп к перегоранию с дугой зависит от рода, состава, чистоты и давления наполняющего газа. Введение в лампы незначительного количества электроотрицательных газов или паров (азота, йода, фосфора) связывает свободные электроны в газе, уменьшает опасную ионизацию газа и затрудняет или даже предотвращает возникновение дугового разряда. Азот, йод и фосфор противодействуют возникновению дуги только до тех пор, пока спираль не оборвана. В момент обрыва они уже не предохраняют лампу от дуги. Электроотрицательными называют газы, атомы которых легко присоединяют к себе электроны.

Лампы, содержащие мало азота, подвержены перегоранию особенно тогда, когда они имеют концентрированное тело накала с малым шагом или их тело накала состоит из близко расположенных друг к другу секций спирали.

Биспиральные лампы, особенно на 220 в, имеющие высокий градиент напряжения (стр. 321), более подвержены перегоранию с явлением дуги, чем моноспиральные. С уменьшением расстояния между вторичными витками увеличивается градиент и соответственно возрастает опасность перегорания. Биспиральные лампы, впервые включенные сразу на номинальное напряжение, почти как правило, перегорают с дугой. Дефекты шага, особенно вторичной спирали, сильно повышают чувствительность ламп к перегоранию. В месте перегорания возникает дуговой разряд, который тотчас же переходит на места с наи-

большей разностью потенциалов (вводы) и вызывает там разрушения. В редких случаях биспираль после перегорания автоматически сваривается и продолжает некоторое время гореть дальше.

На срок службы газонаполненных ламп влияет рабочая температура никелевых вводов. При работе лампы в положении цоколем вверх температура вводов на 50—75 град выше, чем при работе в положении цоколем книзу. При 700—800°С и выше никель эмиттирует электроны, облегчающие возникновение дуги. В некоторых специальных лампах приходится намеренно удлинять вводы с целью понижения их рабочей температуры и предотвращения дуги.

Газонаполненные лампы, у которых спираль висит непосредственно под линзой, обладают повышенной склонностью к перегоранию с дугой, так как перегрев линзы вызывает увеличение ее электропроводности и газоотдачи, появление параллельных токов (держатель — линза — держатель) и ионизацию газа между держателями. Особенно подвержены перегоранию лампы, у которых штабиковое стекло имеет низкое значение  $T_{k100}$  (стр. 179).

Причиной перегорания ламп с дуговым разрядом могут быть керамические мостики. Недожог или пережог мостиков понижает их термостойкость и электрическую прочность. Под влиянием нагрева и большого тока может повыситься проводимость и произойти электролиз керамики, при котором на поверхность мостика выступают проводящие ток продукты электролиза. С повышением температуры мостиков опасность перегорания ламп повышается.

Любые загрязнения в газонаполненных лампах, обладающие повышенной проводимостью, могут вызвать перегорание лампы с дугой. Например, загрязнение спирали поваренной солью или плохая отмывка спирали от щелочи может привести к возникновению дуги даже в лампах на низкое напряжение. Прикосновение к спирали, вводам или другим внутренним деталям ламп грязными или потными руками тоже может вызвать дугу. Полезным средством, предотвращающим внутреннее короткое замыкание в мощных специальных лампах, служит промывка смонтированных ножек в кипящей дистиллированной воде. Электролитическая очистка и обезжиривание никелевых вводов перед монтажом спирали тоже уменьшают опасность перегорания ламп с дугой.

Перегорание с дугой связано с хрупкостью спирали. Причины, вызывающие повышенную хрупкость спирали, одновременно увеличивают склонность ламп к перегоранию. В промежутке между концами оборвавшейся спирали возникает дуга, перебрасывающаяся на вводы. В этом случае не дуга вызывает обрыв спирали, а обрыв спирали вызывает дугу.

## 13-7. МАРКИРОВКА И ВНЕШНЯЯ ОТДЕЛКА ЛАМП

### а) МАРКИРОВКА

На колбу или цоколь лампы наносят оттиск (марку) с обозначением товарного знака завода-изготовителя, основных параметров лампы и при необходимости других сведений, требуемых для быстрого распознавания лампы. Колбы маркируют автоматически во время заварки лампы, а цоколи вручную после припайки выводов и обжига лампы. Маркировка колб требует закрепления оттиска при высокой температуре, поэтому не может быть применена на готовых лампах.

Действие чернил для маркировки цоколей основано на поверхностном вытравлении металла и образовании в вытравленном месте вещества темного цвета. Цинкованные цоколи маркируют раствором селенистой кислоты и медного купороса в разбавленной соляной кислоте, латуинные — раствором селенистой кислоты и медного купороса в смеси разбавленных азотной и соляной кислот, никелированные — раствором теллуристой кислоты в разбавленной этиловым спиртом соляной кислоте.

Инструментом для маркировки служит резиновый штемпель, приклеенный к деревянной колодке. Чернила сначала наносят на эластичные выпуклые буквы штемпеля, а потом переносят на цоколь лампы. Плохо изготовленные или изношенные штемпели дают грязный нечеткий оттиск.

Маркировка — обязательная технологическая операция. Марка должна быть поставлена без перекоса в месте, свободном от бокового припоя. Она должна иметь отчетливое, нестирающееся и несмываемое изображение и не вызывать коррозии цоколя. Текст ее должен давать правильную информацию о лампах.

Нанесение на криволинейную поверхность цоколей большого числа печатных знаков — малопродуктивная операция, плохо поддающаяся механизации. Поэтому всегда предпочитают автоматически маркировать колбы при заварке лампы вместо ручной маркировки цоколей после припайки электродов.

На цоколях Р10 и Ш9 для низковольтных миниатюрных ламп клеймо выдавливают на ранте цоколя стальным штемпелем одновременно с выдавливанием резьбы и штифтов.

### б) НАРУЖНАЯ ОКРАСКА

Для иллюминационных целей, а также для целей сигнализации, светомаскировки, рекламного и декоративного освещения и пр. наряду с внутренней окраской ламп применяют наружную. Лампы для елочных гирлянд окрашивают только снаружи. Купол некоторых кинопроекторных и прожекторных ламп окрашивают снаружи черной или другой светонепроницаемой

краской для создания телесного угла, в пределах которого не распространяются световые лучи.

Лампы окрашивают оптически прозрачными и непрозрачными красками. В лампах, окрашенных прозрачными красками, лучи света выходят наружу с измененным спектральным составом, не рассеиваясь. В лампах, окрашенных непрозрачными красками, лучи света выходят наружу с измененным спектральным составом, рассеиваясь во всех направлениях пространства.

Прозрачные краски приготавливают из растворенных в бесцветном нитроцеллюлозном лаке различных органических (анилиновых) красителей. К таким красителям принадлежат бриллиантовая зелень и кислотный зеленый — зеленого цвета, родамин и конго красный — красного цвета, основной синий — синего цвета, основной желтый — желтого цвета, жировой оранжевый — оранжевого цвета и др. Большой или меньшей дозировкой красителя получают желательные тона цветов. Нитролак приготавливают из нитроклетчатки (коллоксилина или киноплёнки), придающей красящей пленке прочность, ацетона или ацетатов, хорошо растворяющих нитроклетчатку, этилового спирта, хорошо растворяющего красителя, и дибутилфталата, придающего цветной пленке эластичность и устойчивость против отслаивания и растрескивания. Для окраски ламп получили применение также готовые цветные прозрачные цапонлаки, например № 950 зеленого цвета, № 956 красного цвета, № 963 фиолетового цвета и др. Прозрачными органическими красками окрашивают вакуумные лампы мощностью не более 25 *вт*. На более мощных лампах такие краски при нагреве бледнеют и становятся некрасивыми.

Непрозрачные краски приготавливают из разведенных на бесцветном нитролаке сухих минеральных пигментов, состоящих из окислов или солей различных металлов. К таким пигментам принадлежат: двуокись титана, окись цинка и литопон (смесь сернистого цинка и сернокислого бария) — белого цвета, ультрамарин — синего цвета, крон желтый и кадмиевый желтый — желтого цвета, кадмиевый красный и лак рубиновый — красного цвета, крон зеленый — зеленого цвета и др. Пигменты отличаются от красителей нерастворимостью в растворителях и пленкообразующих лаках и свойством давать при тщательном растирании с последними не растворы, а суспензии. Непрозрачными красками окрашивают лампы мощностью не более 40 *вт*.

Для приготовления прозрачных и непрозрачных красок сначала размалывают в шаровой мельнице лак и краситель (или пигмент), взятые в необходимой пропорции, и потом процеживают их через шелковое сито.

Лампы перед окраской тщательно протирают от жировых и других загрязнений и вешают на рамы цоколем вверх. Сосуд

с жидкой краской поднимают до полного погружения лампы и опускают. Краска равномерным слоем прилипает к стеклянной поверхности; основная масса растворителя улетучивается, а краситель или пигмент превращается в сплошную тонкую пленку, прочно пристающую к чистой колбе. После естественной воздушной сушки лампы дополнительно сушат в электропечи. Нанесенная пленка становится твердой, прочной и влагостойкой.

Лампы можно окрашивать пульверизацией лака. Для этого их перемещают относительно струи лака или струю лака перемещают относительно ламп. Пульверизация требует повышенного расхода лака.

На качество окраски оказывает влияние вязкость применяемого лака. Слишком вязкий лак приводит к образованию подтеков и толстой пленки, сильно поглощающей лучи, а недостаточно вязкий — к образованию тонкой пленки, пропускающей неприемлемые спектральные лучи.

Применяемые для окраски красители и пигменты не должны содержать крупных частиц, выступающих над поверхностью пленки и оставляющих после отрыва светопроницаемые пятна.

Окрашенные колбы под действием света, в особенности ультрафиолетовой части спектра, с течением времени в той или иной степени тускнеют и обесцвечиваются. Повышенные температура и влажность ускоряют выцветание. Разрушающее действие света пропорционально количеству поглощенной колбой энергии, которое зависит от поглощающих свойств краски. Пигменты в этом отношении обладают большей свето-, термо- и влагостойкостью, чем красители.

Для окраски ламп мощностью более 40 *вт*, а также ламп менее мощных, но имеющих высокую рабочую температуру колбы, применяют краски из специальных термостойких лаков, приготовленных из меламина-формальдегидной смолы, разведенной в органическом растворителе. Меламино-формальдегидные смолы обладают повышенной влагостойкостью и термостойкостью и обеспечивают работу лаковых пленок при температуре до 200°С. Для приготовления прозрачной краски сначала краситель растворяют в спирте, затем спиртовой раствор перемешивают с лаком. Для приготовления непрозрачной краски в лак добавляют белую эмаль. Лампы окрашивают окунающим с последующей сушкой при 120°С в течение 30—40 *мин*.

Термостойкую красную краску для окраски самолетных ламп приготавливают из пигмента «кадмиевый красный», разведенного на кремний-органическом лаке.

На поверхности окрашенных ламп развивается относительно высокая температура. Чем темнее краска, тем сильнее нагревается колба.

Слой краски на лампах должен быть равномерным, без наплывов, подтеков, просветов, трещин и пузырей, должен плотно

и прочно прилипает к поверхности стекла и не разрушается при хранении и перевозке. Слой не должен стираться прикосновением рук и не должен оставлять следов краски на упаковке. К некоторым окрашенным специальным лампам предъявляют требование, чтобы их спектральная интенсивность излучения до и после испытания на продолжительность горения и после пребывания в камере тепла, холода и влажности укладывалась в пределах заданных значений.

Для инфракрасного облучения молодняка сельскохозяйственных животных и птиц применяют зеркальные лампы мощностью 200 Вт и более с нанесенной на световое окно темно-красной прозрачной краской, приготовленной из сернистой меди, хлористого серебра, красной окиси железа, каолина и разбавленного спирта, растертых в шаровой мельнице. Ее наносят на наружную поверхность колбы перед алюминированием внутренней. Колбы после нанесения отжигают при температуре, близкой к точке размягчения стекла. Нагретая краска приплавляется к стеклу и образует покрытие, обладающее хорошей атмосферостойкостью, теплостойкостью, твердостью и прочностью на истирание.

#### в) НАРУЖНОЕ МАТИРОВАНИЕ

Наружное матирование ламп, как и внутреннее, состоит в создании на поверхности колб шероховатой или зернистой структуры, хорошо рассеивающей свет. К наружному матированию прибегают только тогда, когда по каким-либо причинам нельзя производить внутреннее. Некоторые зеркальные лампы подвергаются наружному «шелковому» матированию для устранения бликов на освещаемой поверхности.

Лампы, вставленные в проволочные подвески, очищают теплым содовым раствором или 5%-ной плавиковой кислотой, промывают водопроводной водой и протирают чистой тряпкой. Очищенные сухие лампы погружают в хорошо перемешанную матировочную массу (стр. 204) и подвешивают вместе с прилипшей массой цоколем вверх на специальную раму с держателями. Через 1—2 мин лампы очищают от массы широкой мягкой кистью, промывают водопроводной водой и вытирают чистой тряпкой.

Матированное стекло обладает светорассеивающими свойствами только в том случае, если оно сухое. Водяная пленка на мокром матированном стекле сглаживает поверхностную неоднородность и придает стеклу прозрачность. Когда бывает необходимо рассмотреть внутренний монтаж заматированной снаружи лампы, прибегают к смачиванию ее водой или глицерином.

Не рекомендуется матировать снаружи лампы со стальными цинкованными цоколями во избежание коррозии последних.

#### 13-8. УПАКОВКА ЛАМП

Упаковка защищает лампы при хранении и перевозке от атмосферных осадков, загрязнений, механических повреждений и мелких хищений.

Лампа — хрупкий электровакуумный прибор, требующий бережного обращения. Она подвержена порче не только при работе, но и при хранении и перевозке. Наряду с тем, что ее требуется хорошо изготовить, необходимо доставить ее потребителю в сохранном и привлекательном виде. Изготовление ламп не считается законченным, пока они не покинут стены завода в хорошей упаковке.

Упаковка должна быть по возможности недорогой, легкой, простой и надежной в эксплуатации. Она должна обеспечивать сохранность ламп после их перевозки любым видом транспорта на любые расстояния. Применяя ту или иную упаковку, нужно всегда считаться с возможностью падения упакованных ламп от неосторожного обращения или при их погрузке и разгрузке на транспорте. Упаковка должна быть такой, чтобы лампы выдерживали падение на твердую поверхность с высоты примерно 1 м без повреждения.

Сохранность ламп при транспортно-складских операциях наилучшим образом достигается применением тары из гофрированного картона. Такая тара (ГОСТ 5884-60) имеет ряд преимуществ перед деревянной: она обладает меньшим весом; в ней удобно обращаться; ее амортизирующие свойства лучше защищают лампы при сотрясениях; она занимает меньше места при хранении и транспортировании; ее производство легче поддается механизации; на ней могут быть напечатаны нужный текст и декоративные рисунки. В таре из гофрированного картона можно перевозить колбы из стекольных цехов в сборочные и в нее же после освобождения от колб упаковывать лампы.

Гофрированный картон (ГОСТ 7376-55) склеивают из чередующихся слоев гладкой и гофрированной бумаги. На специальных гофрировальных машинах прокатывают в натянутом состоянии рулонную бумагу (ГОСТ 7377-55) через два нагретых до 140—180°С пустотелых рифленых вала (рис. 13-19). Древесное волокно, из которого состоит бумага, размягчаясь под действием высокой температуры и остаточной влаги, принимает в месте сцепления валов форму параллельных волнистых складок. Чтобы волнистая бумага не растягивалась, к гребням ее складок подклеивают силикатным клеем гладкую бумагу. Клей проникает в капилляры нагретой бумаги на глубину 0,025—0,05 мм и после частичного испарения влаги быстро схватывается и затвердевает. Остаточная влага сообщает тонкой клеевой прослойке эластичность и упругость, которыми сухой силикат не обладает.



Гофрированную бумагу, подклеенную гладкой бумагой с одной стороны, называют двухслойным гофрированным картоном. Из такого картона готовят тару для внутренней (первичной) упаковки ламп. Для изготовления двухслойного картона применяют бумагу весом 80—120 г в 1 м<sup>2</sup> на гладкий слой и 80—100 г в 1 м<sup>2</sup> на волнистый. Чем

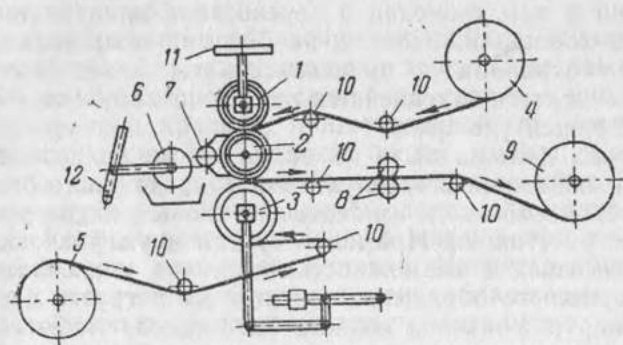


Рис. 13-19. Схема гофрировальной машины.

1 — верхний рифленый вал; 2 — нижний рифленый вал; 3 — гладкий вал; 4 — рулон бумаги для волнистого слоя; 5 — рулон бумаги для гладкого слоя; 6 — большой клеевой вал; 7 — малый клеевой вал; 8 — дисковые ножи; 9 — рулон намотки гофрированного картона; 10 — направляющие валики; 11 — приспособление для прижима верхнего рифленого вала к нижнему; 12 — рычаг отвода клеевого вала.

больше плотность бумаги, тем тверже получается картон. Для упаковки крупных ламп применяют более плотную бумагу, чем для упаковки малых.

Гофрированную бумагу, подклеенную гладкой бумагой или картоном с обеих сторон, называют трехслойным гофрированным картоном. Из такого картона готовят тару для наружной (вторичной) упаковки ламп. Трехслойный картон изготавливают на подклеенных (кашировальных) машинах приклеиванием третьего гладкого слоя к волнистой стороне двухслойного картона. Непрерывное полотно трехслойного картона не наматывают в рулоны подобно двухслойному, а нарезают на кашировальных машинах на листы. Нарезанные листы укладывают в штабеля для естественной досушки и охлаждения или пропускают через сушильно-охлаждающие столы для искусственной ускоренной сушки. Для изготовления трехслойного картона применяют бумагу весом 160—200 г в 1 м<sup>2</sup> на наружный (облицовочный) слой и 130—160 г в 1 м<sup>2</sup> на средний (гофрированный) и внутренний (гладкий) слой.

С увеличением высоты волны гофрированного слоя картон приобретает большую упругость и лучшие амортизирующие свойства, а с уменьшением — большую жесткость и механическую прочность. Для упаковки легковесных хрупких изделий,

к которым принадлежат лампы, применяют картон с высотой волны 3,5—5,5 мм.

Современный гофрировальный агрегат достигает в длину до 125 м. Он может производить от 60 до 150 м картона в минуту при двухметровой ширине полотна. Такой агрегат состоит из станины для рулонов бумаги, подогревателей бумаги, машины для гофрирования и приклеивания первого гладкого слоя, кашировальной машины для приклеивания второго гладкого слоя, сушильно-охлаждающего стола и продольно- и поперечно-режущей установки. К рифленным валам, подогревательным цилиндрам и горячим плитам подводят горячий пар для склеивания, сушки и нагрева бумажных материалов.

Для изготовления гофрированного картона применяют бумагу, содержащую 7—9% влаги. При меньшем содержании влаги картон теряет механическую прочность и трескается; при большем содержании влаги картон плохо склеивается. Если гладкие слои бумаги содержат неодинаковое количество влаги, картон коробится. Бумагу, имеющую повышенную влажность, подвергают контактной сушке пропуская через нагретые паром вращающиеся металлические барабаны при усиленной циркуляции воздуха. Прочность склеивания повышается с увеличением шероховатости и пористости бумаги.

Для индивидуальной упаковки ламп применяют внутреннюю (первичную) тару, а для групповой упаковки — наружную (вторичную). Как внутренняя, так и наружная тара должна иметь такие размеры, чтобы лампы в ней не могли свободно перемещаться и соприкасаться между собой.

Первичную тару применяют нескольких видов. Наиболее удобны и дешевы трубки квадратного сечения. Для их изготовления рулоны двухслойного картона с высотой волны гофрированного слоя 3,5—3,7 мм нарезают на гофрировальных машинах дисковыми ножами на бобины, и из бобин на трубкосклеенных машинах сгибают, склеивают по шву бумажной лентой и нарезают квадратные трубки (манжеты). Лампы, вложенные в такие трубки, остаются со стороны купола и цоколя открытыми. Ширина трубки должна быть на несколько миллиметров меньше диаметра лампы, а длина трубки на несколько миллиметров больше длины лампы. Крупные лампы, а также лампы, форма которых не позволяет применять манжеты, завертывают в двухслойный картон и оберточную бумагу или укладывают в индивидуальные коробки. На некоторых предприятиях применяют высокопроизводительные автоматы, изготавливающие индивидуальные коробки с многоцветными рисунками и текстом, поясняющим назначение ламп. Эти же автоматы заполняют коробки лампами.

Для изготовления вторичной тары раскраивают листы трехслойного картона на детали, рилуют на деталях линии сгиба и высекают в деталях углы и проемы. Полученные стандартные

заготовки сшивают в складные коробки на проволокошвейных машинах стальной проволокой диаметром 0,7 мм (рис. 13-20). Детали коробов так раскраивают, чтобы направление гофры в боковых стенках совпадало с высотой коробов. Короба хранят и доставляют к месту упаковки в сложенном плоском виде.

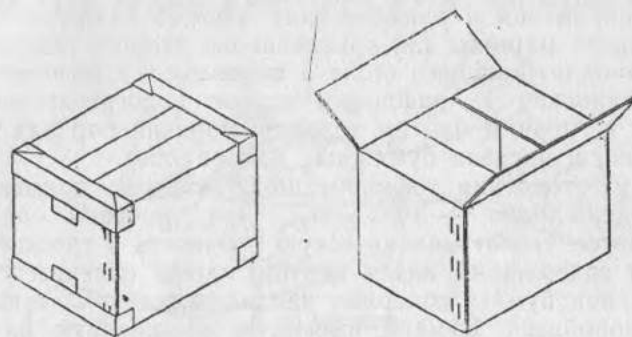


Рис. 13-20. Складные короба для вторичной упаковки ламп.

Правильная форма и постоянство размеров коробов освобождают персонал от пересчета ламп при упаковке.

Лампы диаметром менее 35 мм упаковывают в коробки из гофрированного картона, снабженные решетками из гладкого картона. Индивидуальные ячейки, образованные картонными

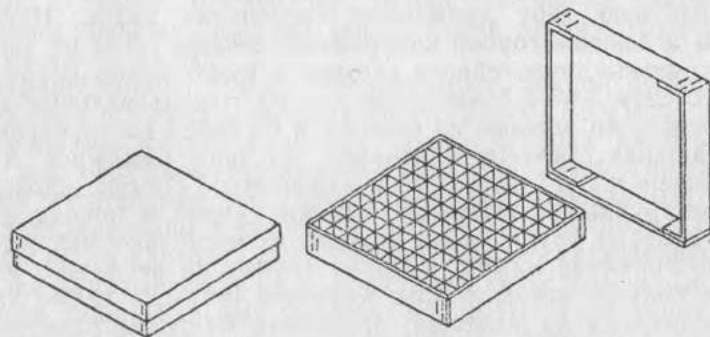


Рис. 13-21. Коробки с индивидуальными ячейками для ламп.

решетками, предохраняют лампы от перемещения и взаимного соприкосновения (рис. 13-21).

Для упаковки крупных ламп и ламп, предназначенных для дальних перевозок, применяют короба из пятислойного картона.

Лампы рекомендуется упаковывать на том производственном участке, где заканчивается их изготовление, т. е. в концах сбо-

рочных линий. В этом случае они меньше повреждаются при транспортировании внутри завода. Короба заполняют лампами в один или два ряда. На дно и крышку короба, а также между рядами ламп (при двухрядной укладке) кладут прокладки из листов двухслойного гофрированного картона. Зазоры между наружными клапанами и ребрами дна и крышки после технологической выдержки и проверки ламп на промежуточном складе заклеивают гуммированной лентой шириной 60—80 мм из сульфатной или крафтцеллюлозной бумаги или обвязывают шпагатом.

Для отгрузки в местности с влажным тропическим климатом короба с лампами завертывают в плотную бумагу и погружают в парафиново-резинный состав, защищающий лампы от сырости.

Короба с лампами, предназначенными к перевозке морем, упаковывают в фанерные или тесовые ящики. Внутренние стенки ящиков выстилают влагонепроницаемой бумагой, а свободное пространство заполняют до уплотнения сухой стружкой или натой для предохранения ламп от перемещения.

Крупные прожекторные лампы подвешивают в деревянных ящиках на эластичных резиновых или пружинных шнурах так, чтобы при транспортной тряске лампы не касались твердых стенок ящика.

При упаковке ламп нельзя допускать пересортицы. Тип ламп, указанный на приклеенной к таре этикетке, должен строго соответствовать типу содержащихся в таре ламп. В один короб упаковывают лампы только одного типа.

Все упаковочные средства должны быть достаточно сухими. Влажность их не должна превышать 12%. Длительное пребывание ламп во влажной упаковке нарушает прочность крепления цоколя и поражает цоколи коррозией.

Склады для длительного хранения ламп должны отапливаться и хорошо вентилироваться. Относительная влажность воздуха в складах не должна превышать 70%. Полы в складских помещениях должны быть ровными, чистыми и сухими.

Упаковка и хранение — последние операции в технологическом цикле производства ламп. Если лампы не обеспечить хорошей упаковкой и правильным складским хранением, можно свести на нет все затраты труда и материалов, понесенные при их изготовлении.

## КОНТРОЛЬ И ИСПЫТАНИЯ ЛАМП

### 14-1. СТАНДАРТЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НА ЛАМПЫ

Лампы после сложного и длительного процесса изготовления проверяют и испытывают с целью установления их пригодности и взаимозаменяемости. Проверку и испытания возлагают на отдел технического контроля (ОТК) завода. В обязанности этого отдела входит выявление и изъятие брака и надзор за качеством продукции на всех стадиях производства, начиная с поступления сырья (входной контроль).

Для проведения измерений и испытаний ОТК оснащают контрольно-измерительными приборами, инструментом и аппаратурой. При определении качества продукции ОТК оценивает контролируемые изделия на соответствие требованиям технических условий и стандартов. Изделия, не удовлетворяющие этим требованиям, признаются недоброкачественными и относятся к браку. Такие изделия, если их нельзя исправить, подлежат уничтожению, чтобы избежать дорогостоящих ошибок при их случайном использовании. Задерживая эти изделия, ОТК предупреждает дальнейшее возникновение брака.

На лампы, выпускаемые в относительно небольших количествах и охватывающие ограниченный круг потребителей, разрабатывают технические условия (ТУ), а на лампы, выпускаемые в больших количествах, охватывающие широкий круг потребителей и имеющие важное значение для народного хозяйства, разрабатывают государственные общесоюзные стандарты (ГОСТ). Технические условия согласовываются между производителями и основными потребителями ламп, а стандарты устанавливаются и утверждаются Государственным комитетом стандартов, мер и измерительных приборов СССР. Стандарты и технические условия на лампы обязательны к применению как производителями, так и потребителями ламп.

Стандарты унифицируют большое число разнообразных типов ламп и сводят их к целесообразному минимуму наиболее

прогрессивных типов. Они создают основу для широкого развития специализации производства и содействуют повышению производительности труда, экономии материалов, снижению издержек производства и улучшению качества ламп. Стандарты периодически пересматривают с целью улучшения ассортимента и повышения качества ламп. Несоблюдение стандартов преследуется по закону.

В СССР действуют следующие стандарты на электрические лампы накаливания: ГОСТ 1182-64 для местного освещения, ГОСТ 1184-65 — железнодорожные, ГОСТ 1608-56 — судовые, ГОСТ 2023-50 — для автомобилей и тракторов, ГОСТ 2204-65 — миниатюрные, ГОСТ 2239-60 — осветительные общего назначения, ГОСТ 4019-64 — для киноаппаратуры, ГОСТ 5011-54 — в цилиндрических баллонах, ГОСТ 6940-54 — коммутаторные, ГОСТ 7874-56 — для прожекторов общего применения, ГОСТ 9750-61 — для фотографии, ГОСТ 10771-64 — светонизмерительные рабочие, ГОСТ 11085-64 — для железнодорожных линейных светофоров.

Особо важное значение имеет ГОСТ 2239-60 на лампы общего назначения, охватывающий самые массовые типы ламп. В 1965 г. в СССР было изготовлено около 600 млн. шт. ламп по ГОСТ 2239-60.

Стандарты и технические условия на лампы накаливания содержат несколько разделов.

В разделе «типы, основные размеры и параметры» приведены номинальные значения геометрических, электрических и световых параметров ламп с допусками на них. Мощность ламп и диаметр колбы обычно ограничивают наибольшей величиной допуска, световой поток — наименьшей, длину лампы и высоту светового центра — наибольшей и наименьшей.

В разделе «технические требования» приведены наименьшая средняя продолжительность горения выборочной группы ламп и световой поток, измеренный после заданного числа часов горения ламп. Здесь же даны указания о требуемой прочности крепления цоколя. В некоторых ГОСТ и ТУ приведены требования к размерам тела накала, а также механические и климатические требования к лампам.

В разделе «методы испытаний» указано, как и в каком количестве должны отбираться пробы для оценки соответствия ламп ГОСТ или ТУ, и даны указания, в каких случаях партию ламп следует признавать удовлетворительной или неудовлетворительной. В этом разделе предусмотрены периодические (типовые) и приемо-сдаточные (контрольные) испытания ламп. К периодическим относятся ежемесежные или ежеквартальные испытания ламп на продолжительность горения, механическую прочность и климатические воздействия, а к контрольным — проверка ежесуточной выработки или каждой сдаваемой партии ламп по световым, электрическим и геометрическим параметрам, проч-

Таблица 14-1

Электрические, световые и геометрические параметры осветительных ламп  
накаливания общего назначения по ГОСТ 2239-60

Мощность, вт	Номинальные величины				Предельные значения		Размеры			
	Световой поток, лм		Световая отдача, лм/вт		Мощность, вт, не более	Световой поток, лм, не менее		Диаметр колбы, мм, не более	Полная длина лампы, мм	Высота светового центра, мм
	127 в	220 в	127 в	220 в		127 в	220 в			
15	130	105	8,7	7,0	16,5	120	95	61	104±3	—
25	235	205	9,4	8,2	27,0	215	190	61	104±3	—
40	440	370	11,0	9,3	42,5	400	340	61	110±4	—
60	740	620	12,3	10,3	63,5	685	570	61	110±4	—
75	980	840	13,1	11,2	79	900	780	66	125±4	—
100	1400	1240	14,0	12,4	106	1300	1150	66	125±4	94±4
150	2300	1900	15,3	12,7	159	2130	1740	81	170±5	130±4
200	3200	2700	16,0	13,5	212	2970	2500	81	170±5	130±4
300	4950	4350	16,5	14,5	318	4600	4000	112	232±8	180±6
500	9100	8100	18,2	16,2	530	8450	7500	112	232±8	180±6
750	14250	13100	19,0	17,5	795	13200	12100	152	335±10	250±9
1000	19500	18200	19,5	18,2	1060	18100	16900	152	335±10	250±9
1500	29500	28000	19,7	18,7	1590	27400	26000	167	335±10	250±9

ности крепления цоколя и качеству припайки или приварки выводов. В «методах испытаний» даны указания, какой аппаратурой и с какой точностью должны производиться испытания.

В разделе «маркировка, упаковка, транспортирование и хранение» изложено, как лампы должны упаковываться, какая маркировка должна быть на лампах и на упаковке и какие условия должны соблюдаться при хранении и перевозке ламп.

В табл. 14-1 приведены электрические, световые и геометрические параметры ламп общего назначения по ГОСТ 2239-60.

## 14-2. СВЕТОВЫЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ЛАМП

### а) ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

У ламп измеряют световой поток путем сравнения его со световым потоком эталонных ламп. Приборы, предназначенные для таких измерений, называют фотометрами, а сами измерения — фотометрированием. Одновременно с фотометрированием измеряют величину тока ламп. У некоторых специальных ламп измеряют силу света, яркость и цветовую температуру.

При световых измерениях пользуются рабочими эталонными лампами, сверяемыми со специальными светоизмерительными. Последние в свою очередь сличают с образцовыми лампами, имеющими удостоверение Всесоюзного научно-исследовательского института метрологии имени Д. И. Менделеева (ВНИИМ), на который возложено хранение государственных эталонов световых единиц.

Лампы накаливания, как правило, работают в осветительной арматуре, перераспределяющей в пространстве их световой поток и предохраняющей их от загрязнения, механических повреждений и пр. На электроламповых заводах измеряют только непосредственно лампы. Лампы же вместе с арматурой измеряют на предприятиях, изготавливающих эту арматуру.

При фотометрировании определяют световой поток и ток лампы при напряжении, равном номинальному или расчетному, если последнее отличается от номинального. После фотометрирования вычисляют мощность как произведение тока на приведенное напряжение и световую отдачу как отношение светового потока к мощности.

С помощью фотометра можно измерять тепловые потери через газ в газонаполненных лампах. Для этого изготавливают вакуумные лампы и замеряют потребляемую ими мощность при определенном световом потоке; затем эти же лампы наполняют газом и снова замеряют их мощность при том же световом потоке. Разность между вторым и первым значениями мощности составляет тепловые потери.

С помощью фотометра можно определять коэффициент полезного действия ламп с нанесенными на колбе покрытиями. Для этого измеряют световой поток лампы с покрытием и световой поток такой же лампы без покрытия. Отношение первого значения ко второму составляет к. п. д.

Лампы перед фотометрированием подвергают дополнительному обжигу (старению) в течение 1 ч при номинальном напряжении или в течение 20 мин при напряжении на 10—15% выше номинального. Продолжительность обжига уменьшают для ламп с высокой температурой накала нити и, наоборот, увеличивают для ламп с низкой температурой накала нити. После обжига рекристаллизация спирали полностью завершается, излучающие свойства и электрическое сопротивление тела накала становятся постоянными, процессы, загрязняющие и очищающие среду внутри ламп, приходят в состояние равновесия, и световые и электрические параметры ламп приобретают достаточно стабильные значения.

Измеряемые лампы питают постоянным током от аккумуляторной батареи или переменным током от сети через стабилизатор напряжения и регулируемый автотрансформатор. Результаты измерений на переменном и постоянном токе благодаря тепловой инерции нити получаются одинаковыми.

Измерения электрических параметров ламп выполняют приборами не ниже класса 0,5. В цепь измеряемой лампы включают два движковых реостата, вольтметр и амперметр. Напряжение фактически измеряют не на самой лампе, а на патроне, поэтому следят, чтобы падение напряжения в переходных контактах между цоколем и патроном было минимальным.

Лампы фотометрируют визуальным или объективным методом. При визуальном (зрительном) методе приемником световых лучей служит глаз, а при объективном (физическом) методе — фотоэлемент.

### 6] СВЕТОМЕРНЫЙ ШАР

Зрительные и физические измерения светового потока ламп выполняют с помощью полого металлического шара, окрашенного изнутри белой рассеивающей краской и снабженного небольшим отверстием, в которое помещено молочное стекло. Измеряемую лампу вставляют в патрон внутри шара через открывающуюся дверку, составляющую часть поверхности шара. Лампу включают на точно заданное напряжение. Световой поток, излучаемый лампой, претерпевает от внутренней поверхности шара многократное диффузное отражение. Каждый участок поверхности шара, а также молочное стекло получают одинаково освещенными независимо от положения лампы в шаре. Чтобы молочное стекло освещалось только рассеянными от стенок шара лучами, а не прямыми лучами лампы, между ним и лам-

пой помещен непроницаемый для света круглый защитный экран, выкрашенный, как и вся внутренняя поверхность шара, белой матовой краской.

Освещенность молочного стекла прямо пропорциональна всему световому потоку лампы и поэтому может служить мерой для его оценки.

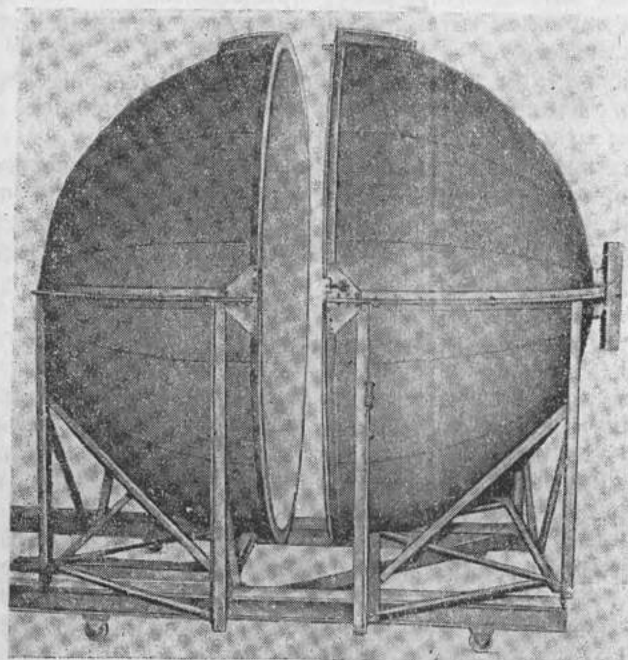


Рис. 14-1. Светомерный шар.

Точность измерения светового потока зависит от соотношения размеров ламп и светомерного шара. Большинство ламп фотометрируют в шаре диаметром 0,8—1 м, миниатюрные лампы — в шаре диаметром 0,25—0,5 м, лампы мощностью более 200—300 вт — в шаре диаметром 1,5—2 м. С увеличением размеров шара уменьшается затеняющее влияние помещенных в нем деталей и соответственно увеличивается точность измерений. Большие шары изготавливают без дверок (рис. 14-1). Их составляют из двух разъемных полусфер, из которых одна жестко связана со станиной, а другая перемещается на роликах по специальным направляющим.

Размеры затеняющего экрана должны в 4—5 раз превышать габаритные размеры тела накала, а диаметр тени экрана должен быть равен примерно двойному диаметру фотометрического отверстия шара.

Поверхность шара, экран и детали для подключения ламп периодически окрашивают несколькими слоями белой краски. Одновременно окрашивают небольшую металлическую пластинку, которую хранят в закрытом футляре. Периодически пластинку кладут на нижнюю часть внутренней поверхности шара и путем сравнения ее яркости с яркостью шара судят о степени загрязнения последнего. Краску готовят из сернистого бария или двуокиси титана, разведенной на растворе нитроцеллюлозы в ацетоне.

По требованиям техники безопасности на дверке шара устанавливают блокирующее устройство, отключающее питание лампы при открытой дверке.

Светомерный шар сам по себе не служит в качестве светоизмерительного прибора. Чтобы применить его для световых измерений, к нему присоединяют зрительный фотометр (при визуальных измерениях) или фотоэлектрический (при объективных измерениях).

#### в) ЗРИТЕЛЬНЫЙ ФОТОМЕТР

Человеческий глаз не может непосредственно определять яркость или численные соотношения между двумя яркостями. Он может только ощущать с известным приближением, имеют ли две одноцветные поверхности равную или неравную яркость, и если неравную, то какая из них более яркая. Работа на зрительном фотометре состоит в установлении равенства яркостей двух смежных полей, из которых одно освещается светом измеряемой лампы, а другое — светом лампы с известным световым потоком. После установления с помощью глаза равенства яркостей обеих полей определяют световой поток измеряемой лампы.

Существует много типов зрительных фотометров. К наиболее употребительным типам, применяемым для измерения светового потока ламп, относится тубусфотометр (рис. 14-2). Он представляет собой металлическую трубу (тубус) 6, пристраиваемую к молочному стеклу 4 описанного выше светомерного шара. Внутри тубуса помещено молочное стекло 7, способное плавно перемещаться вдоль трубы поворачиванием маховичка 8. В правом конце тубуса помещена лампа сравнения 9, питаемая постоянным током от аккумуляторной батареи через реостат 14. Прямыми лучами этой лампы освещается молочное стекло 7.

Между молочными стеклами 7 и 4 помещен стеклянный оптический прибор 10, называемый фотометрическим кубиком, состоящий из системы двух оптических призм, скрепленных между собой так, что световые лучи, идущие в кубик от лампы сравнения 9 через молочное стекло 7, освещают одну строго ограниченную часть поля зрения фотометра, а лучи, идущие

в кубик от измеряемой лампы 3 через молочное стекло 4, освещают другую, тоже строго ограниченную часть поля зрения фотометра. Обе части примыкают непосредственно друг к другу и имеют общую линию раздела. Их называют соответственно полем сравнения и полем измерения. Под прямым углом к тубусу укреплен окуляр 11, через который глазом

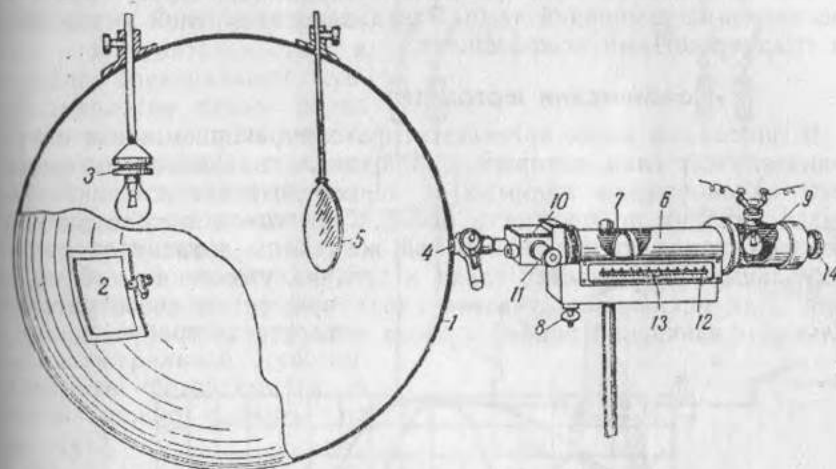


Рис. 14-2. Светомерный шар с тубусфотометром.

1 — светомерный шар; 2 — дверца; 3 — патрон с измеряемой лампой; 4 — молочное стекло; 5 — металлический экран; 6 — тубус; 7 — молочное стекло; 8 — маховик; 9 — сравнительная лампа; 10 — фотометрический кубик; 11 — окуляр; 12 — шкала с делениями; 13 — указатель шкалы; 14 — реостат к сравнительной лампе.

наблюдают одновременно за яркостями полей сравнения и измерения. При этом, плавно поворачивая маховичок 8, перемещают молочное стекло 7 на такое расстояние от лампы сравнения, чтобы яркости обоих полей представлялись глазу одинаковыми, т. е. границы раздела между полями исчезли и наступило фотометрическое равенство.

Световой поток, излучаемый измеряемой лампой, определяют по укрепленной на тубусе шкале 12 с нанесенными на ней делениями и перемещающемуся вдоль этой шкалы указателю 13, жестко связанному с молочным стеклом 7.

Для определения напряжения, которое надо поддерживать на лампе сравнения, и для получения результатов измерения светового потока непосредственно в люменах производят градуировку фотометра. С этой целью внутрь светомерного шара помещают на место измеряемой лампы рабочую эталонную лампу, световой поток которой известен и выверен со специальной светоизмерительной лампой. Поворотом маховичка устанавливают молочное стекло 7 внутри тубуса на таком расстоянии от лампы сравнения, чтобы указатель шкалы остановился на определенном делении ее, кратном или дольному известному

световому потоку рабочей эталонной лампы. Отношение светового потока эталонной лампы к световому потоку, взятому по шкале, называют градуировочным коэффициентом. Наблюдая в окуляр фотометра, устанавливают регулировочным реостатом такое напряжение на лампе сравнения, при котором наступает фотометрическое равновесие. Установленное таким путем напряжение поддерживают по вольтметру в течение последующих измерений ламп. Результаты измерений умножают на градуировочный коэффициент.

### г) ФИЗИЧЕСКИЙ ФОТОМЕТР

В описанном выше зрительном фотометре приемником излучения служит глаз, которым наблюдатель сравнивает яркости двух одновременно видимых и непосредственно соприкасающихся близких по цветности полей. При таком методе оценка световых параметров одной и той же лампы зависит от индивидуальных особенностей глаза и степени утомления наблюдателя. Для исключения участия глаза применяют светочувствительный физический прибор, работа которого не требует приме-

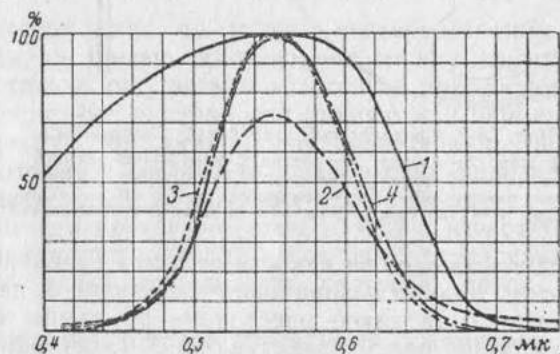


Рис. 14-3. Спектральная характеристика селенового фотоэлемента с корректирующим фильтром. 1 — кривая спектральной чувствительности фотоэлемента; 2 — кривая спектрального пропускания корректирующего фильтра; 3 — кривая спектральной чувствительности фотоэлемента с корректирующим фильтром; 4 — кривая спектральной чувствительности глаза.

нения оптических устройств и не связана с глазом. При работе с этим прибором световые параметры ламп получают количественную оценку объективно, независимо от особенностей глаза наблюдателя. Таким прибором служит фотоэлемент, преобразующий энергию излучения в энергию электрического тока.

В цепи фотоэлемента возникает электрический ток (фототок), прямо пропорциональный падающему на его рабочую поверхность световому потоку. Величину фототока регистрируют микроамперметром, включенным в цепь фотоэлемента.

Для световых измерений можно применять только такой фотоэлемент, который обладает высокой и независимой от окружающей температуры чувствительностью к свету и воспринимает излучения различных длин волн, как воспринимает их средний глаз человека. Этим условиям лучше всего отвечает селеновый фотоэлемент.

Для того чтобы еще больше приблизить его спектральную чувствительность к средней спектральной чувствительности глаза, перед ним ставят исправляющий (корректирующий) стеклянный или желатиновый светофильтр желто-зеленого цвета. Влияние такого фильтра на спектральную чувствительность фотоэлемента и сопоставление кривых спектральной чувствительности фотоэлемента и глаза можно оценить по рис. 14-3.

На физическом фотометре (рис. 14-4) вплотную к наружной поверхности светорассеивающего молочного стекла, вставленного в отверстие светомерного шара, укрепляют обойму с селеновым фотоэлементом. Между молочным стеклом и фотоэлементом помещают регулируемую ирисовую или прямоуглыно-раздвижную диафрагму. Свет измеряемой лампы, рассеянный в шаре, падает на фотоэлемент через отверстие диафрагмы.

Перед началом работы, а также при смене типов измеряемых ламп установку градуируют. Для этого внутрь светомерного шара вставляют рабочую эталонную лампу, обладающую приблизительно таким же световым потоком, цветовой температурой и формой тела накала, как у измеряемой лампы. Затем включают питание от аккумуляторной батареи и устанавливают реостатом на рабочей эталонной лампе напряжение, указанное

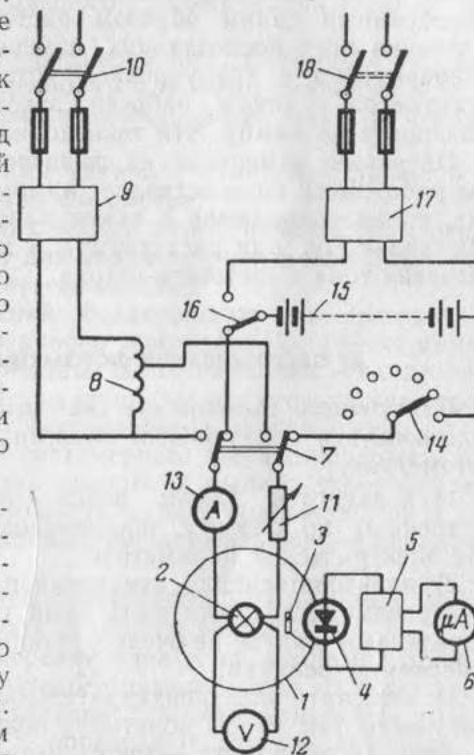


Рис. 14-4. Физический фотометр.

1 — светомерный шар; 2 — испытываемая лампа; 3 — непрозрачный экран; 4 — селеновый фотоэлемент; 5 — шунт; 6 — микроамперметр; 7 — перекидной рубильник; 8 — регулировочный автотрансформатор; 9 — стабилизатор напряжения; 10 — рубильник; 11 — движковый реостат; 12 — вольтметр; 13 — амперметр; 14 — переключатель; 15 — аккумуляторная батарея; 16 — рубильник; 17 — зарядный агрегат; 18 — рубильник.

в паспорте на эту лампу. Далее, регулируя раствор диафрагмы, дозируют освещение фотоэлемента так, чтобы стрелка микроамперметра установилась на делении шкалы, равном, дольном или кратном значению светового потока рабочей эталонной лампы. Значение этого деления выбирают по возможности таким, чтобы одно деление соответствовало 0,1; 1; 10 или 100 лм. Подобраный таким образом раствор диафрагмы сохраняют в течение всех последующих измерений данного типа ламп. Одновременно с градуировкой установки сличают показания амперметра с током рабочей эталонной лампы, указанным в паспорте на лампу. Эти токи должны совпадать.

Операцию измерения на физическом фотометре выполняют две работницы; одна вставляет лампу в светомерный шар и следит, чтобы подводимое к лампе напряжение было точно равно номинальному (или расчетному), а другая читает и записывает значения тока и светового потока.

#### **д) ОБСЛУЖИВАНИЕ ФОТОМЕТРОВ**

Для точного выполнения световых измерений следует руководствоваться следующими общими правилами при работе на фотометрах:

1) подвергать лампы перед фотометрированием обжигу (старению) по режиму, обеспечивающему получение стабильных электрических параметров;

2) пользоваться для измерений исправными и выверенными электроизмерительными приборами требуемого класса точности с пределами шкалы, не очень близкими номинальным значениям измеряемых величин;

3) включать электроизмерительные приборы в цепь измеряемой лампы так, чтобы вольтметр показывал напряжение только на лампе, а амперметр — ток в лампе и вольтметре;

4) при измерениях ламп, потребляющих малый ток, вычитать из значения тока, показанного амперметром, значение тока, расходуемого вольтметром;

5) проверять через специально просверленное отверстие в светомерном шаре положение тени экрана; не допускать попадания в фотометрическое отверстие прямого света измеряемой лампы;

6) пользоваться селеновым фотоэлементом с тщательно подогнанным корректирующим фильтром (при измерении ламп, цветовая температура которых мало отличается от цветовой температуры рабочей эталонной лампы, применение корректирующего фильтра не обязательно);

7) следить за плотным вставлением фотоэлемента в окно светомерного шара; не допускать попадания на рабочую поверхность фотоэлемента постороннего рассеянного света;

8) перед началом измерений устанавливать указательные стрелки электроизмерительных приборов на нулевую отметку шкалы;

9) следить за надежностью контактных соединений в электрической цепи фотометра, особенно при измерениях низковольтных ламп; не допускать большого падения напряжения в подводящих проводниках;

10) пользоваться при градуировании фотометра хорошо обожженными, точно выверенными рабочими эталонными лампами, имеющими параметры, возможно более близкие к параметрам измеряемых ламп;

11) при смене типов ламп начинать измерения лишь после предварительной градуировки фотометра;

12) в течение нескольких минут перед началом измерений «высвечивать» фотоэлемент для получения неизменных значений фототока при постоянной освещенности;

13) в процессе измерений поддерживать на измеряемых лампах напряжение, точно равное номинальному (расчетному);

14) перед измерением мощных ламп накаливать их спираль в течение примерно минуты для установления постоянства теплового, электрического и светового режимов работы ламп;

15) следить за чистотой светомерного шара и содержащихся в нем деталей; не допускать скопления пыли в нижней части шара; перекрашивать поверхность шара и содержащиеся в нем детали при их заметном потемнении; держать шар в нерабочее время закрытым;

16) следить за чистотой поверхности измеряемых ламп; перед измерениями протирать их чистой тряпкой.

При каждом новом измерении одна и та же лампа должна давать близкие значения светового потока и тока. В ответственных случаях с целью повышения точности измерений лампы фотометрируют 2—3 раза и определяют средние значения их параметров. Если при измерениях одних и тех же ламп получаются неодинаковые результаты, работу следует приостанавливать до приведения фотометра в порядок.

Погрешность, допущенная при градуировании фотометра или сличении рабочих эталонных ламп со специальными светозмерительными, влечет за собой погрешность во всех последующих измерениях.

#### **е) ОТКЛОНЕНИЯ СВЕТОВЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛАМП ОТ НОРМ**

Начальные значения параметров ламп зависят от электрического режима первого периода работы ламп. В первые часы горения световой поток ламп сравнительно быстро увеличивается, а затем начинает очень медленно уменьшаться.



Фактические значения световых и электрических параметров ламп почти всегда отклоняются от номинальных или расчетных, что объясняется неоднородностью размеров спирали, неточностью сборки ламп, неточным повторением режимов технологического процесса и т. д. Повышение технического уровня производства и строгое соблюдение установленных технологических режимов позволяют уменьшить разброс параметров. Механизация и автоматизация производства придают технологическому процессу максимальную однородность, за счет которой могут быть повышены экономичность и долговечность ламп.

Установление причин отклонения параметров ламп от норм часто вызывает затруднения, потому что одно и то же отклонение может возникать по нескольким причинам и на различных стадиях производства. Кроме того, несколько причин могут накладываться друг на друга или маскировать друг друга и по-разному влиять на одни и те же параметры ламп.

Всякое явление, вызывающее повышение температуры тела накала, одновременно влечет за собой и увеличение мощности и светового потока ламп. Так как световой поток с повышением температуры растет быстрее, чем мощность, то и световая отдача с повышением температуры тоже возрастает. При понижении температуры тела накала мощность и световой поток ламп понижаются, и так как световой поток понижается быстрее мощности, то и световая отдача тоже понижается.

Отклонения мощности ламп от установленных норм бывают при отклонениях фактического диаметра вольфрамовой проволоки или фактического веса спирали от расчетных. При неизменной длине вольфрамовой проволоки большая мощность получается при диаметре проволоки, большем расчетного, а меньшая мощность — при диаметре проволоки, меньшем расчетного. Газонаполненные лампы с растянутой или провисшей спиралью имеют увеличенную мощность, потому что понижение температуры спирали у таких ламп вызывает уменьшение их сопротивления и возрастание тока через спираль. Вакуумные лампы, плохо обезгаженные при обжиге (со свечением в поле аппарата Теслы), потребляют повышенную мощность вследствие охлаждения спирали остаточными газами.

Увеличение мощности газонаполненных ламп вызывается наполнением их смесью газов с повышенным содержанием более легкого газа, неполным удалением из ламп водяного пара, диссоциирующегося при высокой температуре с выделением водорода, замыканием отдельных витков спирали и загрязнением изоляции цоколя паяльным флюсом. Уменьшение мощности бывает при загрязнении ламп углеродсодержащими веществами, вызывающем повышение омического сопротивления спирали.

Отклонения светового потока ламп от норм наблюдаются при несоблюдении требуемых конструктивных размеров спирали и установленной технологии сборки ламп.

В частности, уменьшение светового потока вызывается утонением вольфрамовой проволоки при спирализации, потерей в весе спирали при травлении, растяжением спирали после растворения керна, чрезмерным натягиванием спирали при монтаже, провисанием или растяжением спирали после начального обжига ламп, неполным удалением из ламп водяного пара, избыточным внесением в лампы углеродистого газопоглотителя, наполнением ламп, особенно маломощных, смесью газов с повышенным содержанием азота, недостаточным обжигом ламп перед фотометрированием. Увеличение светового потока вызывается: сильным врезанием спирали в тело керна при спирализации, вытягиванием первичного керна при вторичной спирализации, слабым натягиванием спирали при монтаже на ножку, оставлением в электродах длинных свободных концов спирали, шунтированием держателями большого числа витков спирали, наполнением ламп смесью газов с пониженным содержанием азота.

Повышенный разброс световых и электрических параметров наблюдается чаще у миниатюрных и сверхминиатюрных низковольтных ламп. Электрическое сопротивление цепи таких ламп сильно зависит от небольших изменений размеров тела накала и электродов, точности исполнения монтажных операций, надежности контакта между телом накала и вводами и качества вакуума.

Положение лампы во время измерения не влияет на величину светового потока. Лампы, измеренные без цоколя, дают больший световой поток, чем те же лампы с цоколем.

Выявляемые при световых и электрических измерениях ненормальные отклонения фактических значений параметров от номинальных не следует оставлять без внимания. Необходимо находить и устранять их причину.

### 14-3. ВИЗУАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ ЛАМП

Диаметр колбы, полную длину ламп и высоту светового центра ламп с резьбовым или штифтовым цоколем проверяют оптическим прибором, точно измеряющим расстояние между двумя точками. Высоту светового центра ламп с фокусирующим цоколем, а также размеры тела накала этих ламп проверяют фокусирующим аппаратом, аналогичным описанному на стр. 546. На таком аппарате лампы устанавливаются в патрон цоколем вниз и проектируют тело накала на две вертикальные взаимно перпендикулярные плоскости, параллельные оси цоколя. Лампы считаются удовлетворительными, если оба изображения тела накала не выходят за пределы вычерченных на экранах прямоугольников и если геометрический центр тела накала не выходит за границы вычерченной на экране полосы шириной, равной разности предельных значений высоты светового центра.

Соосность цоколя и колбы проверяют проворачиванием лампы в патроне специального прибора и определением по шкале, отградуированной в миллиметрах, наибольшего и наименьшего отклонения колбы от оси цоколя.

Точный контроль размеров отдельных деталей ламп и расстояний между ними производят измерительным проектором, показывающим на большом экране из миллиметровой бумаги изображение контуров деталей в увеличенном масштабе.

Для обнаружения недостатков сборки и дефектов внешнего вида, а также для выявления видимых глазом технических недостатков каждую лампу перед упаковкой осматривают невооруженным глазом. Такой контроль обычно возлагают на работницу, обжигающую лампы или проверяющую их острым током.

Наружным осмотром выявляют следующие неисправности ламп: недостатки сборки ножки, трещины в линзе, выпадение держателей из линзы, сбитые держатели, выпадение тела накала из держателей, неправильное положение тела накала, неправильное положение вводов, неправильную центровку теплового экрана, провисание и коробление спирали, пятна на колбе, пороки в стекле колбы, нечеткую маркировку, наличие посторонних свободно перемещающихся частиц в лампе, низко, высоко или криво заваренную ножку, кривое горло, дефекты цоколя, недогретую или перегретую цоколевочную мастику, кривую посадку цоколя, окисленную или грязную поверхность цоколя, неудовлетворительную припайку или приварку выводов, неправильный вывод электродов двухсветной лампы к контактным деталям цоколя, обильный налет газопоглотителя, черный налет на держателях, вводах или колбе, неоднородное нанесение светорассеивающего состава на колбе, дефекты зеркального покрытия и др.

Некоторые типы специальных ламп, к которым предъявляют высокие требования по надежности, проверяют на равномерность накала спирали. Для этого через спираль разряжают конденсатор. Дефектные места в спирали или в контакте между спиралью и вводами искрят или светятся ярче.

Обнаружение недостатков внешнего вида, не влияющих на параметры ламп, имеет специфические трудности. Для такого контроля отсутствуют приборы, позволяющие объективно определять допустимость того или иного дефекта. Некоторые недостатки бывают трудно различимы из-за малого контраста с фоном. Визуальная оценка ламп строится исключительно на личном суждении, которое может быть различным не только у разных лиц, но нередко у одного лица в разное время. Эффективность контроля зависит от квалификации и опыта контрольного персонала, темпа работы, условий труда и характера неисправностей, подлежащих выявлению. Для успешного контроля по внешним признакам контрольный персонал должен хорошо владеть знаниями технологии изготовления ламп.

Лампы испытывают на срок службы для оценки соответствия их требованиям стандартов или технических условий, а также со специальными целями, например для выявления пригодности исходных полуфабрикатов, проверки новых конструкций ламп, установления положительных и отрицательных сторон изменения технологии, выявления причин скрытого брака и т. п.

При испытаниях выявляют: 1) долговечность, или выраженную в часах среднюю продолжительность горения ламп; 2) надежность, или выраженное в долях единицы или процентах отношение числа ламп, выдержавших испытание, к общему числу испытанных ламп; 3) стабильность, или выраженное в процентах отношение светового потока ламп после заданного числа часов горения к их начальному световому потоку.

При массовом изготовлении ламп нельзя точно учесть все факторы, влияющие на их продолжительность горения и предсказать сколько времени прогорит та или иная лампа. На практике никогда не бывает случаев, чтобы все лампы перегорали в конце установленного для них срока службы; некоторые лампы перегорают раньше этого срока, другие позднее. Причины неоднородного срока службы не всегда поддаются предварительному учету и выявлению. Поэтому технические условия и стандарты наряду с наименьшей продолжительностью горения индивидуальных ламп нормируют наименьшую среднюю продолжительность горения испытываемой группы ламп. Под средней продолжительностью горения понимают среднее арифметическое значение из продолжительностей горения всех ламп, составляющих данную группу.

Испытания ламп на срок службы различают эксплуатационные и стендовые. Эксплуатационные проводят в условиях разнообразных механических и климатических воздействий, колебаний подводимого напряжения, влияния арматуры и пр., а стендовые — в условиях строго устанавливаемых и контролируемых режимов. Непосредственной зависимости между эксплуатационным и стендовым сроками службы не существует; лампы с одинаковым сроком службы на испытательной станции могут иметь различный срок службы в реальных условиях эксплуатации. Однако любое повышение стендового срока службы удлиняет эксплуатационный.

Лампы для стендовых испытаний отбирают методом случайного отбора из текущего выпуска или из отдельных партий, предъявленных к сдаче. После их обжига и фотометрирования испытывают только те, у которых значения начальных параметров удовлетворяют установленным требованиям.

Число испытываемых ламп регламентируют в стандартах и технических условиях в зависимости от мощности ламп

и объема производства. Чем больше размер выборки, тем точнее оценивается партия ламп, но тем выше стоимость испытаний. С уменьшением выборки увеличивается риск получения случайных результатов, поэтому некоторые стандарты допускают несколько уменьшенную среднюю продолжительность горения, если испытываемая группа малочисленна. Лампы с двумя спиралями испытывают в удвоенном количестве; у одной половины испытывают главную спираль, у другой — вспомогательную.

Отобранные для испытаний лампы крепят в патронах или зажимах токоведущих реек испытательных стендов и включают на заданное напряжение. Время включения, выключения и перегорания заносят в учетную карточку. По истечении заданного числа часов горения лампы снимают со стендов для повторного фотометрирования. Сравнением полученных результатов с результатами начальных измерений оценивают стабильность светового потока. После повторного фотометрирования лампы снова вешают на стенды и зажигают для выявления средней продолжительности горения.

Стенды дважды в сутки выключают на 15 мин для приближения условий испытаний к условиям эксплуатации. Лампы, случайно поврежденные до окончания испытания, не учитывают при оценке результатов испытания, а лампы, у которых при переноске к фотометру оборвалась спираль из-за ослабления ее после горения или из-за самосваривания при перегорании, учитывают.

При испытаниях следят за состоянием электрических контактов на стендах, не допуская искрения или самопроизвольного выключения ламп. Миниатюрные низковольтные лампы, потребляющие относительно большой ток, припаивают к рейкам во избежание большого падения напряжения в контактах.

Рабочее положение ламп на стендах задают в зависимости от конструкции ламп соответственно положению ламп при нормальных условиях эксплуатации, а именно: вертикальное цоколем вниз, вертикальное цоколем вверх, горизонтальное, наклонное под заданным углом или любое. Неправильное положение ламп при испытании или эксплуатации меняет характер конвекционных потоков в наполняющем газе и может вывести лампы из строя с явлениями местного перегрева и вспучивания колбы, разрушения ножки, припекания цоколя к патрону, отделения цоколя, возникновения электрической дуги и пр. Никакие газонаполненные лампы в цилиндрической колбе, за исключением кварцевой, нельзя эксплуатировать и испытывать в горизонтальном положении. Лампы общего назначения работоспособны в любом положении, однако стандарт обязывает испытывать их в наиболее неблагоприятном положении — цоколем вверх, при котором повышается температура вводов, ножки и цоколя и возрастает склонность ламп к перегоранию внутреннего предохранителя, образованию дуги и отделению цоколя.

Лампы размещают на стендах в достаточном удалении друг от друга, чтобы тепловое поле каждой лампы не вызывало дополнительного нагрева соседних ламп и чтобы воздушная ударная волна, образовавшаяся от случайно взорвавшейся лампы, не повреждала рядом находящихся ламп.

Нагрев колбы при горении лампы, превышающий известные пределы, вызывает усиленное газоотделение стекла и ослабление адгезии цоколевочной мастики к колбе. Для некоторых специальных ламп, рассеивающих большую мощность, естественная конвекция окружающего воздуха бывает недостаточной для отвода тепла. Такие лампы при испытании на срок службы и при эксплуатации обдувают вентилятором для предупреждения размягчения колбы и отделения цоколя. Принудительное воздушное охлаждение повышает теплоотдачу с поверхности колбы и позволяет изготавливать лампы в колбах уменьшенных размеров без повышения температуры их внутренних стенок.

Внутрь прожекторных ламп мощностью более 2 000 вт вводят через штенгель очищенную и отпрепарированную крупнозернистую вольфрамовую крупку. При испытании на срок службы и эксплуатации таких ламп крупку периодически встряхивают и стирают ею темный налет со стенок колбы. Крупку готовят из оплавленных зерен вольфрама величиной 0,7—1 мм, не застревающих в витках спирали при встряхивании.

По ГОСТ 2239-60 средняя продолжительность горения ламп общего назначения должна быть не менее 1 000 ч. Испытание ламп прекращают после 1 250 ч. Продолжительность горения ламп, не перегоревших после 1 250 ч, принимается за 1 250 ч. Такой мерой подчеркивается, что излишне большая продолжительность горения не является достоинством ламп и что этим лампам следовало бы иметь более высокую световую отдачу.

В целях сокращения сроков испытаний ламп с большой долговечностью допускается наряду с испытаниями ламп при номинальном напряжении испытывать их при напряжении, превышающем номинальное на величину до 25%. При таком форсированном режиме температура тела накала значительно повышается, процесс испарения вольфрама ускоряется и продолжительность горения соответственно сокращается.

Если при некотором испытательном напряжении  $U_n$  лампы имеют продолжительность горения  $L_n$ , то при номинальном напряжении  $U_n$  продолжительность горения их составит  $L_n$ , которая может быть определена из уравнения

$$L_n = L_n \left( \frac{U_n}{U_n} \right)^n, \quad (14-1)$$

где  $n$  — постоянное число, зависящее от температуры тела накала и принятое в ГОСТ 2239-60 равным 13 для вакуумных ламп и 14 для газонаполненных. Если, например, газонаполненная

лампа на 220 в испытана при напряжении 232 в и достигла при этом продолжительности горения 609 ч, то срок службы ее при номинальном напряжении составит:

$$L_n = 609 \left( \frac{232}{220} \right)^{14} = 1281 \text{ ч.}$$

Уравнением (14-1) можно пользоваться для ускоренного определения среднего срока службы группы ламп, но не срока службы индивидуальных ламп.

Таким образом, средний срок службы ламп изменяется обратно пропорционально 13-й или 14-й степени рабочего (испытательного) напряжения. Чем меньше испытательное напряжение отличается от номинального, тем с большей степенью точности можно пользоваться уравнением (14-1). С приближением рабочей температуры нити к точке плавления вольфрама это уравнение становится неточным. Ускоренное испытание позволяет в течение относительно короткого промежутка времени судить о поведении ламп, рассчитанных на большой срок службы. Оно позволяет оценивать действительную долговечность ламп, хотя и не имеет полного соответствия с условиями эксплуатации. В табл. 14-2 приведены нормы продолжительности

горения ламп общего назначения по ГОСТ 2239-60 при напряжении, равном 100 и 110% номинального.

Когда лампы в условиях эксплуатации работают при напряжении значительно ниже расчетного, теоретический срок службы, вычисленный по уравнению (14-1), обычно не достигается, так как в таких условиях лампы преждевременно выходят из строя по разным причинам, связанным с уходом за светильником, чисткой ламп, случайными сотрясениями и пр.

Важно, чтобы во время испытаний ламп на продолжительность горения поддерживалось постоянное напряжение на контактах. Отечественные стандарты и технические условия на лампы допускают отклонения питающего напряжения от номинального не более чем на  $\pm 2\%$ . При более высоких колебаниях качество ламп может получить неправильную оценку, заставляющую принимать ошибочные меры, например снимать с производства хорошие лампы, признавать годными плохие лампы, вносить необоснованные изменения в технологический процесс или в конструкцию ламп и т. д.

Изменение подводимого напряжения влечет за собой резкое изменение большинства параметров ламп, притом в неодинаковой степени. Повышение напряжения всего лишь на 1% сокращает долговечность лампы на 13—14%, повышает световой поток на 3,5% и увеличивает потребляемую мощность на 1,5%. Наилучшие условия эксплуатации ламп создаются при наибольшем соответствии рабочего напряжения номинальному<sup>1</sup>. На рис. 14-5 и 14-6 изображены графики зависимости световых и электрических параметров и продолжительности горения вакуумных и газонаполненных ламп от изменения питающего напряжения. По этим графикам можно приблизительно определять величину тока, мощность, световой поток, световую отдачу и продолжительность горения ламп при изменении режима их работы. Например, если газонаполненные лампы на 110 в заставить работать при 127 в, то мощность их возрастет на 23%, световой поток увеличится на 73%, световая отдача повысится почти на 40% и срок службы уменьшится примерно в 6,5 раз. Для приближенных подсчетов можно принимать, что повышение напряжения на 5% вызывает сокращение срока службы ламп в 2 раза, на 10% — в 4 раза, на 15% — в 6,5 раз.

Следует учитывать, что если лампы в течение срока службы подвергаются действию одинакового по величине и времени повышенного и пониженного напряжения, то срок службы их все же сокращается. Объясняется это тем, что работа ламп при пониженном напряжении не создает полной компенсации про-

<sup>1</sup> Лампы накаливания более чувствительны к колебаниям напряжения в сети, чем люминесцентные. Например, при повышении напряжения питания на 5% срок службы люминесцентных ламп сокращается на 15%, а ламп накаливания — вдвое.

Таблица 14-2

Продолжительность горения ламп общего назначения по ГОСТ 2239-60 (в часах)

Мера оценки продолжительности горения	При напряжении, равном номинальному	При напряжении, равном 110% номинального	
		Вакуумные лампы	Газонаполненные лампы
Наименьшая средняя продолжительность горения лампы при числе испытываемых более 20 . . . . .	1000	290	260
Наименьшая средняя продолжительность горения ламп при числе испытываемых равном 20 или менее . . . . .	960	280	250
Наименьшая продолжительность горения каждой лампы . . . . .	700	200	185
Продолжительность горения ламп, после которой должен быть измерен световой поток . . . . .	750	220	200
Условная продолжительность горения ламп, не удовлетворяющих требованиям по стабильности светового потока . . . . .	700	200	185
Продолжительность горения ламп, после которой испытание должно быть прекращено . . . . .	1250	360	330
Продолжительность горения ламп, после которой должна быть испытана прочность крепления цоколя . . . . .	1250	360	330

должительности горения, сниженной от работы при повышенном напряжении.

Напряжение городской электрической сети в различное время суток отклоняется до 5% от номинального, а иногда и более. Поэтому, чтобы не допускать на испытательных стендах

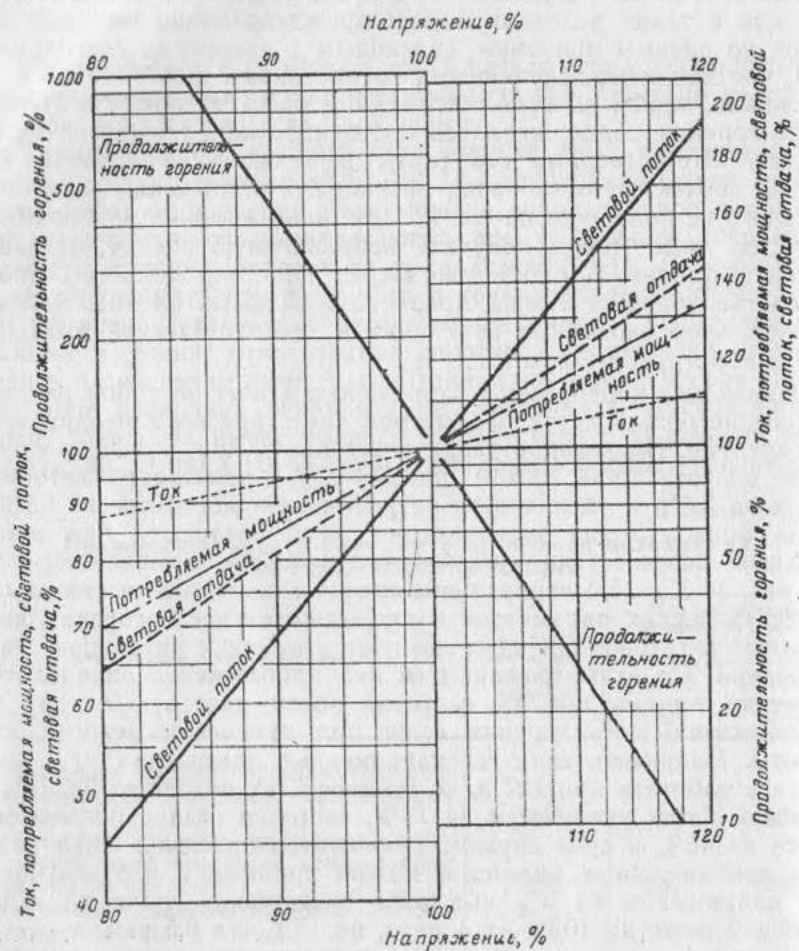


Рис. 14-5. График зависимости параметров вакуумных ламп от напряжения питания.

больших колебаний напряжения, пользуются реостатами или автотрансформаторами со скользящими контактами. Реостатная схема менее удобна, потому что она очень чувствительна к изменению нагрузки на стендах; при отключении или присоединении отдельных ламп соответственно повышается или понижается напряжение на остальных лампах. Автотрансформаторная

схема более удобна, потому что она нечувствительна к изменению нагрузки. Между сетью и испытательными стендами устанавливаются стабилизатор напряжения, автоматически поддер-

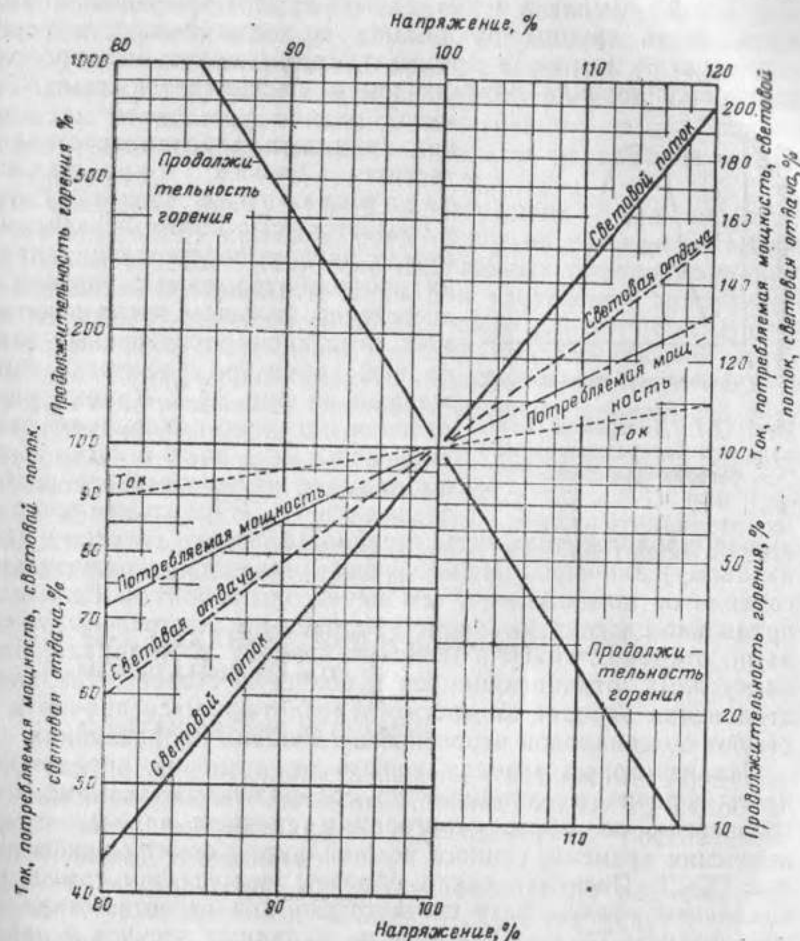


Рис. 14-6. График зависимости параметров газонаполненных ламп от напряжения питания.

живающий первичное напряжение неизменным с точностью до  $\pm 1\%$ . Для измерения напряжения пользуются регистрирующим вольтметром.

Доводить время испытания ламп до перегорания последней непрактично и невыгодно. С целью сокращения сроков и стоимости испытаний обычно среднюю продолжительность горения группы ламп определяют по продолжительности горения лампы, занимающей среднее место в порядке перегорания всех ламп.

При таком статистическом методе оценки за среднюю продолжительность горения группы ламп принимают промежуток времени, в течение которого выходит из строя 50% ламп. Например, при 25 лампах в испытываемой группе за среднюю продолжительность группы принимают продолжительность горения тринадцатой лампы, а при 30 лампах — полусумму продолжительностей горения пятнадцатой и шестнадцатой ламп. Такой

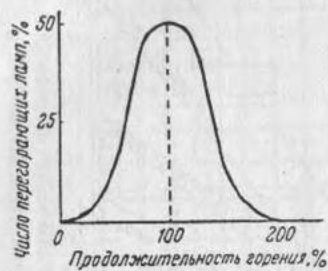


Рис. 14-7. Диаграмма нормального распределения перегоревших ламп.

метод оценки установлен на основании принятого в математической статистике закона нормального распределения (закона Гаусса), в соответствии с которым зависимость между числом перегорающих ламп и их продолжительностью горения при достаточно большом числе испытываемых ламп носит определенный закономерный характер, графически изображенный на рис. 14-7. Кривые распределения наглядно показывают результаты испытания ламп и легко выявляют наличие нежелательного разброса срока службы. Наибольшее число ламп

имеют продолжительность горения, близкую среднему (номинальному) значению. Чем больше отличается продолжительность горения от номинальной, тем менее она вероятна. Если лампы правильно рассчитаны, сконструированы и изготовлены, то число ламп, отклоняющихся в меньшую сторону от номинала, близко числу ламп, отклоняющемуся в большую сторону, так как все отклонения зависят от многих переплетающихся причин и действуют с одинаковой вероятностью в обоих направлениях.

На некоторых заводах испытание ламп на продолжительность горения прекращают по соображениям экономии электроэнергии не после перегорания средней лампы, а после истечения времени, равного номинальному сроку службы по ТУ или ГОСТ. Поступая таким образом, заводы тем самым устанавливают только факт соответствия или несоответствия ламп требованиям ТУ или ГОСТ, а не выявляют ресурса и действительного среднего срока службы ламп. Такую практику испытаний следует считать неправильной.

Лампы, перегоревшие при испытании, подвергают тщательному исследованию для выявления причин перегорания. Если при испытании выявлено отсутствие закономерной зависимости между продолжительностью горения и световой отдачей или, иначе говоря, установлено, что лампы с более высокой световой отдачей горели дольше, чем с низкой, то это означает, что лампы изготовлены неудовлетворительно и что они перегорели не в результате естественного термического распыления вольфрама, а под влиянием какого-то нарушения технологического

процесса. Анализируя причины преждевременного перегорания ламп, следует помнить, что дефекты деталей могут оказывать влияние на срок службы ламп двояко: с одновременным влиянием на начальную световую отдачу и без влияния на нее. Примером первого влияния служит неправильно нарезанная спираль, примером второго — спираль с местным сжатием витков. Малый срок службы ламп при небольшом разбросе служит признаком неудовлетворительной конструкции ламп. Большой разброс срока службы служит признаком неудовлетворительной технологии.

По внешнему виду деталей перегоревших ламп зачастую удается определить причины, повлиявшие на преждевременный выход ламп из строя. Изучение выявленных причин позволяет разрабатывать необходимые меры для увеличения долговечности и повышения надежности последующих партий ламп. В случаях устойчивого превышения средней продолжительности горения над номинальной следует поднимать световую отдачу даже за счет уменьшения продолжительности горения до значений, близких к номинальному.

По результатам испытания ламп на продолжительность горения можно, пользуясь уравнением (2-3) (стр. 44) или графиками на рис. 14-5 и 14-6, приводить продолжительность горения к номинальной световой отдаче или световую отдачу к номинальной продолжительности горения.

## 14-5. МЕХАНИЧЕСКИЕ И КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ЛАМП

### а) МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ

Долговечность и надежность ламп в условиях механических воздействий оценивают стендовыми испытаниями на вибро- и ударопрочность, вибростойкость и воздействие постоянных (центробежных) ускорений.

Режимы механических испытаний задают по возможности близкими к условиям эксплуатации. Испытания ведут с подачей напряжения на лампы и без подачи. При испытаниях под напряжением лампы обычно выходят из строя с явлением растяжения спирали, а при испытаниях без напряжения — с явлением обрыва спирали без растяжения.

Вибростойкость и вибропрочность ламп оценивают на механических (рис. 14-8) или электродинамических вибрационных стендах, воспроизводящих синусоидальные колебания в одной плоскости. В стендах с механическим приводом колебательное движение создают вращением эксцентрикового кулачка сидящего на валу электродвигателя и приводящего в вертикальное возвратно-поступательное движение массивную платформу с укрепленными на ней лампами. В стендах с электродинамиче-

ским приводом колебательное движение платформы с лампами создают при помощи подвижной катушки, вибрирующей в постоянном магнитном поле в такт проходящему через нее переменному току с регулируемой амплитудой и частотой.

Вибростенды характеризуются предельными значениями создаваемых частот. Для испытания ламп применяют механические стенды с диапазоном частот от 20 до 200 гц и электродинамические — с диапазоном частот от 10 до 2500 гц.

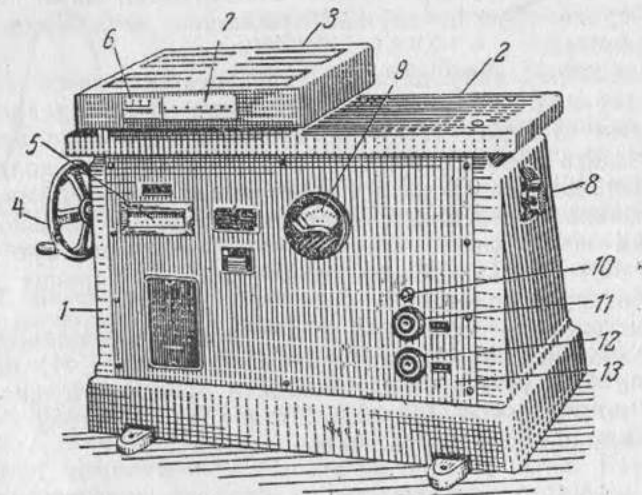


Рис. 14-8. Механический вибрационный стенд.

1 — корпус; 2 — крышка корпуса; 3 — вибрационная платформа; 4 — маховик для изменения действующей длины пружины; 5 — шкала, указывающая действующую длину пружины; 6 — клин измерения больших амплитуд; 7 — клин измерения малых амплитуд; 8 — поворотная кнопка для установления частоты вибрации; 9 — прибор, измеряющий частоту; 10 — сигнальная лампа; 11 — кнопка включения; 12 — кнопка выключения; 13 — лицевой щит.

При испытании на кратковременную вибрацию (вибростойкость) и исследовании мест резонанса медленно и плавно наращивают частоту вибрации платформы стенда в диапазоне от 20 до нескольких сот герц (иногда до 2500 гц) при произвольном или заданном значении ускрениения (обычно 3—5 g) и с выдержкой по 1—2 мин через каждые 10—20 гц. При выдержке на каждом поддиапазоне ведут наблюдение за телом накала. С наступлением собственной (резонансной) частоты спираль, держатели, вводы или вся лампа приходят в колебательное движение. За величину собственной частоты элемента лампы принимают такую, при которой амплитуда его вибрации оказывается наибольшей. Резонансные явления можно наблюдать невооруженным глазом или с помощью увеличительной линзы или микроскопа. При неизменном ускрениении чем меньше частота

та вибрации, тем больше ее амплитуда и тем легче наблюдать резонанс невооруженным глазом. Существуют приборы со стробоскопическим устройством, позволяющим визуально наблюдать на экране с делениями увеличенное изображение вибрирующих деталей как бы в неподвижном состоянии или в состоянии замедленного движения. Такие приборы позволяют четко определять резонансные частоты элементов конструкции ламп и измерять амплитуды их вибрации в широком диапазоне частот.

При испытании на длительную вибрацию (вибропрочность) лампы подвергают продолжительному воздействию колебаний с перегрузкой от 2 до 5—7 g. Этот режим задают в виде одного или нескольких определенных значений частоты (от 15 до 200 гц), амплитуды (от 2 до 0,02 мм) и длительности испытаний под электрической нагрузкой и без нее. Испытания на вибропрочность самолетных ламп проводят на частотах 25, 80 и 200 гц, при которых чаще всего наблюдаются вибрации самолетов.

Вибростойкость и вибропрочность резко ухудшаются, если внутри лампы содержатся посторонние свободные частицы стекла, металла, резины и пр. Во время вибрации эти частицы, попадая на раскаленную спираль, быстро плавятся или разлагаются с выделением газов и вызывают при напряжении, превышающем 10—12 в, электрическую дугу и выход лампы из строя.

Ударопрочность ламп оценивают на специальных ударных испытательных стендах, на которых рабочая платформа вместе с укрепленными на ней лампами периодически плавно поднимается вращающимися эксцентриковыми кулачками до заданной высоты и затем свободно падает на амортизирующие подушки, укрепленные на станине стенда. Платформа с лампами испытывает при падении удары, следующие через равные промежутки времени. Сила ударов  $P$  может быть определена по уравнению

$$P = \sqrt{\frac{2hk}{g}}, \quad (14-2)$$

где  $h$  — высота свободного падения;

$G$  — вес платформы с лампами;

$k$  — коэффициент, зависящий от толщины и материала подушки.

Обычно нормируют число ударов под электрической нагрузкой и без нагрузки (от нескольких единиц до нескольких тысяч), частоту повторения ударов (40—80 раз в минуту) и величину ударной перегрузки (от нескольких g при многократных ударах до нескольких сотен g — при одиночных ударах). В паспортах на ударные стенды нормируют материал и толщину подушки. Частоту ударов регулируют изменением числа оборо-

тов приводного двигателя, а перегрузку — увеличением или уменьшением высоты падения платформы.

Судовые лампы испытывают на ударное сотрясение маятниковым копром типа К-200. Панель с лампами прикрепляют к одной стороне вертикальной массивной плиты копра. К лампам подводят по гибким проводам напряжение питания. Маятник, снабженный грузом весом 200 кг, отводят на регулируемый угол от вертикали и составляют свободно падать на другую сторону плиты копра. Сильный толчок, вызванный ударом маятника, приводит лампы в кратковременное затухающее колебание, частота которого определяется размерами и толщиной плиты, а амплитуда — углом отклонения маятника. Угол отклонения ( $20-30^\circ$ ), как и общее число ударов, задают в зависимости от условий эксплуатации и конструкции ламп.

Испытание ламп на прочность к воздействию постоянного ускорения производят на центробежной машине — центрифуге, состоящей из быстровращающейся платформы. Центробежное ускорение получается тем большим, чем больше расстояние между осью вращения платформы и центром тяжести лампы и чем больше скорость вращения платформы. Самолетные лампы испытывают на центрифуге при постоянном ускорении 9—12 g.

Некоторые лампы испытывают на сотрясение, имитирующее транспортную тряску. Такие испытания производят на ударных стендах в принятой для данных ламп упаковке в условиях заданных ускорения и частоты ударов. Лампы тем труднее переносят транспортную тряску, чем хуже они упакованы.

При всех механических испытаниях панели с лампами закрепляют на платформе испытательных стендов в рабочем положении, соответствующем условиям эксплуатации. При испытаниях следят, чтобы крепление ламп в панелях и панелей к платформе было достаточно жестким и чтобы вибрация и удары передавались лампам с минимальными потерями (без амортизации). Цоколи или выводы ламп прочно присоединяют к токоподводящим зажимам.

Лампы считаются выдержавшими испытания, если внешний осмотр, проверка на включение и измерения тока и светового потока, проведенные после испытаний, не выявят повреждений конструкции ламп, смещений тела накала или других отклонений от требований технических условий.

Каждый вид механических испытаний обычно производят на разных лампах.

Брак, выявляемый при механических испытаниях, зависит не только от конструкции ламп и технологии их изготовления, но и от испытательного оборудования.

Часто бывает, что испытания отражают не качество ламп, а состояние стендов и прочность крепления к ним панелей с лампами. Бывает, что лампы одного и того же типа дают

разные результаты на разных стендах или на одном и том же стенде в разное время. Результаты испытаний могут получаться извращенными и неправильно истолкованными, если за состоянием испытательного оборудования отсутствует тщательное наблюдение. Важно, чтобы применяемые вибростенды создавали чистые синусоидальные колебания без паразитных вибраций. Это требование зачастую нарушается в старых механических стендах, у которых вследствие износа трущихся частей и ухудшения смазки создаются большие люфты в сочленениях отдельных деталей. Прежде чем начинать испытывать лампы, нужно убедиться, что стенд исправен и что на панель с лампами не действуют никакие посторонние силы, кроме накладываемых попеременно действующей в противоположных направлениях вибрацией. Для испытания на вибростойкость стараются использовать электродинамические стенды, воспроизводящие более стабильные и «чистые» синусоидальные колебания и допускающие более плавный переход от одной частоты к другой.

#### 6) ИСПЫТАНИЕ ПРОЧНОСТИ КРЕПЛЕНИЯ ЦОКОЛЯ

Лампы испытывают на способность цоколя противостоять скручиванию. Аппарат для такого испытания (рис. 14-9) имеет вал, вращающийся в двух подшипниках. На одном конце вала укреплен сменный металлический патрон под соответствующий

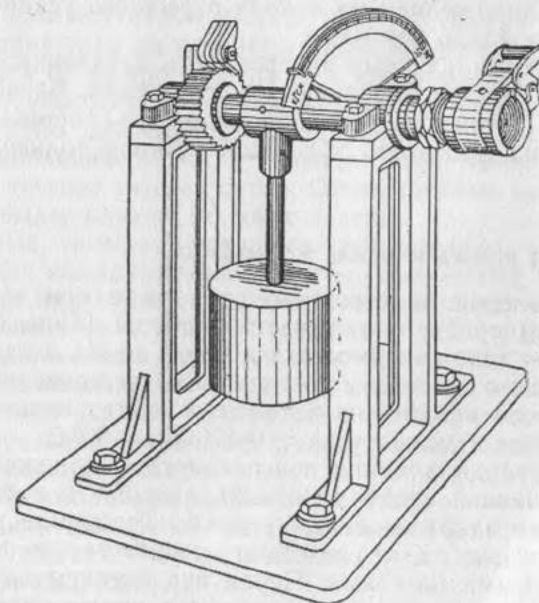


Рис. 14-9. Прибор для испытания ламп на прочность крепления цоколя.



цоколь, а на другом — помещен груз, способный перемещаться в вертикальной плоскости. Проверяемую лампу, вставленную в патрон до отказа, плавно проворачивают рукой на заданный угол или до тех пор, пока груз своей тяжестью не оторвет цоколь от колбы. Крутящий момент, равный произведению веса груза на расстояние от центра тяжести груза до оси патрона, отсчитывают стрелкой по шкале, отградуированной в килограмм-сантиметрах. Аппарат позволяет давать не только качественную, но и количественную оценку прочности крепления цоколя.

Стандартами на лампы предусмотрено, чтобы крутящий момент был не менее  $0,15 \text{ кг}\cdot\text{м}$  у ламп с цоколем P14 и Ш15,  $0,3 \text{ кг}\cdot\text{м}$  у ламп с цоколем P27 и Ш22 и  $0,5 \text{ кг}\cdot\text{м}$  у ламп с цоколем P40. После испытания ламп общего назначения на продолжительность горения крутящий момент должен быть не менее  $0,15 \text{ кг}\cdot\text{м}$  у ламп с цоколем P27 и Ш22 и  $0,25 \text{ кг}\cdot\text{м}$  у ламп с цоколем P40.

У ламп с фокусирующим цоколем крепление внутренней детали цоколя к колбе и наружной детали цоколя к внутренней не должно нарушаться при приложении к наружной детали крутящего момента, постепенно возрастающего до  $0,3 \text{ кг}\cdot\text{м}$  для ламп с цоколем 1Ф-С51 и 1Ф-С42 и  $0,15 \text{ кг}\cdot\text{м}$  для ламп с цоколем 1Ф-С34, 2Ф-Ш20, 2Ф-Д30, 1Ф-Д42 и 2Ф-Д42.

Прочность крепления цоколя некоторых миниатюрных ламп оценивают наложением на цоколь отрывного усилия  $0,5 \text{ кг}$ , направленного вдоль оси ламп.

При испытаниях ламп на прочность крепления цоколя в цоколевочной мастике возникают напряжения, близкие к разрушающим. Поэтому из опасения повредить хорошие лампы испытывают на прочность крепления цоколя только часть ламп из партии.

#### в) КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ

Для проверки работоспособности ламп при заданных предельных температурах окружающей среды лампы помещают на 2 ч в камеру тепла (термостат) и затем на 2 ч в камеру холода. После каждого из этих испытаний лампы проверяют на зажигание и после извлечения из камеры осматривают. В камерах поддерживают температуру от  $+120$  до  $-60^\circ\text{C}$ .

Для проверки влияния повышенного и пониженного давления окружающей среды лампы закладывают в барокамеру с герметически закрывающейся дверью. Требуемое давление (от 3 ат до  $10^{-3}$  мм рт. ст.) создают соответственно компрессором или вакуумными насосами. Перед извлечением ламп через заданное время устанавливают в камере нормальное давление и проверяют лампы на зажигание.

Для испытания на влагостойкость лампы помещают в камеру влажности и выдерживают в ней в течение заданного времени при относительной влажности 95—98% и температуре  $20^\circ\text{C}$ . Испытанные лампы извлекают из камеры и после выдержки в нормальных климатических условиях определяют изменение внешнего вида (наличие следов коррозии, состояние изоляции цоколя, прочность крепления цоколя).

Камеры для климатических испытаний снабжают приборами, измеряющими, регулируемыми и автоматически поддерживаемыми заданные температуру, давление и относительную влажность. Конструкция камер позволяет включать лампы на напряжение и наблюдать за работой ламп во время испытаний.

Режимы климатических испытаний в зависимости от назначения ламп и предъявляемых к ним требований могут отличаться от приведенных выше.

#### 14-6. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ВЫДЕРЖКА ЛАМП

Трещины в стеклянных деталях ламп могут образоваться не сразу при возникновении опасных внутренних напряжений, а спустя некоторое время. Воздух через микротрещины стекла или неплотности впаев может натечь внутрь лампы тоже не сразу, а постепенно. Чтобы оградить потребителя от таких скрытых видов брака все лампы перед выпуском с завода выдерживают на промежуточном складе и после выдержки проверяют кратковременным включением на номинальное напряжение. В зависимости от назначения ламп и выявляемого при проверке среднего процента брака устанавливают для разных ламп различную длительность выдержки (1—3 суток). Как правило, наибольшее число натекающих ламп выявляется после выдержки в течение первых суток. Ответственные высоконадежные лампы выдерживают до двух недель.

Двусветные лампы проверяют поочередным включением сначала одной спирали, потом другой. Вакуумные лампы, кроме включения на напряжение, проверяют аппаратом Теслы.

Газонаполненные лампы проверяют с небольшой выдержкой под напряжением для лучшего выявления натекающих ламп, так как наличие газа в лампе несколько замедляет процесс распыления окислов вольфрама и перегорания нити. Такая выдержка особенно необходима для газонаполненных ламп в светорассеивающей колбе.

В налаженном производстве ламп брак, выявляемый после технологической выдержки, не превышает 1%. Если при проверке обнаруживается более высокий брак, лампы оставляют на повторную выдержку.

Для проверки ламп на включение пользуются патроном без внутренней резьбы, изображенным на рис. 14-10. Таким патро-

## ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЛАМП

ном можно быстро включать лампы, не извлекая их из манжет. На некоторых заводах предпочитают вместо индивидуальных патронов пользоваться карусельными рамами обжига.

Участок сети, подводящий напряжение, снабжают автоматическим выключателем с мгновенно действующим расцепителем, отключающим источник питания в случаях перегорания ламп с коротким замыканием.

Низковольтные миниатюрные лампы, уложенные по 25 шт. в картонные решетки, прижимают контактными пластинками к металлической плите, соединенной с одним выводом трансформатора, и поочередно зажигают прикосновением к корпусу цоколя металлическим карандашом, присоединенным к другому выводу трансформатора.

Брак, выявляемый после технологической выдержки, обходится очень дорого. Он должен внимательно исследоваться работниками сборочных цехов, причины его должны анализироваться и быстро устраняться. К наиболее опасному

Рис. 14-10. Патрон для проверки ламп в индивидуальной упаковке.  
1 — деревянная ручка; 2 — стальной токоподводящий корпус; 3 — центральный токоподводящий контакт; 4 — электроизоляционная обкладка.

браку относятся «натекающие лампы», борьба с которыми сопряжена с трудностью точного определения места натекания, скрытого в большинстве случаев под цоколем. Пока такое место не выявлено, остается неизвестной и причина натекания. Никакая лампа не может быть надежной в эксплуатации, если при ее изготовлении не позаботились о том, чтобы ее впаи был герметичным и ее стеклянные детали были свободны от опасных напряжений.

Технологическая выдержка и последующая проверка ламп — последние операции, выполняемые в стенах завода. Они позволяют определять не ухудшилось ли качество ламп за время хранения. От постановки этих операций зависит репутация заводской марки. Самый недопустимый для завода брак — это тот, который под видом годной продукции выходит за ворота завода.

### 15-1. СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ И КООПЕРИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА

Под специализацией производства понимают закрепление за предприятиями постоянного и ограниченного ассортимента выпускаемых изделий, однотипных по конструкции и близких по технологии изготовления. Развитие специализации предполагает расширение выпуска однородных изделий и ограничение выпуска разнородных. Показателями, характеризующими уровень специализации, служит доля основной продукции в общем выпуске предприятия и число производимых предприятием конструктивно-однородных групп изделий.

Различают предметную специализацию, при которой заводы загружаются изготовлением определенных видов законченных изделий, и подетальную (технологическую) специализацию, при которой заводы загружаются изготовлением технологически однородных деталей или полуфабрикатов. Примерами предметной специализации служат заводы автомобильных ламп, миниатюрных ламп, крупногабаритных нормальных осветительных ламп. Примерами подетальной (технологической) специализации служат заводы дровяного стекла, тугоплавких металлов.

Наряду с предметной и подетальной специализацией различают еще смешанную (предметно-технологическую специализацию), при которой заготовительные цехи строят по технологическому принципу, а сборочные — по предметному.

Чем меньший ассортимент изделий закреплен за заводом, цехом и участком и чем однороднее конструкция изделий и технология их изготовления, тем выше уровень и эффективность специализации. Повышение эффективности основано на возможности замены менее производительной техники более производительной, сокращения потерь и простоев из-за переналадок технологического оборудования, организации на всех участках производства ритмичной работы, сокращения типо-

размеров полуфабрикатов и деталей, упрощении материально-технического снабжения, облегчении управления производством. В условиях специализированного производства создается возможность улучшить внутривзаводское планирование и техническое нормирование. Специализированный завод в состоянии обеспечить более высокое качество продукции, чем неспециализированный. Высокий уровень специализации благоприятно сказывается на увеличении объема производства, которое само по себе улучшает экономические показатели деятельности заводов. В конечном счете трудоемкость и себестоимость продукции на крупных четко специализированных заводах значительно снижаются.

Несмотря на очевидные преимущества специализации производства в ряде случаев чрезмерно узкая специализация бывает экономически неоправданной и неприемлемой. Например, при очень большой номенклатуре ламп и относительно небольшом числе электроламповых заводов в стране номенклатура некоторых заводов поневоле должна быть широкой. Если не представляется возможным увеличить число предприятий, приходится все производство ламп рационально распределять между заводами, даже с некоторым ущербом для специализации. Однако при таких условиях предпочтительнее иметь один-два универсальных завода и остальные специализированные, чем все заводы плохо специализированные. Большое число типов и типоразмеров ламп зачастую вынуждают сдерживать организацию специализированных производств.

Хотя с увеличением масштаба производства повышается целесообразность специализации, тем не менее слишком узкая специализация и большой масштаб специализированного производства становятся нерентабельными, если они чрезмерно расширяют круг потребителей и влекут за собой значительное увеличение транспортных издержек. Специализацию по лампам общего назначения необходимо проводить с учетом правильного географического размещения электроламповых заводов, с тем чтобы исключить ненужные дальние перевозки. При специализации по специальным лампам необходимо принимать во внимание, что многие типы ламп, несмотря на большое разнообразие их назначения, обладают близкими конструктивно-технологическими признаками, что позволяет сосредоточивать на специализированных заводах производство относительно большой номенклатуры ламп.

Развитие специализации тесно связано с кооперированием производства, т. е. с созданием прочных и постоянных производственных связей между различными предприятиями и цехами для совместного изготовления определенной продукции. Кооперированием чаще всего охватывают поставки полуфабрикатов и деталей. Показателем уровня кооперирования служит удельный вес поставляемой (или получаемой) по ко-

оперированию продукции ко всей выработанной предприятием продукции.

На практике получили применение две формы кооперирования — межзаводская, основанная на производственных связях между заводами, и внутривзаводская, основанная на производственных связях между цехами. Примерами межзаводского кооперирования могут служить поставки вольфрамовой, молибденовой и платинитовой проволоки одним заводом другому. Примерами внутривзаводского кооперирования могут служить поставки стекольным цехом силикат-глыбы тароупаковочному цеху и черного изоляционного стекла — цокольному цеху. В производстве ламп при системе кооперирования одни предприятия или цехи специализируются на выпуске ламп, а другие — на выпуске полуфабрикатов и деталей для ламп. При больших масштабах производства специализированные заготовительные цехи могут снабжать полуфабрикатами и деталями не только свой завод, но и близкие по профилю другие заводы. Кооперирование позволяет повысить использование производственных мощностей и внутренних резервов как на заводах-поставщиках, так и на заводах-заказчиках.

Кооперирование себя оправдывает только тогда, когда отсутствуют необходимые условия и экономическая целесообразность изготовления полуфабрикатов на месте. Эффективность межзаводского кооперирования зависит от удаленности предприятий друг от друга и от соблюдения государственной дисциплины в сроках поставок. Наиболее рациональны внутригородские и внутрирайонные поставки, не требующие дорогостоящих перевозок. Кооперирование по колбам оправдывает себя только в небольших радиусах перевозок, а кооперирование по вольфраму и молибдену — даже при дальних перевозках. Сравнительно небольшое число деталей, составляющих лампу, и относительно однообразные технологического процесса изготовления ламп ограничивают возможности расширения межзаводского кооперирования по некоторым видам полуфабрикатов. Поэтому, например, почти все электроламповые заводы в СССР имеют собственное производство вольфрамовых спиралей, электродов и цоколей. Большинство заводов имеет собственное производство колб и мягкой тары.

Отечественная электроламповая промышленность имеет серьезные недостатки в области специализации и кооперирования. Хотя в электроламповой промышленности и нет заводов вовсе неспециализированных или ни с кем не кооперирующихся; все же большинство заводов не исчерпало всех возможностей повышения уровня специализации и кооперирования. Несмотря на большую эффективность, эти формы организации производства еще не получили должного развития и отстают от современных требований. Свидетельством неудовлетворительной специализации служат примеры, когда производство однородных ламп без

особой необходимости параллельно организуют на нескольких электроламповых заводах или когда электроламповые заводы загружают изготовлением продукции, не свойственной их основному профилю, без учета их производственных возможностей. В ряде случаев вместо организации разумного кооперирования необоснованно создают собственное производство некоторых полуфабрикатов, несмотря на то, что они обходятся значительно дороже. Широкому развитию межзаводского кооперирования препятствует отсутствие полного единообразия в размерах и качестве полуфабрикатов и неидентичность технологического процесса и технологического оборудования на разных заводах. Такое положение приводит к тому, что детали, изготовленные на одном заводе, не могут быть эффективно использованы на другом.

Преодоление недостатков в области специализации и кооперирования является неотложной общепромышленной задачей, которая может быть решена лишь одновременно на всех электроламповых заводах с учетом уже сложившейся специализации, потребности народного хозяйства в лампах и полного использования оборудования заводов.

## 15-2. ПОТОЧНЫЙ МЕТОД ПРОИЗВОДСТВА

Массовый характер производства ламп и повышение уровня его специализации и механизации создают благоприятные условия для организации многих производственных процессов и в первую очередь выработки колб, сборки ламп и изготовления цоколей по системе непрерывного потока. При такой системе цех организуют из отдельных линий, в которых машины, рабочие места и межоперационные транспортные устройства размещают по ходу технологического процесса. При этом за каждым рабочим местом закрепляют определенную операцию, а изделия непрерывно обрабатывают и перемещают кратчайшим путем от предыдущей операции к последующей до превращения в готовый продукт.

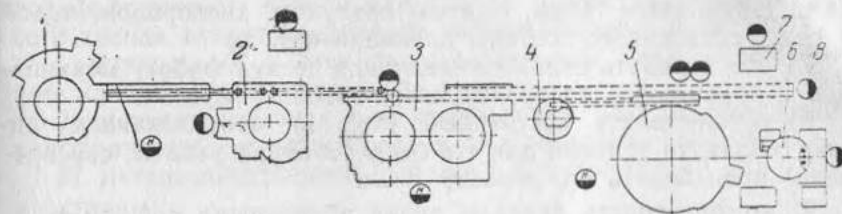
Непрерывно-поточная система позволяет совмещать ряд смежных операций в один производственный процесс. Например, на линиях сборки ламп совмещают операции вставки держателей и монтажа спирали, операции заварки и откачки ламп и др.

На рис. 15-1 изображена схема размещения оборудования линии сборки ламп общего назначения мощностью 15—200 вт.

Применение непрерывно-поточной системы создает благоприятные условия для сокращения длительности производственного цикла, облегчения межоперационной транспортировки полуфабрикатов, увеличения выпуска продукции с единицы оборудования и 1 м<sup>2</sup> производственной площади, упрощения технического контроля, производственного планирования и

учета, повышения трудовой дисциплины. Эти достоинства непрерывно-поточного производства улучшают такие экономические показатели деятельности завода, как повышение производительности труда, уменьшение процента брака, снижение себестоимости продукции, уменьшение размеров незавершенного производства и ускорение оборачиваемости оборотных средств завода.

Эффективность непрерывно-поточного производства снижается при отсутствии согласованности между операциями, со-



● Рабочие места наладчиков    ○ Рабочие места операционных работников

Рис. 15-1. Технологическая схема механизированной линии сборки ламп общего назначения мощностью 15—200 вт.

1 — автомат сборки ножек; 2 — монтажный автомат; 3 — заварочно-откачной автомат; 4 — автомат намазки цоколей; 5 — цоколевочный автомат; 6 — машина контрольного обжига ламп; 7 — стол контроля и исправления припайки электродов; 8 — рабочее место для загрузки колб в транспортер.

ставляющими поток. Каждый станок, включенный в систему линии, должен иметь не только высокую, но и однородную производительность. Пропускная способность каждой предыдущей операции, учитывая неизбежные производственные потери и брак, должна быть на несколько процентов выше пропускной способности последующей операции. В условиях потока любое его звено, оставленное без внимания, может превратиться в «узкое место». Загрузка оборудования и работа рабочих на поточных линиях должны протекать равномерно с единым заранее заданным ритмом. В равные промежутки времени должно вырабатываться одинаковое число изделий.

Непрерывно-поточная система — самая прогрессивная и совершенная форма организации массового производства. Чтобы такая система давала наибольший эффект, нужно в практической работе на линиях стремиться к следующему:

1) специализировать оборудование линий и бригады занятых на них рабочих на изготовлении небольшого числа сходных между собой типов изделий;

2) не загружать линии мелкосерийным выпуском изделий; избегать частых переналадок или переключений оборудования с производства одного типа изделий на другой;

3) обеспечивать линии регулярным снабжением полуфабрикатов и материалов с соблюдением комплектности, взаимозаменяемости и технических условий;

4) создавать перед каждой операцией линий минимальный задел полуфабрикатов; не допускать на линиях межоперационных задержек деталей;

5) отрегулировать скорости машин и автоматов соответственно заданному ритму линии;

6) бесперебойно снабжать линии энергетическими средствами (топливным газом, сжатым воздухом, кислородом, водой и т. п.) постоянного состава, давления и т. д.;

7) обеспечивать силами наладчиков четкую работу механизмов и правильную настройку огня газовых горелок;

8) осуществлять постоянный уход за оборудованием линий; создавать условия для его бесперебойной работы; своевременно производить его ремонт;

9) комплектовать бригады линий обученными рабочими;

10) создавать на рабочем месте каждого рабочего наибольшие удобства;

11) вести учет и контроль за выполнением линиями часового и сменного заданий;

12) применять на линиях систему оплаты труда, создающую материальную заинтересованность работающих в росте производительности труда, улучшении качества продукции и повышении рентабельности производства;

13) создавать на линиях безопасные условия труда и благоприятные санитарно-гигиенические условия работы (освещение, вентиляция, отопление);

14) поддерживать на линиях порядок и чистоту, соблюдать требования вакуумной гигиены;

15) регулярно освобождать площадь линий от готовой продукции;

16) соблюдать на линиях строгую трудовую и технологическую дисциплину.

Непрерывно-поточную систему производства обычно сочетают с автоматизацией технологических, вспомогательных, контрольных и транспортных операций. Такое сочетание превращает все оборудование потока в один сложный комбинированный агрегат.

Дальнейшим этапом развития непрерывно-поточной системы производства будет создание линий высокопроизводительных автоматических машин, взаимно связанных загрузочными, транспортными и разгрузочными устройствами и работающих с единым ритмом. Оборудованные такими линиями заводы-автоматы потребуют для обслуживания минимальное число рабочих, роль которых будет сводиться лишь к устранению случайных нарушений в работе отдельных механизмов.

### 15.3. ОРГАНИЗАЦИОННАЯ СТРУКТУРА ПРОИЗВОДСТВА

Основной цех электролампового завода — сборочный. В нем производят операции, начиная от изготовления ножек и кончая проверкой и упаковкой готовых ламп. В зависимости от объема и номенклатуры выпуска сборочный цех разделяют на специализированные отделения, выпускающие лампы однородного сортамента.

Все остальные производственные цехи завода заготавливают полуфабрикаты и детали для сборки. В состав электролампового завода входят следующие заготовительные цехи:

1) стекольный и стеклозаготовительный цехи, изготавливающие колбы, дроты и детали из дров;

2) металлургический или проволочный цех, изготавливающий вольфрамовую, молибденовую и платинитовую проволоки;

3) металлозаготовительный цех, изготавливающий спирали и электроды;

4) цокольный цех, изготавливающий цоколи;

5) теххимический цех, изготавливающий цоколевочные мастики, газопоглотители, краски, паяльные флюсы и другие теххимические препараты;

6) газовый цех, снабжающий все цехи водородом, кислородом и очищенными инертными газами;

7) тарный цех, заготавливающий упаковочные материалы и тару.

Некоторые заводы могут не иметь всех приведенных заготовительных цехов, тогда они получают соответствующие полуфабрикаты и детали от предприятий-смежников в порядке планового кооперирования с ними. Заводы, не обеспеченные городским природным газом, должны иметь цехи по производству топливного газа.

Заготовленные полуфабрикаты и детали сдают на склад комплектных заготовок (СКЗ), находящийся в ведении начальника производства, откуда их комплектно по установленным нормам в соответствии с производственными заданиями выдают на линии сборки ламп.

— ○

1. Абашин Г. И. и Погосян Г. М., Технология получения вольфрама и молибдена, Металлургиздат, 1960.
2. Агте К. и Вацек И., Вольфрам и молибден, «Энергия», 1964.
3. Александрова А. Т., Бродский С. И., Сажин И. И. и Ширенко Г. Н., Оборудование для обработки тугоплавких металлов в электровакуумном производстве, Госэнергоиздат, 1963.
4. Александрова А. Т., Бродский С. И., Сажин И. И. и Ширенко Г. Н., Технологическое оборудование электровакуумного производства, Госэнергоиздат, 1962.
5. Апухтин Г. И., Технология пайки монтажных соединений в приборостроении, Госэнергоиздат, 1957.
6. Белькинд Л. Д., Томас Альва Эдисон, «Наука», 1964.
7. Бешагин С. П., Огневое оснащение технологического оборудования электровакуумного производства, Госэнергоиздат, 1960.
8. Блискунов Н. А. и Каменецкий И. Я., Технология производства электровакуумных приборов, ч. 1, Госэнергоиздат, 1959.
9. Блискунов Н. А. и Каменецкий И. Я., Технология производства электровакуумных приборов, ч. 2, Госэнергоиздат, 1961.
10. Ботвинкин О. К. и Маринина В. Г., Применение коллоидно-графитовых смазок в стекольной промышленности, Гизлегпром, 1946.
11. Бутт Л. М., Полляк В. В., Технология стекла, Госстройиздат, 1960.
12. Бутт Ю. М., Дудеров Г. Н., Матвеев М. А., Общая технология силикатов, Промстройиздат, 1962.
13. Вакуумная техника, Свойства стекла и его обработка, Сборник статей, Госэнергоиздат, 1961.
14. Веклич П. М., Ощипков Ф. П., Фролов В. К., Технология электровакуумного стекла, Госэнергоиздат, 1961.
15. Вернер А. У., Производство картонных ящиков, Гослесбумиздат, 1958.
16. Вознесенская З. С., Электрические лампы накаливания, Госэнергоиздат, 1953.
17. Вознесенская З. С. и Скобелев В. М., Электрические источники света, Госэнергоиздат, 1957.
18. Газалиев М. В. и Засухин А. Т., Эффективность специализации и кооперирования в машиностроении, Госпланиздат, 1960.
19. Гейнце В., Введение в вакуумную технику, т. 1, пер. с немецкого, Госэнергоиздат, 1960.
20. Грошковский Я., Технология высокого вакуума, пер. с польского, Издательство иностранной литературы, 1957.
21. Гочкисс А. Дж. и Веббер Х. М., Защитные атмосферы, пер. с английского, Машгиз, 1959.
22. Гюнтер Р., Ванные стекловаренные печи, пер. с немецкого, Промстройиздат, 1958.
23. Данилин Б. С., Вакуумные насосы и агрегаты, Госэнергоиздат, 1957.
24. Данилин Б. С., Конструирование вакуумных систем, Госэнергоиздат, 1959.
25. Демидов Г. В., Городское газовое хозяйство, Изд. МХК РСФСР, 1960.
26. Дралле Р. и Кеппелер Г., Производство стекла, т. II, ч. 1, пер. с немецкого, ОНТИ, 1935.
27. Дэшман С., Научные основы вакуумной техники, пер. с английского, изд-во «Мир», 1964.
28. Епанешников М. М., Электрическое освещение, Госэнергоиздат, 1962.
29. Зарубин Н. И. и Копчик А. Н., Производство тугоплавких металлов, Metallurgizdat, 1941.
30. Зеликман А. Н., Металлургия вольфрама и молибдена, Metallurgizdat, 1949.
31. Иванов А. А., Электровакуумная технология, Госэнергоиздат, 1944.
32. Иванов А. П., Электрические лампы и их изготовление, Научное химико-техническое издательство, 1923.
33. Иванов А. П., Электрические источники света, Госэнергоиздат, 1955.
34. Иорш А. Е., Кацман Я. А. и Птицын С. В., Основы технологии производства электровакуумных приборов, Госэнергоиздат, 1961.
35. Иоффе В. Б., Основы производства водорода, Госоптехиздат, 1960.
36. Ипатова С. И., Некоторые свойства вольфрамовых и молибденовых проволок, Госэнергоиздат, 1952.
37. Кауфман М. С., Кузнецова А. А. и Хруничев Ю. А., Производство спиралей, сеток и вводов электровакуумных приборов, Госэнергоиздат, 1962.
38. Каменецер С. Е., Конторович В. Г. и Пишулин Г. А., Экономика, организация и планирование промышленного предприятия, Госполитиздат, 1961.
39. Кешишян Т. Н. и Бут Л. М., Технология стекла, Промстройиздат, 1949.
40. Клименко А. П., Сжиженные углеводородные газы, Госоптехиздат, 1962.
41. Коль В., Технология материалов для электровакуумных приборов, пер. с английского, Госэнергоиздат, 1957.
42. Корнилов И. И., Никель и его сплавы, Академиздат, 1958.
43. Королев Б. И., Основы вакуумной техники, «Энергия», 1964.
44. Кочергин К. А., Импульсная контактная сварка, Лениздат, 1961.
45. Кузнецов В. И., Механические вакуумные насосы, Госэнергоиздат, 1959.
46. Куркин В. И., Механическое оборудование электровакуумного производства, «Высшая школа», 1964.
47. Лайнер В. И. и Кудрявцев Н. Т., Основы гальваностегии, Metallurgizdat, 1953.
48. Лакедемонский А. В. и Хряпин В. Е., Паяние и припой, Metallurgizdat, 1961.
49. Лебединский М. А., Технология электровакуумного производства, ч. 1, Госэнергоиздат, 1961.
50. Левитин К. и Меламед А., Горячий свет, «Знание», 1965.
51. Меерсон Г. А. и Зеликман А. Н., Металлургия редких металлов, Metallurgizdat, 1955.
52. Мешков В. В. и Соколов И. И., Курс осветительной техники, Госэнергоиздат, 1960.
53. Орлов Н. Н., Автоматизированная линия сборки электрических ламп накаливания, «Звайгзне», Рига, 1965.

54. Перлин И. Л., Теория волочения, Металлургиздат, 1957.  
 55. Пивоваров Г. Я., Техничко-химические процессы электровакуумно-го производства, «Энергия», 1964.  
 56. Романовский С. А., Горючие газы, «Техника», Киев, 1964.  
 57. Руководство по пайке металлов мягкими припоями, пер. с английского, Оборонгиз, 1963.  
 58. Свердлов М. И. и Дагелайская Н. А., Штамповка на прессах-автоматах, Машгиз, 1955.  
 59. Сергеев Н. П. и Файгенсон М. С., Электрическая контактная сварка, Машгиз, 1952.  
 60. Смителлс К., Вольфрам, пер. с английского, Металлургиздат, 1958.  
 61. Соколов А. С., Автомобильные электрические лампы и осветительные приборы, Автотрансиздат, 1961.  
 62. Спай стекла с металлом, под ред. Р. А. Нилендера, пер. с английского, «Советское радио», 1951.  
 63. Справочная книга по светотехнике, под редакцией Кулебакина В. С., Академиздат, 1956.  
 64. Технология стекла, под ред. И. И. Китайгородского, Промстройиздат, 1961.  
 65. Тиходеев П. М., Световые измерения в светотехнике, Госэнергоиздат, 1962.  
 66. Фандерлик М., Пороки стекла, пер. с чешского, Промстройиздат, 1964.  
 67. Фастовский В. Г., Ровинский А. Е., Петровский Ю. В., Инертные газы, Атомиздат, 1964.  
 68. Федоров Б. Ф., Общий курс светотехники, Госэнергоиздат, 1944.  
 69. Федоров В. В., Производство люминесцентных ламп, Госэнергоиздат, 1963.  
 70. Федоров Е. В., Осветительные лампы, Ленинградский электротехнический институт имени В. И. Ульянова-Ленина, 1934.  
 71. Цукерман С. А., Порошковая металлургия, Академиздат, 1958.  
 72. Шампе Р., Физика и техника электровакуумных приборов, т. 1, Элементы вакуумной техники, пер. с французского, Госэнергоиздат, 1963.  
 73. Шаронов В. В., Свет и цвет, Физматгиз, 1961.  
 74. Эспе В., Технология электровакуумных материалов, т. 1, Металлы и материалы с металлической проводимостью, пер. с немецкого, Госэнергоиздат, 1962.  
 75. Эспе В. и Кноль М., Технология электровакуумных материалов, пер. с немецкого, Оборонгиз, 1939.  
 76. Яккель Р., Получение и измерение вакуума, пер. с немецкого, Издательство иностранной литературы, 1957.  
 77. Металлы и сплавы для электровакуумных приборов, под ред. Р. А. Нилендера, «Энергия», 1965.

— 0

- А**  
 Аблиц ламп 549  
 Аблиц-автомат 552  
 Аблиц-стол 553  
 Абсолютно черное тело 36  
 Абсорбция 65  
 Автомат выдувания колб 156, 201, 223  
 — вытягивания дровов 213  
 — заварки ламп 450  
 — заварочно-откачной 450, 496  
 — заливки цоколей 365  
 — калибровки стекла 217  
 — монтажа спиралей 432  
 — намазки цоколей 393  
 — обжига ламп 552  
 — обрезки и оплавки колб 200  
 — откачки ламп 487  
 — развертки тарелок 220  
 — резьбодавильный 362  
 — сборки ножек 411  
 — сварки электродов 340, 341  
 — цоколевания ламп 532  
 Автомобильные лампы 21, 26, 34, 38, 56, 516  
 Адсорбция 65  
 Азот 73, 88  
 Аквадаг 225, 254, 403  
 Алмаз 248, 259  
 Алунд 240  
 Алюминиевый газопоглотитель 288, 385, 444, 558  
 Алюминий 209, 288, 385, 397  
 Алюминирование колб 209  
 — молибдена 288  
 Амлацетат 385  
 Аммиак 85, 230  
 Амплитуда вибрации 55  
 Анализ газа 81, 117  
 Аппарат Орса 116  
 — Теслы 517, 552  
 — фокусирования ламп 546  
 Аппаратура газовая 110  
 Аргон 12, 77, 88  
 Арматура вакуумная 506  
 — газовая 130  
 Асбест 540  
 Атмосфера международная 470
- Б**  
 Байпас 111  
 Бакелитовая смола 388  
 Баллоны газовые 79  
 Бариевый газопоглотитель 334, 557  
 Барий углекислый 384  
 Бессвинцовое стекло 150  
 Биметалл 329  
 Биндеры 385  
 Бипост 53  
 Биспираль 14, 311  
 Биспиральные лампы 14, 311

- Блочный стан 250  
 Бой стеклянный 152  
 Борирование платинита 332  
 Боросиликатное стекло 151, 176  
 Бот 196  
 Брак вольфрамовой проволоки 250, 278  
 — миниатюрных колб 227  
 — молибденовой проволоки 287  
 — ножек 419  
 — платинита 331, 334  
 — при волочении 256  
 — — заварке ламп 455  
 — — заливке цоколей 369  
 — — монтаже спиралей 435  
 — — обжиге ламп 562  
 — — откачке ламп 522  
 — — приварке спиралей 439  
 — — травлении цоколей 380  
 — — цинковании цоколей 381  
 — — цоколевании 536  
 — — штамповке цоколей 365  
 — спиралей 315  
 — стекла 165  
 — тарелок 222  
 — цоколей 365, 369, 380  
 — электродов 343  
 Бриллиантовая зелень 390  
 Бумага 533  
 Бура 333  
 Бурление стекломассы 155, 160  
 Бусиновые ножи 407  
 Бутан 99  
 Буферные лампы 553  
 Быстрота действия насоса 472
- В**  
 Вакуум 61, 470  
 — высокий 62  
 — местный 473  
 — начальный 462  
 — предельный 472, 485  
 — центральный 473  
 — чистой 462  
 Вакуумметр 513  
 Вакуумная арматура 506  
 — гигиена 430, 530  
 — резина 501  
 Вакуумное алюминирование 209  
 — масло 484, 504  
 Вакуумные лампы 5  
 — материалы 501  
 — насосы 470  
 — схемы 494  
 — установки 486  
 Вакуумный контактор 509  
 — контроль 513  
 — питатель 196  
 Вакуумпровода 507  
 Ванные печи 156

Варка стекла 133  
Вводы 335  
Вентиль газовый 131  
— дроссельный 74  
Весовое стекло 146, 713  
Взрывы ламп 469, 576  
Вибрационные перегрузки 55  
Вибрация ламп 55  
Вибропрочность ламп 611  
Вибростенды 612  
Вибростойкость ламп 611  
Визуальный контроль ламп 601  
Влагопоглотители 86  
Влажность воздуха 64, 326  
Внутреннее матирование 204  
Внутренние напряжения в стекле 185  
Водород 70, 338  
Водородная болезнь 335, 339  
Водородный показатель 376  
Водяной газ 102  
— манометр 111  
— пар 85  
Возбуждение атомсе 69  
Воздух 73  
— сжатый 108  
Воздуходувка 109  
Воздушный газ 101  
Волюки 248, 259  
Волокно вольфрама 248  
— молибдена 283  
— платинита 331  
Волочильные машины 249  
Вольфрам 6, 228  
— непровисающий 16, 269, 569  
— торированный 268  
Вольфрамат аммония 231  
Вольфрамит 230  
Вольфрамовая кислота 230  
— проволока 248  
— спираль 10, 290, 428  
Вольфрамовый ангидрид 232  
Восстановление вольфрама 232  
— молибдена 282  
Впай металла в стекло 420  
— молибденовый 350  
Временные напряжения 385  
Вставка держателей 427  
Вторичная рекристаллизация 264  
Вторичное провисание спирали 569  
Вторичный воздух 123  
Выветривание стекла 170  
Выводы 335  
Выдувание колб 192  
Выжигание ламп 550  
Вырубка 357  
Высокий вакуум 62  
Высота светового центра 52, 548, 601  
Вытачивание дровов 213  
Вытяжка 357  
Выход по току 375  
Выщелачивание стекла 170  
Вязкость газов 173  
— масла 504  
— стекла 172

## Г

Габаритная яркость 34  
Габаритные размеры ламп 49, 601  
— — тела накала 52, 548, 60  
Газ водяной 102  
— воздушный 101  
— генераторный 100  
— гремучий 72  
— инертный 9  
— наполняющий 12, 468  
— остаточный 462  
— паровоздушный 104  
— препарировочный 82  
— природный 97  
— пропан-бутановый 99

Газ сжиженный 99  
— смешанный 104  
— топливный 97  
Газольдер 106  
Газификация топлива 100  
Газоанализатор 116  
Газовая аппаратура 110  
— арматура 130  
— задвижка 132  
— резина 140  
— сажа 384  
— сварка электродов 340  
Газовое топливо 97  
Газовые горелки 135  
— сети 111  
— трубы 112  
— шланги 1140  
Газовый баллон 79  
— вентиль 131  
— интерферометр 81  
— коллектор 134  
— кран 130  
— паяльник 541  
— разряд 67, 518, 550, 562  
Газогенератор 101  
Газодувка 108  
Газомер 111  
Газонаполненные лампы 8, 464, 521, 525, 555  
Газоотделение металлов 66  
— стекла 182  
Газоочистительная система 89  
Газопоглотители 382, 444, 549, 556  
Газопоглотитель алюминиевый 283, 385, 444, 558  
— бариевый 384, 557  
— углеродистый 384, 566  
— фосфорный 383, 444, 550  
— циркониевый 384, 444  
Газопоглощение никеля 49, 338  
— стекла 182  
Газопроводы 114  
Газорегуляторы 107  
Газосветные лампы 69  
Гальванические ванны 373  
Генераторный газ 100  
Геометрические параметры ламп 49  
Геттеры 382  
Гигроскопические материалы 66  
Гидравлический пресс 238  
Гидролиз стекла 170  
Горелки газовые 135  
Горение 123  
Горшковые печи 155  
Гофрированный картон 583  
Градиент напряжения 321, 323, 577  
Графит 403  
Гребешковые ножи 407  
Гремучий газ 72

## Д

Давление пара 63  
— парциальное 466  
Двухсветные лампы 34, 45, 406, 543, 617  
Двухслойный картон 584  
Держатели тела накала 322, 402, 427  
Детандер 90, 510  
Динас 160, 162  
Диски золотниковые 487, 498, 523  
Диссоциация аммиака 85  
Диффузионное горение 123  
Диффузия 66  
Диффузное отражение 18  
Длина свободного пробега 61, 211  
Долговечность ламп 43, 603  
Доломит 150  
Дуговой разряд 12, 576  
Дуктильность вольфрама 272

## Е

Едкий натр 86  
Едкое кали 86  
Елочные лампы 28

## Ж

Железнодорожные лампы 27  
Желтые лампы 582  
Желтый фосфор 383, 550  
Жесткость воды 199  
Жесткость 70, 550  
Жидкий воздух 73  
Жидкое стекло 402

## З

Заварка ламп 445  
— миниатюрных ламп 458  
Заварочно-откачной автомат 450, 496  
Заварочный автомат 450  
Задвижка газовая 132  
Закимное гнездо 508  
Закон нормального распределения 610  
Заливка цоколей 168, 365  
Запайка ламп 445  
Зеркализация колб 209  
Зеркальное отражение 181  
Зеркальные лампы 19, 32, 209  
Золотники 487, 498, 525  
Золотниковые насосы 481  
Зрительный фотометр 594

## И

Идитол 388  
Изготовление биспиралей 311  
— вольфрамовой проволоки 228  
— дровов 213  
— колб 192, 196, 201, 223  
— молибденовой проволоки 279  
— ножек 408, 411  
— спиралей 290  
— тарелок 220  
— цоколей 351  
— электродов 326  
Измерение давления в лампах  
Индикаторные лампы 92  
Индуктор 517  
Инертный газ 9  
Интерферометр газовый 81  
Инфракрасные лампы 23, 38  
Ионизация газа 68, 577  
Искровой разряд 69, 518  
— течеискатель 517  
Искрогаситель 105  
Испарение 63  
— вольфрама 8, 12, 572  
Испытание вакуумной арматуры 520  
— вольфрамовой проволоки 276  
— ламп 588  
— — на срок службы 603  
— платинита 334  
— прочности крепления цоколя 615  
— спиралей 314  
— цоколевочной мастики 391  
Источник А 36

## Й

Йод 22  
Йодные лампы 22, 42  
Йодный цикл 22

## К

Калибровка стекла 217, 218  
Калорийность газа 117  
Кальцинированная сода 149  
Камень в стекле 165  
Камфара 566  
Канифоль 389  
Карбид вольфрама 275, 565  
— молибдена 281

Карбид тантала 6  
Картон гофрированный 583  
Касторовое масло 505  
Кварцевое стекло 22, 149  
Кварцевый песок 149  
Керамика 400  
Керамические мостики 400, 51  
Керн 290  
— молибденовый 290  
— стальной 290  
Кинетическая теория газов 60  
Кинетическое горение 123  
Кинопроекторные лампы 21, 51, 516  
Кинопроекторные лампы 36  
Кислород 70  
Кислотность электролита 376  
Клеймение колб 453  
— цоколей 579  
Климатические испытания ламп 616  
— требования 59  
Ковалентная 404  
Ковар 327  
Ковка вольфрама 244  
— молибдена 282  
Ковочная машина 245  
Колбовдушной автомат 196, 201, 224  
Колбы 192  
— миниатюрные 223  
Коллоидно-графитовый препарат 225, 254, 403  
Коллоксилин 385  
Колонна разделительная 74  
Компрессоры 108  
Конкация 9  
Конденаторная сварка 341  
Конденаторы 341  
Конденсация 63  
Конструктивные параметры ламп 49  
Контактная сварка 435  
Контроль вольфрамовой проволоки 276  
— ламп 588  
— спиралей 314  
— цинкования 379  
Кооперирование производства 620  
Копёр магнитный 614  
Коробление спирали 568  
Короткое замыкание 314, 576  
Коррозия 371  
Кoeffициент вытяжки 358  
— заполнения 320  
— зерна 319  
— мощности 29  
— провисания спирали 572  
— расширения вольфрама 274  
— — молибдена 280  
— — платинита 330, 335, 421  
— — стекла 175, 421  
— усиления 32  
— шага 320  
Кран газовый 130  
Кранец 196  
Красители 580  
Красные лампы 522  
Красный фосфор 383, 550  
Кремнистый модуль 402  
Кривая посадка цоколя 538  
Кривое горло 457  
Кривошипный пресс 355  
Кривые светораспределения ламп 31  
Криолит 383, 551, 559  
Криптон 16, 77  
Криптоновые лампы 16  
Кристаллизация стекла 178  
Кристаллическая решетка 178  
Критическая потеря в весе 47  
— температура 64, 85  
Круговая реакция 465  
Ксенон 46, 78  
Ксеноновые лампы 16



Л  
Ламинарное горение 124  
Лампы автомобильные 21, 26, 34, 38, 56, 546  
— биспиральные 14, 311  
— буферные 553  
— вакуумные 5, 461, 549  
— газонаполненные 8, 464, 521, 525, 555  
— газосветные 69  
— двухсветные 34, 45, 406, 548, 617  
— для метро 28  
— ДРЛ 38  
— слючные 28  
— железнодорожные 27  
— желтые 562  
— зеркальные 19, 32, 209  
— индикаторные 92  
— инфракрасные 23, 38  
— люминесцентные 21, 51, 546  
— кинопроекторные 36  
— красные 522  
— криптоновые 16  
— ксеноновые 16  
— линзовые 21  
— люминесцентные 38, 607  
— малогабаритные 50  
— матированные 18  
— маячные 45  
— миниатюрные 19, 28, 50, 458, 535, 545, 618  
— молочные 18  
— моноспиральные 14  
— образцовые 591  
— общего назначения 26, 27, 590  
— опаловые 18  
— последовательного соединения 28  
— прожекторные 30, 398  
— рудничные 27  
— с люминесцентным циклом 22, 49  
— — прямой нитью 5  
— самолетные 27, 38  
— сверхминиатюрные 51, 53, 459, 552  
— светильники 19  
— светозащитные 36, 591  
— светонаправляющие 17  
— светорассеивающие 17  
— световые 27, 45  
— синие 562  
— софитные 53  
— специальные 26  
— спиральные вакуумные 13  
— судовые 27  
— термоизлучатели 23, 38  
— точечные 324  
— трамвайные 28  
— трехсветные 34  
— триспиральные 16  
— угольные 7  
— цветные 38  
— черные 525  
— электронные 70  
Лампы-фары 20  
Легкоплавкое стекло 176  
Лента штамповальная 359  
Лер 200  
Ликвидус 395  
Линза 427  
Линзовые лампы 21  
Ловушки соединительные 508  
Лучистое тепло 5, 9, 39  
Лучистый поток 29  
Люминесцентная дефектоскопия 520  
Люминесцентные лампы 38, 607  
Люминесценция 126

М  
Магнитострикция 299  
Малахитовая зелень 390  
Малогабаритные лампы 50  
Мальтийская звезда 408

Манжеты 585  
Мановакуумметр 513  
Манометр водяной 111  
— мембранный 514  
— пружинный 514  
— теплоэлектрический 515  
— термометрический 516  
Марганцовая руда 168  
Марганцовистый никель 339  
Маркировка колб 453  
— ламп 579  
Масло вакуумное 504  
— касторовое 505  
Мастика цоколевочная 387  
Материалы вакуумные 501  
Матирование колб 204  
— ламп 582  
Матированные лампы 18  
Матрица 356  
Маятниковый колер 614  
Маячные лампы 45  
Медная проволока 335  
Меднение платинита 330  
Медный канатик 349  
Меламино-формальдегидная смола 581  
Мембранный клапан 90, 510  
— манометр 514  
Местный вакуум 473  
Металлография 263  
Металлокератин 220  
Металломикроскоп 278  
Механическая обработка вольфрама 244  
— — молибдена 262  
— — платинита 331  
Механические испытания ламп 611  
— параметры ламп 54, 611  
— свойства вольфрама 271  
— — молибдена 260  
— — стекла 170  
Механическое распределение вольфрама 574  
— цоколевание 539  
Микроструктура вольфрама 262, 278, 560  
Миниатюрные колбы 223  
— лампы 19, 28, 50, 458, 535, 545, 618  
Многосекционное волоконце 251  
Многосекционные спирали 310, 323  
Мойка колб 203  
Молибден 279  
Молибденит 251  
Молибденовая проволока 279, 348  
Молибденовый ангидрид 262  
— впаи 348  
— керн 279  
Молочные лампы 18  
Монокристалл 264  
Моноспираль 14  
Моноспиральные лампы 14  
Монтаж слюды 425  
— спиралей 428  
— — зажимом 431, 432  
— — приваркой 435  
Мостики керамические 400, 578  
Мошка 167  
Мощность ламп 27, 318, 600  
Мраморный порошок 390, 535  
Мусковит 399  
Мягкие припой 394, 541

Н  
Нагартовка 273, 360  
Надежность ламп 43, 603  
Накатка резьбы 361  
Наклеп 273, 360  
Намазка цоколей 393  
Наполнение ламп 468  
Наполняющий газ 12, 468  
Напряжение в стекле 185  
— лампы 26  
— номинальное 26  
— пробное 575

Напряжение расчетное 26  
Наружняя окраска ламп 579  
Наружнее матирование ламп 552  
Насосы вакуумные 470  
— вращательные 471, 483  
— золотниковые 481  
— пластинчато-роторные 475  
— пластинчато-статорные 476  
Настройка огней 128  
Насыпной вес 236  
Насыщенный пар 63  
Натекающие лампы 617  
Натровая известь 86  
Начальный вакуум 462  
Непрерывно-поточное производство 622  
Непрочное крепление цоколя 536  
Никелевая проволока 336  
— сталь 327  
Никелевые вводы 336  
Никелированная проволока 339  
Никель 329  
— марганцовистый 339  
Новолачная смола 388  
Ножки 406  
Номинальные параметры ламп 26  
Носик 500  
Нутчфильтр 231

О  
Обезгаживание 65  
— стекла 463  
Обжиг вакуумных ламп 549  
— газонаполненных ламп 555  
— ламп 549, 555  
Обжимка цоколей 361  
Образцовые лампы 591  
Обрезка колб 195  
Обрыв вольфрамовой проволоки 256  
— спиралей 564  
Огнеупоры 161  
Ограничители 512  
Огранка алмазов 259  
Однократное волоконце 251  
Одоризация газа 144  
Окислы вольфрама 274  
Окраска колб 207  
— ламп 579  
Олово 395  
Оловянно-свинцовый припой 395, 511  
Опаловые лампы 18  
Оплавка колб 199  
Органические свойства стекла 180  
Организационная структура производства 625  
Организация производства ламп 619  
Освещение стекломассы 164  
Освещенность 31  
Остаточные напряжения 186  
Остаточный газ 462  
Острый ток 554  
Осушение газов 85  
Отжиг вольфрама 255  
— держателей 441  
— колб 199  
— молибдена 286  
— никеля 337  
— ножек 417  
— платинита 331  
— спиралей 299, 307  
— стекла 188  
— тарелок 221  
— цоколей 368  
Откачка вакуумных ламп 451  
— газонаполненных ламп 464  
— ламп 461  
Откачные автоматы 487  
— печи 463, 492  
— установки 486  
Отпайка ламп 498  
Очистка азота 88

Очистка аргона 88  
— криптона 95

П  
Пайка 540, 548  
— алюминия 397  
Пар водяной 85  
— насыщенный 63  
Паравольфрам аммония 231  
Параллельное соединение ламп 28  
— — насосов 472  
Параметры вакуумных насосов 474  
— волоочильных машин 257  
— ламп 26  
— спирализационных станков 298  
Парциальное давление 466  
Паяльник газовый 541  
Паяльный флюс 396, 542  
Первичная рекристаллизация 261  
Первичное провисание спирали 509  
Первичный воздух 123  
Перегорание ламп 46, 575  
Песок кварцевый 149  
Печи ваннные 156  
— восстановления вольфрама 233  
— газоочистительные 88  
— горшковые 155  
— отжига ножек 417  
— — спиралей 299, 307  
— — стекла 189  
— откачные 463, 492  
— препарирующая спиралей 307  
— прямого нагрева 164  
— стекловаренные 153  
Пигменты 580  
Пирометрические характеристики газов 115  
Пирометрический эффект 119  
Плавиновая кислота 582  
Плавкие предохранители 343  
Плазма 69  
Пламя газовой горелки 123  
Пластинчато-роторные насосы 475  
Пластинчато-статорные насосы 478  
Пластичность стекла 172  
Платина 6, 326  
Платинит 326, 329, 420  
Плоские ножки 407  
Поверхностное натяжение стекла 184  
Поглощение газов 65, 556  
Позиционная резина 503  
Ползучесть вольфрама 569  
Поликристаллы 264  
Полимеризация 388  
Полирование алмазов 261  
Полуавтомат вставки держателей 427  
— заварки ламп 447  
— сборки ножек 408  
Поляризованный свет 191  
Полярископ 191  
Пороки стекла 165  
Порошковая металлургия 230  
Последовательное соединение ламп 28  
— — насосов 473  
Постоянное ускорение 614  
Поточный метод производства 622  
Почернение излучения 14, 320  
Предварительный вакуум 462  
Пределы воспламенения 122  
Предельный вакуум насоса 472, 485  
Предохранители плавкие 343  
Препарирование молибдена 285  
— ножек 442  
— слюды 399  
— спиралей 307  
Препарируемый газ 82  
Пресс-автомат 363  
— гидравлический 238  
— кривошипный 355  
— эксцентриковый 355  
Прессование вольфрама 257

Прессование молибдена 282  
Приборы электровакуумные 5  
Приварка выводов 545  
— спиралей 435  
Приготовление волок 259  
— газопоглотителей 385  
Припайка выводов 540  
Припой 394  
— мягкие 394, 541  
— оловянно-свинцовые 395, 541  
— твердые 394, 544  
Припойная проволока 395, 541, 519  
Природный газ 97  
Присадки к вольфраму 232, 267  
Пробивное напряжение 575  
Проверка острым током 554  
Провисание спирали 568  
Проволока вольфрамовая 232  
— медная 335  
— молибденовая 279, 348  
— никелевая 336  
— никелированная 339  
— платинитовая 331  
— припойная 395, 541, 548  
— ферроникелевая 345  
Продолжительность горения ламп 44, 469, 603  
Пржекторные лампы 30, 398  
Промывка ламп 466  
— ножек водой 442, 578  
Пропан 99  
Пропан-бутановый газ 99  
Пропитка вольфрамового ангидрида 232  
Прорванное горло 457  
Прочность вольфрамовой проволоки 272  
— крепления цоколя 536, 615  
— ламп 54  
— стекла 171  
Пружинный манометр 514  
Пуансон 356  
Пузыри в ножке 423  
— — стекле 167  
Пусковой ток лампы 29

**Р**

Разделение воздуха 74  
Разряд газовый 67, 518, 550, 560  
Рама обжига ламп 553  
Распыление вольфрама 8, 572  
Рассеивание света 18  
Рассеивающая способность электролита 375  
Рассеивающие стекла 181  
Расстекловывание 178  
Расчет спиралей 316  
Расчетное напряжение 26  
Регенераторы 162  
Регистрирующие манометры 111  
Регулировка огня 128  
Резина вакуумная 501, 503  
— газовая 140  
Резка спиралей 300  
— стекла 219  
Резонанс механический 56, 612  
— электрический 517  
Резьбовые цоколи 53, 351  
Резьбодавильный автомат 362  
Рекристаллизация 263, 559  
— вольфрама 265, 309, 559  
— молибдена 280  
— никеля 337  
— спирали 559, 564, 567  
Ректификационная колонна 74  
Ректификация воздуха 74  
Ресивер 110  
Ротаметр 81  
Рудничные лампы 27  
Ручная выработка колб 192

**С**

Сажа газовая 384  
Самолетные лампы 27, 38  
Сборка цоколей 365  
Сварка вольфрама 241  
— молибдена 282  
— электродов 339  
Сверление алмазов 260  
Сверхминиатюрные лампы 51, 53, 459, 552  
Светильник 18  
Световая отдача ламп 40, 317  
— энергия 30  
Световое окно 210  
Световой поток ламп 29, 600  
— центр 51  
Световые измерения ламп 591  
— параметры ламп 29, 599  
Светоизмерительные лампы 36, 591  
Светомерный шар 592  
Светонаправляющие лампы 18  
Светораспределение 31  
Светорассеивающие лампы 47  
Светофильтр 37, 182, 597  
Светофорные лампы 27, 45  
Свиль 166  
Свинец 395  
Свинцовое стекло 127, 150  
Свинцовый сурик 150  
Свойства вольфрама 262  
— газон 60  
— горючих газов 114  
— меди 272, 335  
— молибдена 279  
— никеля 272, 336  
— стекла 168  
Связующие вещества 385  
Серебряные колбы 209  
Сети газовые 111  
Сжижение воздуха 73  
Сжиженный газ 99  
Сила света ламп 30  
Силикатгель 87  
Силикат-глыба 402  
Силикатный клей 402  
Синие лампы 562  
Скорость испарения 8, 63  
— — вольфрама 44  
— распространения пламени 121  
— рекристаллизации 266  
Скруббер 105  
Слюда 399  
Слюдяные экраны 398, 425  
Смесители 132, 391  
Смешанное горение 123  
Смешанный газ 104  
Смола бакелитовая 388  
— искусственная 388  
— меламино-формальдегидная 581  
— новолачная 388  
— термолластичная 388  
— терморезистивная 388  
— фенольная 388  
Собственная частота вибраций 55, 322  
Сода кальцинированная 149  
Соединительные ловушки 508  
Солидус 395  
Сорбция 65  
Составление шихты 151  
Софитные лампы 53  
Спекание вольфрама 240  
— молибдена 282  
Спектральные характеристики ламп 35  
Специализация производства 619  
Специальные лампы 26  
Спираль вольфрамовая 10, 290, 428  
— многосекционные 310, 323  
Спирализационные станки 291  
Спирализация вольфрама 290  
Спираль хрупкая 564  
Спиральные вакуумные лампы 13

Спирт этиловый 390  
Сплав H47D5 346  
Сплавы эвтектические 395  
Спорт-контроль 316, 565  
Срок службы ламп 44, 603  
Стабилизация напряжения 609  
Стабильность светового потока 43, 603  
Сталь никелевая 327  
Стандарты на лампы 588  
Станки спирализации 291, 298  
Стальная структура вольфрама 560  
Стекло 146, 154  
— бесвинцовое 150  
— боросиликатное 151, 176  
— весовое 146, 213  
— для заливки цоколей 168  
— жидкое 402  
— кварцевое 22, 149  
— легкоплавкое 176  
— свинцовое 127, 150  
— трубчатое 146, 213  
— тугоплавкое 174  
— цветное 156, 181  
Стекловаренные печи 153  
Стекланный бой 152  
Стекольная шихта 148, 151  
Стерадия 30  
Стол обжига ламп 553  
Сублимация 63  
Судовые лампы 27  
Сульфат натрия 150, 374  
Сурик свинцовый 150  
Сурьма 395  
Суспензия 386  
Сушка газов 85

**Т**

Тарелки 220  
Твердость вольфрама 273  
— стекла 172  
Твердый припой 394, 544  
Температура воспламенения 122  
— горения 819  
— критическая 64, 85  
— размягчения стекла 174  
— рекристаллизации 264  
— — вольфрама 268  
— — молибдена 268  
— цветная 36, 41  
Температурный коэффициент вольфрама 29  
Тепловая инерция нити 35  
Тепловые потери в лампе 10, 591  
— экраны 897  
Теплоемкость газа 120  
— стекла 175  
Теплопроводность газа 9, 12  
— стекла 175  
Теплотворность газа 117  
Теплоэлектрические манометры 515  
Термическая обработка биспиралей 313  
— — вольфрама 232  
— — молибдена 282  
— — спиралей 299, 307  
— стойкость стекла 177  
Термические свойства стекла 175  
Термическое распыление вольфрама 573  
Термопарный манометр 516  
Термопластичная смола 388  
Терморезистивная смола 388  
Термоэлектронная эмиссия 70, 577  
Техника безопасности 72, 80, 140, 359  
Технический контроль 588  
Технологическая выдержка ламп 617  
Технологические свойства стекла 183  
Теческатели 513, 517  
Тире спирали 293  
Титан 384  
Тлеющий разряд 69  
Ток лампы 27  
Топливный газ 97

Торсионные весы 276  
Торированный вольфрам 268  
Точечная сварка 435  
Точечные лампы 324  
Точка росы 63, 81  
Травление спиралей 302  
— цоколей 370, 371  
Трамвайные лампы 28  
Трехсветные лампы 34  
Трехслойный картон 584  
Трещина в горле 455  
— — ножке 419  
— — стекле 455  
— — тарелке 456  
Триспираль 16  
Триспиральные лампы 16  
Трубки Гофмана 503  
Трубы газовые 113  
Тубусфотометр 594  
Тугоплавкое стекло 176  
Турбулентное горение 124  
Тягучесть вольфрама 272

**У**

Увлажнение газов 85  
Углекислый барий 384  
Углеродистый газопоглотитель 384, 566  
Угол рассеяния 33  
Угольная лампа 7  
— нить 7  
Ударные перегрузки 57  
— стелды 613  
Ударопрочность ламп 613  
Удельное сопротивление вольфрама 274  
— — стекла 179  
Удельный вес стекла 170  
Улита 416  
Ультразвук 299  
Упаковка ламп 583  
Упругость пара 63  
Уротропин 389, 533  
Усилие прессы 356  
Условные обозначения ламп 317  
Установки вакуумные 486  
— откачные 486  
Уход за вакуумными насосами 483

**Ф**

Фарфор 400  
Фенольная смола 388  
Ферроникелевая проволока 345  
Физико-механические свойства металлов 271  
Физические свойства газов 60  
— — вольфрама 271  
— — молибдена 271  
— — стекла 168  
Фильеры 248  
Флюсы паяльные 395, 542  
Фокус пламени 124  
— прибора 546  
Фокусирование ламп 545  
Фокусирующие цоколи 53, 253, 546  
Формиргаз 82  
Формование вводов 424  
— спиралей 310  
— стекла 183  
Формоустойчивость тела накала 568  
Фосфор желтый 383, 550  
— красный 383, 550  
Фосфорный ангидрид 86, 383  
— газопоглотитель 383, 444, 550  
Фотолампы 38  
Фотометр 591  
— зрительный 594  
— физический 596  
Фотометрирование ламп 591  
Фотоэлемент 301, 596  
Фронт пламени 124  
Фтор 25

<b>Х</b>	
Характеристики ламп 26	
Химическая обработка вольфрама 230	
— молибдена 281	
— стойкость стекла 169	
Химические свойства вольфрама 274	
— газов 114	
— молибдена 281	
— пламени 127	
— стекла 168	
Химический состав стекла 169	
Химическое распыление вольфрама 573	
Хрупкая спираль 564	
Хрупкость стекла 171	

<b>Ц</b>	
Цветное стекло 151, 181	
Цветовая температура 36, 41	
— ламп 36, 41	
Цветовые характеристики ламп 36	
Цветопередача 37	
Центральный вакуум 473	
Центрифуга 304, 614	
Цеолит 96	
Цепной стан 249	
Циклон 105	
Цинкование цоколей 372	
Цирконовый газопоглотитель 384, 444	
Цирконий 384	
Цоколевание асбестом 540	
— ламп 532	
— механическое 539	
Цоколевочная мастика 387	
Цоколи 53, 351	
— намазанные 383	
— резьбовые 53, 351	
— фокусирующие 53, 353, 546	
— штифтовые 53, 352	

<b>Ч</b>	
Частота вибрации 55	
Чернильная проба 243	
Черные лампы 525	
Чистой вакуум 462	

<b>Ш</b>	
Шар светомерный 592	
Шеелит 230	
Шихта стекольная 148, 151	

Шкала твердости Мооса 172	
— — Шора 502	
Шланги газовые 140	
Шлир 166	
Штамповальная лента 359	
Штамповка слюды 399	
— цоколей 355, 361	
Штампы 355, 357	
Штифтовка цоколей 361	
Штифтовые цоколи 53, 352	

<b>Э</b>	
Эвтектические сплавы 395	
Экономичность ламп 38	
Экранирование излучения 14	

Экраны металлические 399, 425	
— слюдяные 398, 425	
— тепловые 397, 425	
Эксцентриковые прессы 355	
Электрическая дуга 12, 575	
— сварка электродов 341	
Электрические измерения ламп 591	
— параметры ламп 26, 599	
— свойства стекла 179	
Электрический разряд в газе 67	
— резонанс 517	
Электрическое распыление вольфрама 574	
Электровакуумные приборы 5	
Электроды 326, 339	
— для мощных ламп 348	
Электролиз 68	
— стекла 179	
Электролизер 71	
Электролит 374	
Электролитическая очистка молибдена 283	
— — ножек 424	
Электромагниты 340, 431	
Электронная эмиссия 70, 551	
Электронные лампы 70	
Эмиссия 70, 551, 577	
Энергетический баланс ламп 39	
Этиловый спирт 390	
Эффект почернения излучения 14, 320	
— экранирования излучения 14, 320	

<b>Я</b>	
Яркость 34	
— габаритная 34	

Предисловие . . . . .	3
<b>Глава первая. Устройство ламп . . . . .</b>	<b>5</b>
1-1. Ранние типы ламп . . . . .	5
1-2. Газонаполненные лампы . . . . .	8
1-3. Спиральные вакуумные лампы . . . . .	13
1-4. Биспиральные лампы . . . . .	14
1-5. Криптоновые и ксеноновые лампы . . . . .	16
1-6. Светорассеивающие и светонаправляющие лампы . . . . .	17
1-7. Лампы с йодным циклом . . . . .	22
<b>Глава вторая. Параметры и характеристики ламп . . . . .</b>	<b>26</b>
2-1. Основные сведения . . . . .	26
2-2. Электрические параметры . . . . .	29
2-3. Световые параметры . . . . .	36
2-4. Цветовые и спектральные характеристики . . . . .	38
2-5. Экономичность . . . . .	43
2-6. Долговечность, надежность и стабильность . . . . .	49
2-7. Геометрические и конструктивные параметры . . . . .	54
2-8. Механические параметры . . . . .	59
2-9. Климатические требования . . . . .	59
<b>Глава третья. Технологические газы в производстве ламп . . . . .</b>	<b>60</b>
3-1. Свойства газов . . . . .	60
3-2. Производство водорода, кислорода и инертных газов . . . . .	70
3-3. Производство препаарировочного газа . . . . .	82
3-4. Очистка инертных газов . . . . .	85
<b>Глава четвертая. Топливные газы в производстве ламп . . . . .</b>	<b>97</b>
4-1. Производство горючих газов . . . . .	97
4-2. Газокомпрессорная станция . . . . .	107
4-3. Сети газа и технического воздуха . . . . .	111
4-4. Свойства горючих газов . . . . .	114
4-5. Пламя газовой горелки . . . . .	123
4-6. Газовая арматура . . . . .	130
4-7. Меры безопасности . . . . .	140

<b>Глава пятая. Изготовление стеклянных деталей</b> . . . . .	146
5-1. Технические требования . . . . .	146
5-2. Стекольная шихта . . . . .	148
5-3. Варка стекла . . . . .	153
5-4. Свойства стекла . . . . .	168
5-5. Внутренние напряжения в стекле . . . . .	185
5-6. Изготовление колб . . . . .	192
5-7. Обработка поверхности колб . . . . .	202
5-8. Изготовление дровов . . . . .	213
5-9. Изготовление деталей из дровов . . . . .	218
<b>Глава шестая. Изготовление вольфрамовой и молибденовой проволоки</b> . . . . .	228
6-1. Технические требования . . . . .	228
6-2. Химическая обработка вольфрама . . . . .	230
6-3. Термическая обработка вольфрама . . . . .	232
6-4. Механическая обработка вольфрама . . . . .	244
6-5. Свойства вольфрама . . . . .	262
6-6. Контроль и испытания вольфрамовой проволоки . . . . .	276
6-7. Изготовление молибденовой проволоки . . . . .	279
<b>Глава седьмая. Изготовление вольфрамовых спиралей</b> . . . . .	290
7-1. Спирализация . . . . .	290
7-2. Обработка спиралей на керне . . . . .	298
7-3. Обработка спиралей после удаления керна . . . . .	307
7-4. Изготовление биспиралей . . . . .	311
7-5. Контроль и испытания спиралей . . . . .	314
7-6. Расчет спиралей . . . . .	316
<b>Глава восьмая. Изготовление электродов</b> . . . . .	326
8-1. Технические требования . . . . .	326
8-2. Платинит . . . . .	329
8-3. Материалы вводов и выводов . . . . .	335
8-4. Сварка электродов . . . . .	339
8-5. Электроды с плавкой вставкой . . . . .	343
8-6. Сплав H47D5 . . . . .	346
8-7. Электроды для мощных ламп . . . . .	348
<b>Глава девятая. Изготовление цоколей</b> . . . . .	351
9-1. Технические требования . . . . .	351
9-2. Штамповка цоколей . . . . .	355
9-3. Сборка цоколей . . . . .	365
9-4. Травление и цинкование цоколей . . . . .	370
<b>Глава десятая. Производство вспомогательных материалов</b> . . . . .	382
10-1. Газопоглотители . . . . .	382
10-2. Цоколевочная мастика . . . . .	387
10-3. Припой и флюсы . . . . .	394
10-4. Тепловые экраны . . . . .	397
10-5. Детали из керамики . . . . .	400
10-6. Жидкое стекло . . . . .	402
10-7. Аквадаг . . . . .	403
<b>Глава одиннадцатая. Начальные операции сборки ламп</b> . . . . .	406
11-1. Изготовление ножек . . . . .	406
11-2. Операции перед монтажом спиралей . . . . .	424

11-3. Монтаж спиралей . . . . .	428
11-4. Операции после монтажа спиралей . . . . .	441
11-5. Заварка ламп . . . . .	445
<b>Глава двенадцатая. Откачка и наполнение ламп</b> . . . . .	461
12-1. Физика откачки вакуумных ламп . . . . .	461
12-2. Физика откачки и наполнения газонаполненных ламп . . . . .	464
12-3. Вакуумные насосы . . . . .	470
12-4. Вакуумные установки . . . . .	486
12-5. Вакуумные материалы . . . . .	501
12-6. Вакуумная арматура . . . . .	506
12-7. Вакуумный контроль . . . . .	513
12-8. Брак при откачке и наполнении ламп . . . . .	522
<b>Глава тринадцатая. Заключительные операции сборки ламп</b> . . . . .	532
13-1. Цокование ламп . . . . .	532
13-2. Припойка и приварка выводов . . . . .	540
13-3. Фокусирование ламп . . . . .	545
13-4. Аблиц и обжиг вакуумных ламп . . . . .	549
13-5. Обжиг газонаполненных ламп . . . . .	555
13-6. Брак при обжиге ламп . . . . .	562
13-7. Маркировка и внешняя отделка ламп . . . . .	579
13-8. Упаковка ламп . . . . .	583
<b>Глава четырнадцатая. Контроль и испытания ламп</b> . . . . .	588
14-1. Стандарты и технические условия на лампы . . . . .	588
14-2. Световые и электрические измерения ламп . . . . .	591
14-3. Визуальный контроль ламп . . . . .	601
14-4. Испытание ламп на срок службы . . . . .	603
14-5. Механические и климатические испытания ламп . . . . .	611
14-6. Технологическая выдержка ламп . . . . .	617
<b>Глава пятнадцатая. Организация производства ламп</b> . . . . .	619
15-1. Специализация и кооперирование производства . . . . .	619
15-2. Поточный метод производства . . . . .	622
15-3. Организационная структура производства . . . . .	625
Литература . . . . .	626
Алфавитный указатель . . . . .	629