

6П2.19  
Д 33  
УДК 621.32.002

Денисов В. П.

Д 33 Производство электрических источников света.  
М., «Энергия», 1975.

488 с. с ил.

В книге излагается комплекс вопросов, связанных с производством электрических источников света. Приведены характеристики свойств материалов, используемых для изготовления ламп. Описаны основные технологические процессы заготовительных, сборочных и контрольно-измерительных операций.

Книга предназначена для бригадиров, мастеров и инженерно-технических работников электроламповых заводов, а также может быть полезна в качестве пособия студентам вузов и учащимся техникумов по специальности «Светотехника и источники света».

30310-339  
051(01)-75 206-75

6П2.19

© Издательство «Энергия», 1975 г.

ВЛАДИМИР ПЕТРОВИЧ ДЕНИСОВ  
ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ  
ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Редактор С. И. Левин  
Редактор издательства И. В. Антик  
Обложка художника В. И. Карпова  
Технический редактор Т. А. Маслова  
Корректор О. И. Трушля



Сдано в набор 26/XII 1974 г. Подписано к печати 25/III 1975 г.  
Т-06520 Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub> Бумага типографская № 2  
Усл. печ. л. 25,62 Уч.-изд. л. 28,95  
Тираж 6500 экз. Зак. 1046 Цена 1 р. 68 к.

Издательство «Энергия», Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Московская типография № 10 Союзполиграфпрома  
при Государственном комитете Совета Министров СССР  
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.  
Шлюзовая наб., 10.

## ПРЕДИСЛОВИЕ



За последний период светотехника, помимо решения задач освещения, все более широко используется в различных отраслях народного хозяйства, на транспорте, в науке и технике. Трудно назвать какую-либо отрасль, где бы не использовались достижения современной светотехники. Все это обусловлено развитием прежде всего производства электрических источников света.

Для целей общего освещения за последние годы значительно расширены ассортимент и объемы производства наиболее экономичных источников света — газоразрядных ламп, к которым относятся люминесцентные лампы, дуговые ртутные лампы с исправленной цветностью (ДРЛ), ртутные лампы с йодидами металлов, натриевые лампы высокого давления и др. Из года в год увеличивается доля светового потока газоразрядных ламп, которая в 1975 г. составит около 70%.

Исследовательскими организациями проводится большая работа по увеличению экономичности и улучшению эксплуатационных характеристик ламп. За последние несколько лет световая отдача массовых источников света — люминесцентных ламп увеличилась почти в полтора раза, а продолжительность горения — более чем вдвое.

В минувшей пятилетке освоена в производстве серия галогенных ламп накаливания. Они, полностью сохраняя положительные качества ламп накаливания, обладают дополнительными преимуществами: более стабильным световым потоком, большей световой отдачей и повышенной продолжительностью горения, высокой стойкостью к термоударам и механической прочностью.

Для нужд медицины и вычислительной техники создана серия сверхминиатюрных ламп накаливания, а для сельского хозяйства освоены в производстве лампы-облучатели, имеющие большие значения фитопотока.

Специальные газоразрядные лампы начали широко применяться в химической промышленности для синтеза полимерных материалов.

За последние две пятилетки построены новые электроламповые заводы в Саранске, Майли-Сае, Полтаве, Смоленске, Бресте, Орджоникидзе, расширены и реконструированы действующие заводы. Значительно пополнилась армия рабочих, инженерно-технических работников и ученых электроламповой промышленности.

Развитие производства и техники источников света требуют повышения уровня подготовки инженерно-технических работников и рабочих кадров.

Целью этой книги является оказание помощи широкому кругу работников электроламповой промышленности в повышении квалификации в вопросах технологии производства электрических источников света.

В книге изложены основные сведения по применяемым в производстве материалам, описаны основные технологические процессы изготовления массовых или специальных источников света. В заключительной главе книги изложены основные технологические требования и особенности производства ламп.

Автор приносит большую благодарность многим работникам электроламповых заводов и ВНИИИС им. Ладыгина за предоставление необходимой технической информации и советы.

Особую признательность приношу редактору книги С. И. Левину, внесшему при редактировании ряд существенных корректив, и старейшему работнику электроламповой промышленности А. К. Милкину, чьи замечания при рецензировании книги были с благодарностью приняты.

*Автор*

## ГЛАВА ПЕРВАЯ ИСТОЧНИКИ СВЕТА



### 1-1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

За последние годы источники света находят все большее применение в народном хозяйстве, в общественной и культурной жизни страны, в развитии оборонной промышленности и в освоении космоса, в различных областях науки и техники.

В настоящее время в стране выпускается около 1500 различных типов источников света.

Основной областью применения источников света является искусственное освещение, на которое в стране ежегодно расходуется 8—10% вырабатываемой электроэнергии. Для эффективной переработки таких громадных количеств электроэнергии в энергию излучения необходимы рациональные источники света. Поэтому за последние годы получили широкое распространение газоразрядные источники света — люминесцентные и ртутные дуговые лампы, натриевые лампы высокого давления и другие, обладающие значительно большей экономичностью, чем лампы накаливания. Так, доля светового потока газоразрядных ламп от всего вырабатываемого светового потока в 1973 г. составила 62% по сравнению с 24% в 1965 г.

С каждым годом промышленностью выпускаются все в больших количествах и в расширяющемся ассортименте лампы накаливания с внутренними зеркально и диффузно отражающими покрытиями, позволяющие более рационально перераспределять их световой поток.

Такие лампы совмещают источник света и светильник, причем лучше, чем обычный светильник, сохраняют свою отражающую способность. Они нашли широкое применение при освещении высоких помещений, в наружном и декоративном освещении, когда необходимо сосредоточить свет в заранее выбранном направлении.

Наиболее массовыми и распространенными источниками света являются лампы накаливания. Широкое распространение ламп накаливания объясняется исключительной простотой и удобством их эксплуатации, универсальностью применения, удовлетворительным спектром излучения и их дешевизной.

Помимо целей общего освещения, отечественной промышленностью выпускается более 800 типоразмеров ламп накаливания специального назначения, отличающихся большим разнообразием технических характеристик. Специальные лампы накаливания изготавливаются на напряжение от долей вольта до 220—250 В, мощностью от долей ватта до 10 кВт, размерами от нескольких миллиметров до 0,5 м.

Для радиоэлектроники, авиации, медицины и других отраслей хозяйства, науки и техники за последние годы разработаны и выпускаются промышленностью сверхминиатюрные лампы накаливания размером меньше рисового зерна, отличительными особенностями которых являются их высокая прочность и надежность.

Специальные лампы накаливания широко используются в сельском хозяйстве для облучения инфракрасными лучами молодняка и птиц (лампы с рубиновым покрытием купола колбы мощностью до 500 Вт).

За последние годы широкое распространение получили галогенные лампы накаливания. Применение галогенных ламп возросло особенно в области фото- и киносъемочного освещения, в осветительных установках зданий и аэродромов, прожекторной технике, авиации, сельском хозяйстве и др. Поскольку галогенные лампы являются высокоинтенсивными источниками инфракрасного излучения, то они нашли применение для нагрева поверхностей, термокопирования, термообработки, пайки, сушки различных изделий, материалов и покрытий и т. д.

Как уже отмечалось, газоразрядные лампы за последнее время находят все большее и большее применение как для целей общего освещения, так и для решения ряда задач в народном хозяйстве, медицине, науке и технике.

Газоразрядные лампы имеют в 4—5 раз большую световую отдачу, чем лампы накаливания, не говоря о том, что их продолжительность горения в 10—15 раз больше, чем у ламп накаливания.

Для целей общего освещения широко применяются люминесцентные лампы, дуговые ртутные лампы (ДРЛ), а в последнее время внедряются дуговые ртутные лампы высокого давления с добавками йодидов металлов (натрия, таллия, индия). Эти лампы в сравнении с лампами ДРЛ имеют более разнообразный спектральный состав излучения и вдвое большую световую отдачу.

В самые ближайшие годы в стране получат широкое распространение натриевые лампы высокого давления, которые имеют световую отдачу в 2,2 раза и продолжительность горения на 20—30% большие, чем лампы ДРЛ.

Для освещения больших пространств (стадионов, площадей, карьеров, аэродромов и др.) применяются так называемые трубчатые дуговые ксеноновые лампы (ДКСТ) мощностью от 5 до 50 кВт, имеющие огромные световые потоки.

Помимо общего освещения, газоразрядные лампы нашли применение в различных отраслях народного хозяйства, медицине, науке и технике.

В зависимости от наполнения (газа или пара) и условий разряда газоразрядные лампы могут иметь высокоэффективное излучение в любой части не только видимого, но также ультрафиолетового и инфракрасного спектров, что открыло им широкие возможности применения.

Ртутные дуговые трубчатые лампы высокого давления (ДРТ), излучающие благодаря кварцевым колбам энергию преимущественно в ультрафиолетовой области спектра, можно с успехом использовать как для медицинских (физиотерапия), так и технических (фотохимия, спектроскопия, люминесцентный анализ и др.) целей.

Ртутные дуговые шаровые лампы сверхвысокого давления (ДРШ) обладают высокой плотностью излучения, яркость разрядного промежутка достигает больших величин, недоступных для ламп накаливания. Это качество ртутных ламп используется в различных оптических приборах для получения узкого пучка света большой интенсивности. Они также могут быть использованы в качестве интенсивных источников ультрафиолетовой энергии.

Газоразрядные ксеноновые лампы сверхвысокого давления (ДКСШ, ДКСР), обладающие большой яркостью и непрерывным излучением в ультрафиолетовой, види-

мой и ближней инфракрасной областях, используются в кинопроекционной аппаратуре и прожекторах.

Широкое и разнообразное применение нашли газоразрядные импульсные лампы, дающие вспышки оптического излучения высокой плотности и очень малой длительности. Они применяются при фотографировании и скоростной киносъемке, в стробоскопах, в светосигнальных установках, оптической дальнометрии, для оптической накачки квантовых генераторов и т. д.

## 1-2. КЛАССИФИКАЦИЯ И ПРИНЦИП РАБОТЫ

Электрические источники света служат для преобразования электрической энергии в оптическое излучение.

По характеру физических процессов в них электрические источники света подразделяются на две основные группы — лампы накаливания и газоразрядные лампы.

### а) ЛАМПЫ НАКАЛИВАНИЯ

Лампы накаливания являются источниками света теплового излучения, генерируемого вольфрамовым телом накала, накаливаемым электрическим током до высокой температуры (2500—3000 К).

Лампы накаливания различаются по мощности, напряжению, световому потоку, конструктивному исполнению, габаритам, газовому наполнению, характеру светотражающей и светопропускающей способности колбы и др.

Они делятся на две большие группы:

лампы накаливания общего назначения, используемые для общего и местного освещения в быту, промышленности и наружного освещения;

лампы накаливания специальные, характеризующиеся особым конструктивным исполнением, большой точностью и стабильностью световых и электрических параметров или рядом других особенностей, определяемых спецификой их применения.

**Лампы накаливания общего назначения.** В эту группу входят лампы накаливания для общего освещения (на стандартное и нестандартное напряжения, лампы с повышенной световой отдачей), лампы для местного освещения, лампы с зеркальным и диффузным покрытиями (лампы-светильники) и лампы накаливания декоративные, конструкция которых изображена на рис. 1-1,

Лампы накаливания общего назначения включаются параллельно в электрическую сеть напряжением 127 и 220 В. Выпускаются также лампы на нестандартные напряжения 110, 135, 180, 230 и 240 В. Лампы с криптоновым наполнением выпускаются мощностью от 40 до 100 Вт, имеют в сравнении с обычными лампами световую отдачу на 15% больше и свет, более близкий к естественному (рис. 1-1,б). Лампы этой группы выпускаются в колбах из прозрачного стекла, а также из матирован-

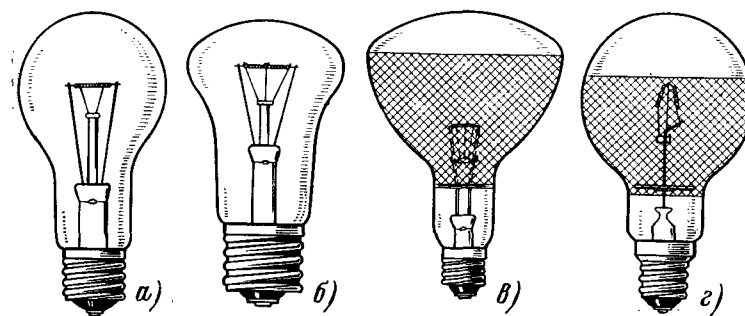


Рис. 1-1. Лампы накаливания общего назначения.

а — общего назначения по ГОСТ 2239-70; б — криптоновая; в — зеркальная лампа с глубоким излучением; г — зеркальная лампа с широким излучением.

ного или окрашенного светорассеивающей краской. Потери светового потока ламп, колбы которых матированы или окрашены в опалиновый цвет, не превышают 3%, а окрашенных в молочный цвет — 20%.

Лампы накаливания для местного освещения по условиям техники безопасности выпускаются на напряжения 12 и 36 В. Тело накала этих ламп обладает повышенной механической прочностью к ударным и вибрационным нагрузкам. Изготавливаются они в прозрачных (реже в матированных) колбах, а также с диффузным или зеркальным покрытием, за счет чего на рабочем месте создается в 2—3 раза большая освещенность, чем от лампы той же мощности без отражающего покрытия.

Зеркальные лампы (лампы-светильники) за счет формы и отражающего покрытия колбы создают заданное пространственное распределение светового потока. Отражатели ламп с концентрированным светораспределением (рис. 1-1,в) имеют параболическую форму, внутренняя поверхность покрыта зеркальным слоем, и купол мати-

рован. Световой поток, отраженный зеркальным слоем, выходит сконцентрированным через матированный купол баллона, благодаря этому даже при большой высоте подвеса ламп на рабочих поверхностях создаются достаточные освещенности.

Для рационального освещения больших территорий промышленностью выпускаются лампы-светильники в колбах особой формы, имеющие широкое симметричное светораспределение (рис. 1-1,з).

**Лампы накаливания специального назначения.** Эта группа ламп классифицируется в основном по их применению — автомобильные, самолетные, прожекторные, кинопроекционные, коммутаторные, сигнальные и другие группы ламп.

Исключение составляют лишь немногие группы, например галогенные, сверхминиатюрные, цилиндрические, которые применяются для различных целей.

В зависимости от применения специальных ламп к ним предъявляются специфические требования по стабильности световых и электрических параметров, виброустойчивости, ударопрочности, термостойкости и ряд других. Специальные лампы имеют свои характерные конструктивные особенности. На рис. 1-2 приведены типичные конструкции некоторых основных групп специальных ламп накаливания.

Автомобильные лампы (рис. 1-2,а) изготавливаются на номинальные напряжения 6, 12 и 24 В.

В связи со значительными колебаниями напряжения питания для этих ламп введено понятие расчетного напряжения, эквивалентного среднему напряжению, при котором работает лампа.

К телу накала автомобильных ламп предъявляются повышенные механические требования (допустимы вибрация с частотой 50 Гц и ускорением  $70 \text{ м/с}^2$ ; ударная тряска с частотой 40—100 ударов в минуту и ускорением до  $500 \text{ м/с}^2$ ).

Фарные лампы имеют две спирали (дальний и ближний свет), они изготавливаются со специальными фокусирующими цоколями (см. § 9-2), обеспечивающими точное расположение светового центра главной спирали лампы в фокусе отражателя фары.

К лампам для автомобилей с гусеничным ходом, а также для тракторов и танков предъявляются еще более повышенные требования по механической прочности.

Самолетные лампы (рис. 1-2,б) предназначены для внутреннего освещения самолетов и сигнализации, изготавливаются на максимальном напряжении 28 В. Они рассчитаны на работу при пониженном атмосферном давлении и повышенной относительной влажности окружающего воздуха. Тело накала их обладает большой механической прочностью и выдерживает значительные вибрационные и ударные нагрузки.

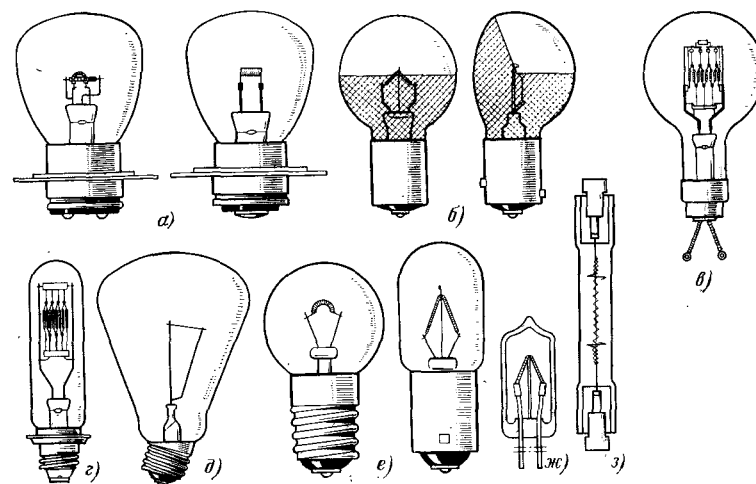


Рис. 1-2. Специальные лампы накаливания.

а — автомобильные; б — самолетная; в — прожекторная; г — кинопроекционная; д — светозмерительная; е — миниатюрные; ж — сверхминиатюрная; з — галогенная.

Прожекторные лампы изготавливаются мощностью от 0,1 до 10 кВт и в зависимости от назначения имеют различную конструкцию (рис. 1-2,в). Все прожекторные лампы рассчитаны на относительно малую продолжительность горения и очень большой световой поток (до 250 клм). Лампы выпускаются с фокусирующими и резьбовыми цоколями, а лампы большой мощности снабжены цилиндрическими цоколями с гибкими выводами или применяют вместо цоколя контактные штыри-выводы типа «бипост».

Кинопроекторные и кинопроекционные лампы (рис. 1-2,г) рассчитаны на малую продолжительность горения и очень большую габаритную яркость (до  $20 \text{ Мкд/м}^2$ ). Все лампы имеют концентрированное тело

накала и выпускаются со штифтовыми, резьбовыми и фокусирующими цоколями. Некоторые лампы имеют смонтированный внутри отражатель.

Для точного воспроизведения световых единиц и градуировки светоизмерительных приборов выпускаются так называемые светоизмерительные лампы накаливания (рис. 1-2, д), специальная конструкция которых обеспечивает устойчивость световых и электрических параметров. Светоизмерительные лампы подразделяются на «лампы силы света» (СИС) и «лампы светового потока» (СИП).

Лампы СИС выпускаются в специальных конических колбах из высококачественного стекла. На колбах не допускаются свиля, пузыри, камни и поверхностные изъяны.

Лампы СИП выпускаются грушевидной и каплеобразной форм.

Малогабаритные — миниатюрные лампы накаливания (рис. 1-2, е) применяются для самых разнообразных целей — карманных фонарей, велосипедов, освещения шкал радиоизмерительных, электроизмерительных и других приборов, сигнализации и т. п. Все миниатюрные лампы являются низковольтными лампами — рабочее напряжение большинства ламп составляет от 1 до 6,5 В и лишь несколько типов ламп имеют напряжение от 12 до 36 В.

Еще меньшие лампы, так называемые сверхминиатюрные (рис. 1-2, ж), за последние годы нашли широкое распространение для различного рода сигнальных устройств, пультов управления, в вычислительной технике, медицине и т. д. Эта группа ламп имеет диаметр колбы 3 мм и менее, длина составляет от 7 до 12 мм. Лампы выпускаются как с цоколем, так и со свободными выводами. Потребляемая мощность составляет менее 1 Вт при рабочем токе несколько десятков миллиампер. Сверхминиатюрные лампы имеют повышенную надежность и рассчитаны на работу при температуре от  $-60$  до  $+120^{\circ}\text{C}$ , любой влажности и пониженном давлении.

За последние годы получили широкое распространение новые источники света — лампы накаливания с йодным, бромистым и фтористым циклами (галогенные лампы), имеющие большие преимущества перед обычными лампами накаливания (рис. 1-2, з).

Рассмотрим для примера принцип работы галогенной лампы с йодным циклом: испаряющиеся с поверхности тела накала атомы вольфрама осаждаются на стенках

колбы и химически взаимодействуют с парами йода, образуя газообразный йодид вольфрама  $\text{WJ}_2$ ; затем газообразный йодид вольфрама переносится в зону раскаленной спирали и вблизи ее разлагается на вольфрам и йод; частицы вольфрама осаждаются на тело накала, а частицы йода возвращаются к стенкам колбы, где снова вступают в цикл переноса. Образование и испарение йодидов вольфрама может происходить только при высоких температурах (температура стенок колбы  $500-700^{\circ}\text{C}$ , температура тела накала не ниже  $2500^{\circ}\text{C}$ ).

Такие лампы обладают значительным преимуществом перед обычными лампами накаливания:

возможна концентрация повышенной мощности в колбе малого объема (объем в  $50-150$  раз меньше, чем у обычной лампы);

световая отдача и цветовая температура практически постоянны на протяжении всей продолжительности горения (колба остается практически прозрачной);

имеют повышенную световую отдачу или увеличенную продолжительность горения;

отличаются высокой механической прочностью и стойкостью к термоударам (не чувствительны к резким перепадам температур и атмосферным осадкам).

Галогенные лампы накаливания в отличие от других групп специальных ламп классифицируются не по применяемости, а существуют как самостоятельная группа, отличающаяся конструктивно-технологическими признаками и физическими принципами работы.

#### 6) ГАЗОРАЗРЯДНЫЕ ЛАМПЫ

Газоразрядная лампа — это прибор, в котором излучение оптического диапазона спектра возникает в результате электрического разряда в атмосфере инертных газов, паров металлов или их смесей.

Газоразрядные лампы можно подразделить на семь основных групп:

люминесцентные лампы;

дуговые лампы низкого давления;

дуговые ртутные лампы высокого и сверхвысокого давления;

дуговые ртутные лампы с йодидами металлов;

дуговые ксеноновые лампы высокого давления;

импульсные источники света;

дуговые натриевые лампы высокого давления.

**Люминесцентные лампы.** Люминесцентные лампы представляют собой источники света, в которых ультрафиолетовое излучение разряда в парах ртути превращается при помощи слоя люминофора, нанесенного на внутреннюю поверхность колбы, в видимое излучение различной цветности.

Схематически конструкция люминесцентной лампы изображена на рис. 1-3, а. Она представляет собой ци-

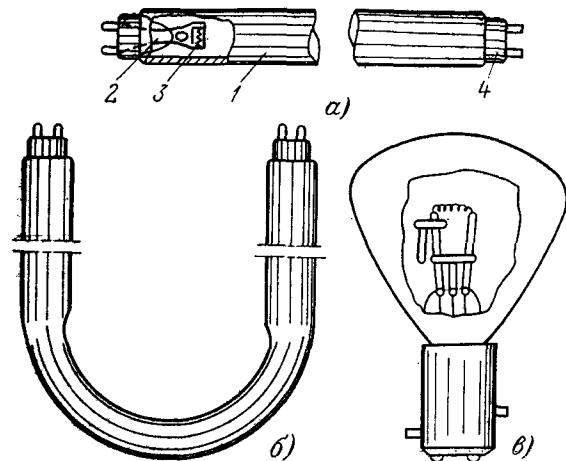


Рис. 1-3. Люминесцентные лампы.

а — лампа мощностью 40 Вт; б — U-образная лампа; в — лампа УФО.

линдрическую стеклянную трубку 1, внутренние стенки которой покрыты равномерным слоем люминофора. В оба конца трубки герметично впаяны ножки 2 со смонтированными на них катодами 3. На концах трубки плотно закрепляются с помощью специальной мастики цоколи 4.

При включении лампы катоды ее нагреваются и эмитируют электроны, которые под действием приложенного к лампе напряжения движутся, сталкиваясь с атомами ртути, ионизируя их. Высвобожденные электроны ионизируют новые атомы, и тем самым создаются лавины электронов и ионов, в результате чего зажигается газовый разряд.

При столкновении электрона с атомом, когда электрон имеет энергию, меньшую, чем энергия ионизации, происходит возбуждение атома, т. е. перевод его на более высокий энергетический уровень. При возвращении ато-

ма на свой прежний энергетический уровень (в возбужденном состоянии атом существует очень короткое время) происходит резонансное излучение, которое зависит от рода и давления наполняющих газов или паров металла и от энергетического уровня возбужденного атома. Резонансное излучение (для ртути ультрафиолетовое), достигнув слоя люминофора, возбуждает его свечение.

В люминесцентных лампах используется резонансное излучение ртутного разряда низкого давления — давление ртутного пара 1—1,3 Па ( $10^{-2}$  мм рт. ст.) при малых токах примерно 0,1 А/см<sup>2</sup>.

Люминесцентные лампы подразделяются на две основные группы: люминесцентные лампы общего назначения и люминесцентные лампы специального назначения.

**Люминесцентные лампы общего назначения** применяются для промышленного и уличного освещения, освещения административных и бытовых помещений, рекламного и сигнального освещения и других целей.

Люминесцентные лампы общего освещения по форме газового разряда и рабочему напряжению подразделяются на следующие три основные группы:

- 1) люминесцентные лампы дугового разряда на рабочее напряжения до 120 В;
- 2) люминесцентные лампы дугового разряда на рабочее напряжения до 750 В;
- 3) люминесцентные лампы тлеющего разряда с холодными катодами.

Лампы первой группы получили наибольшее распространение (рис. 1-3, а). Такие лампы выпускаются на мощности от 3 до 200 Вт и имеют длину от 0,25 до 2,4 м. Форма колбы может быть различной — прямой, изогнутой, кольцевой, U-образной (рис. 1-3, б), виткообразной и др.

Из прямых люминесцентных ламп можно выделить так называемую группу малогабаритных ламп, имеющих мощность от 3 до 13 Вт и диаметр колбы 16 мм и группу мощных ламп — 125, 150, 200 Вт и выше, имеющих, как правило, диаметр колбы 54 мм.

Целесообразно выделить в отдельную группу светонаправляющие лампы — диффузно отражающие люминесцентные лампы. Перед нанесением люминофорного слоя две трети внутренней поверхности колб таких ламп покрывается рефлекторным слоем, имеющим высокий коэффициент отражения, который выполняет роль внутренне-

го диффузного отражателя. Большая часть светового потока лампы, отражаясь от рефлекторного слоя, проходит через часть колбы, покрытую только люминофором (выходное окно), за счет чего сила света в направлении выходного окна по сравнению с обычной лампой увеличивается на 70—80%.

Люминесцентные лампы подразделяются по цветности — дневная (ЛД), холодно-белая (ЛХБ), белая (ЛБ), тепло-белая (ЛТБ). Лампы цветовых тонов с улучшенным спектром излучения, обеспечивающим более правильную цветопередачу, имеют дополнительную букву Ц, например ЛДЦ. К таким лампам предъявляются высокие требования к качеству цветопередачи. Они нашли широкое применение в осветительных установках полиграфических, текстильных, лакокрасочных и других предприятий, в картинных галереях, цветном телевидении и т. п.

Для целей декоративного и рекламного освещения применяются цветные люминесцентные лампы (ЛК, ЛГ, ЛЗ, ЛЖ, ЛР и др.), имеющие соответствующие цвета — красный, голубой, зеленый, желтый, розовый и др. Цвет ламп обусловлен подбором соответствующих люминофоров и их смесей, с помощью которых можно получить многообразие цветов.

Лампы второй группы изготавливаются мощностью от 18 до 96 Вт; они имеют самокалящиеся активированные катоды и форму в виде более длинных и узких трубок, чем лампы первой группы. Лампы этого типа имеют несколько более высокую световую отдачу, но требуют повышенных напряжений питания (450—750 В).

Лампы третьей группы выполняются в виде узких и длинных трубок, которым придают различные конфигурации. Применяются в основном для рекламного и сигнального освещения. В лампе используется тлеющий разряд с холодными катодами при малых токах от 10 до 20 мА. Лампы работают при высоких питающих напряжениях — несколько тысяч вольт.

**Люминесцентные лампы специального назначения.** К этой группе ламп можно отнести люминесцентные лампы дугового разряда со спектром излучения, лежащем в ультрафиолетовой области (эритемные лампы и лампы типа УФО).

Эритемные лампы изготавливают по типу обычных прямых люминесцентных ламп мощностью 15, 30 и 40 Вт.

Отличие эритемных ламп от обычных заключается в том, что их колбы изготавливаются из специального увиолевого стекла, прозрачного для ультрафиолетового излучения люминофора в области 270—280 нм, и что применяется специальный люминофор (на основе фосфата кальция, активированного таллием), имеющий максимум излучения в области 300—310 нм. Такие лампы широкое распространение получили в медицине.

Лампы типа УФО с излучением в области 350—370 нм используются для возбуждения различных люминофоров (светосоставов). Лампы имеют колбу конической формы, на внутреннюю поверхность которой нанесен слой люминофора (рис. 1-3, в). Катод представляет собой вольфрамовую спираль, покрытую слоем оксида, анод имеет форму кольца. В лампе используется только область прикатодного свечения. Лампы включаются в сеть постоянного тока напряжением 24—28 В.

**Лампы низкого давления.** Газоразрядные лампы низкого давления можно подразделить на три основные группы:

- дуговые паросветные лампы;
- дуговые газосветные лампы;
- лампы тлеющего разряда.

В первую группу входят натриевые лампы, бактерицидные, ртутные лампы тлеющего разряда в кварцевых трубках, кадмиевые и цинковые лампы, таллиевые, цезиевые, рубидиевые и калиевые лампы, спектральные лампы и лампы специального назначения (высокочастотные безэлектродные и др.). Лампы низкого давления с парами различных металлов являются источниками линейчатого (резонансного) излучения в различных участках спектра и поэтому не пригодны для общего освещения. В этих лампах применяются металлы, которые имеют достаточную упругость паров для поддержания разряда в лампе при ее рабочей температуре. К таким металлам относятся ртуть, натрий, цезий, рубидий, калий, цинк, кадмий, таллий и др. (рис. 1-4, а, б).

Для облегчения зажигания эти лампы наполняют инертными газами или их смесями при давлении в сотни паскалей. В момент включения, когда давление паров металла мало, разряд происходит в инертном газе. В дальнейшем лампа разогревается, плотность паров металлов повышается, свечение паров постепенно вытесняет излучение наполняющего газа, и при рабочих температу-



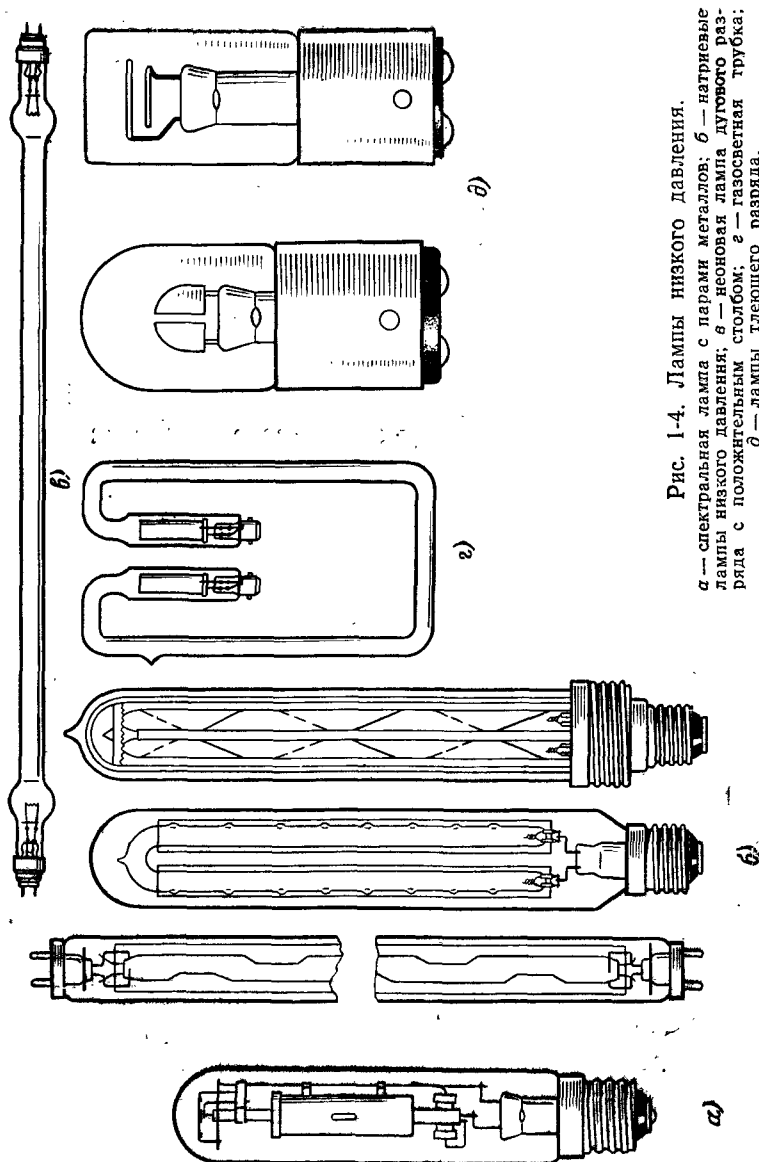


Рис. 1-4. Лампы низкого давления.

*а* — спектральная лампа с парами металлов; *б* — натриевые лампы низкого давления; *в* — неоновая лампа дугового разряда с положительным столбом; *г* — газосветная трубка; *д* — лампы тлеющего разряда.

рах свечение наполняющего газа практически полностью исчезает. Происходят в основном возбуждение и ионизация атомов металлов поскольку их потенциалы возбуждения и ионизации значительно ниже потенциалов возбуждения и ионизации атомов инертных газов.

Газосветные лампы низкого давления подразделяются по форме разряда на лампы тлеющего и дугового разряда.

Лампы тлеющего разряда представляют собой стеклянные трубки диаметром от 10 до 30 мм и длиной от 0,1 до 3 м. По концам трубок впаяны холодные катоды (сталь армко, никель, алюминий). Лампы наполняются до давления в несколько сотен паскалей инертными газами или их смесями (выпускаются лампы, у которых на внутреннюю стенку трубки наносятся различные люминофоры и вводится дополнительно ртуть). Такие лампы работают при малых токах (максимально 200 мА) и при высоких напряжениях (до 13 кВ).

Световая отдача ламп тлеющего разряда составляет 9—11 лм/Вт.

Лампы дугового разряда представляют собой стеклянные трубки диаметром от 15 до 60 мм и длиной от нескольких десятков до 100—150 см. По концам трубок впаяны самокалящиеся активированные катоды. Такие лампы работают при токах 0,5—100 А и имеют световую отдачу 7—18 лм/Вт.

Спектральные газосветные лампы по своим размерам, конструкции и электрическим характеристикам подобны спектральным лампам с парами металлов. Для наполнения ламп применяют неон, гелий и др. Колба имеет окошко из тонкого увиолевого стекла, прозрачного для ультрафиолетового излучения. Катод прямонакальный, оксидный.

Лампы тлеющего разряда (катодного свечения) представляют собой стеклянные колбы, в которые впаяны по два электрода из никеля, молибдена, алюминия, расположенных на близком расстоянии друг от друга (рис. 1-4, д). Форма и размеры электродов определяются назначением лампы. Для снижения напряжения зажигания разряда и уменьшения катодного падения потенциа-

ла поверхность катода у большинства ламп покрывается тонким слоем активирующего вещества (цезий, оксидное покрытие и др.).

Лампы наполняются инертными газами или их смесями до давления от нескольких сотен до нескольких тысяч паскалей.

Лампы включаются в цепь последовательно с активным сопротивлением для ограничения силы тока (максимально ток составляет 30 мА).

Лампы тлеющего разряда изготавливаются на малые мощности от 0,01 до 10 Вт и рабочие напряжения от 50 до 200 В.

Эта группа ламп предназначена для использования в световой сигнализации различных электротехнических и радиотехнических устройств широкого применения, указателей наличия напряжения и его полярности.

**Ртутные лампы высокого и сверхвысокого давления.** В зависимости от рабочего давления паров ртути различают лампы высокого давления (с давлением от  $2 \cdot 10^3$  до  $2 \cdot 10^5$  Па) и лампы сверхвысокого давления (с давлением свыше  $2 \cdot 10^5$  Па).

Лампы высокого и сверхвысокого давления отличаются от ламп низкого давления значительно более высокими яркостями. Развитие ламп этого класса происходит главным образом по двум направлениям — создания ламп с высокой спектральной энергией излучения в различных участках спектра и ламп, обладающих высокими яркостями.

По форме колб и дуги лампы подразделяются на трубчатые и шаровые с короткой дугой.

По способу охлаждения подразделяются на лампы с естественным и принудительным (чаще водяным) охлаждением.

Существующие ртутные лампы высокой интенсивности можно разделить на шесть основных типов (рис. 1-5), отличающихся по своим физическим и конструктивным признакам:

- 1) трубчатые лампы из тугоплавкого стекла;
- 2) кварцевые трубчатые лампы с давлением до 0,2 МПа;
- 3) ртутно-кварцевые лампы с давлениями 0,3—1,0 МПа;
- 4) капиллярные ртутно-кварцевые лампы сверхвысокого давления с водяным охлаждением;

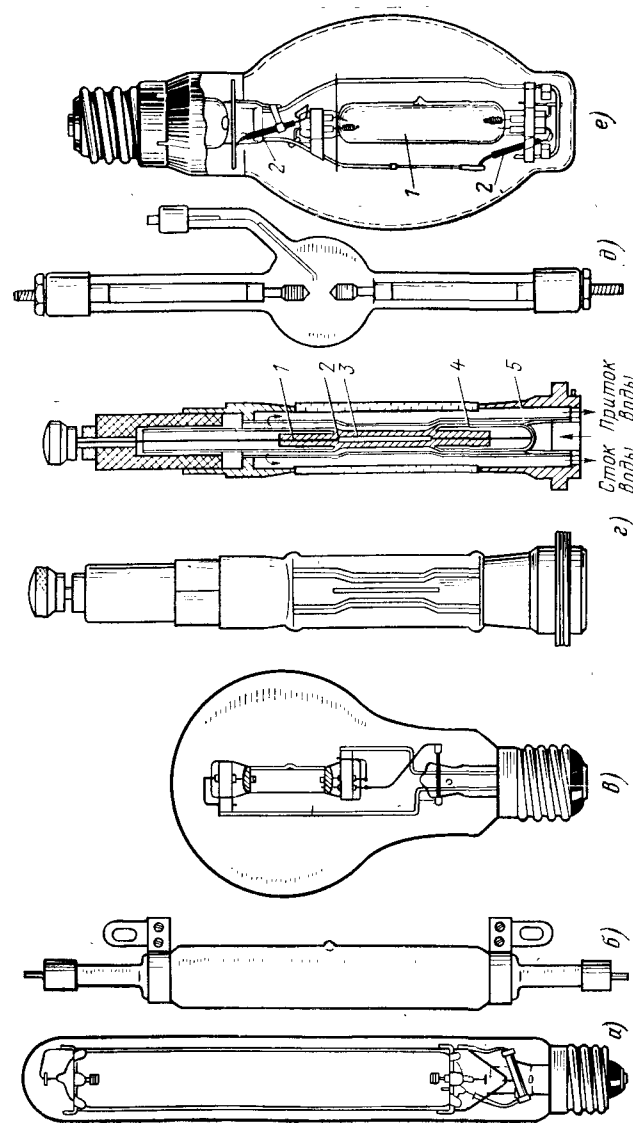


Рис. 1-5. Ртутные лампы высокого и сверхвысокого давления.  
а — ртутная лампа из тугоплавкого стекла; б — кварцевая трубчатая лампа ДРТ; в — ртутно-кварцевая лампа с давлением 0,3—1,0 МПа; г — капиллярная ртутно-кварцевая лампа (1 — впаив в кварцевое стекло; 2 — активированный электрод; 3 — кварцевый капилляр; 4 — защитная кварцевая трубка; 5 — шоколь); д — ртутно-кварцевая шаровая лампа; е — дуговая ртутная лампа с кожаной крышкой (1 — ртутно-кварцевая горелка; 2 — предохранительный резистор).

- 5) кварцевые шаровые лампы с короткой дугой;
- 6) дуговые ртутные лампы высокого давления с исправленной цветностью.

У трубчатых ламп из тугоплавкого стекла (рис. 1-5,а) излучение сосредоточено в видимой и близкой ультрафиолетовой частях спектра. Специальные стекла колб пропускают излучение с длиной волны до 300 нм. Рабочее давление паров ртути составляет от 0,01 до 0,1 МПа (от 0,1 до 1 кгс/см<sup>2</sup>).

Лампы такого типа применяют в светокопировальных машинах.

Кварцевые трубчатые лампы с давлением до 0,2 МПа (рис. 1-5,б) выпускаются под названием ДРТ (дуговая ртутная трубчатая) и представляют собой трубки из кварцевого стекла, по концам которых впаяны вольфрамовые активированные электроды. Лампы наполняются небольшим количеством ртути и аргона.

Кроме видимого излучения, лампы этой группы обладают значительной долей излучения в ультрафиолетовой части спектра.

Лампы ДРТ, являясь мощным источником ультрафиолетового излучения, применяются в медицине (физиотерапия), биологии и технике (фотохимические процессы люминесцентный анализ и т. д.).

Выпускаются также лампы РКС для работы в светокопировальных машинах.

Ртутно-кварцевые лампы с давлениями 0,3—1,0 МПа. Лампы состоят из кварцевых газоразрядных трубок с впаянными по концам основными и зажигающими электродами (рис. 1-5,в). Газоразрядная трубка заключается в стеклянную колбу.

Капиллярные ртутно-кварцевые лампы сверхвысокого давления с водяным охлаждением (рис. 1-5,г) являются источниками света с очень большой яркостью (250—400 Мкд/м<sup>2</sup>). Лампы представляют собой кварцевую трубку с внутренним диаметром 1—4 мм и впаянными с двух концов вольфрамовыми электродами. Расстояние между электродами зависит от мощности лампы. В лампу вводятся ртуть и аргон.

Кварцевая разрядная трубка помещается в цилиндрическую колбу с проточной водой.

Лампы работают при высоких напряжениях и изготавливаются мощностью от 0,5 до нескольких киловатт.

Давление паров ртути при работе ламп достигает 7—10 МПа (70—100 кгс/см<sup>2</sup>).

Лампы применяют в проекционной аппаратуре, для «накачки» лазеров и других целей.

Кварцевые шаровые лампы с короткой дугой (рис. 1-5,д) представляют собой толстостенные кварцевые колбы шаровой или цилиндрической формы, в которые впаяны на расстоянии нескольких миллиметров друг от друга по два вольфрамовых активированных электрода. Для облегчения возникновения разряда у некоторых ламп в колбу впивают вспомогательный (боковой) электрод. Лампы наполняют дозированным количеством ртути и инертным газом. Рабочее давление паров ртути составляет в лампах мощностью 50—500 Вт соответственно 8—3 МПа, в лампах мощностью 1—3 кВт — соответственно 2—1 МПа.

Светящаяся часть разрядного промежутка имеет небольшие размеры и высокую яркость (150—500 Мкд/м<sup>2</sup>). Спектр преимущественно линейчатый, излучение в видимой и ультрафиолетовой областях спектра.

Ртутно-кварцевые шаровые лампы выпускаются мощностью до 2 кВт. Они широко используются в различных оптических приборах для получения узкого пучка света большой интенсивности.

Дуговые ртутные лампы высокого давления с исправленной цветностью (ДРЛ) являются наиболее массовыми и применяются для освещения производственных помещений и наружного освещения. Они представляют собой (рис. 1-5,е) стеклянную колбу, внутри которой смонтирована ртутно-кварцевая разрядная трубка, на внутреннюю поверхность колбы нанесен тонкий слой люминофора, который поглощает ультрафиолетовое излучение ртутного разряда и преобразует его в видимое излучение, исправляя его цветность.

Лампы ДРЛ выпускаются с мощностями 80, 125, 250, 400, 700, 1000 и 2000 Вт.

Лампы включаются в сеть переменного тока с напряжением 220 В и частотой 50 Гц через соответствующие пускорегулирующие аппараты.

**Дуговые ртутные лампы с йодидами металлов (ДРИ).** За последние годы разработана серия ртутных ламп с йодидами металлов, обладающих значительно более высокой эффективностью и более разнообразным спектральным составом излучения по сравнению с существ-

вующими ртутными лампами высокого давления. Световая отдача таких ламп по сравнению с лампами ДРЛ в 1,5—2 раза выше.

В лампу ДРИ вводится элемент или элементы в форме простейших химических соединений, имеющих высокую упругость пара. При достаточной температуре стенок колбы эти соединения испаряются и попадают в зону разряда, где под действием высокой температуры происходит их разложение на атомы, возбуждение и излучение.

Диффундируя за пределы разрядного канала в зону с более низкой температурой, атомы вновь воссоединяются в первоначальные соединения, и образуется замкнутый цикл (или циклы), который поддерживает достаточную упругость пара в разряде.

Наиболее подходящими для создания таких замкнутых циклов являются галоидные соединения многих элементов и особенно их йодидов (йодид натрия  $\text{NaI}$ , йодид таллия  $\text{TlI}$ , йодид индия  $\text{InI}$  и др.).

Конструкция ламп ДРИ схожа с конструкцией ламп ДРЛ, разница заключается в том, что внешняя оболочка (колба) лампы не покрывается слоем люминофора.

**Газосветные (ксеноновые) лампы высокой интенсивности.** В газосветных лампах высокой интенсивности дуговой разряд происходит в тяжелых инертных газах (аргоне, криптоне и ксеноне) при больших плотностях тока и давлениях от нескольких сотен до нескольких миллионов паскалей.

Электрический разряд при высоком и сверхвысоком давлениях (при больших плотностях тока) сопровождается выделением лучистого потока в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной областях сплошного спектра, обеспечивающий хорошую цветопередачу освещаемых объектов. В инфракрасной области, кроме сплошного спектра, имеются и мощные линии.

При высоких плотностях тока разряд имеет возрастающую вольт-амперную характеристику, благодаря чему удается стабилизировать разряд в газоразрядных лампах при помощи небольших балластных сопротивлений или без балласта.

В период разгорания электрические и световые характеристики не зависят от температуры колбы, поскольку средняя плотность газа в лампе всегда постоянна независимо от теплового режима лампы.

Световая отдача разряда возрастает с ростом удельной мощности, диаметра трубки и молекулярной массы инертного газа.

Газоразрядные лампы высокой интенсивности подразделяются на следующие основные группы: лампы высокого давления трубчатой формы и лампы высокого и сверхвысокого давлений, с короткой дугой в колбах шаровой или близкой к ней формы (рис. 1-6).

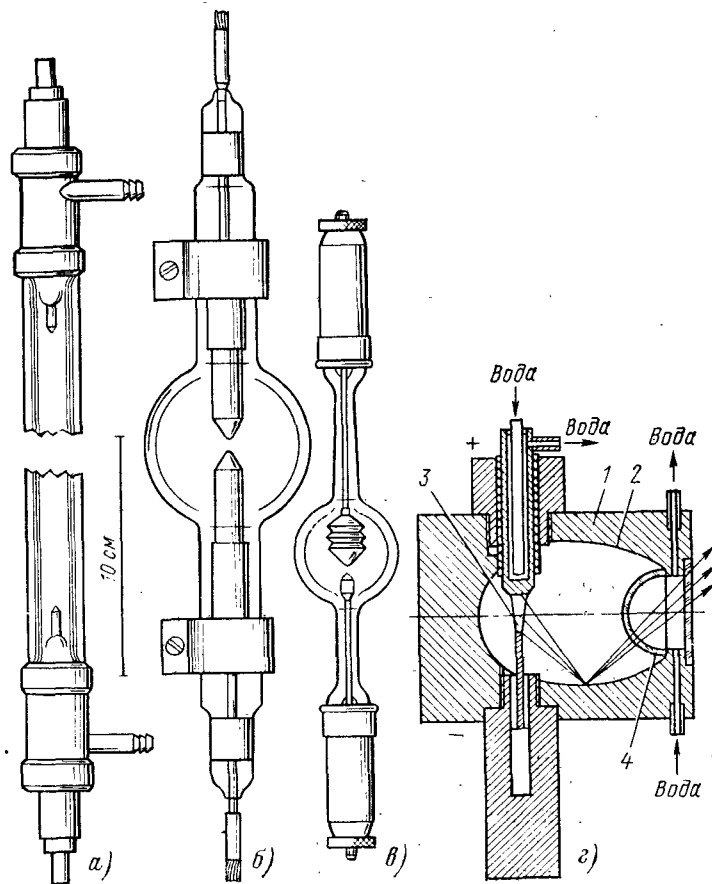


Рис. 1-6. Газоразрядные лампы высокой интенсивности.

а — ксеноновая трубчатая лампа; б — ксеноновая шаровая лампа переменного тока; в — то же постоянного тока; г — схема металлической разборной лампы с внутренней оптикой; 1 — металлический корпус, охлаждаемый водой; 2 — зеркальная поверхность; 3 — дуга; 4 — купольное выходное окно, охлаждаемое водой.

Как трубчатые, так и шаровые ксеноновые лампы выпускаются с естественным и водяным охлаждением.

Лампы трубчатой формы изготавливаются на мощности от 1 до 100 кВт. Конструкция ламп этой группы изображена на рис. 1-6, а. Световая отдача трубчатых ксеноновых ламп составляет от 20 до 50 лм/Вт.

Шаровые ксеноновые лампы представляют собой кварцевую колбу, в которую впаяны (или введены в разборных лампах) два вольфрамовых электрода (рис. 1-6, б, в). Расстояние между электродами составляет 3—6 мм (у специальных ламп 0,3—2,5 мм).

В нерабочем состоянии лампы имеют давление ксенона от 0,1 до 1,5 МПа (1—15 кгс/см<sup>2</sup>).

Ксеноновые шаровые лампы имеют большие яркости (от 90 до 10 000 Мкд/м<sup>2</sup>). Они нашли широкое применение в кинопроекционной аппаратуре, прожекторах, оптических приборах, полиграфии, медицине, биологии и т. д.

Питание ламп может осуществляться от сети постоянного тока через активные балластные сопротивления, от генератора постоянного тока с мягкой внешней вольт-амперной характеристикой и от сети переменного тока через выпрямитель.

Шаровые лампы выпускаются мощностью от 0,05 до 20 кВт.

Лампы мощностью свыше 10 кВт изготавливаются с разборным вакуум-плотным вводом и с водяным охлаждением электродов. Разборная конструкция ламп позволяет пропускать практически любые токи, делать колбу меньшего диаметра, более точно выдерживать расстояние между электродами и другие геометрические параметры. Появляется возможность создания серии ксеноновых шаровых ламп мощностью до 30 кВт.

В последние годы разработана металлическая разборная ксеноновая лампа с короткой дугой мощностью 30 кВт с внутренней эллипсоидной отражающей поверхностью и купольным выходным окном (рис. 1-6, г), имеющая давление ксенона несколько миллионов паскалей.

**Импульсные источники света.** Импульсная лампа — это газоразрядный источник света, у которого между электродами в необходимые моменты времени возникают в газовом промежутке мощные импульсные (искровые) электрические разряды с интенсивным световым излучением.

Основным способом получения вспышек светового излучения является разряд конденсатора через газовый промежуток. В зависимости от конструкции лампы и электрических параметров схемы можно получать вспышки различной длительности (от  $10^{-2}$  до  $10^{-8}$  с) и яркости (до  $10^5$ — $10^6$  Мкд/м<sup>2</sup>), т. е. с различным лучистым потоком и энергией.

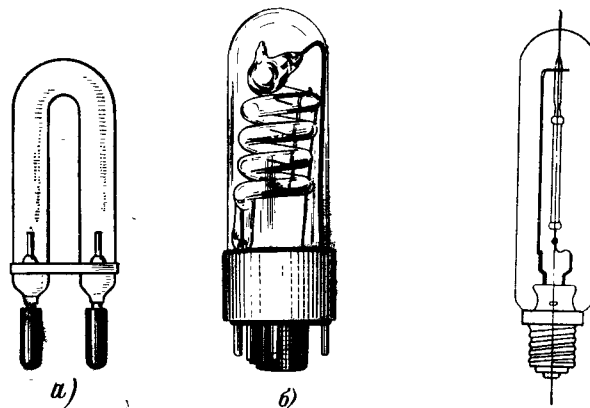


Рис. 1-7. Импульсные лампы.  
а — мощностью 120 Дж; б — мощностью 500 Дж.

Рис. 1-8. Натриевая лампа высокого давления в колбе из поликора.

Лампы обладают высокой световой отдачей, хорошей стабильностью световых и электрических параметров, благоприятным для ряда применений спектральным составом излучения и др.

Самостоятельный разряд в газе возбуждается специальным маломощным импульсом высокого напряжения, подаваемым на электрод зажигания или непосредственно на оболочку лампы. Применяется также поджиг импульсом по основной цепи.

По конструктивному признаку импульсные лампы подразделяются на трубчатые и шаровые (рис. 1-7).

Лампы представляют собой стеклянную (или кварцевую) колбу с впаянными в нее электродами, наполненную инертным газом или их смесями, а также в некоторых специальных лампах парами металлов и веществ.

Трубчатые импульсные лампы обладают более высокой световой отдачей, но имеют вспышки меньшей яркости и большей длительности (от  $10^{-5}$  до  $10^{-2}$  с), чем шар-

ровые лампы. Для концентраций тела свечения трубчатым лампам придают U-образную, кольцевую, спиральную или иную форму.

Шаровые лампы имеют специальный зажигающий электрод, расположенный вблизи от одного из основных электродов.

**Газоразрядные лампы высокого давления в колбах из поликристаллической окиси алюминия.** Натриевые лампы высокого давления представляют собой газоразрядную трубку из поликристаллической окиси алюминия с внутренним диаметром 6 мм и длиной 120 мм, смонтированную внутри стеклянной колбы (рис. 1-8).

Вакуум-плотные вводы выполнены в виде металлических колпачков, соединенных с керамической трубкой при помощи специального припоя. Для откачки и наполнения ламп используется трубочка из нержавеющей стали. Вольфрамовые электроды активированы барием. Амбула с натрием помещается внутри откачной трубки.

Лампа работает в условиях насыщенных паров. Спектр излучения зависит от давления паров натрия, которое определяется по температуре наиболее холодной части откачной трубочки. Так, для натриевой лампы мощностью 400 Вт световая отдача имеет оптимум при давлении около 25 000 Па (200 мм рт. ст.).

## ГЛАВА ВТОРАЯ

### ПРИМЕНЯЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ



#### 2-1. МЕТАЛЛЫ

##### а) ТУГОПЛАВКИЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

Тугоплавкие металлы и их сплавы широко применяются для изготовления деталей и узлов источников света — спиралей ламп накаливания, катодов газоразрядных ламп, вводов, траверс, колпачков, цилиндров, держателей, крючков и т. п.

В эту группу металлов входят вольфрам, молибден, тантал, ниобий, рений, титан и др. Они отличаются очень прочной кристаллической решеткой, высокой температу-

рой плавления, малой скоростью испарения, химической стойкостью при комнатной температуре.

Высокая температура плавления определяет способы получения и обработки этих металлов. В большинстве случаев применяются методы порошковой металлургии или плавка в защитной среде. В последнее время получают все более широкое развитие методы вакуумной металлургии — дуговая плавка, плавка электронным лучом и зонная очистка.

Методы порошковой металлургии позволяют вводить в металл самые разнообразные присадки, в том числе неметаллические (например, для создания определенных условий рекристаллизации).

Температура перехода большинства тугоплавких металлов из пластического состояния в хрупкое значительно выше, чем у обычных металлов, что затрудняет их обработку. Многие металлы этой группы могут подвергаться механической обработке лишь в нагретом состоянии.

**Вольфрам.** Применение вольфрама в электроламповом производстве обусловлено прежде всего его высокими термическими свойствами — высокой рабочей температурой и низкой скоростью испарения. Первая обеспечивает получение высокой световой отдачи ламп, вторая — большую продолжительность горения.

В производстве источников света вольфрам применяется главным образом в виде проволок, прутков и прокатанной жести. Отечественные марки вольфрама по ТУ 48-9-45-67 (ВА, ВМ, ВТ-7, ВТ-15, ВЧ, ВРН и др.) различаются по химическому составу и назначению.

Вольфрам марки ВА с кремнеалюминиевой присадкой применяется для катодов газоразрядных ламп и спиралей всех типов ламп накаливания с рабочей температурой ниже 3300 К.

Вольфрам ВМ с кремнеториевой присадкой применяется для спиралей трамвайных, миниатюрных, самолетных и других ламп с рабочей температурой менее 2700 К, для которых требуется повышенная механическая прочность тела накала при ударах и вибрациях.

Для катодов газоразрядных ламп употребляется также вольфрам с присадкой окиси тория (ВТ-7, ВТ-10, ВТ-15).

Вольфрам марки ВЧ используется для деталей ламп, работающих при низких температурах, не требующих

предварительной обработки при температуре выше 900 °С, а также для деталей, которые должны содержать примеси SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и щелочных металлов меньше, чем в специальных марках вольфрама.

Для менее ответственных деталей — вводов, траверс и т. п. — применяется вольфрам марки ВРН (вольфрам разного назначения).

#### Физические свойства вольфрама

Атомный номер . . . . .	74
Плотность, кг/м <sup>3</sup> . . . . .	19 300
Работа выхода электронов, 10 <sup>-18</sup> Дж . . . . .	0,73 (4,56 эВ)
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м . . . . .	0,055
Температурный коэффициент электрического сопротивления, К <sup>-1</sup> . . . . .	5,1·10 <sup>-3</sup>
Атомная масса . . . . .	183,92
Температура плавления, К . . . . .	3680
Температура кипения, К . . . . .	6200
Теплота плавления, кДж/кг . . . . .	255
Теплота испарения, кДж/кг . . . . .	4953
Температурный коэффициент линейного расширения, К <sup>-1</sup> . . . . .	44·10 <sup>-7</sup>

#### Температурные зависимости физических свойств

	Температура, К				
	293	1000	2000	3000	3600
Удельная теплоемкость, кДж/(кг·К) . . . . .	0,14	0,14	0,17	0,18	—
Теплопроводность, Вт/(м·К) . . . . .	130	118	102	—	—
Скорость испарения, г/(см <sup>2</sup> ·с) . . . . .	—	5·10 <sup>-34</sup>	2·10 <sup>-13</sup>	10 <sup>-6</sup>	—
Энергетическая светимость, Вт/см <sup>2</sup> . . . . .	—	0,6	23,6	154,5	350
Яркость нормальная, кд/м <sup>2</sup> . . . . .	—	10 <sup>-2</sup>	2·10 <sup>-2</sup>	1,3·10 <sup>4</sup>	5·10 <sup>4</sup>
Давление насыщенных паров, Па . . . . .	—	—	10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-2</sup>	2,5
Плотность тока эмиссии, мА/см <sup>2</sup> . . . . .	—	10 <sup>-12</sup>	1,0	14,5	10 <sup>3</sup>

#### Механические свойства вольфрама при 293 К

Твердость по Роквеллу (шкала С) . . . . .	37—45
Предел текучести, 10 <sup>10</sup> Па . . . . .	70—80
Предел прочности при растяжении, 10 <sup>10</sup> Па . . . . .	180—410
Модуль упругости, 10 <sup>14</sup> Па . . . . .	2,5—3,3
Модуль сдвига, 10 <sup>14</sup> Па . . . . .	1,4—2,2
Относительное удлинение, % . . . . .	1—4

Вольфрам в сравнении с другими металлами имеет самую малую скорость испарения, самую низкую упругость паров и значительную теплопроводность. Как и другие металлы, он поглощает газы. Вольфрам обладает высокими значениями удельного электрического со-

противления и высоким температурным коэффициентом сопротивления, что дает ему возможность быстро нагреваться до высоких температур при сравнительно малом расходе энергии. Электрическое сопротивление вольфрама сильно возрастает с повышением температуры. Установлено, что ухудшение качества вольфрама марки ВА сопровождается некоторым увеличением удельного электрического сопротивления при комнатной температуре. Удельное электрическое сопротивление вольфрамовых проволок всех диаметров при повышении температуры отжига сначала падает, а при 1900 К и выше начинает повышаться (максимум при 2000—2100 К). Вторично электрическое сопротивление повышается при 2620—2670 К (в тонких вольфрамовых проволоках при более высоких температурах).

Физические свойства вольфрама зависят от формы, размеров и расположения кристаллов. Кристаллическая структура в свою очередь зависит от термической и механической обработки, а также от наличия примесей в металле.

Поскольку вольфрам работает при высоких температурах, очень важно иметь точные сведения об изменении свойств вольфрамовых нитей в зависимости от температуры в условиях вакуума.

Благодаря высокой температуре рекристаллизации и плавления и малой скорости испарения вольфрам используется для тела накала ламп.

Таблица 2-1 дает представление об основных свойствах вольфрама в диапазоне температур от 500 до 3655 К.

Вольфрам обладает наименьшим тепловым расширением из всех чистых металлов. Это важно для изготовления спаев вольфрама с тугоплавкими стеклами, имеющими очень низкие температурные коэффициенты расширения.

При повышении температуры скорость испарения вольфрама в вакууме увеличивается. Скорость испарения чувствительна к изменениям структуры и чистоты вольфрама и снижается, если нить накала окружена атмосферой инертного газа.

Изменение внутренней структуры металла при нагреве называют рекристаллизацией. Рекристаллизацию разделяют на две стадии: первичную, при которой происходит распад волокна и образование мелких кристаллов (рис. 2-1,б), и вторичную (собирающую), при которой

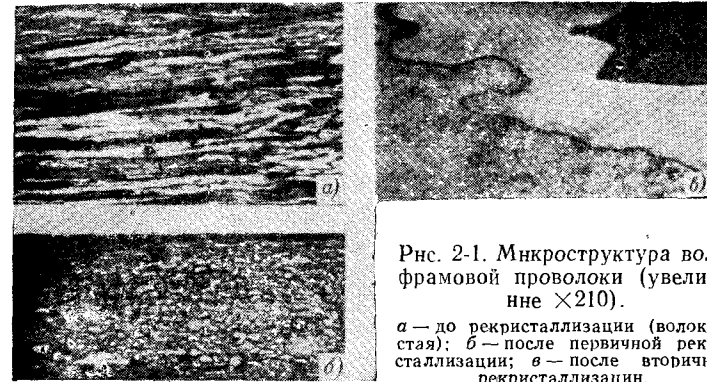
Таблица 2-1

## Зависимость физических свойств вольфрама от температуры

Температура, К	Яркостная температура ( $\lambda=665$ нм), К	Коэффициент монокристаллического лучеиспускания ( $\lambda=665$ нм)	Плотность излучения, Вт/(см <sup>2</sup> )	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Относительное расширение $\left(\frac{l_T - l_{100}}{l_{100}}\right) \cdot 10^{-3}$	Скорость испарения, г/(см <sup>2</sup> ·с)	Давление насыщенных паров, Па	Световая отдача, лм/Вт	Плотность тока эмиссии, А/см <sup>2</sup>	Эффективность электронной эмиссии, А/Вт
1000	966	456	0,60	118	3,2	$5 \cdot 10^{-34}$	—	$6,9 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-15}$	$2 \cdot 10^{-15}$
1200	1149	452	1,63	115	4,1	—	—	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-11}$	$6 \cdot 10^{-12}$
1400	1330	448	3,82	112	5,2	—	—	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-9}$	$2 \cdot 10^{-9}$
1600	1509	443	7,74	109	6,3	—	—	0,4	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-7}$
1800	1684	439	14,15	106	7,5	—	—	1,2	$4 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$
2000	1857	435	23,65	102	8,8	$1,75 \cdot 10^{-13}$	$1,3 \cdot 10^{-9}$	2,8	$1 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-5}$
2200	2026	431	37,20	—	10,1	$1,25 \cdot 10^{-11}$	$9,8 \cdot 10^{-8}$	5,5	$1 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-4}$
2400	2356	423	80,60	—	13,2	$8,79 \cdot 10^{-9}$	$7,6 \cdot 10^{-5}$	14,3	$7 \cdot 10^{-1}$	$8 \cdot 10^{-3}$
2600	2516	419	112,5	—	14,9	$1,12 \cdot 10^{-8}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	20,5	3,5	$3 \cdot 10^{-2}$
3000	2673	415	154,5	—	17	$9,69 \cdot 10^{-7}$	$9,0 \cdot 10^{-3}$	27,2	14	$9 \cdot 10^{-2}$
3200	2827	411	203,0	—	19	$6,67 \cdot 10^{-6}$	$8,1 \cdot 10^{-2}$	34,7	48	0,2
3400	2979	407	264,0	—	21	$3,55 \cdot 10^{-5}$	$3,4 \cdot 10^{-1}$	43,2	142	0,5
3600	3127	404	350	—	—	$1,51 \cdot 10^{-4}$	—	49,4	375	1,0
3655	3165	402	—	—	—	$2,28 \cdot 10^{-4}$	2,4	53,1	480	1,2

завершается рост кристаллов и образуется стабильная структура (рис. 2-1, в).

Значения температур первичной и вторичной рекристаллизации различных марок вольфрамовой проволоки приведены в табл. 2-2.

Рис. 2-1. Микроструктура вольфрамовой проволоки (увеличение  $\times 210$ ).

а — до рекристаллизации (волокнистая); б — после первичной рекристаллизации; в — после вторичной рекристаллизации.

Для правильного подбора режимов термической обработки тела накала необходимо знать температуру начала рекристаллизации. Температура начала рекристаллизации проволоочного вольфрама определяется диаме-

Таблица 2-2

## Температура рекристаллизации вольфрама

Марка вольфрама	Диаметр, мм	Температура рекристаллизации, К	
		Первичной $\pm 50$ К	Вторичной $\pm 50$ К
ВЧ	—	1320	3120
ВА	1,0—0,4 0,3—0,1 0,1—0,03	1720	2920
		1920	2920
		2020	2920
ВМ	0,1 0,1	1620	3020
		2020	3020
ВТ	—	1620	3020
ВК	0,3	1420	2720
ВК	0,3	1720	2720

Примечание. Крупнозернистая структура у проволок марок ВА и ВМ может быть получена и при температуре  $2420 \pm 50$  К при медленном разогреве (подъем температуры от 1350 до 2450 К в течение не менее 3 мин и выдержка 10 мин).



тром проволоки, наличием присадок и примесей. Она зависит от предшествующей механической и термической обработки и меняется в широких пределах.

Для определения начала рекристаллизации проволоочного вольфрама применяют микроструктурный анализ, исследуют термокинетические кривые разупрочнения, измеряют микротвердость, электрическое сопротивление.

С помощью микроструктурного метода можно обнаружить появление видимых зерен — разрешающая способность микроскопа позволяет отметить зерна размером не менее 1 мкм. Одновременно с видимыми изменениями микроструктуры наблюдается изменение физических свойств: предела прочности при растяжении, микротвердости, внутреннего трения, электрического сопротивления, ширины линий рентгеновского спектра. Поэтому возможна косвенная оценка кинетики рекристаллизации по изменению физических свойств металла. Микроструктурный анализ позволяет одновременно выявить и постоянные включения, наличие пустот и т. п.

Физическое металловедение предлагает ряд новых, более чувствительных физических методов оценки температуры начала первичной рекристаллизации — метод механических испытаний (по температуре резкого разупрочнения), рентгеноструктурный анализ, метод внутреннего трения.

Метод внутреннего трения дает оценку качественной стороны дефектов структуры — характера их подвижности по решетке под действием температуры и внешних напряжений. Он является одним из эффективных неразрушающих методов оценки технологических и эксплуатационных показателей качества вольфрамовых проволок в определении температуры начала первичной и вторичной рекристаллизации, уровня жаропрочности и склонности к ползучести, уровня термоциклической прочности образцов, позволяет установить оптимальные режимы термической обработки.

Как было указано выше, вводимые в вольфрам присадки и примеси регулируют в процессе рекристаллизации рост, форму, взаимное расположение и сцепление кристаллов. Так, ториевая присадка в вольфраме ВТ (1,0% ThO) понижает скорость рекристаллизации и препятствует росту кристаллов в поперечном направлении, уменьшая тем самым хрупкость проволоки. Присадка окиси тория вводится в вольфрам еще и для активации поверхности катода. Однако вольфрам с ториевой присадкой имеет неудовлетворительную формоустойчивость; содержание окиси тория более 2% понижает механические параметры вольфрама.

Кремнeshелочная присадка в вольфраме ВК (0,45% SiO<sub>2</sub>, 0,45% KCl) при нагревании выше температуры рекристаллизации содействует росту кристаллов и обеспечивает при этом прочность сцепления между отдельными крупными кристаллами. Вольфрам ВК обладает относительно хорошей формоустойчивостью.

Смешанная кремнeshелочная присадка в вольфраме ВМ (0,25% SiO<sub>2</sub>, 0,25% KCl, 0,25% ThO) содействует образованию при рекристаллизации длинных, прочно соединенных кристаллов. Вольфрам ВМ отличается механической прочностью и хорошей формоустойчивостью при температурах ниже 2400 К.

Алюминиевая присадка в вольфраме ВА (0,45% SiO<sub>2</sub>, 0,45% KCl, 0,03% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) способствует повышению температуры рекристаллизации вольфрамовой проволоки, вольфрам ВА прочнее и более формоустойчив, чем вольфрам ВК. Наличие окиси кремния обеспечивает создание крупнокристаллической структуры в рекристаллизованной проволоке.

Помимо влияния на процесс рекристаллизации, присадки и примеси существенно меняют и другие свойства вольфрама.

Наличие примеси окиси алюминия в вольфраме вместе с кремнeshелочной присадкой определяет формоустойчивость изделий из проволок при высокой температуре. Кроме того, увеличенное содержание окиси алюминия приводит к затруднениям при механической обработке проволоки.

Эмиссионные свойства торированных проволок в значительной степени определяются количеством содержащейся в них окиси тория. Но следует иметь в виду, что окись тория является внутриметаллическим включением и затрудняет механическую обработку вольфрамовой проволоки, понижает ее механическую прочность, особенно при испытании на изгиб.

Эмиссионные свойства вольфрама с присадкой окислов циркония и гафния (1,5 и 1% соответственно) выше, чем чистого вольфрама, но ниже, чем торированного, причем электронная эмиссия вольфрама с присадкой окиси гафния стабильна, а вольфрама с присадкой окиси циркония резко падает при температуре выше 2200 К.

В вольфраме могут находиться посторонние примеси окиси кальция, железа, молибдена. Окись кальция оказывает отрицательное влияние на формоустойчивость

вольфрама при высоких температурах. Наличие молибдена в вольфрамовой проволоке не ухудшает ее формоустойчивость, но молибден может испаряться при рабочих температурах, и поэтому повышенное содержание его нежелательно.

Механические свойства вольфрама в значительной степени зависят от предшествующей обработки, содержания легирующих элементов и примесей, структуры металла.

В сравнении с другими металлами вольфрам имеет большую твердость, высокие значения предела прочности при растяжении, предела текучести и модуля упругости и малую величину относительного удлинения.

При обработке вольфрама, особенно при изгибе тонких проволок и жести, следует учитывать его малую пластичность и своеобразное изменение механических характеристик при термической обработке.

Относительное удлинение чистого вольфрама падает в результате термической обработки. Проволоки из чистого вольфрама в отожженном состоянии очень хрупки.

Наиболее значительная потеря прочности при термической обработке наблюдается у чистого вольфрама. Механические свойства вольфрама с присадкой при нагреве изменяются в меньшей степени. Проволока с присадками в результате отжига приобретает некоторую пластичность, достаточную для изготовления изделий с большой прочностью на изгиб.

Вольфрам удовлетворяет большинству требований, которые предъявляются к металлам, используемым в производстве источников света.

Вольфрам отличается высокой химической стойкостью. В обычных атмосферных условиях он не окисляется, при высоких температурах реагирует главным образом с кислородом, окисью углерода и азота, с водой и углеводородами.

Под действием кислорода или воздуха на поверхности вольфрама при 600—700 °C образуется низшая окись вольфрама синевато-стального цвета ( $W_4O_{11}$ ). При увеличении температуры вольфрам интенсивно окисляется, образует многочисленные окислы. При температуре 1600 K и выше образуется желтая трехокись вольфрама  $WO_3$ , которая легко испаряется с накаливаемой поверхности и конденсируется на ближайших деталях.

С ртутью и ее парами вольфрам практически не взаимодействует. С водородом не взаимодействует вплоть до температуры плавления; при температуре ниже 1300 K — слабая абсорбция. С азотом не взаимодействует при температуре до 1770 K, при 2570 K образует нитриды. С фтором взаимодействует при комнатной температуре, с хлором и бромом — при температуре выше 520—570 K.

Для раскаленных вольфрамовых проволок особенно опасны пары воды, которые диссоциируют и способствуют образованию вольфрамового ангидрида. Последний после конденсации на стенках колбы восстанавливается освобожденным водородом, вновь образуя вольфрам и пары воды. В плохо откачанных лампах накаливания этот процесс может за короткое время привести к почернению стеклянной колбы и разрушению нити.

В присутствии газов, содержащих углерод (окись углерода, метан, пары нафталина, водородно-бензольные смеси и др.), и при соприкосновении с твердым углем (температура 1350 K) вольфрам образует карбиды вольфрама  $W_2C$  или  $WC$ . Карбиды устойчивы при температуре 2420 K; их наличие даже в незначительных количествах вызывает сильную хрупкость материала.

Окись тория, содержащаяся в вольфраме, восстанавливается до металлического тория при температуре выше 2700 K.

С железом вольфрам образует при 1650—1800 K соединения, наличие которых придает вольфраму хрупкость.

Кислоты и щелочи ( $H_2SO_4$ ,  $HCl$ ,  $HNC_3$ , водные растворы  $NaOH$  и  $KOH$ ), которые обычно используют для травления, на вольфрам не действуют или действуют очень слабо. Напротив, вольфрам легко растворяется в смеси  $HF + HNO_3$  или  $HF + HCl$  и особенно в  $NaNO_3$ , нагретом до 300 °C.

Диаметр вольфрамовых проволок более 0,35 мм измеряется микрометром, диаметр проволок менее 0,35 мм определяют (на торсионных весах) по массе отрезка длиной 200 мм и плотности вольфрама.

Зависимость между массой отрезка и его средним диаметром выражается формулой

$$Q = 3031d^2 \text{ или } d = 0,01817 \sqrt{Q},$$

где  $Q$  — масса 200 мм проволоки, мг;  $d$  — диаметр проволоки, мм.

Для определения диаметра проволоки большой длины можно пользоваться методом измерения электрического сопротивления.

Механические свойства вольфрама определяют испытанием предела прочности при растяжении (на разрывных машинах); оценкой ползучести проволоки при высокой температуре (для ламп мощностью 3—10 кВт) и проверкой на спирализуемость. Для оценки ползучести отрезок проволоки с грузом 20 Н (2 кгс) нагревают электрическим током в вакууме до 2800 К и по величине остаточного удлинения судят о ползучести. Спирализуемость проверяется непосредственно на спирализационном оборудовании в заданных ТУ 48-9-45-67 технологических режимах (число оборотов, натяжение проволоки, способ и температура подогрева и т. д.). При спирализации на стержне, диаметр которого в 2,5—3 раза больше диаметра вольфрамовой проволоки, не должно происходить обрывов и расслоения проволоки при непрерывной спирализации с частотой вращения 3000—4000 об/мин в течение примерно 15 мин.

Микроструктуру проволоки оценивают с помощью металлографических микроскопов типов МИМ-6, МИМ-7 и МИМ-8.

**Молибден.** В производстве источников света молибден применяется главным образом в виде проволоки по ТУ 48-9-47-67 марок МЧ, МК и МНР, прутков по ТУ 48-42-7-70 марки МЧ, прокатанной жести в виде лент и пластин марок МЧ, МК, МНП и фольги по ТУ 48-42-77-71 из молибдена вакуумной плавки.

Достоинства молибдена как материала для зерна заключаются в его высокой температуре плавления, достаточной твердости и возможности волочения с соблюдением большой точности диаметра.

Молибденовый керн впоследствии легко удаляется (растворяется в кислоте). Для кернов применяется молибден марки МНР.

Благодаря низкому температурному коэффициенту линейного расширения молибден в виде проволоки и стержней используется для вводов в тугоплавкие стекла.

Из молибденовой жести изготавливаются колпачки, цилиндры, трубки для впаивания в тугоплавкие стекла.

Молибденовая фольга толщиной 20—40 мкм впаивается в кварцевое стекло.

Из молибдена изготавливаются проволоочные держатели в виде крючков и петель для монтажа вольфрамового тела накала.

#### Физические свойства молибдена

Атомный номер	42
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	10 100—10 500
Работа выхода электронов, 10 <sup>-18</sup> Дж	0,67 (4,17 эВ)
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м	0,0578
Температурный коэффициент электрического сопротивления, К <sup>-1</sup>	5,6·10 <sup>-3</sup>
Атомная масса	95,95
Температура плавления, К	2895
Температура кипения, К	5077
Теплота плавления, кДж/кг	335
Теплота испарения, кДж/кг	6804
Температурный коэффициент линейного расширения, К <sup>-1</sup>	51·10 <sup>-7</sup>

#### Температурные зависимости физических свойств

	Температура, К				
	293	1000	1500	2000	2500
Удельная теплоемкость, кДж/(кг·К)	0,25	—	0,30	—	—
Теплопроводность, Вт/(м·К)	134	125	90	64	—
Скорость испарения, г/(см <sup>2</sup> ·с)	—	1·10 <sup>-24</sup>	4·10 <sup>-14</sup>	5·10 <sup>-9</sup>	5·10 <sup>-6</sup>
Давление насыщенных паров, Па	—	1·10 <sup>-20</sup>	7·10 <sup>-10</sup>	5·10 <sup>-5</sup>	7·10 <sup>-2</sup>
Плотность тока эмиссии, мА/см <sup>2</sup>	—	1·10 <sup>-9</sup>	8·10 <sup>-1</sup>	—	800

#### Механические свойства молибдена

Твердость по Роквеллу (шкала В)	95—100
Предел текучести, 10 <sup>10</sup> Па	50—60
Предел прочности, 10 <sup>10</sup> Па	70—115
Модуль упругости, 10 <sup>14</sup> Па	2,8—3,1
Модуль сдвига, 10 <sup>14</sup> Па	1,6—1,7
Относительное удлинение, %:	
неотожженный	2—5
отожженный	10—25

Молибден обладает значительной теплопроводностью. Электрическое сопротивление молибденовой проволоки падает при повышении температуры отжига до 1300 °С, после чего величина его возрастает. При высокой температуре молибден испаряется значительно быстрее вольфрама.

Температура первичной рекристаллизации (начало распада волокнистой структуры) молибдена марки МК составляет 1400—1500 °С, а вторичной рекристаллизации

(образование крупных кристаллов) — 1800—1900 °С (примерно на 400 °С выше, чем для молибдена марки МЧ).

По твердости, пределу прочности и модулю упругости некристаллизованный молибден, как и вольфрам, относится к металлам с высокими механическими свойствами.

При нагреве проволоки выше 1000—1100 °С (первичная рекристаллизация) ее относительное удлинение возрастает, а прочность уменьшается.

При комнатной температуре в сухой атмосфере, содержащей кислород, молибден устойчив; начинает окисляться лишь при температуре выше 400 °С. При длительном хранении во влажной атмосфере поверхность молибдена окисляется и становится матовой, а при температуре около 250 °С образуются тонкие поверхностные пленки окислов  $\text{MoO}_2$  и  $\text{MoO}_3$ . Эти окислы не разлагаются при отжиге в высоком вакууме даже при высоких температурах — конденсируются на холодных частях лампы. Однако их можно без остатка восстановить путем отжига в водороде при 800 °С, после чего они очень быстро испаряются при откачке в высоком вакууме уже при 500 °С. Поэтому готовые молибденовые детали необходимо перед монтажом тщательно восстановить при 800—1000 °С в чистом сухом водороде в течение 10—30 мин и по возможности укладывать в закрытые стеклянные сосуды.

Кислоты соляная и серная холодные разбавленные и концентрированные практически не действуют; горячие разбавленные и концентрированные вызывают небольшую коррозию.

Азотная кислота и царская водка холодные, концентрированные медленно действуют, холодные разбавленные быстро действуют; горячие разбавленные вызывают быстрое и полное растворение.

Плавиковая кислота и холодная, и горячая не действует. В смеси плавиковой и азотной кислот происходят сильная коррозия и быстрое растворение металла при 20 °С.

Щелочи ( $\text{KOH}$ ,  $\text{NaOH}$ ), углекислые соли щелочных металлов, холодные водные растворы практически не действуют, расплавленные в присутствии воздуха вызывают медленное окисление, в присутствии окислителей  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{KNO}_2$ ,  $\text{KClO}_3$ ,  $\text{PbO}_2$ ) происходит бурная реакция, растворение.

Азотистокислый и азотнокислый калий, перекись натрия ( $\text{Na}_2\text{O}_2$ ), хлорид калия ( $\text{KClO}_3$ ) в расплавах бурно растворяют молибден.

Аммиак (водный раствор) вызывает медленную коррозию, в газообразном аммиаке молибден устойчив вплоть до температуры красного каления.

Углерод (сажа, графит, уголь), начиная с температуры 1100 °С образует с молибденом карбиды, при 1300—1400 °С — полное науглероживание.

Сера (сухая) до 440 °С не действует, при более высоких температурах образуются сульфаты.

Ртуть и ее пары практически не действуют.

Фосфор при низких температурах не взаимодействует.

Бор, кремний при высоких температурах образуют бориды и силициды. Окислы церия, алюминия, магния, магнезит, хромовый магнезит реагируют при температуре выше 1600 °С.

Вода (20 °С) вызывает незначительную коррозию.

Пары воды при температуре красного каления вызывают быстрое окисление.

Водород не действует вплоть до температуры плавления.

Азот при низких давлениях не действует до 2400 °С, при более высоких температурах образуются нитриды.

Окислы азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ) при температуре красного каления вызывают окисление до  $\text{MoO}_3$ .

Углекислый газ вызывает окисление при температуре выше 1000—1200 °С.

Оксид углерода и метан при температуре выше 800 °С образуют карбид ( $\text{Mo}_2\text{C}$ ).

Сероводород реагирует при температуре выше 1200 °С.

Сернистый газ вызывает окисление при температуре красного каления.

**Тантал.** Применение тантала в производстве источников света обусловлено главным образом его способностью к поглощению газов при высоких температурах (700—1200 °С).

При конструировании узлов танталовая полоса по ТУ 48-42-94-71 применяется как прокладка между свариваемыми накаливаемыми проволоками и никелевыми вводами. Необходимо обратить внимание на то, что при высоких температурах тантал образует с никелем хрупкие сплавы с большим удельным электрическим сопротивлением и низкой температурой плавления. Если не уда-

ется достаточно снизить температуру в месте контакта, то вместо никелевых вводов используют молибденовые. Физические свойства тантала приведены ниже.

#### Физические свойства тантала

Атомный номер . . . . .	73
Плотность, кг/м <sup>3</sup> . . . . .	16 000—17 000
Работа выхода электронов, 10 <sup>-18</sup> Дж . . . . .	0,66 (4,12 эВ)
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м . . . . .	0,135
Температурный коэффициент электрического сопротивления, К <sup>-1</sup> . . . . .	3,8·10 <sup>-3</sup>
Атомная масса . . . . .	180,88
Температура плавления, К . . . . .	3269
Температура кипения, К . . . . .	5570
Теплота плавления, кДж/кг . . . . .	154
Теплота испарения, кДж/кг . . . . .	6480
Температурный коэффициент линейного расширения, К <sup>-1</sup> . . . . .	65·10 <sup>-7</sup>

#### Температурные зависимости физических свойств

	Температура, К				
	293	1000	2000	3000	3200
Удельная теплоемкость, кДж/(кг·К) . . . . .	0,14	0,16	0,18	—	—
Теплопроводность, Вт/(м·К) . . . . .	54	66	78	—	—
Скорость испарения, г/(см <sup>2</sup> ·с) . . . . .	—	—	1·10 <sup>-12</sup>	6·10 <sup>-6</sup>	4·10 <sup>-5</sup>
Давление насыщенных паров, Па . . . . .	—	—	1·10 <sup>-10</sup>	4·10 <sup>-4</sup>	3·10 <sup>-3</sup>
Плотность тока эмиссии, мА/см <sup>2</sup> . . . . .	—	—	6,2	4,5·10 <sup>4</sup>	—

#### Механические свойства тантала

Твердость по Роквеллу (шкала E):	
отожженный . . . . .	60
неотожженный . . . . .	95
Предел прочности при растяжении, 10 <sup>10</sup> Па:	
жесть . . . . .	34
проволока . . . . .	70
Модуль упругости, 10 <sup>14</sup> Па . . . . .	1,86
Модуль сдвига, 10 <sup>14</sup> Па . . . . .	0,68
Относительное удлинение, %:	
отожженный:	
жесть . . . . .	40
проволока . . . . .	12
неотожженный:	
жесть . . . . .	1
проволока . . . . .	1,5

Термические свойства даны в табл. 2-3.

Благодаря низкому давлению насыщенных паров танталовые детали при обезгаживании и при длительной эксплуатации могут выдерживать более высокие температуры, чем молибденовые (у молибдена давление насыщенных паров в 100 раз больше).

Тантал обладает высокой прочностью. После отжига он хорошо обрабатывается в холодном состоянии.

Чистый тантал даже при комнатной температуре является одним из самых пластичных металлов. При механической обработке прочность повышается незначительно (до 20%).

Таблица 2-3

#### Зависимость физических свойств тантала от температуры

Истинная температура, К	Яркостная температура, К	Коэффициент монохроматического лучеиспускания (λ=665 нм)	Плотность излучения, Вт/см <sup>2</sup>	Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м	Относительное расширение $\frac{t - t_{300}}{t_{300}} \cdot 10^{-3}$
1000	967	48,1	0,793	0,441	4,7
1500	1421	44,9	5,47	0,624	8,7
2000	1852	42,1	21,63	0,789	12,7
2500	2261	40,2	62,38	0,944	17,0
3000	2652	38,8	144,4	1,087	21,6
3269	2855	38,3	215,5	1,155	24,2

Это существенно затрудняет всякую обработку (глубокую вытяжку, волочение проволоки и т. д.), так как тантал очень легко рвется. Проволоку большей длины можно вытянуть только при диаметре не менее 80 мкм.

При холодной прокатке крупные заготовки можно превращать в тончайшую фольгу (10 мкм) без промежуточного отжига. Это значительно облегчает процесс производства, поскольку из-за большой чувствительности металла к водороду отжиг необходимо производить не в водородных печах, а в возможно более высоком вакууме.

Тантал хорошо сваривается с вольфрамом и молибденом. Тантал с танталом можно сваривать в воде как в защитной среде.

Воздействие на тантал различных веществ приведено ниже.

Плавиковая кислота концентрированная и разбавленная вызывает сильную коррозию и растворение (поглощение Н<sub>2</sub>).

Растворы фторидов, а также смесь азотной и плавиковой кислот вызывают быстрое растворение. Дымящаяся серная кислота вызывает коррозию, концентрированная и разбавленная при температуре ниже 170 °С не действует.

Азотная и соляная кислоты: концентрированные и разбавленные при температуре ниже 100°C не действуют.

Кипящая царская водка вызывает очень слабую коррозию.

Хромовая смесь: при 25°C тантал устойчив.

Щавелевая кислота вызывает растворение.

Фосфорная кислота (85%-ная) до 145°C не действует.

Аммиак практически не действует.

Растворы щелочей (концентрированные, теплые) и расплавленные щелочи сильно действуют.

Щелочи разбавленные вызывают заметную коррозию, щелочи концентрированные горячие вызывают сильную коррозию.

Углерод, графит, сажа, углеводороды при температуре выше 1200°C образуют карбиды, при температуре выше 1400°C происходит науглероживание.

В присутствии органических солей, газов, спиртов, альдегидов, эфиров тантал устойчив при отсутствии фтора свободного  $\text{SiO}_2$  или едких щелочей.

Вода чистая и подкисленная, а также с щелочной реакцией ( $\text{pH} < 8$ ) не взаимодействует до 100°C.

Кислород до 100°C не действует.

Воздух, водяные пары при температуре выше 260°C вызывают окисление, в результате чего появляется хрупкость, при температуре выше 450°C тантал окисляется до  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ .

Азот до 150°C не действует, при температуре выше 200°C абсорбируется, в результате чего увеличивается хрупкость, при температуре выше 800°C образуются нитриды.

В атмосфере водорода уже при 100°C металл становится хрупким вследствие образования гидрата тантала на границах зерен\*. При желтом калении водород поглощается в 700-кратном объеме.

Инертные газы незначительно абсорбируются. На физические свойства вплоть до точки плавления не влияют.

Углекислый газ при температуре выше 1200°C вызывает образование  $\text{TaC}$ .

Окись углерода абсорбируется при красном калении\*.

Галогены в любой форме не действуют до 150°C.

Ртутные пары не действуют вплоть до точки плавления.

Из-за чувствительности горячего тантала к кислороду и азоту обработка резанием или давлением может производиться только в холодном состоянии (в отличие от вольфрама). При резании в качестве смазки применяется четыреххлористый углерод.

Для очистки тантал погружается в теплую (110°C) хромовую смесь или царскую водку и длительно промывается в проточной дистиллированной воде. Для получения поверхности с хорошим блеском используется полирование в электролите, состоящем из дистиллированной воды, 2—7%  $\text{HF}$  и 75—98%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  или  $\text{HCl}$  при плотности тока 40—160  $\text{mA/cm}^2$ .

Поверхность проволоки очищается от графитовой смазки и окислов методом анодного электролитического травления в 40%-ной плавиковой кислоте.

**Ниобий.** Применение ниобия в производстве источников света, как и тантала, обусловлено способностью при высокой температуре поглощать газы.

Ниобий используется для изготовления вакуум-плотного ввода тока в газоразрядных лампах из керамических оболочек (поликристаллической окиси алюминия).

Ниобий выпускается в виде прутков вакуумной плавки по РЭТУ 245-67, листов, фольги и полос электронно-лучевой плавки по РЭТУ 1244-67 и ЦМТУ 05-12-66.

#### Физические свойства ниобия

Атомный номер . . . . .	41
Плотность, $\text{кг/м}^3$ . . . . .	8580
Работа выхода электронов, $10^{-18}$ Дж . . . . .	0,64 (4,01 эВ)
Удельное электрическое сопротивление, $\text{мОм} \cdot \text{м}$ . . . . .	0,152
Температурный коэффициент электрического сопротивления, $\text{K}^{-1}$ . . . . .	$3,95 \cdot 10^{-3}$
Атомная масса . . . . .	92,91
Температура плавления, К . . . . .	2770
Температура кипения, К . . . . .	3570
Теплота плавления, $\text{кДж/кг}$ . . . . .	27
Теплота испарения, $\text{кДж/кг}$ . . . . .	697
Температурный коэффициент линейного расширения, $\text{K}^{-1}$ . . . . .	$62 \cdot 10^{-7}$

\* Удаляется при температуре выше 1500°C.

\* Для полного удаления водорода необходима прокатка при 750°C.

# Температурные зависимости физических свойств

	Температура, К			
	293	1500	2000	2500
Удельная теплоемкость, кДж/(кг·К) . . . . .	0,27	—	—	—
Теплопроводность, Вт/(м·К) . . . . .	52	72	—	—
Скорость испарения, г/(см <sup>2</sup> ·с) . . . . .	—	$2 \cdot 10^{-18}$	$2 \cdot 10^{-11}$	$2 \cdot 10^{-7}$
Энергетическая светимость, Вт/см <sup>2</sup> . . . . .	—	5	19	55
Давление насыщенных паров, Па . . . . .	—	$4 \cdot 10^{-14}$	$2 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Плотность тока эмиссии, мА/см <sup>2</sup> . . . . .	—	$3 \cdot 10^{-3}$	11	$1,8 \cdot 10^3$

## Механические свойства ниобия

Число Бринелля . . . . .	45
Предел текучести, $10^7$ Па . . . . .	16
Предел прочности, $10^7$ Па . . . . .	65—90
Модуль упругости, $10^{10}$ Па . . . . .	10,8
Относительное удлинение, %:	
отожженная жёсть . . . . .	30
проволока . . . . .	1

Работа выхода электронов — наименьшая по сравнению со всеми чистыми тугоплавкими металлами, но из-за высокого давления насыщенных паров ниобий невозможно нагреть до температур, которые обеспечили бы такую же удельную электронную эмиссию, как у тантала.

Механические свойства ниобия сильно зависят от содержания кислорода, при увеличении кислорода предел прочности при растяжении растет, а относительное удлинение резко падает.

Особенностью ниобия является сочетание высокой прочности с большой пластичностью. После отжига в вакууме при 1050°C он хорошо обрабатывается в холодном состоянии. При механической обработке прочность повышается незначительно, что затрудняет изготовление тонких проволок диаметром меньше 0,1 мм и глубокую вытяжку. При нагревании холоднокатаный ниобий приобретает мелкокристаллическую структуру, сохраняя пластичность. При высоких температурах она переходит в крупнозернистую и становится хрупкой. Ниобий после отжига легко прокатывается, его можно резать и протягивать перпендикулярно направлению прокатки, не вызывая расслаивания.

Ниобий хорошо сваривается с вольфрамом и молибденом.

Азотная кислота и царская водка не действуют.

Соляная кислота разбавленная и концентрированная при 20°C практически не действует. Соляная кислота

концентрированная при 100°C придает металлу хрупкость.

Серная кислота разбавленная при 20°C вызывает умеренную коррозию, концентрированная при 20°C — образование гидрата окиси, а при 100°C — растворение.

Плавиковая кислота и фтористый аммоний вызывают сильную коррозию.

Смесь плавиковой и азотной кислот вызывает растворение.

В присутствии серной кислоты (концентрированной) в смеси с  $\text{CrO}_3$  при 100°C и  $\text{NH}_4\text{OH}$  при 20°C металл становится хрупким, наблюдается травление поверхности.

Щелочи  $\text{NaOH}$  и  $\text{KOH}$  (5%-ный раствор) вызывают травление поверхности. В 20%-ном растворе углекислого натрия металл становится хрупким. Расплавленные щелочи вызывают сильную коррозию.

Дистиллированная и морская вода не действуют.

В воздушной среде или кислороде происходит заметная коррозия при температуре выше 200°C, при температуре красного каления — быстрое образование  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ .

Водород поглощается и вызывает хрупкость.

Азот вступает в реакцию при высоких температурах.

Жидкая ртуть и ее пары не действуют.

Пары калия, натрия, магния не действуют.

Хлор вызывает сильную коррозию при температуре красного каления.

**Рений.** Рений отличается редким сочетанием положительных свойств, удовлетворяющих большинству требований к электровакуумным материалам. Он обладает незначительной скоростью испарения. Среди тугоплавких металлов имеет самое высокое удельное электрическое сопротивление и большую прочность при комнатной и повышенных температурах и др.

Рений — химически стойкий металл, наиболее устойчив из всех тугоплавких металлов.

Большая прочность при высоких температурах позволяет применять рений вместо вольфрама в железнодо- рожных, трамвайных, проекционных и других лампах.

Добавление 3% окиси лантана к рению приводит к четырехкратному увеличению срока службы импульсных источников света в номинальном режиме работы. По температуре плавления рений уступает только вольфраму.

### Физические свойства рения

Атомный номер . . . . .	75
Плотность, кг/м <sup>3</sup> . . . . .	20 500—21 000
Работа выхода электронов, 10 <sup>-18</sup> Дж . . . . .	0,76 (4,8 эВ)
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м . . . . .	0,211
Температурный коэффициент электрического сопротивления, К <sup>-1</sup> . . . . .	3,11·10 <sup>-3</sup>
Атомная масса . . . . .	186,2
Температура плавления, К . . . . .	3450
Температура кипения, К . . . . .	6170
Теплота плавления, кДж/кг . . . . .	177,6
Теплота испарения, кДж/кг . . . . .	3418
Температурный коэффициент линейного расширения, К <sup>-1</sup> . . . . .	67·10 <sup>-7</sup>

### Температурные зависимости физических свойств

	293	1400	1800	2200
Удельная теплоемкость, кДж/(кг·К) . . . . .	0,15	0,17	—	—
Теплопроводность, Вт/(м·К) . . . . .	—	—	—	—
Скорость испарения, г/(см <sup>2</sup> ·с) . . . . .	—	1·10 <sup>-3</sup>	9·10 <sup>-1</sup>	8·10 <sup>2</sup>
Давление насыщенных паров, Па . . . . .	—	1·10 <sup>-7</sup>	1·10 <sup>-6</sup>	1·10 <sup>-2</sup>

### Механические свойства рения

Число Бринелля (отожженного) . . . . .	200
Предел текучести, 10 <sup>10</sup> Па . . . . .	34
Предел прочности, 10 <sup>10</sup> Па . . . . .	50—115
Модуль упругости, 10 <sup>14</sup> Па . . . . .	4,6
Относительное удлинение, %:	
отожженный . . . . .	25
неотожженный . . . . .	2

По пластичности отожженный рений близок к меди, причем пластичность сохраняется даже после механической обработки. В отличие от вольфрама и молибдена у рения не наблюдается рекристаллизационной хрупкости. Так, рениевая проволока диаметром 0,28 мм после отжига при 2500 °С в течение 30 мин сохраняет пластичность — ее можно согнуть на 180°. В настоящее время на Московском заводе электровакуумных приборов разработана технология изготовления рениевой проволоки диаметром до 20 мкм.

В воздушной среде и в атмосфере кислорода при 600 °С окисляется до Re<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (дымит).

С азотом нитриды не образуются.

С водородом не взаимодействует, сорбция отсутствует.

С парами воды более устойчив, чем вольфрам.

С углеродом и углеводородами карбиды не образуются даже при высоких температурах.

С соляной и плавиковой кислотами не взаимодействует, с горячими серной и азотной кислотами взаимодействует.

К руту и ее парам устойчив.

**Титан.** Основное значение титана для электроламповой промышленности определяется его способностью поглощать газы (O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> и др.). Кроме того, титан используется как восстановитель для бариевых геттеров. Для этого порошкообразный титан спрессовывают в небольшие таблетки с соединениями бария.

В последнее время титан широко применяется для изготовления титановых сорбционных и ионно-сорбционных высоковакуумных насосов.

Титан выпускается в виде ленты и фольги из йодного титана; из титановых сплавов изготавливается проволока диаметрами 1,2; 1,4; 1,5; 1,6; 2,0 мм с допуском — 0,18 мм, диаметрами 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 5,0; 6,0 — 0,24 мм и 7,0—0,3 мм.

### Физические свойства титана

Атомный номер . . . . .	22
Плотность, кг/м <sup>3</sup> . . . . .	4500
Работа выхода электронов, 10 <sup>-18</sup> Дж . . . . .	0,65 (4,05 эВ)
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м . . . . .	0,55
Температурный коэффициент электрического сопротивления, К <sup>-1</sup> . . . . .	5,5·10 <sup>-3</sup>
Атомная масса . . . . .	47,9
Температура плавления, К . . . . .	1940
Температура кипения, К . . . . .	3530
Температурный коэффициент линейного расширения, К <sup>-1</sup> . . . . .	81·10 <sup>-7</sup>

### Температурные зависимости физических свойств

	293	1400	1800	2200
Удельная теплоемкость, кДж/(кг·К) . . . . .	0,53	—	—	—
Теплопроводность, Вт/(м·К) . . . . .	170	—	—	—
Скорость испарения, г/(см <sup>2</sup> ·с) . . . . .	—	1·10 <sup>-7</sup>	1·10 <sup>-4</sup>	8·10 <sup>-3</sup>
Давление насыщенных паров, Па . . . . .	—	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>2</sup>

### Механические свойства титана

Твердость по Роквеллу (шкала С) . . . . .	75—90
Предел текучести, 10 <sup>10</sup> Па . . . . .	44—80
Предел прочности, 10 <sup>10</sup> Па . . . . .	70—90
Модуль упругости, 10 <sup>14</sup> Па . . . . .	1,1
Модуль сдвига, 10 <sup>10</sup> Па . . . . .	4,0
Относительное удлинение, % . . . . .	18—22



Механические свойства титана в очень сильной степени зависят от его чистоты. Примеси кислорода, азота, углерода, повышая предел прочности, резко снижают относительное удлинение, делают металл малодеформативным.

Из-за высокой чувствительности титана к газам возникают трудности при холодной обработке его. После отжига прочность и твердость титана, деформированного в холодном состоянии, понижаются. При 700°C снимаются напряжения и металл рекристаллизуется; с увеличением степени сжатия температура рекристаллизации понижается. Механические свойства титана при высоких температурах изучены мало.

С 65%-ной кипящей азотной кислотой достаточно устойчив, с 95%-ной при 20°C полностью устойчив.

С разбавленной соляной кислотой достаточно устойчив, с концентрированной при 20°C сильное взаимодействие, в концентрированной, горячей — быстро растворяется.

С 10%-ной серной кислотой при 20°C достаточно устойчив; с концентрированной серной кислотой при 145°C и 10%-ной при 158°C сильно взаимодействует.

С царской водкой при 30°C устойчив.

С 1%-ной плавиковой кислотой при 20°C быстро взаимодействует, со 100%-ной при 20°C очень сильное взаимодействие.

С кислотой хромовой 10%-ной кипящей устойчив.

Кислота уксусная действует незначительно.

Фосфорная кислота 85%-ная при 20°C сильно действует.

Перекись водорода ( $H_2O_2$ ) при 20°C сильно действует.

Трихлорэтилен кипящий не действует.

С разбавленными щелочами (10% NaOH, KOH) практически устойчив.

( $NH_4$ )OH действует незначительно.

В воздушной среде при 20°C блестящая поверхность металла не изменяется сколько угодно долго, при 150—200°C образуются светло-серые цвета побежалости, при температуре более 500°C образуются желто-оранжевые цвета побежалости, при 600°C — голубое окрашивание, при 700°C — вновь серое окрашивание, при температуре более 700°C происходит со временем полное окисление.

В атмосфере кислорода при 250—600°C металл становится хрупким и образуется прочный слой окислов, при температуре выше 800°C металл воспламеняется.

В атмосфере азота при температуре до 600°C незначительное взаимодействие, при 600—800°C образуется нитрид, слой которого постепенно распространяется в глубь металла. Титан становится хрупким.

Водород поглощается (внедрение в решетку титана), вызывает хрупкость.

Хлор газообразный, насыщенный парами воды, при 75°C не действует. Хлор газообразный сухой (0,005%  $H_2O$ ) при 30°C: сильное взаимодействие.

В вакууме  $8 \cdot 10^{-4}$ — $1 \cdot 10^{-3}$  Па кислород интенсивно поглощается предварительно обезгаженным титаном в пределах температур 200—700°C. Оптимальной является температура 500°C. Азот активно поглощается титаном в вакууме (около  $1 \cdot 10^{-3}$  Па) при температуре 500—600°C.

Содержащие углерод газы  $CO_2$  и  $CO$  восстанавливаются титаном с образованием карбидов.

**Цирконий.** Так же как и титан, цирконий находит применение в электроламповой промышленности (в виде порошка, размер частиц от 1 до 8 мкм) благодаря свойству поглощать газы ( $O_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2$  и др.) и удерживать их в широких пределах температур. Порошок циркония, смешанный с  $PbO_2$ , используют в виде покрытия на проволоке в лампах, применяемых при фотовспышках.

#### Физические свойства циркония

Атомный номер . . . . .	40
Плотность, $г/см^3$ . . . . .	6520
Работа выхода электронов, $10^{-18}$ Дж . . . . .	0,66 (4,1 эВ)
Удельное электрическое сопротивление, $мкОм \cdot м$ . . . . .	0,41
Температурный коэффициент электрического сопротивления, $K^{-1}$ . . . . .	$4,4 \cdot 10^{-3}$
Атомная масса . . . . .	91,22
Температура плавления, К . . . . .	2125
Температура кипения, К . . . . .	3970
Температурный коэффициент линейного расширения, $K^{-1}$ . . . . .	$5,4 \cdot 10^{-7}$

#### Температурные зависимости физических свойств

	Температура, К			
	293	800	1000	1400
Удельная теплоемкость, $кДж/(кг \cdot К)$ . . . . .	0,28	0,35	0,37	0,33
Теплопроводность, $Вт/(м \cdot К)$ . . . . .	21	16	—	—

### Механические свойства циркония

Твердость по Роквеллу (шкала В) . . . . .	87—91
Предел текучести, $10^{10}$ Па . . . . .	37—47
Предел прочности, $10^{10}$ Па . . . . .	40—70
Модуль упругости, $10^{14}$ Па . . . . .	0,6—0,9
Модуль сдвига, $10^{14}$ Па . . . . .	0,3—0,5
Относительное удлинение, % . . . . .	28—40

Механические свойства циркония в очень сильной степени зависят от его чистоты. Примеси кислорода, азота и углерода, повышая предел прочности, резко снижают относительное удлинение, делают металл малодеформативным.

Прочность чистого циркония при высоких температурах можно значительно улучшить введением небольших присадок молибдена или других металлов. Механические свойства при высоких температурах изучены мало.

При нагревании до 200 °С и выше цирконий энергично поглощает кислород с образованием весьма стойкого окисла  $ZrO_2$ .

При нагревании в вакууме до 400 °С цирконий активно поглощает кислород в пределах 400—700 °С и выше, наилучшие результаты получаются при 600—800 °С. Водород, соединяясь с цирконием, образует гидрид состава  $ZrH_2$ . Поглощение водорода в вакууме интенсивно возрастает при нагревании. Однако при 400—800 °С гидрид циркония разлагается и выделяется поглощенный им водород. При 800 °С и выше цирконий вновь поглощает большое количество водорода с образованием гидрида.

Азот активно поглощается цирконием при более высоких температурах (оптимальный предел температур 600—800 °С), образуя нитрид.

Оксиды углерода  $CO_2$  и  $CO$  восстанавливаются цирконием с образованием карбида. Цирконий хорошо растворяется в горячей плавиковой и концентрированной серной кислотах, царской водке, взаимодействует с фосфорной кислотой.

**Торий.** Благодаря способности тория максимально поглощать газы ( $O_2$ ,  $N_2$  и  $CO_2$ ) при температурах 400—500 °С он широко применяется в нераспыляемых геттерах — смеси тория со сплавом цермийметалла<sup>1</sup> с алюминием.

<sup>1</sup> Цермийметалл — сплав редкоземельных металлов: 52—65 % церия + 35—48 % лантана.

Кроме того, торий используется как активатор люминофоров и в виде  $Th(NO_3)_4$  как присадка, увеличивающая электронную эмиссию вольфрама (ВТ-50, ВТ-15, ВТ-7 и др.).

Присадка в вольфраме ВМ ( $ThO_2$  — 0,25 %) содействует образованию при рекристаллизации, длинных, прочно соединенных кристаллов. Вольфрамовая проволока с присадкой тория используется для изготовления спиралей световых ламп, трамвайных, самолетных и других ламп, работающих в условиях больших механических перегрузок.

### Физические свойства тория

Атомный номер . . . . .	90
Плотность, $кг/м^3$ . . . . .	11 600
Работа выхода электронов, $10^{-18}$ Дж . . . . .	0,54 (3,36 эВ)
Удельное электрическое сопротивление, $мкОм \cdot м$ . . . . .	0,18
Температурный коэффициент электрического сопротивления, $K^{-1}$ . . . . .	$3,4 \cdot 10^{-3}$
Атомная масса . . . . .	232,05
Температура плавления, К . . . . .	2115
Температура кипения, К . . . . .	5470
Температурный коэффициент линейного расширения, $K^{-1}$ . . . . .	$113 \cdot 10^{-7}$

### Температурные зависимости физических свойств

	Температура, К		
	293	1900	2100
Удельная теплоемкость, $кДж/(кг \cdot К)$ . . . . .	—	—	—
Теплопроводность, $Вт/(м \cdot К)$ . . . . .	37,6	—	—
Скорость испарения, $г/(см^2 \cdot с)$ . . . . .	—	$2 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-8}$
Давление насыщенных паров, Па . . . . .	—	$10^{-3}$	$10^{-2}$

### Механические свойства тория

Число Бринелля . . . . .	150
Предел текучести, $10^{10}$ Па . . . . .	19
Предел прочности, $10^{10}$ Па . . . . .	24
Модуль упругости, $10^{14}$ Па . . . . .	0,68
Относительное удлинение, % . . . . .	40

С водой (20—100 °С) не взаимодействует.

В концентрированной соляной кислоте растворяется, в разбавленной — растворяется незначительно.

В царской водке растворяется.

С водянными растворами щелочей устойчив.

В расплавленных щелоках разрушается.

Кислород и водород энергично поглощаются начиная с температур 250—350 °С.

С азотом малоактивен.

Таблица 2-4

## Механические свойства проволок из сплавов ВАР

Марка сплава	Температура отжига, °C	Время отжига, мин	Предел прочности, 10 <sup>10</sup> Па	Удлинение, %
ВА	Исходная		3,3	2,0
	1750	15	2,3	1,5—2,0
	1850	15	2,2	2,0
	1950	15	2,2	2,0
	2050	15	1,9	2,0
ВАР-1	2150	15	1,8	2,0
	Исходная		3,1	2,0
	1750	15	2,1	2,0
	1850	15	1,9	2,0
	1950	15	1,8	2,0
ВАР-2	2050	15	1,9	2,0
	2150	15	1,6	2,0
	Исходная		3,9	2,0
	1750	15	2,0	2,0
	1850	15	1,9	2,0—3,0
ВАР-3	1950	15	1,8	3,0—4,0
	2050	15	1,7	6,0—8,8
	2150	15	1,6	4,0—8,0
	2350	15	1,5	1,0—2,0
ВАР-5	Исходная		3,9	2,0
	1750	15	2,0	2,0
	1850	15	1,9	2,0—3,0
	1950	15	1,8	3,0—4,0
	2050	15	1,8	6,0—8,0
ВАР-20	2150	15	1,6	4,0—8,0
	2350	15	1,5	1,0—2,0
	Исходная		4,2	2,0
	1750	15	1,9	5,0—7,0
	1850	15	1,8	5,0—10,0
ВАР-20	1950	15	1,8	7,0—10,0
	2050	15	1,8	14—15
	2150	15	1,6	19—20
	2350	15	1,5	17—18
	2500	15	1,5	14—15
ВАР-20	2500	30	1,5	15—17
	2500	45	1,4	10—20
	Исходная		4,5	2,0
	1750	15	2,3	7,0—9,0
	1850	15	1,9	11—13
ВАР-20	1950	15	1,9	14—16
	2050	15	1,8	17—19
	2150	15	1,8	22—24
	2350	15	1,7	22—24
	2500	15	1,7	19—21
ВАР-20	2500	30	1,7	15—17
	2500	45	1,6	12—14

Абсорбция наблюдается только при температуре выше 650°C. В присутствии паров ртути абсорбция кислорода зеркалом тория снижается, а способность поглощать водород полностью исчезает.

**Вольфрам-молибденовые сплавы.** Вольфрам-молибденовые сплавы по сравнению с молибденом имеют более высокие значения температуры плавления, предела прочности и удельного электрического сопротивления; в сравнении с вольфрамом они более пластичны и легко механически обрабатываются после отжига при температурах 1100—1300°C.

## Физические свойства вольфрам-молибденового сплава МВ-50

Плотность, кг/м <sup>3</sup> . . . . .	13 200
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м . . . . .	0,090—0,096
Температурный коэффициент электрического сопротивления, К <sup>-1</sup> . . . . .	2,9·10 <sup>-3</sup>
Температура плавления, К . . . . .	3170
Температурный коэффициент линейного расширения, К <sup>-1</sup> : при 25—100°C . . . . .	50—60·10 <sup>-7</sup>
при 25—700°C . . . . .	60—64·10 <sup>-7</sup>

## Механические свойства сплава МВ-50

Предел прочности, 10 <sup>10</sup> Па . . . . .	110—200
Относительное удлинение, % (до 1300°C) . . . . .	2

Первичная рекристаллизация сплава МВ-50 происходит при 1200—1300°C, МВ-20 — при 1100—1200°C.

**Вольфрам-ренийевые сплавы.** Наиболее перспективным следует считать легирование вольфрама марки ВА рением.

Сплавы типа ВАР на основе вольфрама ВА обладают ценным сочетанием ряда физико-механических и рекристаллизационных свойств.

Промышленностью выпускаются сплавы вольфрама с 5, 10 и 20% рения по ТУ 48-42-82-71 и ТУ 48-42-30-70.

Механические свойства проволоки из вольфрама марки ВА, из сплавов марки ВАР с содержанием 1, 2, 3, 5 и 20% рения и бесприсадочного сплава марки ВР-5 (диаметр 0,1 мм) приведены в табл. 2-4.

Сравнительные свойства проволоки из вольфрама ВА и сплавов вольфрама с рением ВР-20 показаны в табл. 2-5. Из таблицы видно, что температура рекристаллизации вольфрама марки ВАР выше температуры рекристаллизации вольфрама марки ВА.

Продолжение табл. 2-4

Марка сплава	Температура отжига, °C	Время отжига, мин	Предел прочности, 10 <sup>12</sup> Па	Удлинение, %
ВР-5	Исходная		3,5	2,0
	1750	15	1,8	12—14
	1850	15	1,7	10—11
	1950	15	1,7	2,0—4,0
	2050	15	1,5	1,0—2,0
	2150	15	1,4	1,0—2,0

Таблица 2-5

Свойства проволок из вольфрама ВА и сплава ВР-20 при 20 °C

Материал проволоки	Удельное электрическое сопротивление при 30 °C, мкОм·м	Предел прочности проволоки, 10 <sup>12</sup> Па		Удлинение проволоки, %		Число перегибов до разрушения проволоки, отожженной при 1200 °C	Структура проволоки, отожженной при температуре, °C	
		неотжженной	отожженной при 1200 °C	неотжженной	отожженной при 1200 °C		1400	1600
Сплав ВР-20	0,242	2,6—3,6	2,1—2,2	1,5	1,5—1,0	39	Волокнистая с началом распада	Строчечная
Вольфрам ВА	0,056	2,5—3,5	2,0—2,7	1,5	1,5—1,0	27	Волокнистая	Волокнистая с началом распада

В рекристаллизованном состоянии структура всех сплавов марок ВАР аналогична структуре вольфрама марки ВА — длинные вытянутые в направлении механической обработки зерна.

Благодаря удачному сочетанию высокой температуры рекристаллизации (более чем на 400 °C выше, чем у вольфрама марки ВА) с хорошей пластичностью в отожженном состоянии сплавы марки ВАР считают перспективными.

В сплавах вольфрама с рением процесс первичной рекристаллизации идет значительно медленнее, чем в исходном вольфраме.

Для повышения эмиссионных свойств вольфрамо-рениевые сплавы легируют двуокисью тория. Эти сплавы

отличаются от торированного вольфрама высокой пластичностью и прочностью в карбидированном состоянии.

К числу таких сплавов относится сплав ВР20Т2, содержащий 20% рения и до 2% двуокиси тория.

Влияние температуры отжига на механические свойства проволок из торированных вольфрамо-рениевых сплавов приведено в табл. 2-6.

Таблица 2-6

Влияние температуры отжига на свойства проволок из торированного вольфрама разных марок

Температура, °C	Диаметр, мм	Предел прочности проволоки из материала различных марок, 10 <sup>12</sup> Па				Удлинение проволоки из материала различных марок, %			
		ВР5Т2	ВР10Т2	ВР20Т2	ВТ-15	ВР5Т2	ВР10Т2	ВР20Т2	ВТ-15
1300	500	2,6	2,0	2,4	1,9	4	8	8	1,5
	150	2,6	2,5	2,6	2,3	2	2	2	1,5
2000	500	—	1,6	1,9	—	—	24	27	—
	150	1,8	1,9	2,0	1,7	15	16	16	1,5
2400	500	—	1,5	1,9	—	—	26	27	—
	150	1,7	1,8	2,0	—	13	15	16	—

**Молибдено-рениевые сплавы.** Эти сплавы характеризуются высокой пластичностью в рекристаллизованном состоянии.

Сравнительная характеристика механических свойств молибдена МЧ и сплавов молибдена с рением приведена в табл. 2-7 и 2-8.

Таблица 2-7

Механические свойства молибдена МЧ и сплавов молибдена с рением, 10<sup>12</sup> Па

Марка сплава	Предел прочности проволоки диаметром, мм			
	0,5	0,3	0,15	0,025
МЧ	1,0	0,8	1,2	1,7
МР-5	1,2	1,0	1,3	1,8
МР-10	1,5	1,2	1,5	2,0
МР-20	1,7	1,3	1,5	2,2
МР-30	1,7	1,5	1,8	2,4
МР-40	2,0	1,7	1,9	2,6
МР-50	2,2	1,8	2,0	2,9

Таблица 2-8

Влияние температуры на механические свойства проволоки диаметром 0,1 мм из молибдена и сплавов молибдена с рением (после отжига 15 мин)

Температура, °C	Предел прочности, 10 <sup>11</sup> Па					
	МЧ	МР-10	МР-20	МР-30	МР-40	МР-50
1100	0,90	1,0	1,2	1,2	1,6	1,8
1300	0,8	1,0	1,1	1,2	1,4	1,7
1450	0,8	0,9	0,9	1,2	1,3	1,7
1550	0,7	0,9	0,9	1,2	1,3	1,5
1650	0,7	0,9	0,8	1,1	1,2	1,4
1850	0,7	0,9	0,8	1,1	1,2	1,2
2050	—	0,3	0,8	1,1	1,2	1,2
2250	—	0,3	0,3	0,5	1,1	1,1

Продолжение табл. 2-8

Температура, °C	Удлинение, %					
	МЧ	МР-10	МР-20	МР-30	МР-40	МР-50
1100	19—22	8—11	13—15	14—16	10—13	2
1300	12—14	15—17	11—14	13—15	12—14	2
1450	8—11	14—16	13—15	18—20	18—20	11—13
1550	8	17—19	18—20	19—21	20—22	13—15
1650	7	19—21	18—20	19—21	16—18	14—15
1850	3	6—8	14—16	19—21	10—13	15—16
2050	—	7	9—11	16—18	10—13	15—16
2250	—	6	7—8	3—6	4—6	4

Температура рекристаллизации сплава молибдена с рением выше, чем чистого молибдена. Так, молибден марки МЧ полностью рекристаллизован после отжига при 1450°C, а сплав с 20 и 30% рения — только после отжига при 1850°C.

**Молибден с присадкой кобальта и железа.** Проволока из молибдена МЧ диаметром 40 мкм нестабильна по механическим свойствам. Проволока с присадкой 0,1% кобальта или железа после отжига имеет более высокое и стандартное удлинение.

Наиболее стабильна по удлинению проволока из молибдена с присадкой 0,1% кобальта: в широком интервале температур отжига (1250—1750°C) разброс по удлинению проволок диаметром до 40 мкм и менее, внутри одной партии не более 3%, а между партиями — не более 6% при величине относительного удлинения — свыше 13%.

Сравнительные свойства молибденовой проволоки марки МЧ и сплавов молибдена с кобальтом и железом приведены в табл. 2-9.

Таблица 2-9

Влияние присадок кобальта и железа на свойства молибденовой проволоки

Материал	Температура отжига, °C	Предел прочности, 10 <sup>11</sup> Па	Предел текучести, 10 <sup>11</sup> Па	Относительное удлинение, %
Молибден с присадкой 0,1% кобальта	1330	1,2	1,1	0
	1730	0,7	0,5	13,0—14,0
Молибден с присадкой 0,1% железа	1330	0,8	1,0	2,0
	1560	0,7	0,7	13,0
	1730	0,7	0,6	12,0
Молибден марки МЧ	1330	1,2	1,2	3,0
	1480	0,8	0,8	14,0—17,0
	1650	0,7	0,6	12,0

**Молибден с присадками окислов лантана, неодима, иттрия, титана и циркония.** Представляет интерес влияние специальных присадок к молибдену (окислы лантана, неодима, иттрия, титана и циркония) на температуру рекристаллизации, упрочнение, обрабатываемость и некоторые другие свойства.

Наибольшую температуру рекристаллизации имеет лантанированный молибден (1700—1900°C при содержании LaO<sub>3</sub> от 0,5 до 1,5%). Молибден с присадками редкоземельных элементов имеет после собирательной рекристаллизации структуру, аналогичную структуре молибдена МК.

Прутки и проволока лантанированного молибдена в местах стыковой сварки или вваривания в кварцевое стекло (мощные прожекторные и ртутно-кварцевые лампы) имеют структуру, характерную для начала первичной рекристаллизации (подобную структуре молибдена МК). Такой материал достаточно пластичен, электроды из него выдерживают несколько гибов с перегибами (вводы в кварцевое стекло).

Электроды мощных прожекторных ламп, изготовленные с применением лантанированного молибдена, легко формуются без изломов в местах стыковой сварки молибдена с никелем.

**Тантало-ниобиевые и тантало-вольфрамовые сплавы.** Тантало-ниобиевые сплавы (до 85—95% ниобия) марок ТНИ и ТНТ с присадками окислов иттрия или тория обладают наряду с высокой эмиссией хорошими пластическими свойствами в отожженном состоянии. Они легко активируются при относительно низкой температуре 1000—1500°C).

Температура плавления тантало-ниобиевых сплавов зависит от содержания ниобия и ниже, чем у тантала.

Таблица 2-10

Механические свойства тантала и сплава тантала с присадкой 10 % вольфрама

Образец	Температура испытания, °C	Предел прочности, $10^3$ Па	Предел текучести, $10^3$ Па	Относительное удлинение, %
Тантал	24	0,5	0,5	16,0
	1200	0,3	—	13,0
Сплав	24	1,2	1,1	4,0
	1200	0,4	0,3	4,0
	1650	0,8	0,8	33,0

Выпускаются сплавы в виде проволоки и лент толщиной от 0,05 до 40 мм при длине от 250 мм и ширине от 30 до 150 мм.

Из тантало-вольфрамовых сплавов применяются в основном сплавы, содержащие до 7,5—10% W (табл. 2-10).

#### б) ЧЕРНЫЕ И ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ

Из черных и цветных металлов в производстве источников света широко применяются никель, железо, алюминий, медь и их сплавы.

Они характеризуются низкой температурой плавления, повышенными значениями давления насыщенных паров и скорости испарения, менее прочной кристаллической решеткой. Хорошо обрабатываются в холодном состоянии, в процессе обработки повышаются их твердость и предел прочности при растяжении, снижается относительное удлинение. Последующим отжигом, который во избежание окисления производится в водороде или в вакууме, пластические свойства этих металлов могут быть восстановлены (при одновременном снижении твердости и прочности).

Механической обработкой в холодном и горячем состоянии из этих металлов и сплавов могут быть получены изделия различных размеров и сложной формы. Однако прочность и формоустойчивость их при длительной работе в области сравнительно высоких температур невысоки вследствие низкого значения предела ползучести.

Поэтому в основном черные и цветные металлы применяются для производства деталей с относительно низкими термическими нагрузками.

Для внешних узлов ламп из черных и цветных металлов изготавливаются цоколи, выводы, штырьки, крепежные детали. Для внутренней арматуры ламп в области сравнительно небольших температур — подложки катодов для газоразрядных ламп, экраны, держатели, электроды и др.

Детали из никеля, железа, меди, алюминия и их сплавов широко используются в производстве источников света благодаря возможности получения металлов в очень чистом виде, простоте механической обработки и сравнительно низкой стоимости.

В последнее время все шире развиваются методы вакуумной металлургии — дуговая плавка, плавка электронным лучом и зонная очистка, способствующие расширению использования металлов этой группы для внутренних деталей источников света.

**Никель.** Никель благодаря совокупности таких свойств, как, например, высокие прочность и пластичность, химическая стойкость и хорошие вакуумные свойства, хорошая свариваемость, способность легко обрабатываться в холодном состоянии, является одним из основных конструкционных материалов, применяемых в производстве источников света.

Из никеля изготавливаются вводы (электроды) ламп, подложки катодов для газоразрядных ламп, хомутики для крепления деталей, экраны, поддержки, полочки для монтажа геттеров, керны для спиралей или оксидных катодов и пр.

Для пайки деталей из вольфрама, молибдена и железа применяется припой из никеля или сплавов на его основе.

Кроме того, никелевые электроды и сернокислый технический никель используются для никелирования цоколей и других деталей ламп.

Для производства источников света используются специальные сорта никеля (никель с активирующими присадками, никель с упрочняющими присадками, алюминированный никель). Проволока из кремнистого никеля выпускается промышленностью диаметром от 0,03 до 12,0 мм, а из марганцевистого никеля — диаметром от 0,05 до 0,15 мм и от 0,5 до 5,0 мм.

Для никелирования деталей используются аноды никелевые горячекатаные. Аноды выпускаются в виде пол-лос овального и прямоугольного сечения.

Для активированных катодов с подложками из чистого никеля применяются марки НО.000.НЭ, НВ и другие, а также специальные сорта никеля с присадками элементов (кремния, магния, кальция, стронция и др.), энергично восстанавливающих барий из его соединений.

#### Физические свойства никеля

Атомный номер	28
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	8900
Работа выхода электронов, 10 <sup>-18</sup> Дж	0,78 (4,84 эВ)
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м	0,068
Температурный коэффициент электрического сопротивления, К <sup>-1</sup>	4,7·10 <sup>-3</sup>
Атомная масса	58,7
Температура плавления, К	1725
Температура кипения, К	3350
Теплота плавления, кДж/кг	310
Теплота испарения, кДж/кг	6070
Температурный коэффициент линейного расширения, К <sup>-1</sup>	135·10 <sup>-7</sup>

#### Температурные зависимости физических свойств

	Температура, К				
	293	1400	1600	1800	1900
Удельная теплоемкость, кДж/(кг·К)	0,47	—	—	—	—
Теплопроводность, Вт/(м·К)	83	60	—	—	—
Скорость испарения, г/(см <sup>2</sup> ·с)	—	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>
Плотность излучения, Вт/см <sup>2</sup>	—	5,2	—	—	—
Давление насыщенных паров, Па	—	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-1</sup>	1,0	10

#### Механические свойства никеля

	Неотожженный	Отожженный
Твердость по Роквеллу (шкала В)	70—100	40—65
Предел текучести, 10 <sup>10</sup> Па:		
прутки	30—60	6—20
проволока	60—90	6—20

	Неотожженный	Отожженный
Предел прочности, 10 <sup>10</sup> Па:		
прутки	50—80	40—50
проволока	70—100	40—50
Модуль упругости, 10 <sup>11</sup> Па	1,7—2,2	
Модуль сдвига, 10 <sup>11</sup> Па	7,8	
Относительное удлинение, %:		
прутки	15—35	35—50
проволока	2—15	30—50

Высокая скорость испарения и потеря прочности при больших температурах не дают возможности применять никель при рабочих температурах, превышающих 1000—1160 °С.

Малая теплопроводность никеля не позволяет в достаточной степени рассеивать мощность, выделяемую на никелевых анодах, без специальной обработки их поверхности с целью повышения излучательной способности.

Удельное электрическое сопротивление и его температурный коэффициент в сильной степени зависят от чистоты никеля.

Никель способен воспринимать все основные виды механической обработки давлением (ковку, штамповку, прессовку, прокатку и волочение) даже в холодном состоянии.

Предел прочности никелевой проволоки диаметром 0,7—1,5 мм, применяющейся для электродов ламп накаливания и люминесцентных ламп, составляет (0,4—0,5) × 10<sup>12</sup> Па при относительном удлинении 43—30% для траверс (держателей) применяется марганцевистый никель с пределом прочности не менее 0,6·10<sup>12</sup> Па и относительным удлинением порядка 7—10%.

Пониженными механическими свойствами обладает перегретый никель с крупнозернистой структурой.

Пониженная прочность и хрупкость никеля обычно являются результатом окисления металла.

Диффузия серы (с поверхностей деталей или из атмосферы печи) по границам зерен придает никелю хрупкость. Образующиеся при этом сульфиды никеля располагаются по границам зерен в виде оболочек, чем ослабляют связь между зернами и облегчают диффузию кислорода при нагреве.

При механической обработке прочность никеля значительно возрастает. Снижение прочности происходит сравнительно медленно ввиду довольно высокой темпе-

ратуры рекристаллизации никеля (550—640 °С). Благодаря этому же прочность никеля при нагревании снижается медленно. Температура мягкого отжига около 800 °С, поэтому при обычном нагревании для обезгаживания приблизительно до 900 °С (760—950 °С) в никеле заведомо исчезают все напряжения и его относительное удлинение составляет примерно 40—50%.

Массовая рекристаллизация наблюдается при температуре около 650 °С, что обеспечивает возможность термической обработки никелевых деталей при 800—900 °С.

Весьма существенными недостатками никеля являются низкий предел ползучести, малая формоустойчивость и непрочность при длительном воздействии высоких температур.

При комнатной температуре никель весьма устойчив при отсутствии в воздухе  $\text{SO}_2$  (иначе образуется поверхностная пленка  $\text{NiSO}_4$ ). Только при длительном пребывании во влажном воздухе на обычно серебристо-белой поверхности металла появляется бледно-желтый налет. При повышенной температуре в присутствии кислорода никель покрывается цветами побежалости, выше 500 °С возникает пленка окислов.

Все известные минеральные кислоты действуют на никель. Особенно сильно он растворяется в азотной кислоте. Против щелочей никель очень устойчив.

Никель энергично взаимодействует с газами и другими веществами в процессе термической обработки, что затрудняет обезгаживание и откачку ламп с никелевыми деталями, а иногда понижает механические характеристики никеля. С водородом никель образует твердые растворы; водород легко выделяется из никеля при нагревании в вакууме. Азот растворяется в никеле лишь при 1400 °С и выделяется с понижением температуры, не оказывая вредного действия на свойства никеля.

С окисью углерода никель образует карбонил  $\text{Ni}(\text{CO})_4$  — соединение, легко разлагающееся с выделением  $\text{CO}$ . Остающаяся в никеле окись углерода выделяется в процессе его термической обработки и обезгаживания в водород и вакууме.

Вода на никель не действует. В присутствии паров воды при температуре более 400 °С он постепенно окисляется.

**Железо.** Железо, несмотря на сравнительно высокую температуру плавления и ряд других положительных

характеристик, имеет ограниченное применение в электроламповой промышленности, так как очень трудно очищается и обезгаживается. Используются лишь наиболее чистые сорта железа, главным образом для изготовления деталей, не нагреваемых до высоких температур.

Из железа изготавливаются внешние детали источников света.

Низкоуглеродистая сталь марки ОМ особо мягкая холоднокатаная толщиной 0,25—0,4 мм применяется для изготовления цоколей, корпусов стартеров.

Стальная высокохромистая лента толщиной 0,25 мм используется для фуродитовых колец при изготовлении кольцевых люминесцентных ламп.

Из некоторых сортов сталей изготавливают винты, гайки, шпильки, хомутики и другие крепежные детали для газоразрядных источников света.

В производстве источников света наибольшее распространение получили сталь типа армко с содержанием углерода не выше 0,05% при небольшом количестве других примесей и малоуглеродистая сталь с примесью углерода не выше 0,1%.

Стальная углеродистая проволока диаметром от 0,1 до 0,9 мм применяется для кернов при изготовлении спиралей.

#### Физические свойства железа

Атомный номер . . . . .	26
Плотность, $\text{кг/м}^3$ . . . . .	7860
Работа выхода электронов, $10^{-18}$ Дж . . . . .	0,65 (4,04 эВ)
Удельное электрическое сопротивление, $\text{мкОм}\cdot\text{м}$ . . . . .	0,10
Температурный коэффициент электрического сопротивления, $\text{K}^{-1}$ . . . . .	$6,57\cdot 10^{-3}$
Атомная масса . . . . .	55,8
Температура плавления, К . . . . .	1800
Точка Кюри, К . . . . .	1041
Температура фазового превращения, К . . . . .	1314
Температурный коэффициент линейного расширения, $\text{K}^{-1}$ . . . . .	$125\cdot 10^{-7}$

#### Температурные зависимости физических свойств

		Температура, К				
		293	1350	1600	1700	1850
Удельная теплоемкость, $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ . . . . .	0,45	0,75	—	—	—	—
Теплопроводность, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$ . . . . .	73	—	—	—	—	—
5—1046						65



		Температура, К				
		293	1350	1600	1700	1850
Скорость испарения,	г/(см <sup>2</sup> ·с)	—	1,2·10 <sup>-7</sup>	1·10 <sup>-7</sup>	1·10 <sup>-4</sup>	1·10 <sup>-2</sup>
Плотность излучения,	Вт/см <sup>2</sup>	0,004	—	—	—	25,4
Давление насыщенных паров,	Па	—	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-1</sup>	1,0	10

### Механические свойства железа

	Отожженное	Холоднокатаное	Карбонильное
Твердость по Роквеллу (шка- ла В)	40	82	50—80
Предел текучести, 10 <sup>10</sup> Па	7—14	35—50	1—2
Предел прочности, 10 <sup>10</sup> Па	18—30	40—60	20—32
Модуль упругости, 10 <sup>14</sup> Па	2,1	2,0	2,0
Модуль сдвига, 10 <sup>14</sup> Па	0,82	—	—
Относительное удлинение, %	40—60	2—6	35—40

Физические свойства железа в значительной мере зависят от примесей и особенно от содержания углерода. С повышением содержания углерода возрастает удельная теплоемкость, уменьшается средний температурный коэффициент линейного расширения, возрастает удельное электрическое сопротивление.

Механические свойства железа также в значительной мере зависят от примесей и особенно от содержания углерода. С повышением содержания углерода возрастают твердость, предел прочности на растяжение, уменьшается относительное удлинение.

При нагревании до 600—700°C прочность железа уменьшается в большей степени, чем никеля.

По сравнению с никелем железо обладает меньшей ductильностью, что создает некоторые затруднения на тех операциях, где требуется глубокая вытяжка.

Железо химически очень активно даже при обычных комнатных температурах. Оно хорошо растворяется в разбавленной серной, соляной и азотной кислотах. Щелочи действуют на железо медленно.

В отличие от многих других металлов железо не взаимодействует со ртутью. С водородом образует твердые растворы. Растворимость водорода в железе повышается с ростом температуры, достигая высоких значений при изменении модификации.

С кислородом, растворяющимся даже при сравнительно низких температурах, железо образует устойчивые окислы FeO и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. При 800°C растворимость кислорода в металле составляет 24 см<sup>3</sup>/100 г. С углеродом железо образует карбиды, повышающие его твердость, прочность и электросопротивление.

С азотом железо образует ряд сплавов.

Железо реагирует с серой с образованием FeS.

**Алюминий.** Алюминий находит все более широкое применение в производстве источников света.

Из алюминия изготавливаются катоды некоторых типов неоновых ламп тлеющего разряда.

Сплав AlMg применяется в виде проволок диаметром 30 мкм в лампах-вспышках.

Алюминиевая пудра используется для облегчения зажигания стартеров в темноте, а нанесенная на молибденовые держатели ламп накаливания, служит газопоглотителем.

Алюминий применяется для внешних деталей источников света — цоколей ламп накаливания и люминесцентных ламп, корпусов стартеров.

В производстве специальных ламп накаливания алюминий используется для получения (методом распыления в вакууме) отражающих пленок на внутренней поверхности колб.

В газопоглотители, содержащие барий, алюминий вводится для предохранения бария от воздействия атмосферы.

Выпускаемые марки и химический состав алюминиевой пудры, применяемой для темнового зажигания стартеров, приведены в табл. 2-11.

Таблица 2-11

Свойства алюминиевой пудры

Марка пудры	Кроющая способность на воде, см²/г (не менее)	Степень измельчения. Остаток на ситах с сетками № (по ГОСТ 3584-53)			Всплываемость, % (не менее)
		0075	0056	0045	
		%, не более			
ПАК1	3000	4	—	—	40
ПАК2	5000	1,5	—	—	80
ПАК3	6000	1	—	—	80
ПАК4	7000	—	0,3	0,5	80

Продолжение табл. 2-11

Марка пудры	Химический состав, %						Жировые добавки, % (не более)
	Активный алюминий (не менее)	Примеси				Влага (не более)	
		Железо	Кремний	Медь	Марганец		
		Не более					
ПАК1	90	0,7	0,7	0,1	0,01	0,1	3,0
ПАК2	87	0,7	0,7	0,1	0,01	0,1	3,5
ПАК3	82	0,7	0,7	0,1	0,01	0,1	3,8
ПАК4	82	0,7	0,7	0,1	0,01	0,1	3,8

## Физические свойства алюминия

Атомный номер	13
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	2700
Работа выхода электронов, 10 <sup>-18</sup> Дж	0,60 (3,74 эВ)
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м	0,028
Температурный коэффициент электрического сопротивления, К <sup>-1</sup>	4,08·10 <sup>-3</sup>
Атомная масса	26,97
Температура плавления, К	932
Температура кипения, К	2470
Теплота плавления, кДж/кг	4086
Температурный коэффициент линейного расширения, К <sup>-1</sup>	240·10 <sup>-7</sup>

## Температурные зависимости физических свойств

	Температура, К			
	293	1100	1300	1550
Удельная теплоемкость, Дж/(кг·К)	0,94	1,30	—	—
Теплопроводность, Вт/(м·К)	218	135	—	—
Скорость испарения, г/(см <sup>2</sup> ·с)	—	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-3</sup>
Давление насыщенных паров, Па	—	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-1</sup>	10

## Механические свойства алюминия

	мягкого	нагартованного
Число Бринелля	15—25	35—70
Предел текучести, 10 <sup>10</sup> Па	2,0—3,0	12—18
Предел прочности, 10 <sup>10</sup> Па	6,0—10	14—24
Модуль упругости, 10 <sup>13</sup> Па	5,8—6,4	7,0
Модуль сдвига, 10 <sup>13</sup> Па	2,7	2,7
Относительное удлинение, %	30—45	2—8

Важными свойствами алюминия являются его устойчивость при бомбардировке положительными ионами, а также коррозионная стойкость и малая плотность.

Алюминий имеет высокие электро- и теплопроводность. Недостатки его — низкая температура плавления, трудность обезгаживания даже при температурах, близких к точке плавления.

Алюминий отличается сравнительно малым значением предела прочности при высоком относительном удлинении, особенно в отожженном состоянии. Высокая пластичность, низкий предел текучести и малый модуль упругости дают возможность при помощиковки, прокатки и протяжки получать из алюминия изделия очень малых диаметра и толщины вплоть до фольги толщиной 0,005 мм. При термической обработке прочность алюминия резко понижается.

Алюминий — химически очень активный металл, в особенности по отношению к кислороду. На воздухе он быстро покрывается прочной, плотной и очень тонкой пленкой окиси, которая предохраняет от окисления нижние слои алюминия. Она имеет электроизоляционные свойства и затрудняет пайку.

Окиси многих металлов легко восстанавливаются алюминием.

Дистиллированная вода образует на поверхности тонкую равномерную пленку окисла (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Соляная кислота легко растворяет алюминий и тем быстрее, чем менее он чист. Плавиковая кислота также растворяет алюминий, тогда как азотная кислота при комнатной температуре на него почти не действует, а при высокой температуре действует только очень незначительно. Это же относится и к разбавленной серной кислоте; сильнее действуют концентрированная серная кислота и хромовая смесь. Едкий натр и едкое кали растворяют алюминий с образованием алюминатов и свободного водорода.

Водный раствор хлористого кальция также действует на алюминий.

С ртутью и ее парами алюминий реагирует очень интенсивно.

**Медь.** В производстве источников света медь находит применение для изготовления внешней части выводов ламп и внутренней части вакуумных ламп [проволочная медь марки ММ (ГОСТ 2112-71)].

Кроме того, медь используется для изготовления твердых припоев.

Большинство деталей для источников света изготавливается из бескислородной меди.

### Физические свойства меди

Атомный номер . . . . .	29
Плотность, кг/м <sup>3</sup> . . . . .	8950
Работа выхода электронов, 10 <sup>-18</sup> Дж . . . . .	0,72 (4,47 эВ)
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м . . . . .	0,0156
Температурный коэффициент электрического сопротивления, К <sup>-1</sup> . . . . .	6,8·10 <sup>-3</sup>
Атомная масса . . . . .	63,54
Температура плавления, К . . . . .	1356
Теплота плавления, кДж/кг . . . . .	254
Температурный коэффициент линейного расширения, К <sup>-1</sup> . . . . .	165·10 <sup>-7</sup>

### Температурные зависимости физических свойств

	Температура, К				
	293	850	1050	1250	1550
Удельная теплоемкость, кДж/(кг·К) . . . . .	0,38	0,43	—	—	—
Теплопроводность, Вт/(м·К) . . . . .	0,39	0,35	—	—	—
Скорость испарения, г/(см <sup>2</sup> ·с) . . . . .	—	—	1,4·10 <sup>-9</sup>	1,3·10 <sup>-6</sup>	1,2·10 <sup>-4</sup>
Плотность излучения, Вт/см <sup>2</sup> . . . . .	0,005	—	—	—	4,26
Давление насыщенных паров, Па . . . . .	—	—	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-2</sup>	1,0

### Механические свойства меди

	отожженной	холоднотянутой
Число Бринелля . . . . .	40—50	80—120
Предел текучести, 10 <sup>10</sup> Па . . . . .	10—14	30—40
Предел прочности, 10 <sup>10</sup> Па:		
на растяжение . . . . .	20—25	35—45
на сжатие . . . . .	55	60
Модуль упругости, 10 <sup>14</sup> Па . . . . .	1,1—1,2	1,1—1,2
Модуль сдвига, 10 <sup>13</sup> Па . . . . .	3,6—4,5	3,6—4,5
Относительное удлинение, % . . . . .	30—50	2—4

Применение меди ограничивается сравнительно низкой температурой плавления и высокой скоростью испарения.

Она характеризуется высоким температурным коэффициентом линейного расширения, малым электрическим сопротивлением.

Медь очень ковкий, легко поддающийся пластической деформации металл. При обработке возрастает прочность меди и уменьшается относительное удлинение.

Отжигом меди в водородной или вакуумной печи восстанавливается первоначальная прочность и пластич-

ность. При отжиге температура не должна превышать 500—600°C.

Механические свойства медной проволоки диаметром 0,3—0,9 мм, применяемой для электродов (после отжига при температуре 700—800°C), следующие: предел прочности не более 300 МПа, относительное удлинение не менее 21%.

Сухой воздух на медь не действует. В присутствии влаги на воздухе она покрывается зеленоватым рыхлым слоем основной углекислой соли. При нагревании в воздушной среде до 185—200°C медь покрывается черной рыхлой и неплотной пленкой окиси CuO. При 700°C на поверхности металла появляется тонкий и прочный, хорошо смачивающийся размягченным стеклом слой окиси меди Cu<sub>2</sub>O красного цвета.

Кислород — вредная примесь в меди, растворяется в ней с образованием окислов Cu<sub>2</sub>O и CuO. Обычно он присутствует в меди в виде Cu<sub>2</sub>O. Водород образует с медью твердые растворы. Растворимость водорода в расплавленной меди достигает 6,0 см<sup>3</sup>/100 г, при 600°C растворимость снижается до 0,3 см<sup>3</sup>/100 г.

Водяной пар, получающийся при восстановлении Cu<sub>2</sub>O, разрывает твердый металл с образованием мелких трещин. Это явление, известное под названием «водородной болезни» меди, возникает вследствие того, что водяной пар в отличие от водорода не может диффундировать через медь и разрывает ее. Водородная болезнь не дает возможности производить термическую обработку обычных сортов меди в атмосфере водорода.

Углекислота, окислы углерода и азота в меди не растворяются. Примеси мышьяка, сурьмы, висмута и других элементов вредно отражаются на вакуумных свойствах меди, повышают ее электрическое сопротивление и уменьшают прочность.

Кислоты реагируют с медью только в присутствии кислорода, поэтому соляная и серная кислоты при комнатной температуре на металл не действуют. Азотная кислота, поскольку она является сильным окислителем, бурно реагирует с медью с образованием окислов азота; в концентрированной азотной кислоте (плотность 1540 кг/м<sup>3</sup>) наблюдается пассивирование поверхности меди.

Ртуть очень быстро образует с медью амальгамы, при этом медь становится хрупкой.

**Сплавы и композиции черных и цветных металлов.**  
В сплавах черных и цветных металлов сочетаются положительные свойства различных элементов.

Для производства источников света представляют интерес сплавы железо — никель и железо — никель — хром, фурудит, ковар; константан и биметаллы (платиниг и алюминированное железо).

Следует отметить, что сплавы нельзя использовать при более высокой температуре, чем это допускает каждая из составляющих, так как начинается испарение компонента, изменяются состав, а следовательно, и свойства сплава.

**Сплавы железо — никель и железо — никель — хром.**  
В зависимости от содержания никеля в широких пределах изменяются температурные коэффициенты расширения сплавов. При этом необходимо учитывать, что температурный коэффициент расширения сплава при температуре выше точки магнитного превращения (точки Кюри), сильно увеличивается. Сплавы используются в спаях с различными сортами стекол и керамикой.

Содержание углерода в сплавах способствует образованию  $\text{CO}_2$  на границах стекла и металла во время впаивания.

Ферроникель используется в газополных лампах накаливания в качестве плавкого предохранителя. Плавкую вставку можно изготавливать из никелевой стали марки 43Н (ЧМТУ 1-973-70), оказавшейся негодной по каким-либо причинам для производства платинита. Такая проволока диаметром 0,25 мм плавится при токе 3,8 А, диаметром 0,20 мм — при токе 2,9 А.

На прутки из сплава 43Н рекомендуется наращивать слой меди (6—8% от массы сердечника), это облегчает волочение проволоки, защищает ее от коррозии и облегчает припайку к цоколю. Применение предохранителей из материала, устойчивого против коррозии, особенно важно для ламп, изготавливаемых для местностей с влажным и тропическим климатом.

Для улучшения сцепления стекла с металлом и герметичности спаев в сплавы железо — никель вводят незначительное количество хрома. Рекомендуется также применение сплавов железо — никель, содержащих 0,3—0,7% титана.

Во избежание чрезмерного окисления этих сплавов при впаивании в стекло рекомендуется вводы серебрить

(на слой серебра гальванически наносят слой индия — это создает непроницаемость для кислорода), с этой же целью вводы перед серебрением можно покрывать слоем золота.

**Сплав Х28 по МПТУ 4209-53 (ЭИ349, фурудит).** Химический состав: хром 27—30%; марганец не более 0,8%; кремний не более 0,4%; углерод не более 0,15%; никель не более 0,6%; сера не более 0,02%; фосфор не более 0,035%; остальное — железо.

Фурудит применяется для изготовления вводов в источники света.

Присадка хрома к чистому железу снижает температурный коэффициент расширения до температурного коэффициента расширения легкоплавких стекол.

При впаивании в стекло фурудит из всех неблагородных металлов менее всего подвержен окислению, так как образующийся зелено-серый поверхностный слой окислов хрома и железа очень прочно удерживается на впаиваемой детали и предохраняет ее от дальнейшего окисления.

Свойства сплава Х28

Плотность, $\text{кг/м}^3$ . . . . .	7630
Температура плавления, К . . . . .	1760
Температура отжига, $^{\circ}\text{C}$ . . . . .	800
Предел прочности, $10^{10}$ Па . . . . .	50—55
Теплопроводность, $\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . . . . .	20
Удельная теплоемкость, $\text{кДж/кг}\cdot\text{К}$ . . . . .	0,5
Температурный коэффициент расширения, $10^{-7}$ $\text{К}^{-1}$ , в интервале температур:	
20—300 $^{\circ}\text{C}$ . . . . .	99
20—500 $^{\circ}\text{C}$ . . . . .	108
Удельное электрическое сопротивление, $\text{мкОм}\cdot\text{м}$ . . . . .	0,07
Число Бринелля (700 $^{\circ}\text{C}$ ) . . . . .	50
Предел текучести, $10^{10}$ Па . . . . .	30—35
Относительное удлинение, % . . . . .	20—24
Модуль упругости, $10^{14}$ Па . . . . .	2,0

При температурах от 20 $^{\circ}\text{C}$  до точки плавления фурудит имеет ферритную структуру.

Высокое содержание хрома приводит к значительной твердости и затрудняет механическую обработку.

При глубокой вытяжке, например колпачков, на кромках образуются так называемые зубцы, а в некоторых случаях и трещины. При протяжке проволоки имеется опасность образования поверхностных рисок или глубоких трещин и внутренних свилей. Эти недостатки

можно устранить удалением перед протяжкой поверхностных загрязнений травлением или механической очисткой, а также частым межоперационным отжигом в защитной атмосфере. Резку проволоки нужно производить не ножницами, а вращающимся диском из карборунда.

Для глубокой вытяжки тонкой фурудитовой жести рекомендуется отжиг в течение 30 мин при 770—790°C с закалкой в воде.

У фурудита при температурах выше 800—900°C наблюдается резкий рост зерна и появляется хрупкость. Нежелательна также и волокнистая структура, свидетельствующая о неполном отжиге. Для качественных вводов характерна мелкозернистая структура.

Наличие крупных карбидов также служит причиной хрупкости фурудитовых вводов.

Для получения качественных вводов рекомендуется отжигать их при температуре  $725 \pm 25^\circ\text{C}$  в течение 20 мин в атмосфере увлажненного водорода (с целью получения окисной пленки, обеспечивающей лучшее сцепление металла со стеклом).

Следует отметить, что фурудит, хотя и образует прочные спай, однако часто не обеспечивает необходимую герметичность ламп из-за повышенной хрупкости при перегреве. Для стекол рецептов С-88-1 и С-89-6 с успехом могут применяться сплавы Н49Д5 и Н47ХБ (вместо фурудита).

Особое внимание необходимо уделять очистке поверхности фурудита перед впаиванием в стекло для получения равномерной окисной пленки. Рекомендуются следующие способы поверхностной очистки.

- а) Химическая очистка (травление):
  - погружение в трихлорэтилен на 10 мин;
  - травление в растворе концентрированной серной кислоты 1 мин (2 л  $\text{HCl}$ , 1 л  $\text{H}_2\text{O} + 300 \text{ см}^3$  какого-либо ингибитора);
  - промыывание в проточной воде;
  - погружение в кипящую хромовую смесь (0,5 кг чистой хромовой кислоты + 5  $\text{см}^3$  концентрированной  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), объем раствора доводят до 1 л добавлением дистиллированной воды;
  - промыывание в теплой ( $60^\circ\text{C}$ ) воде;
  - промыывание в проточной воде;
  - промыывание в спирте;
  - сушка в центрифуге.

б) Механическая очистка. Для вводов длиной 20 мм и диаметром 1,25—1,3 мм производится галтовка в барабане, наполненном водой, суспензией порошка электросапфира с размером зерен 50 мкм. После 2—8-дневной галтовки (частота вращения около 30 об/мин) вводы ополаскиваются водой, промываются метанолом и высуши-

ваются в печи при  $80^\circ\text{C}$ . При галтовке поверхность вводов стирается на глубину около 0,02—0,03 мм и становится мелкозернистой.

Стержни большего диаметра из фурудита, а также колпачки, трубки и другие детали очищают перед впаиванием стальным порошком с помощью пескоструйного аппарата, а затем окисляют до зеленого окисла в электропечи при 950—1100°C в потоке влажного водорода в течение 15—30 мин.

в) Очистка после изготовления спая. Окисная пленка, обладая высоким электрическим сопротивлением, ухудшает электрический контакт. Удаление этой пленки рекомендуется производить анодным травлением. Для этого впаивные вводы через последовательное сопротивление соединяются с положительным полюсом источника постоянного тока с напряжением 4—6 В и опускаются в раствор с катодом-либо отрицательным вспомогательным электродом.

Электролит состоит из 3,35 л уксусной кислоты, 2,4 л хлорной кислоты ( $\text{HClO}_4$ ) и 1 л дистиллированной воды. Катод графитовый, продолжительность травления 8—10 мин. После обработки фурудит ополаскивается в проточной дистиллированной воде, а затем в метаноле; после этого высушивается 20—30 мин в сушильном шкафу при 80—100°C.

**Сплавы типа ковар с заданным коэффициентом теплового расширения 29НК, 29НК-ВИ, 30НКД, 30НКД-ВИ ГОСТ 10994-64.** Сплавы типа ковар отличаются высокой пластичностью и достаточной прочностью в отожженном состоянии. Прочность может быть повышена только холодной пластической деформацией. Вследствие большой вязкости при обычных режимах резания затруднено получение чистой поверхности изделий. Сплавы хорошо свариваются и устойчивы против амальгамирования ртутью. Структура сплавов устойчива при низких температурах до 200 К для 30НКД и до 190 К для 29НК. При более низких температурах происходит фазовое превращение, сопровождающееся возрастанием температурного коэффициента расширения.

Сплавы выпускаются в виде лент и полос по ГОСТ 14080-68 и проволоки по ГОСТ 14081-68, а также бесшовных труб, шлифованных прутков и т. п.

Сплавы предназначены для изготовления деталей, впаиваемых в стекло марок С38-1 (ЗС9), С40-1 (ЗС11) и в керамику.

**Химический состав сплавов типа ковар по ГОСТ 10994-64, %**

	Никель	Кобальт	Медь	Марганец	Кремний (не более)	Углерод	Сера	Фосфор
29НК	28,5—29,5	17,0—18,0	—	0,40	0,30	0,03	0,02	0,02
30НКД	29,5—30,5	13,0—14,2	0,3—0,5	0,40	0,30	0,05	0,02	0,02

Остальное — железо.

Для сплавов 29НК-ВИ и 30НКД-ВИ дополнительно нормируется содержание кислорода, водорода, азота и кремния.

#### Физические свойства сплавов типа ковар

	29НК	30НКД
Плотность, кг/м <sup>3</sup> . . . . .	8300	8000
Температура плавления, К . . . . .	1720	1720
Температурный коэффициент расширения, 10 <sup>-7</sup> К <sup>-1</sup> , в интервале температур:		
20—300° С . . . . .	4,6—5,5	3,3—4,3
20—400° С . . . . .	4,5—5,2	3,8—4,6
20—500° С . . . . .	5,9—6,4	5,9—6,7
Теплопроводность, Вт/(м·К) . . . . .	6,7	7,9
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м . . . . .	0,50	0,52
Модуль упругости, 10 <sup>14</sup> Па . . . . .	1,45	1,37
Предел прочности, 10 <sup>10</sup> Па . . . . .	50—60	50
Относительное удлинение, % . . . . .	25—30	39
Предел текучести, 10 <sup>10</sup> Па . . . . .	—	35

Сплавы типа ковар обладают малой теплопроводностью и высоким удельным электрическим сопротивлением. Из них могут быть изготовлены детали сложной формы, они хорошо свариваются и паяются.

Штамповку деталей из этих сплавов из-за большой опасности возникновения мелких трещин производить не рекомендуется. Ковар хорошо куется, прокатывается или протягивается с промежуточными отжигами в водороде при 700—1000°С. Перед отжигом детали тщательно обезжириваются трихлорэтиленом. При протяжке не рекомендуется использовать смазки, содержащие графит. Жесть из ковара пригодна для глубокой вытяжки при изготовлении цилиндров, колпачков и др. Ковар хорошо паяется мягкими припоями, хуже — твердыми.

Ковар обладает достаточной антикоррозийностью, устойчив по отношению к ртути.

Травится ковар в нагретой до 70°С смеси 10%-ных соляной и азотной кислот.

Хорошие результаты дает также электролитическое травление в 10—15%-ной соляной кислоте с присадкой 1% хлористого натрия.

Штырьковые и чашечные вводы из ковара перед варкой в стекло необходимо отжигать в атмосфере водорода (точка росы —15°С и ниже) при 1150±50°С в течение 10 мин. Заниженная температура не обеспечивает необходимой степени обезгаживания деталей, что при варке в стекло приводит к образованию в нем пузырей.

Если при температуре 70°С имеет место фазовое превращение и ковар приобретает структуру мартенсита, происходит резкое изменение температурного коэффициента и расширения и, следовательно, нарушение герметичности спая.

Наличие на продольных шлифах коваровой проволоки (диаметром 0,4 мм и более) большого количества длинных полос неметаллических включений нежелательно, так как ослабляет прочность ввода.

**Сплавы железа и никеля с хромом.** Эти сплавы применяются для изготовления вводов.

На поверхности высокохромистых сталей образуется плотная защитная пленка окиси хрома, прочно соединяющаяся с основным металлом и стеклом.

Высокохромистые стали имеют малую теплопроводность и большое удельное электрическое сопротивление. Высокая твердость сплавов создает затруднения при механической обработке. Физические свойства сталей приведены в табл. 2-12.

Таблица 2-12

#### Свойства сплавов железо—никель—хром

Параметры	Высокохромистая сталь (28,5—27% Cr, 0,2% C, 0,4% Ni, (остальное Fe)	Сталь Х18МТФ (18% Cr, 0,3% Mo, 0,6% Ti, 0,4% V, 81% Fe)	Сталь Х20Н80 (75—78% Ni, 20—23% Cr)	Сталь Х15Н60 (61—63% Ni, 16—18% Cr, остальное Fe)
Плотность, кг/м <sup>3</sup> . . . . .	7630	8060	8360	8250
Температура плавления, К . . . . .	1760	1725	1670	1810
Теплопроводность, Вт/(м·К) . . . . .	16,7	—	14,2	13,6
Удельная теплоемкость, кДж/(кг·К) . . . . .	0,46	—	—	—
Температурный коэффициент расширения, 10 <sup>-7</sup> К <sup>-1</sup> , в интервале температур:				
20—100° С . . . . .	106	100—112	125	—
30—1000° С . . . . .	—	—	176	170
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м . . . . .	0,70	0,60	1,05	1,12
Число Бринелля . . . . .	50	—	85—90	—
Предел прочности при растяжении, 10 <sup>10</sup> Па . . . . .	50—55	45—55	65	70
Предел текучести, 10 <sup>10</sup> Па . . . . .	30—36	30—40	—	—
Относительное удлинение, % . . . . .	20—24	28—30	35—25	30
Модуль упругости, 10 <sup>14</sup> Па . . . . .	2,0	—	2,2	—

Травится высокохромистая сталь в концентрированной соляной кислоте при нагревании и в хромовой смеси (смесь хромовой и серной кислот с дистиллированной водой).

Схема рекомендуемого процесса очистки вводов из сплавов железо — никель, железо — никель — хром и железо — никель — кобальт:

1) предварительное травление производится в течение 5—10 мин при 80—90 °С в растворе: 20% (по массе)  $H_2SO_4$ , 1% (по массе) ингибитора, 79% (по массе) дистиллированной воды, после чего следует промывание в воде;

2) травление — кратковременное погружение в раствор: 33% (по объему  $HNO_3$ , 67% (по объему) дистиллированной воды (температура около 70 °С), затем промывание в воде;

3) заключительные операции — кратковременное погружение при комнатной температуре в раствор: 50% (по объему)  $HCl$ , 50% (по объему) дистиллированной воды, затем тщательное промывание в воде и сушка.

**Константан.** Константан может быть использован для предохранителей ламп накаливания. Состав константана: 55%  $Cu$ , 45%  $Ni$ .

Он обладает достаточно высокой прочностью и пластичностью, отличается коррозионной устойчивостью.

Рабочая температура деталей из константана не должна быть выше 350—400 °С ввиду летучести входящей в состав сплава меди.

Травится константан в растворе, содержащем 10—15% серной кислоты и 2% хрома.

Детали из константана следует отжигать при 800—900 °С в атмосфере водорода.

**Биметаллы.** Биметаллы сочетают свойства двух или трех чистых металлов или сплавов, причем при их комбинации биметалл приобретает новые выгодные свойства.

Биметаллы получают совместной прокаткой отдельных листов, прокаткой или протяжкой круглых металлических прутков, покрытых гальваническим способом слоем другого металла.

**Платинит.** Для впаев в легкоплавкие стекла применяется биметаллическая проволока — платинит, изготавливаемая путем гальванического нанесения медного слоя на сердечник из стали марки 43Н (ЧМТУ 1-973-70). Вы-

пускается также платинитовая проволока, изготовленная трубчатым методом, состоящая из сердечника сплава 43НГ-ВИ вакуумной плавки, соединенного твердым латунным припоем с покрытой пленкой борноокислого калия наружной медной оболочкой.

Платинит выпускается диаметром от 0,20 до 0,45 мм (через каждые 0,05 мм) и от 0,50 до 1,20 мм (через каждые 0,1 мм). Содержание никеля в сердечнике составляет 42,5—44,0%; содержание меди в общей массе биметалла составляет 21—30%.

Температурный коэффициент поперечного расширения проволоки в диапазоне температур от 20 до 3000 °С лежит в пределах  $(82—92) \cdot 10^{-7} K^{-1}$ , зависимость его от состава сердечника и массы покрытия приведена в табл. 2-13.

Таблица 2-13

Линейные поперечные коэффициенты расширения в зависимости от содержания никеля в стальном сердечнике и от содержания меди в платинитовой проволоке

Содержание меди, %	Температурный коэффициент расширения, $10^{-7} K^{-1}$ , при содержании никеля, %					
	42,0	42,5	43,0	43,5	44,0	44,5
8	—	—	—	—	—	82,0
10	—	—	—	—	—	83,0
12	—	—	—	—	82,3	84,0
14	—	—	—	81,7	83,3	85,0
16	—	—	—	82,8	84,4	86,0
18	—	—	82,3	83,9	85,4	87,0
20	—	81,4	83,4	85,0	86,5	88,0
22	—	82,5	84,5	86,0	87,5	89,0
24	81,7	83,6	85,5	87,1	88,6	90,0
26	82,8	84,7	86,7	88,2	89,8	91,0
28	83,9	85,9	87,8	89,3	90,7	92,0
30	85,0	86,9	88,9	90,4	91,7	93,0
32	86,0	88,0	90,0	91,4	92,8	—
34	87,1	89,2	91,1	92,5	—	—
36	88,2	90,3	92,2	93,6	—	—
38	89,3	91,4	93,3	—	—	—
40	90,4	92,5	—	—	—	—
42	91,5	93,6	—	—	—	—
44	92,6	—	—	—	—	—

Вес медной оболочки платинита существенно влияет на его физико-механические свойства и должен лежать в пределах, указанных в табл. 2-14.

Таблица 2-14

Диаметр проволоки, мм	Содержание меди, %	Толщина слоя меди (приблизительная), мкм
0,2	25—35	15
0,30	30—32	20
0,35	28—30	30
0,50	27—29	40
0,75	26—28	50

## Физические свойства платинитовой проволоки

Плотность, кг/м <sup>3</sup> . . . . .	8900
Максимальная рабочая температура, °C:	
на воздухе . . . . .	150
в вакууме . . . . .	400
Теплопроводность, Вт/(м·К) . . . . .	170
Температурный коэффициент расширения, 10 <sup>-7</sup> К <sup>-1</sup> :	
радиальный . . . . .	82—92
аксиальный . . . . .	60—73
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м . . . . .	0,45—0,60
Допустимая плотность тока для проволоки, А/мм <sup>2</sup> . . . . .	2,5
Предел прочности при растяжении, 10 <sup>10</sup> Па . . . . .	25—35
Относительное удлинение, % . . . . .	12—25

Температурные коэффициенты расширения платинита в осевом и радиальном направлениях различаются (рис. 2-2).

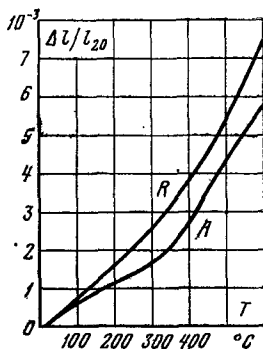


Рис. 2-2.

Рис. 2-2. Кривые теплового расширения платинитовой проволоки в радиальном (R) и аксиальном (A) направлениях.

$l_{20}$  — длина образца при 20 °C;  $\Delta l$  — удлинение при температуре  $T$ .

Рис. 2-3. График зависимости температурного коэффициента поперечного расширения платинита от содержания никеля в сердечнике и меди в проволоке.

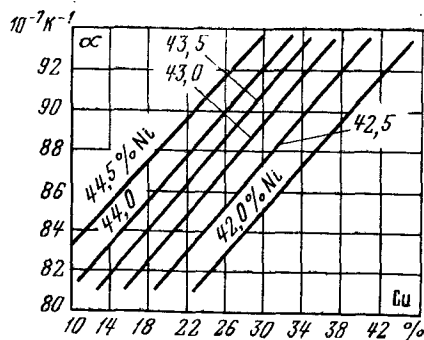


Рис. 2-3.

Зависимость линейного поперечного температурного коэффициента расширения платинита от содержания никеля в сердечнике и меди показана на рис. 2-3.

**Алюминированное железо.** Основанием этого биметалла служит железо «Армко», а плакирующим двусторонним слоем — алюминиевокремниевый сплав.

Алюминированное железо выпускается в виде лент толщиной 0,1; 0,15; 0,20; 0,30 и 0,40 мм шириной от 90 до 110 мм через каждые 5 мм.

## Свойства алюминированного железа

Плотность, кг/м <sup>3</sup> . . . . .	7650
Температура отжига, °C . . . . .	535±5
Температура чернения, °C . . . . .	600—800
Давление насыщенных паров при 800° C, Па . . . . .	10 <sup>-4</sup>

	Черное	Не чернение
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м . . . . .	0,09	0,20
Число Бринелля . . . . .	65—80	110
Предел прочности при растяжении, 10 <sup>10</sup> Па . . . . .	24	32
Относительное удлинение, % . . . . .	0,5	6,7

Металл сердечника должен иметь ограниченное количество примесей: P — не более 0,03%; S — не более 0,03%, Cu — не более 0,10%.

Химический состав плакирующего слоя (алюминиевокремниевый сплав): Si — 1,5%, Fe — 0,1—0,7%, Cu — не более 0,01%, Zn — не более 0,01%, Al — остальное.

К недостаткам покрытий железа относится их сравнительно малая нагревостойкость и невысокая механическая прочность, в особенности в местах сгибов.

Повышенная упругость лент алюминированного железа обычно связана с упругостью сердечника. Однако дополнительный отжиг металла невозможен, так как приводит к образованию осыпающегося алюминированного слоя.

Для получения темной поверхности детали из алюминированного железа отжигаются в водороде при температуре  $625 \pm 25$  °C в течение 5 мин.

Увеличение температуры отжига до 800 °C приводит к осыпанию слоя.

Алюминиевый слой после отжига при температуре 750 °C состоит из верхнего темно-серого слоя и внутреннего светлого (FeAl) толщиной 14—20 мкм.



## б) ПРОЧИЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**Щелочные металлы.** Щелочные металлы обладают высоким значением давления насыщенных паров и скорости испарения, малым значением работы выхода электронов, химически очень активны. Благодаря этим свойствам они используются для активации катодов и получения разряда в парах металлов газоразрядных источников света. Физические свойства щелочных металлов приведены ниже.

### Физические свойства лития

Атомный номер	3
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	534
Работа выхода электронов, 10 <sup>-18</sup> Дж	0,37 (2,3 эВ)
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м	0,39
Температурный коэффициент электрического сопротивления, К <sup>-1</sup>	4,50·10 <sup>-3</sup>
Атомная масса	6,94
Температура плавления, К	452
Температура кипения, К	1645
Теплота плавления, кДж/кг	432
Теплота испарения, кДж/кг	21 000
Температурный коэффициент линейного расширения, К <sup>-1</sup>	560·10 <sup>-7</sup>

### Физические свойства калия

Атомный номер	19
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	862
Работа выхода электронов, 10 <sup>-18</sup> Дж	0,34 (2,1 эВ)
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м	0,07
Температурный коэффициент электрического сопротивления, К <sup>-1</sup>	5,8·10 <sup>-3</sup>
Атомная масса	39,1
Температура плавления, К	336,5
Температура кипения, К	1033
Теплота плавления, кДж/кг	61
Теплота испарения, кДж/кг	2050
Температурный коэффициент линейного расширения, К <sup>-1</sup>	833·10 <sup>-7</sup>

### Физические свойства натрия

Атомный номер	11
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	968
Работа выхода электронов, 10 <sup>-18</sup> Дж	0,36 (2,27 эВ)
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м	0,05
Атомная масса	22,99
Температура плавления, К	371
Температура кипения, К	1156
Теплота плавления, кДж/кг	115
Теплота испарения, кДж/кг	1380
Температурный коэффициент линейного расширения, К <sup>-1</sup>	721·10 <sup>-7</sup>

### Физические свойства рубидия

Атомный номер	37
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1532
Работа выхода электронов, 10 <sup>-18</sup> Дж	0,34 (2,13 эВ)
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м	0,11
Температурный коэффициент электрического сопротивления, К <sup>-1</sup>	4,81·10 <sup>-3</sup>
Атомная масса	85,47
Температура плавления, К	312
Температура кипения, К	960
Теплота плавления, кДж/кг	25,5
Температурный коэффициент линейного расширения, К <sup>-1</sup>	900·10 <sup>-7</sup>

### Физические свойства цезия

Атомный номер	55
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1900
Работа выхода электронов, 10 <sup>-18</sup> Дж	0,30 (1,89 эВ)
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м	0,20
Температурный коэффициент электрического сопротивления, К <sup>-1</sup>	5,03·10 <sup>-3</sup>
Атомная масса	132,9
Температура плавления, К	301
Температура кипения, К	978
Теплота плавления, кДж/кг	15,7
Теплота испарения, кДж/кг	611
Температурный коэффициент линейного расширения, К <sup>-1</sup>	970·10 <sup>-7</sup>

Химически эти металлы чрезвычайно активны. Они энергично соединяются с кислородом, в особенности при наличии в нем влаги, иногда с воспламенением и взрывами. Поэтому обработка щелочных металлов требует специальных мер предосторожности.

При работе со щелочными металлами нужно пользоваться защитными очками, необходимо всегда иметь большой запас заранее приготовленного песка для тушения воспламенившегося металла; *водой гасить щелочные металлы нельзя!*

Щелочные металлы следует промывать в чистом поглотителе до 35°C эфире или бензоле; хранить их можно только без доступа кислорода, т. е. под защитой слоя жидкости или в очищенном состоянии в откачанных стеклянных ампулах.

**Натрий.** Пары натрия наполняют газоразрядные лампы, обладающие большой световой отдачей.

Оксид натрия при варке многих рецептур стекла вводится в его состав от 4 до 16 масс. %.

Присадка натрия снижает тугоплавкость стекла и уменьшает его склонность к кристаллизации.

В сухом воздухе натрий покрывается пленкой окисла и не воспламеняется.

Натрий горит светлым желтым пламенем, образуя  $\text{Na}_2\text{O}$ . С водородом реагирует при температуре выше  $200\text{--}350^\circ\text{C}$  с образованием  $\text{NaH}$ . С водой бурно реагирует с образованием  $\text{NaOH}$  и выделением водорода.

С ртутью натрий соединяется с выделением большого количества тепла и света, образуя твердую амальгаму натрия.

Свойства амальгамы меняются в зависимости от содержания натрия: минимальную точку плавления ( $21,5^\circ\text{C}$ ) имеет амальгама с 39,5% Na (по массе), наивысшую ( $335^\circ\text{C}$ ) — амальгама с 5,5 Na (по массе).

**Калий.** Калий применяют для снижения работы выхода катодов газоразрядных источников света. Окись калия  $\text{K}_2\text{O}$  так же, как и окись натрия, вводится в состав многих стекол (от 1,5 до 10 масс. %).

Присадка калия уменьшает склонность стекла к кристаллизации, делает стекло более «длинным» и снижает его тугоплавкость.

На воздухе калий сначала становится синеватым, покрывается коркой и потом легко воспламеняется. В кислороде сгорает, образуя  $\text{K}_2\text{O}$  и высшие окислы. С азотом калий не реагирует, устойчив против сухого хлора вплоть до точки плавления.

С водородом при  $200^\circ\text{C}$  калий реагирует медленно, при  $350\text{--}400^\circ\text{C}$  — быстро с образованием  $\text{KH}$ . С ртутью образует твердые амальгамы при содержании калия выше 1,5% (по массе).

**Цезий.** Цезий широко применяется для получения катодов с малой работой выхода (индикаторные источники света с холодным катодом), а также для наполнения парами газоразрядных источников света.

Отличается низкой точкой плавления, высоким давлением насыщенных паров и минимальной работой выхода электронов среди щелочных металлов.

Цезий мягок, как воск, и воспламеняется при окислении на воздухе с образованием перекиси  $\text{Cs}_2\text{O}_2$ . С водой реагирует очень быстро, воспламеняясь. Воспламеняется также при взаимодействии с галогенами, а с серой и фосфором реагирует со взрывом. При  $300^\circ\text{C}$  цезий разрушает стекло и кварц, вытесняя кремний.

Из-за очень большой химической активности цезий можно получить из соединений только в вакууме. Это производится в дистилляционном отростке вакуумной системы или в самой лампе (при наличии таблетки хромокислого или двуххромокислого цезия).

**Литий.** На воздухе литий быстро покрывается темным серым налетом окиси  $\text{Li}_2\text{O}$  и нитрида  $\text{Li}_3\text{N}$ . При комнатной температуре легко соединяется с галогенами, разлагает воду с выделением водорода, легко растворяется во всех кислотах. При нагревании образует с водородом гидрид  $\text{LiH}$  и с углеродом карбид  $\text{Li}_2\text{C}_2$ . С сухим кислородом до  $200^\circ\text{C}$  почти инертен. Из него можно путем прессования или протяжки получить проволоку, а также прокатать тонкую жесть. Литий следует хранить в бензине или керосине.

Кварцевые сосуды устойчивы при соприкосновении с литием только до  $285^\circ\text{C}$ , стеклянные и фарфоровые сосуды разрушаются уже при температуре выше  $150^\circ\text{C}$ .

В ртути при комнатной температуре растворяется только 0,036% лития по массе. Ряд амальгам  $\text{HgLi}$  обладает уже при содержании 3,34% лития по массе точкой плавления около  $600^\circ\text{C}$ .

**Рубидий.** Рубидий используется при изготовлении специальных газоразрядных ламп. Обладает селективным фотоэлектрическим эффектом с максимумом электронно-эмиссии для длины волны  $\lambda=480$  нм.

Рубидий более активен, чем калий и натрий, на воздухе воспламеняется, образуя перекиси ( $\text{Rb}_2\text{O}_2$ ,  $\text{RbO}_2$ ). Энергично взаимодействует с галогенами, серой и фосфором. Из воды вытесняет водород, реакция происходит бурно и выделяющийся водород воспламеняется. При  $300^\circ\text{C}$  пары рубидия разрушают стекло, вытесняя кремний.

С металлами рубидий дает большое число интерметаллических соединений. Обогащенные рубидием соли растворяются в воде и из растворов рубидия осаждаются в виде малорастворимых комплексных соединений. Один из основных способов получения металлического рубидия — восстановление хлористого рубидия металлическим кальцием в вакууме при  $700\text{--}800^\circ\text{C}$ .

**Щелочноземельные металлы.** Щелочноземельные металлы обладают малой работой выхода электронов. Используются для получения активных катодов газоразрядных ламп, газопоглотителей и др.

**Барий** и его соединения — основные эмиттирующие материалы в катодах, он же является химически наиболее активным из этой группы металлов и применяется как газопоглотитель. Для оксидных катодов используются и другие щелочноземельные металлы и их соединения. Окиси бария и кальция вводятся в состав многих стекол (от 2 до 25%).

#### Физические свойства кальция

Атомный номер . . . . .	20
Плотность, кг/м <sup>3</sup> . . . . .	1550
Работа выхода электронов, 10 <sup>-18</sup> Дж . . . . .	0,44 (2,76 эВ)
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м . . . . .	0,03
Температурный коэффициент электрического сопротивления, К <sup>-1</sup> . . . . .	4,57·10 <sup>-3</sup>
Атомная масса . . . . .	40,1
Температура плавления, К . . . . .	1122
Температура кипения, К . . . . .	1755
Температурный коэффициент линейного расширения, К <sup>-1</sup> . . . . .	220·10 <sup>-7</sup>

#### Физические свойства стронция

Атомный номер . . . . .	38
Плотность, кг/м <sup>3</sup> . . . . .	2630
Работа выхода электронов, 10 <sup>-18</sup> Дж . . . . .	0,38 (2,35 эВ)
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м . . . . .	0,26—0,30
Атомная масса . . . . .	87,62
Температура плавления, К . . . . .	1044
Температура кипения, К . . . . .	1640

#### Физические свойства бария

Атомный номер . . . . .	56
Плотность, кг/м <sup>3</sup> . . . . .	3700
Работа выхода электронов, 10 <sup>-18</sup> Дж . . . . .	0,37 (2,29 эВ)
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м . . . . .	0,60
Атомная масса . . . . .	137,36
Температура плавления, К . . . . .	983
Температура кипения, К . . . . .	1910
Температурный коэффициент линейного расширения, К <sup>-1</sup> . . . . .	200·10 <sup>-7</sup>

Щелочноземельные металлы менее активны, чем щелочные, и поэтому более удобны при использовании в производстве.

С водородом щелочноземельные металлы образуют гидриды BaH<sub>2</sub>, SrH<sub>2</sub>, CaH<sub>2</sub>. При взаимодействии с кислородом получают очень устойчивые к высоким температурам окислы, применяемые для создания активного эмиттирующего вещества в оксидных катодах. Наличие примесей влаги, уголекислоты затрудняет получение плот-

ных и прочных покрытий на оксидных катодах. Из кислородных соединений бария наиболее устойчива его перекись BaO<sub>2</sub>, которая не реагирует с содержащимися в воздухе газами. При взаимодействии с азотом образуются нитриды BaN<sub>2</sub>, SrN<sub>2</sub>, CaN<sub>2</sub>.

При действии хлорированных углеводородов (трихлорэтилен, четыреххлористый углерод и др.) щелочноземельные металлы образуют взрывчатые соединения, что исключает возможность очистки их указанными растворителями. Для промывки служит эфир, нагретый до 35 °С.

**Магний.** Магний применяется как газопоглотитель (особенно в лампах со ртутным наполнением) и для снижения напряжения зажигания разряда в стартерах.

Оксид магния (MgO), так же как и окись кальция, вводится в состав многих стекол (до 3,0—3,5 масс. %) для придания легкоплавкости; содержание магния свыше 14% (по массе) повышает тугоплавкость.

Он имеет малое значение работы выхода электронов и при сравнительно невысоких температурах обладает значительным давлением насыщенных паров (220 Па при 900 К, 5·10<sup>4</sup> при 1300 К) и высокой скоростью испарения.

В сухом воздухе устойчив, во влажном на его поверхности возникают белые пятна окисла.

Магний растворяет кислород в количестве 20 см<sup>3</sup> на 100 г металла. С азотом образует нитрид состава Mg<sub>3</sub>N<sub>2</sub>.

**Ртуть.** Ртуть является одним из основных материалов в вакуумной технике и производстве газоразрядных источников света.

Важное свойство ртути — высокое давление насыщенных паров и большая скорость испарения. Пары ртути отличаются низким потенциалом ионизации по сравнению с инертными газами, что обуславливает широкое применение ее в газоразрядных источниках света.

Ртуть широко используется для изготовления амальгам, а также для получения и измерения вакуума. Кроме того, ртуть применяется в затворах и вентилях для запуска газов, термометрах до 600 °С, выключателях, реле и др.

#### Физические свойства ртути

Атомный номер . . . . .	80
Плотность, кг/м <sup>3</sup> . . . . .	13 590
Работа выхода электронов, 10 <sup>-18</sup> Дж . . . . .	0,72 (4,52 эВ)
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м . . . . .	0,958

Температурный коэффициент электрического сопротивления, $K^{-1}$ . . . . .	$0,9 \cdot 10^{-4}$
Атомная масса . . . . .	200,6
Температура плавления, $K$ . . . . .	234
Температура кипения, $K$ . . . . .	630
Теплота плавления, $kJ/kg$ . . . . .	326
Температурный коэффициент линейного расширения, $K^{-1}$ . . . . .	$1,82 \cdot 10^{-4}$

#### Температурные зависимости физических свойств

	Температура, $K$				
	293	373	473	573	633
Удельная теплоемкость, $kJ/(kg \cdot K)$ . . . . .	0,138	0,104	(до 3000 K)	—	—
Теплопроводность, $Вт/(м \cdot K)$ . . . . .	11,3	14,6	16,3	—	—
Скорость испарения, $г/(см^2 \cdot с)$ . . . . .	$5 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-1}$	10	—
Давление насыщенных паров, $Па$ . . . . .	$1,7 \cdot 10^{-1}$	4,10	$2 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^5$

Зависимость давления насыщенного ртутного пара от температуры может быть с достаточной для практики точностью описана следующими уравнениями.

В области температур до 373 K:  
над твердой ртутью

$$\lg p = 11,577 - 0,204 \lg T - 6,558 \cdot 10^{-4} T - \frac{3379}{T};$$

над жидкой ртутью

$$\lg p = 12,500 - 0,825 \lg T - \frac{3285}{T};$$

в области температур от 373 до 700 K

$$\lg p = 12,080 - 0,665 \lg T - \frac{3284}{T}.$$

Во всех уравнениях давление  $p$  — в паскалях, температура  $T$  — в кельвинах.

Ртуть — химически устойчивый металл. При комнатной температуре на нее не действуют сухой воздух, не содержащий серы (только при температуре кипения ртуть начинает взаимодействовать с воздухом), кислород до 300 °C и вода до 100 °C. С другими газами ( $H_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $N_2$ ) ртуть взаимодействует слабо.

В разбавленных соляной и серной кислотах, в уксусной кислоте, в царской водке, в растворах аммиака,  $KOH$ , марганцовокислого калия (2%) ртуть не раство-

ряется; в концентрированных соляной и серной кислотах — растворяется.

Большинство металлов растворяется в ртути с образованием амальгам, особенно  $Zn$ ,  $Sn$ ,  $Pb$ ,  $Cd$ ,  $Ag$ ,  $Mg$ , чистые  $Cu$ ,  $Al$  и  $Pt$ , а также все щелочные и щелочноземельные металлы.

С натрием и калием ртуть образует амальгамы с выделением большого количества тепла, что в присутствии кислорода может привести к воспламенению.

Железо, вольфрам, тантал практически с ртутью не взаимодействуют.

Из неметаллических конструкционных материалов с ртутью не взаимодействуют графит, стекло, керамика и слюда.

**Очистка ртути.** В производстве источников света используется только тщательно очищенная ртуть марки Р1.

Ртуть содержит до 0,001% нелетучих примесей свинца, висмута, цинка, олова и других металлов, растворяющихся в ней, а также небольшие загрязнения в виде пыли, органических веществ, минеральных масел и т. п.

Общая схема очистки ртути:

фильтрация — удаление грубых загрязнений (пыль, графит);  
продувание воздуха — удаление свинца (частично);  
продувание горячего (160 °C) воздуха в течение 10 ч — удаление  $Pb$  (почти полностью);  
продувание горячего (160 °C) воздуха, насыщенного парами соляной кислоты, в течение 12 ч — удаление олова (полностью);  
промывание бензином, едким кали или спиртом — удаление масел и жиров;  
промывание 2%-ным раствором марганцовокислого калия — удаление органических примесей;  
промывание 10%-ной азотной кислотой — удаление цинка, щелочи;  
промывание 80%-ной серной кислотой — удаление свинца;  
промывание дистиллированной водой — удаление следов кислот;  
сушка — удаление воды;  
дистилляция в вакууме — удаление олова, благородных металлов.

При очистке и хранении ртути рекомендуется соблюдать следующие правила:

установки для очистки ртути очищаются горячей (40—50 °C) хромовой смесью, а капилляры дистилляционных установок — 20%-ной состаренной плавиковой кислотой (полученной растворением кусочков стекла в чистой плавиковой кислоте).

Все процессы очистки ртути необходимо производить в помещении, не содержащем в атмосфере паров сероводорода или водородных соединений фосфора, загрязняющих ртуть;

чистую ртуть необходимо хранить в тщательно очищенных стеклянных банках с притертой стеклянной пробкой (пробку не смазывать). Очистка стеклянных банок достигается наполнением их на 24 ч хромовой смесью и промыванием дистиллированной водой,

96%-ным этиловым спиртом и ацетоном и просушиванием в электрическом сушильном шкафу в течение 24 ч (сушить банки эфиром нельзя, так как на поверхности ртути образуются черные пятна).

**Меры предосторожности при работе со ртутью.** Проникновение ртути и особенно ее паров в организм человека может привести к различного рода заболеваниям: опухоли десен, выпадению зубов, болезни печени, почек и др.

Предельно допустимая концентрация паров ртути в воздухе рабочих помещений 0,01 мг/м<sup>3</sup>.

Поэтому к производственным помещениям, связанным с работой со ртутью, а также к работающим в этих помещениях предъявляются особые требования:

1. Работы, связанные с нагреванием и дистилляцией ртути, производящиеся при наличии открытых поверхностей ртути и аппаратов, из которых ртуть может проливаться, ведутся в отдельных изолированных помещениях.

2. Пол, стены и потолок должны быть покрыты ртутнепроницаемым материалом. В качестве грунтовки применяется смесь битумного и перхлорвинилового лака в соотношении 1:1 по объему или перхлорвиниловый грунт ХВГ-26, разбавленный растворителем Р-4 до вязкости 18—20 с. В качестве шпатлевки применяется смесь 25—35% перхлорвинилового лака и 75—65% наполнителя (кварцевая или диабазовая мука) с добавлением 2—3% мездрового клея.

В качестве покрытия используется трехслойная покраска перхлорвиниловой эмалью типа ХСЭ с последующим покрытием перхлорвиниловым лаком в один слой. Полы должны быть бетонными со специальной пропиткой в соответствии с инструкцией по устройству несобирающих ртуть полов.

3. Помещение должно быть оборудовано общей приточной и местной вытяжной вентиляцией (вытяжной шкафу). Скорость движения воздуха в вытяжных шкафах должна быть не менее 0,7 м/с при обычных работах и 1 м/с при работах, связанных с нагревом ртути. Вентиляция должна пускаться за 30 мин до начала работы и не останавливаться в течение 30 мин после окончания работы.

При устройстве канализации должна быть предусмотрена возможность улавливания ртути (устройство ловушек, ревизий и др.).

4. Мебель и оборудование должны быть с гладкой поверхностью, покрашены ртутнепроницаемыми красками (эмалями) и установлены на ножках с сохранением свободного пространства не менее 20 см от уровня пола для обеспечения возможности уборки пола под ними.

5. В помещении необходимо производить ежедневную влажную уборку не менее 2 раз. Там, где ртуть постоянно разливается, полы ежедневно моются в нерабочее время специальным раствором: 50-л емкость (бутыль) наполняется до половины водой, засыпается 5 кг (в виде кусочков) полисульфида калия и после его растворения доливается водой. Пол обильно поливается этим раствором и в таком состоянии оставляется в течение 1 ч.

6. Запасы ртути должны храниться в шкафах под вытяжной вентиляцией в стеклянной посуде запаянной или с резиновыми пробками, а также в железной посуде с винтовыми пробками.

7. Выхлопные патрубки вращательных насосов, работающих в паре с ртутными диффузионными насосами, следует выводить из рабочего помещения и подвергать очистке на скрубберах, орошаемых крепким раствором марганцовокислого калия или на установках

ИИИОгаза с дробленным пиролизитом, с сернистым или йодированным углем.

8. В помещениях, связанных с работой со ртутью, не реже 1 раза в квартал производятся лабораторные исследования воздуха на присутствие паров ртути.

Очистка помещения и оборудования производится с помощью мощного пылесоса или шлангов, присоединенных к форвакуумной системе, при этом на пути отсоса вводится ловушка для ртути (двухгорловая склянка Дресселя с водой и т. п.).

9. К работам, связанным с применением ртути, допускаются лица только после предварительного медицинского осмотра и сантехинструктажа.

10. В помещениях запрещаются хранение и прием пищи, а также курение.

11. Работающие должны содержать в чистоте руки и зубы.

**Индий.** Индий применяется как составная часть в амальгамах для люминесцентных ламп, в качестве улучшающей добавки в газоразрядных ртутных лампах с йодидами металлов и др. Индий и его сплавы являются превосходными низкотемпературными припоями, особенно для нанесения тонких пленок на стекло, кварц и керамику: расплавленный индий хорошо смачивает стекло и способен проникать в тонкие слои металлов, предел прочности таких соединений при растяжении составляет  $3,4 \cdot 10^6$  Па и обеспечивает хороший электрический контакт.

#### Физические свойства индия

Атомный номер	49
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	7310
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м	0,09
Температурный коэффициент электрического сопротивления, К <sup>-1</sup>	$4,9 \cdot 10^{-3}$
Атомная масса	114,8
Температура плавления, К	430
Температура кипения, К	2270
Теплота плавления, кДж/кг	28,4
Теплота испарения, кДж/кг	2020
Температурный коэффициент линейного расширения, К <sup>-1</sup>	$330 \cdot 10^{-7}$

#### Температурные зависимости физических свойств

	Температура, К			
	293	1030	1230	1530
Удельная теплоемкость, кДж/(кг·К)	0,24	(твердый)	0,26	(жидкий)
Теплопроводность, Вт/(м·К)	25	—	—	—
Скорость испарения, г/(см <sup>2</sup> ·с)	—	$2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$
Давление насыщенных паров, Па	—	$10^{-2}$	1,3	130

### Механические свойства индия

Число Бринелля . . . . .	0,9
Предел прочности, $10^6$ Па . . . . .	2,2
Модуль упругости, $10^{10}$ Па . . . . .	1,08
Относительное удлинение, % . . . . .	22

В чистом виде индий мягче, чем свинец. Методом прессования из него можно изготовить гибкую проволоку и мягкую жечь, резать его нельзя.

На воздухе при комнатной температуре он устойчив, окисляется при нагревании, а при температуре каления горит синим пламенем, превращаясь в желтую окись  $\text{In}_2\text{O}_3$ . В воде, не содержащей воздуха, он не растворяется до  $100^\circ\text{C}$ ; растворы едких щелочей на него не действуют; в холодных соляной и серной кислотах он растворяется незначительно, в горячих — быстрее, в концентрированной азотной кислоте — быстро. При высоких температурах реагирует с галогенами и серой. С ртутью индий образует амальгамы. Пленки индия на металлы можно наносить путем диффузионного отжига при  $170\text{—}180^\circ\text{C}$ . Индий используется в виде фольги толщиной до 50 мкм.

Ниже перечислены некоторые материалы, которые можно паять индием и его сплавами:

металлы и сплавы — Ag, Al, Au, Bi, Cd, Co, Cu, латунь, Fe, сталь, Mg, Mo, Ni, Pd, Pt, Sn, Ti, W;

тонкие слои металлов на стекле, кварце или керамике — Ag, Al, Au, Cd, Cr, Cu, латунь, Fe, Ge, Mg, Ni, Pt, Pd;

неметаллы — окислы Al, Cu, Fe, G, Mg, Ni, Ti, Li; силикаты: стекло, слюда, фарфор, кварц и др.

**Кадмий.** Кадмий применяется для создания газоразрядных спектральных ламп. Разряд в парах кадмия дает красное излучение (линии 643,8, 469,6 нм). Пары кадмия при длительном горении разряда действуют на все стекла, в том числе и на кварц.

Ловушки, наполненные кадмием, применяют для поглощения паров ртути на откачных установках (ловушку, нагретую до  $300\text{—}400^\circ\text{C}$ , помещают между пароструйным насосом и откачиваемым объемом). Кроме того, кадмий используется как составная часть в амальгамах для люминесцентных ламп.

### Физические свойства кадмия

Атомный номер . . . . .	48
Плотность, $\text{кг/м}^3$ . . . . .	8650
Работа выхода электронов, $10^{-18}$ Дж . . . . .	0,65 (4,1эВ)

Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м . . . . .	0,07
Температурный коэффициент электрического сопротивления, $\text{K}^{-1}$ . . . . .	$4,3 \cdot 10^{-3}$
Атомная масса . . . . .	112,4
Температура плавления, К . . . . .	594
Температура кипения, К . . . . .	1040
Теплота плавления, кДж/кг . . . . .	55
Теплота испарения, кДж/кг . . . . .	1200
Температурный коэффициент линейного расширения, $\text{K}^{-1}$ . . . . .	$298 \cdot 10^{-7}$

### Температурные зависимости физических свойств

	Температура, К			
	293	450	500	594
Удельная теплоемкость, $10^3$ Дж/(кг·К) . . . . .	0,23	—	—	—
Теплопроводность, Вт/(м·К) . . . . .	92	—	—	43
Скорость испарения, г/(см <sup>2</sup> ·с) . . . . .	—	$3 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$
Давление насыщенных паров, Па . . . . .	—	$10^{-2}$	$10^{-1}$	13

### Механические свойства кадмия

	Литой	Нагретый
Число Бринелля . . . . .	35	20—28
Предел прочности, $10^{10}$ Па . . . . .	2—6	10—20
Модуль упругости, $10^{14}$ Па . . . . .	0,50—0,55	—
Модуль сдвига, $10^{14}$ Па . . . . .	0,20	—

Кадмий — металл ковкий и дуктильный. На воздухе в обычных условиях не окисляется; в кислотах соляной и серной медленно растворяется с выделением водорода, превращаясь в хлористый кадмий ( $\text{CdCl}_2$ ) или сернокислый кадмий ( $\text{CdSO}_4$ ); легче всего растворяется в азотной кислоте, образуя азотнокислый кадмий  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ , с выделением окислов азота. При накаливании на воздухе сгорает в бурую окись кадмия ( $\text{CdO}$ ).

Растворимые в воде и слабых кислотах соединения кадмия ядовиты.

**Галлий.** Галлий применяется в терапевтических лампах накаливания с излучением в синей и красной области (смесь галлия с алюминием), а также в лампах для общего освещения с присадкой Bi, Cd и Hg.

В газоразрядных ртутных лампах с иодидами металлов галлий применяется в качестве излучающей добавки, а в редкоземельных люминофорах входит в основу

или является активатором. Может использоваться вместо ртути в диффузионных насосах.

#### Физические свойства галлия

Атомный номер	31
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	
твердый	5910
жидкий	6090
Работа выхода электронов, 10 <sup>-18</sup> Дж	
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м:	
твердый	0,53
жидкий	0,27
Атомная масса	69,7
Температура плавления, К	303
Температура кипения, К	2440
Теплота плавления, кДж/кг	80
Теплота испарения, кДж/кг	4245
Температурный коэффициент линейного расширения, К <sup>-1</sup>	180·10 <sup>-7</sup>

#### Температурная зависимость физических свойств

	Температура, К				
	273	1040	1240	1520	1720
Удельная теплоемкость, (кДж/кг·К)	0,377	0,41	—	—	—
Скорость испарения, г/(см <sup>2</sup> ·с)	—	1,5·10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-2</sup>
Давление насыщенных паров, Па	—	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-1</sup>	13	130

Температура плавления галлия ниже, чем всех прочих металлов, исключая ртуть и цезий.

В сухом воздухе он устойчив, во влажном — мутнеет; в разбавленных кислотах не растворяется, растворим в горячих кислотах и водных растворах щелочей; в холодном состоянии реагирует с хлором и бромом, а при более высоких температурах и с йодом; при 150°C образует с водородом гидрид, а при высоких температурах с газообразным аммиаком — нитрид, с кислородом галлий дает окислы Ga<sub>2</sub>O, GaO, Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

**Таллий.** Таллий применяется для катодов газоразрядных источников света, в качестве излучающих добавок в газоразрядных ртутных лампах с йодидами металлов, а также как составляющая сплавов со ртутью в термометрах для низких температур (6% таллия снижают температуру затвердевания ртути до —50°C).

Углекислый, йодистый и бромистый таллий употребляют в производстве оптических стекол.

#### Физические свойства таллия

Атомный номер	81
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	11 850
Работа выхода электронов, 10 <sup>-18</sup> Дж	0,56
	(3,6 эВ)

Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м	0,18
Температурный коэффициент электрического сопротивления, К <sup>-1</sup>	5,2·10 <sup>-3</sup>
Атомная масса	204,4
Температура плавления, К	580
Температура кипения, К	1730
Теплота плавления, кДж/кг	21—30
Теплота испарения, кДж/кг	373
Температурный коэффициент линейного расширения, К <sup>-1</sup>	336·10 <sup>-7</sup>

#### Температурные зависимости физических свойств

	Температура, К				
	293	730	880	980	1080
Удельная теплоемкость, кДж/(кг·К)	0,13	—	—	—	—
Теплопроводность, Вт/(м·К)	390	—	—	—	—
Скорость испарения, г/(см <sup>2</sup> ·с)	—	3·10 <sup>-6</sup>	3·10 <sup>-4</sup>	3·10 <sup>-3</sup>	2,5·10 <sup>-2</sup>
Давление насыщенных паров, Па	—	10 <sup>-2</sup>	1	13	130

#### Механические свойства таллия

Число Бринелля	3
Предел прочности, 10 <sup>10</sup> Па	8
Модуль упругости, 10 <sup>12</sup> Па	8
Относительное удлинение, %	35

Таллий мягче свинца, и из него можно изготавливать жёсть и проволоку. При обычной температуре на воздухе окисляется, поэтому хранить его необходимо в парафине, глицерине или керосине. При температуре красного каления сгорает, образуя бурные пары окиси таллия. Легко растворяется в азотной кислоте, труднее в серной и очень мало в соляной и плавиковой.

При комнатной температуре реагирует с серой, фосфором и галогенами, не взаимодействует с H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>; со щелочами не реагирует.

Таллий и его сплавы очень ядовиты.

**Церий.** В вакуумном производстве церий используется как активный компонент газопоглотителей.

В газоразрядных ртутных лампах с йодидами металлов церий применяется в качестве излучающей добавки, а в редкоземельных люминофорах входит в основу или является активатором.

#### Физические свойства церия

Атомный номер	58
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	6770
Работа выхода электронов, 10 <sup>-18</sup> Дж	0,42—0,45

Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м . . . . . 0,75  
 Температурный коэффициент электрического сопротивления, К<sup>-1</sup> . . . . . 8,7·10<sup>-4</sup>  
 Атомная масса . . . . . 140,12  
 Температура плавления, К . . . . . 1070  
 Температура кипения, К . . . . . 3740  
 Температурный коэффициент линейного расширения, К<sup>-1</sup> 85·10<sup>-7</sup>

#### Температурные зависимости физических свойств

	Температура, К			
	293	1360	1580	1870
Теплопроводность, Вт/(м·К) . . . . .	11	—	—	—
Скорость испарения, г/(см <sup>2</sup> ·с) . . . . .	—	2·10 <sup>-6</sup>	2·10 <sup>-4</sup>	2·10 <sup>-2</sup>
Давление насыщенных паров, Па . . . . .	—	10 <sup>-2</sup>	1,5	130

#### Механические свойства церия

Число Бриелли . . . . .	20
Предел текучести, 10 <sup>10</sup> Па . . . . .	9
Предел прочности, 10 <sup>10</sup> Па . . . . .	10
Модуль упругости, 10 <sup>14</sup> Па . . . . .	0,30
Модуль сдвига, 10 <sup>14</sup> Па . . . . .	0,12
Относительное удлинение, % . . . . .	24

Церий достаточно устойчив в сухом воздухе при комнатной температуре и легко окисляется во влажном воздухе. При 160—180 °С воспламеняется, горит с ослепительным блеском, образуя окиси. При температуре кипения разлагает воду с выделением водорода. При 200 °С непосредственно соединяется с галогенами (хлором, бромом, йодом), а при высоких температурах — с азотом, серой, углеродом и др. Водород поглощается металлом с образованием гидратов.

Церий растворяется в разбавленных кислотах. Растворы щелочей на него не действуют.

## 2-2. СТЕКЛО

### а) КЛАССИФИКАЦИЯ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ

Стекло является основным материалом в производстве источников света. Оно обладает важнейшими свойствами — газонепроницаемостью, прозрачностью, высокой пластичностью, высокими электроизоляционными свойствами, высокой химической стойкостью и многими другими, которые необходимы для создания источников света в широкой номенклатуре.

Согласно ОСТ 16.0649.001-71 условное обозначение стекла состоит из буквы С и двух чисел:

первое число  $\alpha \cdot 10^7$  — округленное значение температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР);  
 второе число — порядковый номер разработки стекла.

В зависимости от получения согласованного спая с металлом и значения ТКЛР стекла разделяются на следующие группы:

вольфрамовую . . . . .	C37—C40
молибденовую . . . . .	C49—C54
платинитовую . . . . .	C87—C97
переходную . . . . .	C54—C86

Нормаль электронной промышленности НПО.005.013 предусматривает, кроме того, следующие группы стекол:

кварцевую . . . . .	C5
титановую . . . . .	C72—C76
железную . . . . .	C120

По температуре размягчения стекла можно разделить на тугоплавкие (твердые), у которых ТКЛР не более  $55 \cdot 10^{-7}$  К<sup>-1</sup>, и легкоплавкие (мягкие), у которых ТКЛР лежит в пределах от 80 до  $120 \cdot 10^{-7}$  К<sup>-1</sup>.

Наиболее тугоплавким является прозрачное кварцевое стекло C5-1, состоящее из чистого кремнезема. Тугоплавкие стекла имеют боросиликатный состав ( $\text{SiO}_2 + \text{B}_2\text{O}_3$  до 90% по массе) или алюмосиликатный состав ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$  в пределах 72—82% по массе). Они обладают высокими диэлектрическими свойствами, большой стойкостью к термоударам и высокой температурой размягчения, высокой химической стойкостью, низкой кристаллизацией при длительном нагревании и др. Алюмосиликатное стекло позволяет увеличить температуру обезгаживания ламп до 700—750 °С, а температуру эксплуатации до 350—400 °С и выше.

Легкоплавкие стекла имеют более низкую температуру размягчения и дешевы, наиболее распространены баритовые и магнезиальные стекла (C89-1, C90-1 и др.). Кроме того, для специальных целей изготавливаются специальные стекла, например увиолевые, пропускающие ультрафиолетовые лучи; натриевые, устойчивые к парам металлов; цветные.

Химический состав и основные физико-химические свойства стекол приведены в табл. 2-15 и 2-16.



Физико-химические свойства электроламповых стекол (по ГОСТ 16.0649.001-71)

Группа стекла	Обозначение марки стекла		ТКЛР, 10 <sup>-7</sup> °C	Температура размягчения, соответствующая вязкости		Стоимость к ударам	Границы зоны отжига, °C		Плотность, кг/м³	Показатель преломления	Температура, °C	Применение
	новое	старое		10 <sup>10</sup> Па·с	10 <sup>7,6</sup> Па·с		верхняя	нижняя				
Вольфрамовая Молибденовая	C40-1	C40-1, C3C-11	40±1,0	620±10	760±12	260	550	430	2250	—	300	Колбы и ножки ламп ДРЛ
	C52	C49-2, C3C-5K	52±1,0	585±10	720±12	180	535	410	2230	1,4848	285	То же
	C54-1	C50-1	54±2,0	620±15	800±25	150	580	430	2700	—	470	Колбы нагретых ламп (внешний слой)
	C54-2	C50-2	53,5±2,0	685±20	730±20	160	640	430	2710	—	—	Колбы нагретых ламп (внутренний слой)
	C38-1	C37-1, C3C-4	33,5±1,0	500±10	610±12	100	450	330	3040	1,5679	325	Ножки люминесцентных и прожекторных ламп
Платинитовая	C36-1	C39-1, № 2	96±1,0	560±10	680±12	110	520	410	2500	1,5155	140	Колбы ламп накалывания
	C36-4	C39-4, № 559	96±1,0	550±10	670±12	120	540	400	2480	1,5140	185	Колбы эритемных ламп
	C36-5	C39-5, № 555	96,5±1,0	530±10	685±12	125	520	410	2470	1,5130	180	Колбы бактерицидных ламп
	C36-12	АС-12	96±1,0	535±10	680±12	130	550	410	2470	1,5130	155	Ножки ламп накалывания, колбы люминесцентных ламп
	C37-1	БД-1	97±1,0	550±15	675±12	110	505	400	2550	1,5214	210	Колбы ламп накалывания и люминесцентных ламп
Переходная	C37-2	СВ90-1	97±1,0	550±10	670±12	120	505	400	2550	1,5193	210	Ножки ламп накалывания, колбы люминесцентных ламп
	C37-3	C390-1	97±1,0	540±10	665±12	120	500	335	2550	1,5214	210	Колбы эритемных ламп
	C38-1	C54-1, № 35	53±1,0	575±10	690±12	170	555	440	2300	—	198	Переходные стекла в ножках мощных ламп накалывания
	C36-1	C82-1, № 36	86±1,0	600±10	700±12	130	545	425	—	—	230	То же

Таблица 2-16

Химический состав стекол

Химический состав, %											Содержание примесей сверх 100% основного химического состава допускается не более, %		
SiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO + MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
C40-1	74,8 ± 1,5	18,0 ± 1,0	—	—	—	—	4,2 ± 0,5	1,6 ± 0,3	—	0,4	0,2	—	
C52-1	68,7 ± 1,2	19,0 ± 0,5	—	—	—	—	4,4 ± 0,4	4,4 ± 0,5	—	0,5	0,2	—	
C54-1	25,0 ± 2,5	30,0 ± 2,0	—	25,0 ± 3,0	—	—	—	—	—	—	0,05	—	
C54-2	7,0 ± 2,5	35,0 ± 4,0	—	—	6,3 ± 1,0	14,2 ± 2,5	3,8 ± 0,5	9,2 ± 0,5	14,5 ± 3,0	0,8	0,03	—	
C33-1	55,0 ± 1,0	30,0 ± 0,5	—	—	—	—	—	—	—	—	0,2	—	
C36-1	71,9 ± 1,0	—	—	2,0 ± 0,2	5,5 ± 0,5	3,5 ± 0,3	16,1 ± 0,5	1,0 ± 0,2	—	—	0,2	1,5	
C36-4	71,8 ± 1,0	0,7	—	—	5,5 ± 0,4	3,5 ± 0,3	15,0 ± 0,6	2,0 ± 0,2	—	—	0,01	—	
C36-5	72,5 ± 1,0	—	—	—	5,5 ± 0,4	3,5 ± 0,3	15,0 ± 0,6	2,0 ± 0,2	—	—	0,01	—	
C36-7	Вой стеклов марок C36-1 и C37-1 (раздельно или вместе) 100 частей, марганцевая руда 14,5 частей, кальцинированная сода 3,5 части												
C36-12	72,1 ± 0,8	—	—	1,0 ± 0,6	—	3,8 ± 0,2	16,1 ± 0,3	1,2 ± 0,2	—	—	0,2	1,5	
C37-1	68,5 ± 1,0	—	—	5,0 ± 0,5	5,5 ± 0,5	3,5 ± 0,3	12,5 ± 0,6	4,0 ± 0,2	—	—	0,2	—	
C37-2	69,5 ± 1,0	—	—	5,0 ± 0,5	5,5 ± 0,5	3,5 ± 0,3	12,5 ± 0,6	4,0 ± 0,2	—	—	0,01	—	
C37-3	68,5 ± 1,0	1,0 ± 0,5	—	5,0 ± 0,5	5,5 ± 0,5	3,5 ± 0,3	12,5 ± 0,6	4,0 ± 0,2	—	—	0,01	—	
C38-1	64,0 ± 0,5	23,0 ± 1,0	—	2,5 ± 0,5	—	—	9,0 ± 0,5	1,5 ± 0,3	—	1,5	0,2	—	
C36-1	71,0 ± 1,0	—	—	3,0 ± 0,5	13,0 ± 0,5	Не более 0,5	11,7 ± 0,5	1,3 ± 0,2	—	—	0,2	—	

Примечания: 1. В стекле марки C52-1 допускается содержание MoO не более 1,1%.

2. В стекле марки C37-2 сверх 100% основного химического состава допускается введение 0,001% Ni, 0,0015% CoO.

3. В стеклах не рекомендуется содержание хлора и фтора.

4. Периодичность контроля состава — не реже 1 раза в месяц.

## б) СВОЙСТВА СТЕКОЛ

**Химические свойства.** Стекло, предназначенное для изготовления источников света, часто подвергается химической обработке в процессе мойки и нагреванию при обезгаживании, воздействию кислот и щелочей при обработке стеклоизделий (матирование, окраска и др.). Иногда стекло подвергается активному воздействию паров некоторых металлов, служащих для наполнения ламп. Поэтому следует учитывать характер взаимодействия стекла с различными химическими реагентами. В основном представляет интерес устойчивость стекол к взаимодействию с водой (влияние влажности воздуха), щелочами, обычными минеральными кислотами (в частности, плавиковой и фосфорной) и парами некоторых металлов (ртуть, натрий и др.).

В зависимости от химического состава стекло обладает большей или меньшей химической стойкостью. С повышением температуры химическая стойкость стекла понижается.

**Вода.** Под действием воды или ее паров на стекло, содержащее, как правило, ионы щелочных или щелочноземельных металлов, происходит гидролитическое разрушение связей  $\text{Si—O—X}$ , где  $\text{X}$  — ион  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Li}^+$  и т. п. В результате образуются растворимые соединения (например,  $\text{NaOH}$ ), которые выщелачиваются водой. В процессе ионного обмена, при котором ионы  $\text{Na}^+$  замещаются ионами  $\text{OH}^-$ , структурные цепочки  $\text{Si—O—X}$ , являющиеся основой стекла, переходят в группы  $\text{Si—O—H}$ . На поверхности стекла таким образом возникает слой геля, содержащий как группы  $\text{Si—O—Si}$ , так и  $\text{Si—O—H}$ .

В тех случаях, когда продукты реакции удаляются водой, связи обычно не разрушаются и возникающие дефекты удается устранить путем промывания стекла раствором плавиковой кислоты.

Углекислый газ, содержащийся в воздухе, образует с водой на поверхности стекла угольную кислоту, которая способна растворять двуокись кремния. Эти процессы значительно ускоряются при повышении температуры, поэтому наиболее разрушительно действует на стекло обработка перегретым воздухом.

Стойкость силикатных стекол к действию воды в общем случае убывает с увеличением содержания щелочей и возрастает при увеличении содержания  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{B}_2\text{O}_3$ .

**Растворы щелочей.** Растворы гидроокисей и карбонатов щелочных металлов действуют на стекло совершенно иначе, чем вода. Их влияние приводит к разрушению связей  $\text{Si—O—Si}$  и образованию новых групп  $\text{Si—O—Na}$  и  $\text{Si—O—H}$ , переходящих в жидкую фазу. Количество вещества, перешедшего в жидкую фазу, прямо пропорционально продолжительности воздействия раствора щелочи.

**Соляная, азотная и серная кислоты** действуют на стекло подобно воде. Из поверхности стекла быстро вымываются щелочные компоненты; освобождающаяся двуокись кремния адсорбирует воду и

переходит в гель, защищающий поверхности от дальнейшего разрушения. Поэтому во многих случаях кислоты действуют на стекло не так сильно, как вода.

**Плавиковая и фосфорная кислоты** по характеру действия на силикатные стекла сходны со щелочами. Обе кислоты разрушают связи  $\text{Si—O—Si}$ . При этом образуется либо летучий фтористый кремний, либо фосфат кремния. Вследствие растворимости стекла в плавиковой кислоте и ее парах плавиковую кислоту часто используют для мойки загрязненного стекла, а также для матирования.

Высокой стойкостью по отношению к растворам и парам плавиковой кислоты отличаются фосфатные стекла, но содержащие двуокиси кремния и борного ангидрида. Однако эти стекла легко выщелачиваются в обычной атмосфере.

**Пары металлов.** Уменьшение прозрачности стекла в ультрафиолетовой части спектра может быть следствием не только соляризации, но и прямого воздействия ртути. Быстрое потемнение некоторых сортов стекол часто наблюдается в газоразрядных лампах низкого давления, наполняемых неоном и ртутью. В таких случаях оправдывает себя применение легкоплавких бессвинцовых баритовых стекол.

Наиболее сильно влияют на обычные силикатные стекла пары щелочных металлов. Это необходимо учитывать при изготовлении газоразрядных источников света, в которых пары щелочных металлов находятся при высоких температурах. Наиболее устойчивы в этих условиях свинцовосиликатные стекла.

**Механические свойства.** Стекла отличаются очень малой прочностью при действии растягивающих усилий и одновременно сравнительно высоким сопротивлением сжатию. Предел прочности при растяжении отожженных стекол колеблется от 35 до 1250 МПа.

Механическая прочность стекол повышается при увеличении содержания двуокиси кремния, окислов кальция, бария и бора и уменьшается при увеличении содержания окислов свинца, натрия и калия.

Однако прочность больше зависит от размеров, формы, состояния поверхности и режима термической обработки (наличия напряжений) стекла, чем от его химического состава. Твердость стекла колеблется в пределах от 4 до 7 по шкале Мооса. Наибольшей твердостью обладает кварцевое стекло, наименьшей — свинцовое. Хрупкость стекла вызывается наличием на его поверхности и в его толще невидимых микротрещин, которые под влиянием внешних усилий становятся центрами разрушения стекла. Повышается хрупкость стекла и при плохом его отжиге.

Механические свойства основных видов стекол приведены в табл. 2-17.

**Термические свойства.** К термическим свойствам стекла относятся теплоемкость, теплопроводность, темпера-

турный коэффициент расширения, стойкость к термоудам и температура размягчения.

**Теплоемкость** — отношение количества теплоты, сообщенного телу, к соответствующему повышению температуры. Стекла обладают малой удельной теплоемкостью [от 400 до 1000 Дж/(кг·К)]. Окислы свинца и бария снижают теплоемкость стекла, двуокись кремния, окислы магния и бора повышают ее. Теплоемкость стекол повышается при их нагревании. В среднем стекло при 1300 К имеет теплоемкость в 1,5—2 раза больше, чем при 300 К.

Таблица 2-17

Свойства	Типы стекол			
	А	Б	В	Г
Твердость по Моосу		4—8	—	—
Предел прочности при растяжении, МПа . . .	30—70	40—50	40—150	50—150
Предел прочности при сжатии, МПа . . . . .	500—900	700—1000	700—1000	1000
Предел прочности при изгибе, МПа . . . . .	—	100—250	—	—
Предел прочности при кручении, МПа . . . . .	—	90	—	—
Модуль упругости, $10^{12}$ Па (среднее значение) . . . . .		49—78		
Постоянная Пуассона (среднее значение) . . .		0,22—0,25		

Индексами обозначены:

- А — свинцовые стекла; щелочные свинцово-силикатные, содержащие от 35 до 65% ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ );
- Б — известковые стекла; щелочные известково-силикатные, содержащие от 65 до 75% ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ );
- В — легкоплавкие борсиликатные стекла; щелочные, содержащие от 70 до 85% ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ );
- Г — тугоплавкие малщелочные и бесщелочные алюмоборосиликатные стекла, содержащие 75—95% ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ ).

**Теплопроводность** — распространение теплоты от более нагретых элементов тела к менее нагретым, приводящее к выравниванию температуры. Теплопроводности стекла незначительна ( $\text{PbO}$  и  $\text{BaO}$  снижают теплопроводность, а  $\text{CaO}$  повышает). Значение теплопроводности играет существенную роль в тех случаях, когда в стекле образуются градиенты температур, например при отводе тепла от впаянных в стекло металлических вводов, несущих большую нагрузку. Поэтому неравномерное охлаждение или нагревание стеклянных деталей вследствие

медленного выравнивания температур приводит к возникновению значительных механических напряжений.

**Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР)** является одним из основных свойств стекла. 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 характеризует их температурный коэффициент расширения. От ТКЛР зависит прочность спаев стекол, а также стойкость стекла к резким переменам температуры.

Тепловое расширение стекла зависит от его химического состава. Окислы калия и натрия увеличивают ТКЛР стекла; двуокись кремния, окислы магния, алюминия и бора — уменьшают.

Для вычисления ТКЛР пользуются формулой

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l(t_1 - t_2)},$$

где  $l$  — первоначальная длина образца, мм;  $\Delta l$  — приращение длины образца при нагреве, мм;  $t_1$  — температура образца до нагрева, К;  $t_2$  — температура, до которой был нагрет образец, К.

Температурный коэффициент линейного расширения в производстве стекла контролируется 1 раз в месяц dilatометрическим методом по ГОСТ 10978-69 и ежедневно — методом двойной нити по ОСТ 16.0649.001-71. Для определения ТКЛР методом «двойной нити» берутся штабики диаметром 4—6 мм из эталонного и испытуемого стекол; ТКЛР эталонного стекла не должен отличаться от номинала более чем на  $\pm 0,5 \cdot 10^{-7} \text{ К}^{-1}$ .

Концы штабиков стекла разогреваются в пламени горелки и расплющиваются в лопаточки размером примерно  $10 \times 15 \times 4$  мм, которые накладываются друг на друга и спаиваются в пламени горелки (рис. 2-4).

Проваренный участок, состоящий из двух различных стекол, сильно разогревают и вытягивают в общую тонкую нить, не допуская перекосов и перекручивания. Из каждой двойной лопаточки вытягивается несколько нитей длиной 220—230 мм.

Если коэффициенты линейного расширения обоих стекол одинаковы, то вытянутая нить после охлаждения получится прямой, если различны, то вытянутая нить

изогнется дугой, причем вогнутая сторона будет принадлежать стеклу с большим ТКЛР.

Нити поочередно укладывают на лист оконного стекла, слегка встряхивают, чтобы они заняли положение, соответствующее истинному изгибу, и, перемещая стекло по зеркалу с наклеенной шкалой, изготовленной из миллиметровой бумаги, совмещают концы нити с концами хорды длиной 200 мм и измеряют стрелку прогиба  $h$ .

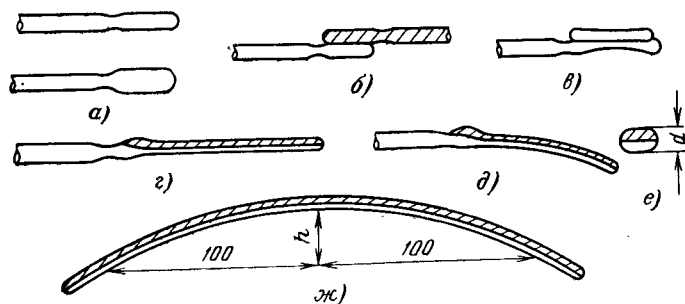


Рис. 2-4. Схема определения температурного коэффициента расширения стекла методом прогиба двойной нити.

а — «лопатки»; б, в — спай лопаток; г — двойная нить при равенстве коэффициентов расширения; д — двойная нить при разных коэффициентах расширения; е — поперечное сечение нити; ж — образец изогнутой нити для измерения коэффициента расширения.

При измерении необходимо смотреть на нить перпендикулярно, так чтобы она совмещалась со своим отражением в зеркале.

Значение разности ТКЛР испытуемого и эталонного образцов вычисляют по формуле

$$\Delta\alpha = \frac{1,4hd}{1 + h^2 \cdot 10^{-4}} \cdot 10^{-7},$$

где  $\Delta\alpha$  — разность ТКЛР,  $K^{-1}$ ;  $h$  — стрела прогиба, мм;  $d$  — средний диаметр нити, мм.

При стреле прогиба менее 20 мм знаменатель формулы можно полагать равным единице.

В электронной промышленности с 1973 г. для стекол платинитовой группы вместо константы 1,4 введена новая константа 3,4, однако исследованиями реальной точности метода, проведенными в Институте химии силикатов (Ленинград), было установлено, что новая константа приводит к ошибкам, опасным с точки зрения требований промышленности.

**Стойкость к термоударам** — способность стекла выдерживать без разрушения резкие перепады температур. Стойкость стекла к термоударам зависит прежде всего от температурного коэффициента расширения и в меньшей степени от его теплоемкости и теплопроводности. Двухокись кремния, окислы алюминия и бора понижают чувствительность стекла к смене температур, и, наоборот, окислы щелочных металлов повышают его чувствительность. Различают стойкость к термоударам стекла и стойкость к термоударам изделия. Стойкость изделия к термоударам зависит от стойкости к термоударам стекла, формы изделия, габаритов, толщины стенок, дефектов изделия и т. п. Плохо отоженное стекло всегда имеет пониженную стойкость к термоударам.

В производстве стекла стойкость к термоударам контролируется 1 раз в месяц. Для определения стойкости по ОСТ 16.0.649.001-71 используются хорошо отоженные штабики диаметром от 4,0 до 4,2 мм с оплавленными концами. Образцы тщательно просматриваются под лупой с увеличением 5—20×.

Подготовленные образцы в количестве 15 штук укладываются в корзинку из нержавеющей стали, помещаются вместе с корзинкой в электропечь с вертикальной трубой и нагреваются до температуры, равной нижнему пределу стойкости к термоударам испытываемого стекла. После выдержки в течение 15 мин при этой температуре образцы вместе с корзинкой сбрасывают в сосуд с водой, температура которой должна быть в пределах от 15 до 25 °С. После охлаждения образцы тщательно просматриваются под лупой. Образцы, имеющие трещины любого размера, отделяются и при дальнейших испытаниях не используются. Оставшиеся образцы вновь подвергаются испытаниям при температуре печи, на 10 °С большей, чем при предыдущем испытании. Испытания продолжаются, пока все образцы не разрушатся, после чего испытания повторяются на других 15 образцах.

Вместо трубчатой печи со сбрасываемой корзинкой можно применять поворотную электропечь.

Подсчет стойкости к термоударам производится по формуле

$$\Delta T_{\text{сп}} = \frac{\sum n_i \Delta t_i}{\sum n_i},$$

где  $n_i$  — число образцов, треснувших при разности температур печи и воды  $\Delta t_i$ .

Расчет погрешности определения производят по формуле

$$D = 2\sqrt{\frac{\sum (\Delta T_{\text{ср}} - T_i)^2}{n(n-1)}}$$

Стойкость к термоударам определяется выражением

$$\Delta T = \Delta T_{\text{ср}} \pm D.$$

Многие зарубежные фирмы применяют различные методы измерения стойкости к термоударам с целью свести к минимуму влияние формы образцов на результаты измерений.

Фирма Corning Glass Works (США) для определения стойкости к термоударам производит испытание образцов в виде пластин  $150 \times 150$  мм<sup>2</sup> и толщиной 3,173, 6,35 и 12,7 мм. Испытание готовых изделий (колб, цилиндров и др.) по американским стандартам производится путем погружения образца поочередно в горячую и холодную воду.

**Температура размягчения.** Стекло в отличие от кристаллических тел не имеет определенной температуры плавления. Для определения степени тугоплавкости стекла и для характеристики его поведения при огневой обработке введено понятие о температуре размягчения. Температура размягчения стекла понижается при введении в его состав окислов свинца, бария, бора, щелочных металлов и ряда других, и, наоборот, двуокись кремния и окись алюминия обычно повышают температуру размягчения.

Ввиду большого значения температуры размягчения в производстве электроламповых стекол ее ежедневно контролируют для двух точек, соответствующих вязкости стекла  $10^{10}$  и  $10^{8,65}$  Па·с.

В соответствии с ОСТ 16.0649.001-71 для определения температуры размягчения, соответствующей вязкости  $10^{10}$  Па·с, используются образцы стекла в виде нитей длиной от 400 до 600 мм и диаметром от 0,6 до 0,7 мм. Один конец нити загибается в виде крючка. Нить натягивается внутри горизонтальной трубчатой печи, рабочее пространство которой с равномерной температурой в пределах  $\pm 2^\circ\text{C}$  должно иметь длину 140—160 мм. Один конец нити закреплен неподвижно, второй, с крючком, связан с хлопчатобумажной нитью, переброшенной через блок диаметром 6—0,1 мм. На свободном конце нити подвешен груз массой 20 г. Блок связан с легкой сбалансированной стрелкой, указывающей угол поворота блока на шкале, проградуированной от 0 до  $90^\circ$  через  $1^\circ$ .

Установив стрелку на нуль шкалы, включают электропечь, обеспечивая скорость нагревания, равную 6 К/мин. Скорость нагревания должна быть строго постоянной во время испытаний. В момент начала движения стрелки фиксируется температура и включается секундомер. В дальнейшем фиксируются угол поворота, температура и время через каждые 30 с или  $5\text{—}10^\circ$  поворота. Измерение считается законченным, когда стрелка начнет двигаться очень быстро при малых изменениях температуры.

По результатам измерений строится график зависимости угла поворота стрелки и изменения температуры от времени, масштаб шкалы по оси абсцисс 1 мин — 6 мм, по оси ординат 10 К — 10 мм. Проводя касательную под углом  $45^\circ$  к оси абсцисс к кривой зависимости угла поворота от времени, определяют момент времени, когда угловая скорость поворота стрелки была 6°/мин, что соответствует скорости удлинения 0,314 мм/мин. Затем по графику зависимости температуры от времени определяется температура, соответствовавшая этому моменту. Измерения проводятся на трех образцах, и за температуру размягчения принимается среднее арифметическое трех измерений.

Для определения второй точки — температуры размягчения соответствующей вязкости  $10^{8,65}$  Па·с используются нити длиной 230 мм и диаметром 0,6—0,8 мм. На одном конце нити наплавляется шарик диаметром 2—3 мм для крепления образца в вертикальной трубчатой электропечи. Образец помещают в вертикальную трубчатую печь с нихромовыми нагревателями и освещают осветителем ОИ-9. Наблюдение за удлинением образца осуществляется через зрительную трубу с окулярным микрометром типа МОВ по ГОСТ 7865-56 или другим оптическим устройством, обеспечивающим отсчет удлинения стеклянной нити с точностью 0,1 мм. Температуру в печи повышают со скоростью 2—6 К/мин; скорость должна быть постоянной в течение всего времени измерения. В момент начала удлинения отмечают температуру, при которой началось удлинение, включают секундомер и в дальнейшем отмечают температуру и удлинение через каждые 30 с, пока удлинение не будет 6 мм.

По результатам измерения строят графики зависимости удлинения образца и температуры от времени (по оси абсцисс — время, мин, по оси ординат — температура, К, и удлинение, мм; масштаб 10 мм соответствуют 10 К, 1 мин, 1 мм удлинения).

Определяют графически момент времени, при котором скорость удлинения составила 1 мм/мин, проводя касательную под углом  $45^\circ$  к кривой зависимости удлинения от времени, и по графику зависимости температуры от времени находят температуру, соответствующую этому моменту. Эта температура и принимается за температуру размягчения. Определение производят на трех образцах, допустимое отклонение между температурами размягчения их не должно быть более  $\pm 5^\circ\text{C}$ . Окончательно за температуру размягчения принимают среднее арифметическое трех измерений.

**Вязкость.** Вязкость — свойство, характеризующее сопротивление тел течению (для жидкостей) и развитию остаточной деформации (для твердых тел). Вязкость стекла зависит от его химического состава и температуры. Окислы натрия, калия, лития, свинца и бария, а также фтор и борный ангидрид снижают вязкость стекло-массы, а двуокись кремния и окись алюминия сильно повышают ее.

У кристаллических веществ при температуре плавления происходит разрушение кристаллической решетки и резкое изменение состояния (точка плавления). При нагревании стекла выраженной точки плавления не наблю-

дается — происходит уменьшение его вязкости. При дальнейшем повышении температуры нагревания стекла оно приобретает пластичное состояние. Величину, обратную вязкости, называют текучестью. По мере снижения температуры вязкость стекла увеличивается. Однако у одних стекол увеличение вязкости идет значительно медленнее, чем у других. Стекла с более медленно нарастающей вязкостью (С87-1, С88-1 и др.) называют «длинными», а стекла с быстро нарастающей вязкостью (С89-1, С89-2 и др.) — «короткими» стеклами.

Вязкость стекол существенно зависит от температуры. Поскольку стекло можно формировать только в определенном интервале вязкости, то необходимо, чтобы изменение вязкости при охлаждении стекла не было слишком резким. Зависимость вязкости от температуры имеет значение и для отжига стекла. Напряжения в стекле исчезают тем быстрее, чем меньше вязкость его.

Для измерения вязкости стекла применяют различные методы.

Измерение температуры двумя методами по ОСТ 16.0649.001-71 дает две точки зависимости вязкости от температуры. Для периодического контроля производства стекла производится определение вязкости в диапазоне  $10^{11}$ — $10^7$  Па·с методом измерения скорости сжатия цилиндрического или призматического образца под действием постоянной нагрузки на вискозиметре ДИВИС. Метод основан на следующей зависимости вязкости от скорости деформации:

$$\eta = \frac{mgl}{3Sv},$$

где  $\eta$  — вязкость, Па·с;  $m$  — масса нагрузки, кг;  $l$  — длина образца, м;  $S$  — площадь сечения, м<sup>2</sup>;  $v$  — скорость деформации, м/с;  $g$  — ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup> ( $g=9,81$ ).

Вискозиметр представляет собой малоинерционную вертикальную электропечь с автоматическим регулированием температуры, внутри которой на кварцевой подставке помещается образец. Нагрузка на образец передается надетой на него кварцевой рамкой, нижний конец которой снабжен передающей трубкой, на которую крепится коромысло с грузиками. Торец трубки упирается в оптический, служащий для точного измерения деформации. Согласно РТМ ЮСО.005.007 образцы для измерения должны иметь длину 10—18 мм и диаметр 5—6 мм или квадратное сечение 4×4—6×6 мм.

Перед измерениями определяется масса кварцевой пластинки, накладываемой на образец, рамки с коромыслом, которые суммируются с массой нагрузки, а также определяется поправка на трение штока оптического в направляющих. Приведенная масса груза зависит от величины измеряемой вязкости и изменяется от 0,002 до 1 кг для диапазона от  $10^7$  до  $10^{12}$  Па·с.

Проводя последовательно измерения при возрастающих температурах и снижая при этом массу нагрузки, можно получить полную кривую зависимости вязкости от температуры.

При каждом измерении фиксируется скорость деформации и вычисляется вязкость. Измерения повторяются 3—5 раз, разность результатов должна быть не более 5%, в противном случае измерения следует повторить.

**Расстекловывание.** При длительном отжиге стекла и соответствующей температуре в прозрачной толще стекла появляются кристаллы, количество которых со временем увеличивается и стекло становится совершенно непрозрачным. У стекол различных марок расстекловывание наблюдается при вязкости от  $10^6$  до  $10^{12}$  Па·с. Склонность стекла к расстекловыванию зависит от его химического состава, примесь  $Al_2O_3$  сильно замедляет расстекловывание.

**Электрические свойства.** Стекла имеют очень малую электрическую проводимость, которая в зависимости от химического состава может изменяться. Стеклообразующие окислы  $SiO_2$ ,  $B_2O_3$  и окислы тяжелых металлов (свинца, бария) снижают проводимость стекла, окислы щелочных металлов (натрия, калия) — повышают. С повышением температуры проводимость стекла быстро растет (табл. 2-18).

Таблица 2-18

Удельное сопротивление электроламповых стекол, Мом·м

Температура, °С	Марка стекла		
	С96-1	С97-1	С93-1
150	0,63	22,4	—
175	0,16	4,3	—
200	0,04	0,93	—
225	0,014	0,23	38,9
250	0,005	0,07	8,92
275	0,002	0,025	2,45
300	0,001	0,009	0,63

Электрическое сопротивление стеклянного изделия зависит также от состояния его поверхности и влажности окружающей среды. Гидрофобизацией поверхности стекла кремнийорганическими соединениями устраняется образование водной пленки.

При повышенных температурах электрические свойства стекол оцениваются коэффициентом ТК-100, т. е. температурой нагрева стекла, когда его удельное сопротивление снижается до 100 Мом·см.

Если удельная проводимость или же рабочая температура стекла слишком велика, то при горении ламп наблюдается электролиз стекла, который в силу ряда причин приводит к сокращению продолжительности горения ламп.

а) В объеме, расположенном между впаянными электродами, происходит электролиз стекла, при котором ионы щелочных металлов перемещаются от анода к катоду. Стекло теряет однородность, прикатодные слои обогащаются щелочами, а прианодные — кремнеземом. В результате температурный коэффициент расширения стекла увеличивается вблизи первого электрода и уменьшается вблизи второго. В итоге плотность слоя может нарушиться.

б) При электролитическом разложении стекла происходит выделение газов (преимущественно водорода, а также кислорода, азота, окислов углерода) и паров воды, что приводит к ухудшению вакуума в лампе.

в) При большой проводимости и высоких температурах электролиз может в конечном счете привести к пробое между близко расположенными электродами и разрушению ламп. Электролиз стекла особенно опасен в двухсветных автомобильных лампах, имеющих малое расстояние между электродами и высокую температуру ножки (300 °C и выше).

**Оптические свойства.** Прозрачность является одним из наиболее важных физических свойств стекол, применяемых для изготовления источников света. Обычные неокрашенные стекла с малым содержанием окиси железа при толщине 1—2 мм поглощают в видимой части спектра от 6 до 20% света.

Отражение, поглощение и пропускание зависят от угла падения лучей на стеклянную поверхность, вида поверхности, толщины стекла и его химического состава. Стекла С89-1, С90-1 и С49-2 хорошо пропускают инфракрасные лучи с длиной волны менее 2,5 мкм, плохо пропускают лучи с длиной волны 2,5—3,5 мкм и совершенно не пропускают лучи с длиной волны более 3,5 мкм. Эти же стекла хорошо пропускают ультрафиолетовые лучи с длиной волны более 0,35 мкм и совершенно не пропускают излучение с длиной волны менее 0,3 мкм.

Кварцевое стекло хорошо пропускает инфракрасные, видимые и ультрафиолетовые лучи. В лампах из бесцветного прозрачного стекла потери на отражение со-

ставляют 8% и на поглощение в зависимости от толщины стенок и площади поверхности колбы 0,5—1%.

Натрий-кальциевые, свинцовые и боросиликатные стекла можно окрашивать путем введения окислов некоторых металлов. Эти окислы находятся в стекле либо в коллоидном состоянии, либо полностью растворяются в нем. Основные окислы, применяющиеся для окрашивания стекла, приведены в табл. 2-19.

Таблица 2-19

Окислы для окрашивания стекол

Окрашивающий окисел, %	Цвет стекла	Примечания
Окись кадмия (0,5% Cd + 0,02% S)	Светло-желтый	Для автоламп
Окись церия (более 8% CeO <sub>2</sub> )	Желтый	Сильное поглощение ультрафиолетовых лучей
Окись железа (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Желто-зеленый	То же
Закись железа (FeO)	Голубовато-зеленый	Сильное поглощение инфракрасных лучей
Окись хрома (CrO)	Интесивный от желто-зеленого до зеленого уже при 0,2—0,4%	Сильное поглощение ультрафиолетовых лучей и пропускание инфракрасных
Окись кобальта (CoO)	Темно-синий	Хорошо пропускает ультрафиолетовые лучи
Окись меди (CuO)	Синий	—
Окись марганца (2% Mg <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Красный и голубовато-фиолетовый	—
Окись никеля (NiO)	Красноватый	—
Окись титана (TiO <sub>2</sub> )	Золотисто-желтый	—
Окись ванадия (5% V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Светло-зеленый	Сильно поглощает ультрафиолетовые излучения

Наряду с бесцветными и окрашенными прозрачными стеклами в производстве нормальных осветительных ламп применяются непрозрачные («глушенные») опаловые и молочные стекла, которые не следует путать с матированным стеклом. Они содержат фториды натрия и кальция, что в области температур расстекловывания приводит к выделению мелких (менее 1 мкм) частиц, сильно рассеивающих свет.

Обычные силикатные стекла по величине коэффициента пропускания в ультрафиолетовой области спектра не могут сравниться с кварцевым стеклом. Однако приме-

нение окислов щелочных и щелочноземельных металлов в стеклах позволяет получить хорошее пропускание ультрафиолетовых лучей. Подробное описание получения стекол, прозрачных для ультрафиолетовых лучей, изложено ниже в разделе «Специальные стекла».

Прозрачность стекла в инфракрасной области сильно зависит от содержания закиси железа и в меньшей степени от концентрации окиси железа. Так, коэффициент пропускания тепловых лучей для большинства стекол (при толщине 7 мм), не содержащих закиси железа, составляет 60%, а содержащих 1% ее — 0,75%. Все бесцветные стекла, за исключением боросиликатных, имеют высокий коэффициент пропускания для длин волн менее 2,6 мкм, средний для длины волны 2,6—4 мкм и малый начиная примерно с 5 мкм.

**Газопоглощение.** Во время варки основная масса газообразных соединений удаляется из стекла в виде пузырей. Однако после затвердевания стекла в нем остается растворенным некоторое количество газов (водяные пары, азот, кислород, сернистый и углекислый газы и др.), образующих химические соединения или физический раствор (азот). Считается, что в застывшем стекле газы содержатся в количестве 1—2 см<sup>3</sup> на 1 г стекла. Основную массу составляют водяные пары, и особенно богата газами и водяными парами поверхность стекла. Толщина поверхностной пленки газов на стекле зависит от состава стекла и условий его хранения. Считается, что толщина пленки составляет 50—100 молекулярных слоев. Эта пленка является основным источником газов, выделяющихся из стекла в вакуумное пространство ламп. Наибольшей поглощающей способностью отличаются богатые щелочами магнезиально-баритовые стекла. В значительно меньшей степени поглощают газы свинцовые и в особенности боросиликатные стекла.

#### в) ВНУТРЕННИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В СТЕКЛЕ

**Возникновение напряжений.** В стекле под влиянием механических или тепловых воздействий создаются внутренние напряжения. Напряжения, создаваемые под воздействием механических нагрузок, в производстве источников света не представляют большого практического интереса. Производство ламп больше сопряжено с термической обработкой стекла, поэтому наибольшую опасность представляют термические напряжения.

Внутренние напряжения подразделяются на временные (переходные) и постоянные (остаточные). Стекло имеет низкую теплопроводность: участки стекла, находящиеся ближе к источнику тепла, нагреваются быстрее — происходит их расширение, в то время как участки, находящиеся ближе к середине, имеют более низкую температуру.

Временные напряжения в стекле возникают следующим образом. При нагревании изделия в первую очередь повышается температура наружных слоев стекла, внутренние слои стекла некоторое время остаются холодными. Наружные слои стекла вынуждены занимать объем, меньший, чем тот, который соответствует данной температуре, и наружные слои оказываются сжатыми. Внутренние слои стекла, испытывая на себе воздействие расширяющихся наружных слоев, имеют напряжения растяжения. При остывании изделия, когда температура во всех точках выравнивается, исчезнут и напряжения. Напряжения, исчезающие после выравнивания температур между отдельными частями изделия, есть временные напряжения. Такие напряжения создаются в пределах температур ниже точки размягчения. Временные напряжения могут привести к разрушению изделия, если величина его окажется большей предела прочности стекла. Стекла, в которых возникают большие временные напряжения, имеют малую термическую стойкость.

Постоянные напряжения возникают при быстром охлаждении стекла.

Если изделие нагреть до точки размягчения стекла и выше, то при быстром охлаждении между отдельными частями изделия сохраняются остаточные, или постоянные, напряжения. В стеклах с высоким температурным коэффициентом расширения возникают значительно большие постоянные напряжения, поскольку сжатие при охлаждении у таких стекол сильнее, чем у стекол, имеющих меньший коэффициент расширения.

Напряжения в стекле появляются по разным причинам:

- при быстром и неравномерном охлаждении стекла (постоянные или остаточные напряжения);

- при слишком большом различии температурных коэффициентов расширения стекол, образующих спай;

- за счет разницы коэффициентов расширения стекла и металла, образующих спай;



В изделиях, имеющих большую толщину, неравномерную толщину стенок или резкие переходы толстых стенок в тонкие;

при попадании на горячее стекло случайных брызг воды, при прикосновении горячего стекла к холодным металлическим предметам или, наоборот, холодного стекла к горячим металлическим предметам и др.

Возникновения напряжений из-за вышеперечисленных причин можно избежать путем правильного подбора материалов для спаев, применения некоторых конструктивных приемов и правильного отжига изделий.

**Снятие напряжений.** При нагревании стекла до температуры размягчения напряжения в нем уничтожаются, однако при быстром охлаждении в нем вновь возникают остаточные напряжения. При правильно построенном остывании стекла можно полностью или частично снять остаточные напряжения.

Остаточные напряжения в стекле устраняются отжигом в барабанных, конвейерных, камерных и других печах с газовым или электрическим нагревом. Характер кривой отжига зависит от состава стекла, главным образом от температурного коэффициента расширения стекла и его толщины. В кварцевом стекле ( $\text{ТКЛР } 6 \cdot 10^{-7} \text{ К}^{-1}$ ) напряжения почти не возникают, поэтому его не подвергают отжигу.

Для мягких стекол с  $\text{ТКР } (80-100) \cdot 10^{-7} \text{ К}^{-1}$  режим отжига имеет большое значение. Изделия с тонкими стенками практически не отжигают, а ограничиваются обработкой в мягком пламени горелки.

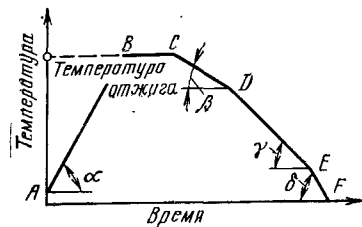


Рис. 2-5. График режима отжига стекла  $\alpha > \gamma > \beta$ ;  $\delta > \gamma$ .

График режима отжига стекла в конвейерной печи изображен на рис. 2-5. Стекло нагревают до температуры отжига (точка В), при которой вязкость достаточно низка, так что могут быть устранены напряжения за короткое время. При этой температуре стекло выдерживается с целью исчезновения напряжения (отрезок ВС). Охлаждение стекла производится с таким расчетом, чтобы напряжения не возникали снова (часть кривой CDEF). Для экономии времени только на отрезке CD производится медленное охлаждение, затем осуществляют более быстрое охлаждение до точки Е, когда вязкость стекла велика и нет опасности возникновения остаточных напряжений. В зоне температуры EF стекло изымается из печи. Скорость

нагрева до температуры отжига подбирается такой, чтобы не создавались переходные напряжения в стекле, которые могли бы разрушить изделие. Угол  $\alpha$  должен быть больше угла  $\gamma$ . Температура отжига выбирается из расчета более быстрого исчезновения напряжения, но при этом вязкость не должна уменьшаться до опасности появления деформации стенок изделия. Выдержка при температуре отжига должна быть такой, чтобы перепад температур по объему изделий был минимальным.

Температура точки D должна быть на  $80-100^\circ \text{C}$  меньше температуры трансформации (вязкость  $10^{15} \text{ Па} \cdot \text{с}$ ), когда стекло становится упругим телом. Максимальная скорость охлаждения  $v_1$  в этом интервале (участок CD) подсчитывается по следующей эмпирической формуле:

$$v_1 = \frac{4}{a^2},$$

где  $v_1$  — скорость охлаждения, К/мин;  $a$  — половина толщины стенок для деталей открытых, т. е. омываемых теплоносителем с обеих сторон, или полная толщина стенки для деталей закрытых (колбы, трубки и др.).

Для отрезка DE скорость охлаждения определяется по аналогичной формуле:

$$v_2 = 10/a^2 = 2,5v_1.$$

Температура точки Е определяется по стойкости к термоударам соответствующей стеклянной детали. Такой расчет режима отжига является ориентировочным, точный же режим устанавливают экспериментально. Отжиг стекол в камерных печах упрощается по сравнению с отжигом в конвейерных печах, так как тепловая инерция печи не позволяет ускорить процесс охлаждения, соответствующий участку DEF на кривой отжига. Камерные печи с программным управлением обычно имеют разработанные режимы отжига для многих сортов стекол. Тугоплавкие стекла имеют более высокую зону и большее время отжига, чем легкоплавкие. Охлаждение тугоплавких стекол производят быстрее легкоплавких, так как у них более низкий ТКР.

Напряжения в спаях стекла с металлом, вызванные неодинаковым тепловым расширением, никаким отжигом снять невозможно. Отжит спаяв представляет собой тепловую обработку для устранения закалочных напряжений и управления в известных пределах термическими напряжениями. Для спаев стекло — металл применяется так называемый дифференциальный отжиг или дифференциальное охлаждение. Суть этого отжига состоит в том, что в материалах спая с различными ТКР при охлаждении разность температур поддерживается таким образом, чтобы величина теплового сжатия металла и стекла оставалась равной в продолжение всего процесса охлаждения. Дифференциальный отжиг дает возможность создания желательного распределения напряжений.

8\*

**Измерение напряжений.** Стекло, не содержащее внутренних напряжений, представляет собой однородное, изотропное тело с одинаковыми оптическими свойствами в любых направлениях. При наличии в стекле напряжений оно преобразуется в анизотропное состояние и его

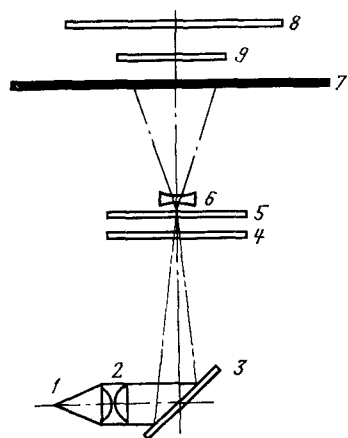


Рис. 2-6. Оптическая схема полярископа.

оптические свойства становятся различны в разных направлениях (двойное лучепреломление). Обнаружение внутренних напряжений в стекле производят полярископом — оптическим прибором, позволяющим рассматривать предметы в поляризованном свете. Оптическая схема полярископа изображена на рис. 2-6. Свет лампы накаливания 1 проходит через плоско-выпуклые линзы 2, конденсирующие его в сходящийся пучок. Пучок отражается от наклонного зеркала 3 и изменяет свое направление на 90°. Проходя через поляризатор 4, свет поляризуется. Кварцевая пластинка 5 повышает чувствительность прибора, двояковыпуклая линза 6 рассеивает пучок лучей. Исследуемое стеклянное изделие 9 вносят в пространство между поляризатором 4 и анализатором 8 за матовым стеклом 7. Наблюдая через анализатор, поворачивают изделие до получения наибольшей яркости. У изделий, не имеющих напряжений, окраска в поле зрения полярископа совпадает с окраской окружающего фона. У изделий, имеющих напряжения, окраска вблизи этих напряжений приобретает пестрый радужный оттенок, по яркости и контрастности которого судят об их величине.

Полярископом пользуются для качественной оценки напряжений. Количественная оценка определяется поляризационными приборами — поляриметрами. Поляриметрические измерения основаны на том, что двойное лучепреломление, возникающее в стекле, пропорционально действующим в стекле напряжениям. Измерение напряжений в стекле с помощью поляриметров является трудоемкой операцией, поэтому в цеховых условиях для определения количественной оценки напряжений в стекле применяется полярископ, пере-

оборудованный в измерительный прибор. Количественная оценка напряжений в этом случае определяется по оттенкам цветов, наблюдаемым в полярископе: устанавливается зависимость окраски стекла от действующих на нем напряжений. Для этой цели берут пластинку определенного состава стекла, нагружают ее (возбуждая сжимающие и растягивающие ее напряжения), определяют оттенок света

Таблица 2-20

Зависимость оттенков цвета от напряжений в стекле С87-1

Растяжение		Сжатие	
Цвет	Напряже-ние, МПа	Цвет	Напряже-ние, МПа
Малиновый	0	Малиновый	0
Светло-фиолетовый	1,9	Малиново-оранжевый	1,9
Фиолетово-синий	7,5	Оранжевый	3,8
Синий	9,8	Темно-желтый (темная охра)	7,5
Светло-синий	11,3	Темно-восковой	11,3
Голубой	13,2	Соломенно-желтый (светлая охра)	13,2
Зеленый	15,0	Желтый	17,0
Светло-зеленый	17,0	Слабо-желтый	22,5
Белый	19,0		
Слабо-желтый	23,5		
Светло-желтый	28,0		
Желтый	37,0		
Соломенно-желтый (светлая охра)	47,0		

в поляризованном свете и таким образом устанавливают зависимость оттенков цвета от напряжений, действующих в стекле. Такая зависимость для стекла С87-1 показана в табл. 2-20.

Для количественной оценки напряжений в стекле можно использовать полярископ с применением так называемых эталонов «разности хода». Эталоны «разности хода» — это набор пластинок, которые в полярископе кажутся окрашенными в разные цвета. Каждый цвет соответствует совершенно определенной величине внутренних напряжений в стекле (на каждой пластинке эта величина указана в нанометрах). При контроле изделий по эталонам «разности хода» подбирают такую пластинку, которая при просмотре в полярископе окрашивается в такие же цвета, как само изделие.

#### г) КВАРЦЕВОЕ СТЕКЛО

Кварцевое стекло обладает комплексом ценнейших свойств, не достижимых для других стекол. Это — нечувствительность к термоудару, высокая прозрачность в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной областях спектра, химическая инертность по отношению к агрессивным средам (соли, кислоты, расплавы металлов), отличные диэлектрические качества и др. Благодаря этим

свойствам кварц широко применяется для изготовления различных источников света и различных узлов и деталей вакуумных установок (терапевтические лампы с самокалящимися оксидными катодами, дуговые ртутные лампы с исправленной цветностью — ДРЛ, трубчатые ксеноновые лампы, шаровые ксеноновые лампы высокого давления, галогенные лампы, импульсные лампы и др.).

#### Свойства прозрачного кварцевого стекла

Плотность, кг/м <sup>3</sup> . . . . .	2000—2300
Твердость по Моосу . . . . .	5
Точка трансформации, °С . . . . .	1100
Практический интервал обработки, °С . . . . .	1900—2000
Максимальная рабочая температура, °С:	
длительная . . . . .	1000
кратковременная . . . . .	1300
Давление пара, Па (мм рт. ст.):	
при 1300 К . . . . .	0,0013 (10 <sup>-5</sup> )
при 1500 К . . . . .	1,3 (10 <sup>-2</sup> )
Предел прочности при растяжении, МПа . . . . .	68—118 для тонких нитей
Предел прочности при сжатии, МПа . . . . .	1600—2000
Предел прочности при изгибе, МПа . . . . .	70
Предел прочности при сдвиге, МПа . . . . .	30
Модуль упругости, ГПа . . . . .	62—72
Модуль сдвига, ГПа . . . . .	24—32
Постоянная Пуансона . . . . .	0,17
Средний температурный коэффициент расширения, 10 <sup>-7</sup> К <sup>-1</sup> . . . . .	20—300 °С—6,27 20—1000 °С—5,40
Удельная теплоемкость, кДж/(кг·К):	
при 100 °С . . . . .	0,84
при 500 °С . . . . .	1,13
при 1000 °С . . . . .	1,21
Стойкость к термоударам (при толщине стенки 3 мм) . . . . .	1250
Удельное электрическое сопротивление, МОм·м:	
при 20 °С . . . . .	10 <sup>9</sup> —10 <sup>22</sup>
при 250 °С . . . . .	10 <sup>4</sup>
при 350 °С . . . . .	10 <sup>12</sup>
Точка ТК-100, °С . . . . .	600
Коэффициент пропускания ультрафиолетовых лучей (при длине волны 300 нм), % . . . . .	98%
Коэффициент преломления . . . . .	1,458

Кварцевое стекло обладает высокой химической стойкостью: на кварц не действует кипящая (нейтральная) вода, соляная и серная кислоты. Плавиковая и фосфорная кислоты, а также щелочи и основные соли взаимо-

действуют с кварцем, особенно при нагревании. Ртуть и ее пары не действуют на кварц даже при высоких температурах, однако внутренняя поверхность кварцевых ртутных газоразрядных приборов низкого давления темнеет вследствие адсорбции положительных ионов ртути. Последние внедряются в поверхность, нейтрализуются и практически не могут покинуть кварц, так как этому препятствует большой диаметр их атомов. В ртутных приборах высокого давления этот эффект выражен слабее вследствие шнурования разряда и удаления его от стенок. Для очистки загрязненных кварцевых изделий применяют 15%-ный раствор плавиковой кислоты, затем изделие не менее 1 ч промывают в кипящей дистиллированной воде.

Химически кварцевое стекло весьма устойчиво. С металлами кварц при низких температурах не взаимодействует. С марганцем и платиной кварц взаимодействует при высоких температурах в атмосфере водорода. Магний и алюминий быстро действуют при 700—800 °С. Пары натрия и кадмия при высоких температурах разрушают кварц, причем пары кадмия действуют только при длительном контакте. Кальций не взаимодействует с кварцем до температуры слабого красного каления.

Окислы металлов (бария, кальция, железа, меди и магния) не взаимодействуют с кварцем до 900—1000 °С.

Среди неметаллических реагентов кварц взаимодействует только с фосфором.

К большинству кислот кварц практически инертен, исключение составляют плавиковая и ортофосфорная кислоты, которые быстро взаимодействуют с кварцем при любой температуре.

В растворах щелочей при комнатной температуре кварц теряет массу около 0,01 мг/см<sup>2</sup> за 48 ч; при 100 °С в 5%-ном растворе едкого натра потеря массы составляет 0,9 мг/см<sup>2</sup> за 6 ч.

Агрессивные газы (хлор, сернистый газ) не действуют на кварц даже при нагревании во влажной атмосфере.

#### д) СПЕЦИАЛЬНЫЕ СТЕКЛА

**Викор.** Викор (Vycor) — коммерческое название стекол фирмы Corning Glass Works (США), где они разработаны. Стекло по своим свойствам близко к прозрачному кварцевому стеклу. В составе стекла Викор со-

держание двуокиси кремния достигает 95% и более, остальное  $\text{V}_2\text{O}_5$  и окислы щелочных металлов.

#### Свойства стекла Викор ( $\text{SiO}_2 > 96\%$ )

Плотность, $\text{кг/м}^3$ . . . . .	2180
Точка трансформации, $^{\circ}\text{C}$ . . . . .	900
Интервал обработки, $^{\circ}\text{C}$ . . . . .	1600—1700
Максимальная рабочая температура, $^{\circ}\text{C}$ :	
длительная . . . . .	900
кратковременная . . . . .	1200
Средний температурный коэффициент расширения в диапазоне 0—300 $^{\circ}\text{C}$ , $10^{-7} \text{ K}^{-1}$ . . . . .	7,5
Стойкость к термоударам, $^{\circ}\text{C}$ :	
$d = 3 \text{ мм}$ . . . . .	1250
$d = 6 \text{ мм}$ . . . . .	1000
$d = 12 \text{ мм}$ . . . . .	750
Удельное электрическое сопротивление при 25 $^{\circ}\text{C}$ , МОм·м . . . . .	$10^6$

Стекла Викор обладают отличной прозрачностью, соларизация стекла в результате воздействия ультрафиолетового излучения так же мала, как и кварцевого стекла. Под действием бомбардировки ионами, образующимися в ртутном разряде, поверхность стекла Викор чернеет. После 2000 ч прозрачность стекла в ультрафиолетовой части спектра уменьшается на 13%. Проницаемость стекла Викор для водорода при 700—975  $^{\circ}\text{C}$  такая же, как и кварцевого стекла. По химическим свойствам стекла Викор почти не отличаются от кварцевого стекла.

Поскольку в составе стекла Викор имеется некоторое количество других окислов, то вязкость его смещена к зоне более низких температур в сравнении с кварцевым стеклом, что создает большие удобства при огневой обработке его. Стекло можно спаивать кислородно-газовым пламенем, в то время как кварцевое стекло способно к спаиванию только кислородно-водородным пламенем.

Стекло Викор имеет склонность к расстекловыванию ниже 1000  $^{\circ}\text{C}$ , а при температурах около 1200  $^{\circ}\text{C}$  расстекловывание больше, чем у кварцевого стекла. Однако при еще более высоких температурах скорость расстекловывания все же не достигает таких сравнительно больших значений, как у кварца в диапазоне 1300—1500  $^{\circ}\text{C}$ . Помутнение поверхности стекла Викор, вызванное, как и в случае кварца, конденсацией двуокиси кремния, испаренной при огневой обработке, можно устранить травлением в разбавленной плавиковой кислоте.

Стекла Викор уже находят применение в производстве источников света. В настоящее время американские фирмы используют это стекло взамен кварцевого для изготовления некоторых типов галогенных ламп. Стекла Викор можно использовать для изготовления ультрафиолетовых терапевтических ламп низкого давления с ртутным наполнением, рассчитанных на работу в средне- и длинноволновом диапазоне ультрафиолетовой части спектра. Излучение ламп не вызывает образования азона.

Американскими фирмами выпускается несколько типов ламп накаливания с оболочкой из стекла Викор, имеющих по сравнению с обычными лампами накаливания значительно меньшую массу (лампа 1000 Вт имеет массу 0,5 кг) и применяющихся для внешнего освещения без защиты от атмосферных осадков. Инфракрасные лампы при мощности 1250 Вт имеют колбу из стекла Викор такого же размера, как изготовленная из обычного стекла колба лампы мощностью 150 Вт. Стекло достигает температуры 600  $^{\circ}\text{C}$  и не разрушается при попадании на него холодной воды. Лампы применяются в бытовых плитках для приготовления пищи.

**Увиолевое стекло.** Увиолевые стекла С96-4 и С96-5 применяются в колбах специальных газоразрядных ламп, излучающих ультрафиолетовые лучи с максимальным бактерицидным ( $\lambda = 253,7 \text{ нм}$ ) и эритемным ( $\lambda = 297 \text{ нм}$ ) действием.

Таблица 2-21

#### Химический состав увиолевых стекол

Марка стекла	Состав, %						
	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{PbO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$
С96-4	70,5	1,5	5,5	3,5	2,0	15,0	2,0
С96-5	72,5	1,5	5,5	3,5	—	15,0	2,0

На прозрачность увиолевых стекол влияют их химический состав, количество окислов, чистота сырьевых материалов, условия варки (температура, продолжительность варки, состав атмосферы печи и др.), качество огнеупоров.

Химический состав увиолевых стекол С96-4 и С96-5 приведен в табл. 2-21.

Спектральную прозрачность стекол уменьшают окислы железа, натрия, свинца, сурьмы, марганца, окислы и соединения серы и др.

Спектральное пропускание стекла изменяется и от воздействия на него излучения, этот процесс называют соляризацией стекла. Основной причиной соляризации служит переход под влиянием ультрафиолетового облучения закиси железа в окись железа, которая сильно поглощает ультрафиолетовые лучи. На процесс соляризации влияют примеси сурьмы, мышьяка, селена, висмута, меди, олова и др. Менее склонны к соляризации окислы бора, кальция и магния. Сильно соляризуются мягкие стекла, имеющие в своем составе окислы щелочных металлов. Установлено, что чем короче длина волны излучения, тем сильнее протекает процесс соляризации. Процесс соляризации обратимый, при нагреве стекла до 300—500 °С его спектральная прозрачность восстанавливается.

**Порошковое стекло.** В последнее время порошковое стекло находит все большее применение в производстве электровакуумных приборов для изготовления колб, прессованных фасонных деталей, стеклянных эмалей и припоев и др. Для производства источников света порошковое стекло также представляет большой интерес.

Изделия формируются путем нагревания стеклянного порошка до температуры, при которой отдельные зерна взаимно остекловываются. В зависимости от температуры спекания стекла делятся на пористые и вакуум-плотные.

Пористые спеченные стекла пронизаны тончайшими капиллярами, у вакуум-плотных капилляры закрываются, образуя мелкие поры. Температура спекания порошков значительно ниже, чем температура формования стекла выдуванием или прессованием. Например, бариево-литиевое стекло имеет температуру формования 1010 °С, а температуру спекания 660 °С. Спай спеченного стекла выдерживает большие различия в коэффициентах расширения, чем исходное стекло, и имеет более высокую стойкость к термоударам. Механическая прочность спеченного стекла по сравнению с исходным стеклом снижается. Свойства спеченных стекол (ТКЛР, электрические свойства и др.) можно менять путем смешивания порошков с различными свойствами и различной зернистостью. Большинство свойств меняется линейно и может быть рассчитано по формуле

$$A = 0,01 \sum A_i x_i,$$

где  $A$  — количественная характеристика какого-либо свойства спеченной смеси порошков;  $A_i$  — то же для одного из компонентов с содержанием  $x_i$  процентов в смеси ( $\sum x_i = 100$ ).

Температурный коэффициент линейного расширения по этой формуле можно вычислить с точностью  $(4-8) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ , температуру трансформации — с точностью до 0,02—0,04.

**Стеклоэмали** — это щелочные боросиликатные стекла, применяемые для тонкого поверхностного покрытия. В вакуумной технике они

применяются для защиты подложек (металла или стекла) от коррозии, в качестве электроизоляционных покрытий, переходных стекол при изготовлении сплавов металла со стеклом для нанесения легкоплавкой, устойчивой к действию натрия эмали на внутреннюю поверхность формованных колб из обычного стекла газоразрядных натриевых ламп и т. п. Состав эмалей определяется требуемой величиной ТКЛР, химическими свойствами подложки, величиной термической нагрузки. Основной составной частью эмалей является двуокись кремния, которую вводят в шихту в виде кварцевого песка, но иногда также в виде полевого шпата или глины. Основным флюсом является бура ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ). Окись бора легко растворяет окислы металлов, придает эмали необходимую текучесть и предотвращает ее растрескивание. В качестве флюса также может быть использован плавиковый шпат. Окись натрия вводят в виде кальцинированной соды. Для введения  $\text{CaO}$  обычно применяют мраморную крошку. Входящая в состав натриевой селитры служит окислителем, необходимым для удаления органических примесей, в тех же целях применяется окись марганца. Почти все технические грунтовые эмали (для нанесения покрытий на детали из железа) содержат примеси так называемых связующих окислов кобальта и никеля, которые обеспечивают прочное сцепление эмали с поверхностью металла.

Подлежащие эмалированию поверхности должны быть хорошо очищены. Нанесение эмали на поверхность деталей, как правило, производят методом погружения. Сплавление обычных эмалей ведут в закрытых электрических печах на воздухе при температуре от 760 до 980 °С. Продолжительность процесса составляет 5—10 мин, но иногда увеличивается до 1 ч. Толщина слоя эмали не превышает 100 мкм, в отдельных случаях она может быть увеличена путем нанесения второго слоя эмали.

**Стекланые припои** представляют собой легкоплавкие стекла с малой вязкостью и низким значением поверхностного натяжения. Температура спайвания в пределах 400—600 °С. Стекланые припои предназначены для соединения стеклянных деталей с деталями из стекла, керамики или слюды. К стеклоприпоям предъявляются следующие требования:

припой должен обладать минимальной склонностью к растрескиванию даже в условиях длительного нагревания при пайке;

температура размягчения припоев для спайвания силикатных стекол должна лежать в интервале от 300 до 400 °С, вязкость их при температуре пайки должна составлять  $10^3-10^5 \text{ Па} \cdot \text{с}$ ;

средние ТКЛР припоя и спаиваемых материалов должны, как правило, хорошо согласовываться;

стекло-припой должен хорошо смачивать поверхность соединяемых изделий и активно взаимодействовать с ними (образование химических соединений, твердых растворов, ионный обмен);

припой должен быть химически устойчив в условиях последующей эксплуатации.

Перечисленным выше требованиям наиболее полно отвечают припои на основе окиси бора. В бинарной системе  $\text{PbO}-\text{B}_2\text{O}_3$  с содержанием  $\text{PbO}$  от 70 до 85% температура размягчения лежит в пределах от 440 до 350 °С.

К сожалению, свинцово-боратные стекла не обладают достаточной химической стойкостью. Другие бинарные боратные стекла (бариево- и цинково-боратные) имеют сравнительно высокую температуру размягчения (соответственно 550—610 °С и 500—580 °С). Они

используются лишь для спаивания тугоплавких стекол. Небольшие примеси некоторых окислов (цинка, бария и др.) заметно повышают химическую стойкость свинцово-боратных припоев. На основе  $PbO-B_2O_3$  с присадками  $ZnO$  или  $Al_2O_3$  и с небольшим количеством  $SiO_2$  выпускается несколько марок припоев.

### 2-3. ЛЮМИНОФОРЫ

Люминесценцией называется избыточное излучение над тепловым излучением тела, если это избыточное излучение обладает длительностью, превышающий период световых колебаний. Первая часть этого определения (данного Видеманом) подчеркивает отличие люминесценции от свечения нагретых тел — свечение люминофоров происходит без нагреваний («холодный свет»). Вторая часть определения (введенная С. И. Вавиловым) отделяет люминесценцию от свечения при отражении и рассеянии света, тормозного излучения заряженных частиц и излучения Вавилова — Черенкова. Все перечисленные виды свечения прекращаются сразу же после прекращения возбуждения, тогда как люминесценция продолжается в течение некоторого времени после выключения источника возбуждения. Вещества, способные излучать свет под действием различного рода возбуждений, называются люминофорами. По способу возбуждения люминофоры могут быть разделены на следующие классы:

фотолюминофоры — возбуждение ультрафиолетовым и видимым светом;

катодолюминофоры — возбуждение пучком электронов;

электролюминофоры — возбуждение электрическим полем;

рентгенолюминофоры — возбуждение рентгеновским излучением;

радиолюминофоры — возбуждение корпускулярным излучением радиоактивных препаратов и др.

В производстве источников света применяются главным образом фотолюминофоры, возбуждаемые ультрафиолетовым излучением. Такие люминофоры принято называть ламповыми.

К ламповым люминофорам в основном предъявляются следующие технические требования.

1. Высокая эффективность при приемлемом спектральном составе излучения (высокий квантовый выход при возбуждении). Для люминесцентных ламп при возбуждении линией 253,7 нм ртутного разряда низкого давления люминофор должен иметь квантовый выход,

по возможности близкий к максимальному, а коэффициент отражения возбуждающего излучения должен быть минимальным. Для ламп ДРЛ люминофор должен иметь высокий квантовый выход при возбуждении излучением разряда высокого давления.

Особое внимание должно быть обращено на эффективность возбуждения люминофора ртутной линией 365 нм, энергия излучения которой составляет основную долю в общей энергии излучения разряда.

2. Высокий коэффициент пропускания видимого излучения. Люминофор должен быть прозрачен для собственного излучения и видимого излучения ртутного разряда.

3. Излучение в требуемой области спектра. При изготовлении люминесцентных ламп для общего освещения исходя из физиологических соображений и в тех случаях, когда требуется правильная цветопередача, необходимо стремиться к получению излучения, близкого к спектральному составу дневного света.

Ртутно-кварцевые лампы высокого давления, обладая высокой световой отдачей в видимой области спектра, недостаточно излучают в красной области спектра. Это приводит к тому, что излучение получает неприятный зеленоватый оттенок. Поэтому задача люминофора состоит главным образом в том, чтобы исправить цветность ламп, дополнив энергию излучения в красной области спектра.

4. Высокая стабильность в процессе эксплуатации ламп. При эксплуатации люминофор длительное время (до 16—18 тыс. ч) подвергается одновременному воздействию паров ртути, ультрафиолетового излучения и высокой температуры (у ртутно-кварцевых ламп колба нагревается до 250°C). В первые часы работы ламп происходит реакция взаимодействия люминофора с примесями газовой среды, что приводит к его частичному «отравлению». Под действием коротковолнового облучения (линией 185 нм) происходит фотохимическое разрушение люминофора. Действие этих и других факторов приводит к постепенному спаду яркости его свечения.

5. Люминофор должен иметь определенный гранулометрический состав. Размер его зерен влияет на качество закрепления покрытия на стенках колбы, на световую отдачу ламп и др. Прочность закрепления (адгезия) люминофора к стеклу возрастает с уменьшением размеров зерна, но при этом одновременно происходит сниже-

ние световой отдачи ламп за счет повышения коэффициента отражения возбуждающего излучения. Крупные частицы люминофора легко осыпаются в лампе. Поэтому для люминофоров устанавливается определенный гранулометрический состав. Обычно для люминесцентных ламп низкого давления используется люминофор с размером зерен от 3 до 20 мкм.

6. Люминофор должен быть технологичен, т. е. не должен изменять своих характеристик в процессе изготовления ламп.

#### а) люминофоры для люминесцентных ламп низкого давления

**Люминофоры на основе галофосфатов.** Наиболее широкое применение в люминесцентных лампах нашли люминофоры на основе галофосфата кальция (ГФК), активированного сурьмой и марганцем. Общая химическая формула этих люминофоров:  $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{F}, \text{Cl}) : \text{Sb}, \text{Mn}$ .

Галофосфатные люминофоры малочувствительны к различным примесям. Исходные материалы, необходимые для приготовления люминофоров, имеют сравнительно низкую стоимость, практически не оказывают токсического действия и обладают высокой стабильностью в условиях ртутного разряда люминесцентных ламп.

Эти преимущества привели к тому, что галофосфатные люминофоры полностью заменили содержащие бериллий смеси люминофоров, применявшиеся ранее в люминесцентных лампах.

В прошлом люминофоры этой группы выпускались следующих марок: Л-34, Л-35, Л-36, Л-38 и Л-39. В последние годы химическая промышленность освоила выпуск новых, более совершенных люминофоров марок ЛГ-1-1, ЛГ-1-2, Л-3500-2, Л-3500-3, ЛГ-5, ЛГ-6, ЛГ-2К, ЛГ-3К и др., которые обеспечивают получение более эффективных люминесцентных ламп.

Излучение галофосфатных люминофоров состоит из двух спектральных полос — сурьмяной с максимумом 480 нм и марганцевой с максимумом 580 нм. Путем изменения соотношения интенсивности этих полос можно в широких пределах изменять спектральный состав излучения люминофора.

**Люминофоры на основе ортофосфатов.** Для люминесцентных ламп получил широкое применение люминофор

Л-42ДН, имеющий формулу  $(\text{Ca}, \text{Zn})_3(\text{PO}_4)_2 : \text{Sn}$ . Люминофор Л-42ДН при возбуждении резонансной линией ртути (254 нм) генерирует три полосы излучения: 390 нм (очень слабая), 500 и 610 нм. Квантовый выход составляет 0,9. При нагревании до 100 °С яркость свечения люминофора увеличивается и начинает уменьшаться только при температуре выше 150 °С.

Применение ортофосфатных люминофоров в люминесцентных лампах позволило улучшить цветопередачу ламп, так как доля энергии, излучаемой этим люминофором в красной области спектра, гораздо больше, чем у галофосфатных люминофоров. Ортофосфатные люминофоры в смеси с галофосфатами кальция используются в люминесцентных лампах с улучшенной цветопередачей типа ЛДЦ.

Люминофоры на основе ортофосфатов с излучением в ультрафиолетовой области спектра применяются для эритемных ламп.

Более эффективным из этой группы является люминофор Э-2  $[(\text{Ca}, \text{Mg})_3(\text{PO}_4)_2 : \text{Ti}]$ .

Он имеет максимум излучения в области 305 нм, близко к максимуму эритемной чувствительности кожи человека (около 300 нм).

#### б) люминофоры для ртутных ламп высокого давления

**Фторогермонат магния, активированный марганцем.** Этот люминофор (Л-40) имеет химическую формулу:  $\text{Mg}_4\text{GeO}_{55}\text{F} : \text{Mn}$ .

Люминофор возбуждается в широкой области спектра от 200 до 480 нм. Спектр его излучения состоит из пяти узких полос, имеющих максимумы в областях 626, 634, 643, 654 и 660 нм. Квантовый выход равен 0,85. При нагреве его до 330 °С яркость свечения возрастает почти вдвое.

Красное отношение в суммарном спектре излучения ламп различной мощности с люминофором составляет 7—9%. Поглощение излучения ртутного разряда в слое люминофора в видимой области не превышает 10%.

**Ортофосфатные люминофоры, активированные оловом.** Для ртутных ламп высокого давления нашли применение люминофоры:

фосфат стронция — магния  $(\text{Sr}, \text{Mg})_3 \cdot (\text{PO}_4)_2 : \text{Sn}$ ;

фосфат стронция — цинка  $(\text{Sr}, \text{Zn})_3 \cdot (\text{PO}_4)_2 : \text{Sn}$ ;

фосфат кальция — магния  $(\text{Ca}, \text{Mg})_3 \cdot (\text{PO}_4)_2 : \text{Sn}$ .

В спектре излучения ортофосфатных люминофоров наряду с интенсивной оранжево-красной полосой имеется небольшое излучение в синей части спектра. Спектры излучения этих люминофоров широкополосные; квантовый выход около 0,9.

Люминофор  $(\text{Sr}, \text{Mg})_3 \cdot (\text{PO}_4)_2 : \text{Sn}$  стабилен при технологической обработке; при нагреве до  $350^\circ\text{C}$  яркость его увеличивается на 30%. Максимум излучения приходится на 630 нм.

Люминофор  $(\text{Sr}, \text{Zn})_3 \cdot (\text{PO}_4)_2 : \text{Sn}$  характеризуется относительно невысокой рабочей температурой ( $250^\circ\text{C}$ ). При нагреве наблюдается сдвиг максимума излучения в сторону более коротких волн (600 нм), за счет чего увеличивается яркость свечения на 25% с соответствующей потерей в красной части спектра.

У люминофора  $(\text{Ca}, \text{Mg})_3 \cdot (\text{PO}_4)_2 : \text{Sn}$  спектр люминесценции зависит от длины волны возбуждающего излучения. При возбуждении люминофора излучением с длиной волны 254 нм максимум полосы излучения приходится на 600 нм, при возбуждении линией ртутного разряда 313 нм максимум излучения сдвигается в сторону более коротких длин волн (500 нм). Лампы с таким люминофором имеют высокую световую отдачу (59—60 лм/Вт), но красное соотношение составляет 4,4%.

Существенным недостатком всех ортофосфатных люминофоров является то, что они практически не возбуждаются длинноволновым ультрафиолетовым излучением (больше 365 нм) и имеют низкое красное соотношение. Поэтому ртутные лампы высокого давления выпускаются с ортофосфатными люминофорами для освещения объектов, к которым не предъявляются высокие требования к цветопередаче.

**Ортованадат иттрия, активированный европием.** Применение ортованадатов иттрия, активированных редкими землями (европием, тербием, церием, неодимом, самарием и др.), повышает световой поток и красное соотношение светового потока ртутных ламп высокого давления.

Ортованадат иттрия  $(\text{YVO}_4 : \text{Eu})$  возбуждается ультрафиолетовой областью спектра ртутного разряда (при комнатной температуре) примерно до 350 нм, при нагреве до  $250^\circ\text{C}$  спектр возбуждения люминофора смещается в длинноволновую сторону (увеличивается эффективность использования линии 365 нм).

Спектр излучения люминофора состоит из четырех достаточно узких полос с максимумами в областях 535, 590, 618 и 650 нм.

В ртутных лампах высокого давления ортованадат иттрия может быть применен в смеси с другими люминофорами. Наиболее эффективно использовать смесь 20—30% ортованадата иттрия и 80—70% ортофосфатного люминофора  $(\text{Ca}, \text{Sr})_3 \cdot (\text{PO}_4)_2 : \text{Sn}$ . Световая отдача ламп мощностью 400 Вт в этом случае доходит до 60 лм/Вт при красном отношении 5—7%.

#### 2-4. ГАЗЫ

В производстве источников света большую роль играют технологические и топливные газы.

Инертные газы применяются для наполнения ламп накаливания и газоразрядных ламп, создания защитной и восстановительной сред на технологических операциях, газовой промывки ламп во время вакуумной обработки и выполнения многих технологических операций.

Из технологических газов, применяемых в производстве источников света на электроламповых заводах, производятся только водород и кислород (методом электролиза) и некоторая часть технического азота и кислорода, а остальные газы (аргон, неон, гелий, криптон, ксенон) изготавливаются специализированными заводами химической промышленности или получаются в качестве дополнительного продукта (криптон, ксенон) на заводах металлургической промышленности и на станциях газовой промышленности. Все получаемые со стороны газы проходят дополнительную очистку на ламповых заводах.

Параметры ламп и их долговечность в большей степени зависят от качества применяемых инертных газов (наличия примесей). Поэтому способы их очистки, контроль и методы анализа имеют первостепенное значение.

Расширение номенклатуры газоразрядных ламп и специальных ламп накаливания требует увеличения объемов производства инертных газов и снижения их стоимости (особенно криптона и ксенона).

Топливные газы широко используются для варки и обработки стекла (штамповка, формовка, заварка и т. д.) на многих технологических операциях, связанных с термической обработкой деталей, узлов и ламп.



Топливные газы влияют на качество выпускаемых ламп, но еще в большей степени на процесс производства ламп и технологичность (стабильность технологического процесса и его управляемость).

Стабильность параметров топливного газа (давление, температура горения, скорость распространения пламени и др.), наличие примесей в нем, применяемые типы газовых горелок и газовой арматуры существенно влияют на технологические потери и производительность оборудования. От правильного выбора огневого оснащения технологического оборудования при уже установившемся использовании того или иного топливного газа зависят технико-экономические показатели работы заводов.

#### а) ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ГАЗЫ

К технологическим газам относятся водород, азот, кислород и инертные газы — аргон, неон, гелий, криптон и ксенон.

Водород используется в основном при термической обработке изделия, для создания защитной и восстановительной атмосферы, для получения высокой температуры с помощью газовых горелок при обработке тугоплавких стекол и др.

Кислород применяется в основном для усиления пламени газовых горелок, создания окислительной среды на некоторых технологических операциях, а также для наполнения некоторых источников света (лампы-фото-вспышки).

Азот служит для создания защитной среды на технологических операциях, восстановительной среды в смеси с водородом (препарировочный газ), промывки ламп во время вакуумной обработки на откачных установках (автоматах) и наполнения ламп в смеси с инертными газами, для получения аммиака и др.

**Свойства газов.** Газы в условиях высокой степени разряжения (высоком вакууме) и в условиях большого давления могут иметь различные физические свойства.

При больших давлениях — высокая теплопроводность газа и независимость ее от давления, наличие конвекции, медленное протекание процесса диффузии, трение между слоями газа при его движении по трубам, зависимость пропускной способности газопровода от давления.

В условиях высокого вакуума — низкая теплопроводность газа и зависимость ее от давления, отсутствие конвекции, почти мгновенное протекание процесса диффузии, отсутствие внутреннего трения, независимость пропускной способности газопровода от давления. С увеличением давления температура газа повышается, с уменьшением — падает.

Основные физические свойства газов приведены в табл. 2-22.

Таблица 2-22

Физические свойства технологических газов

Наименование газа	Обозначение	Объемное содержание в воздухе, %	Относительная плотность (к воздуху)	Плотность, кг/м³	Молекулярная масса	Температура, К		Критическое давление, 10³ Па	Теплопроводность, 10⁻³ Вт/(м·К)
						кипения	критическая		
Воздух	—	100	1	1,29	29	79	122,2	—	2,43
Водород	H₂	0,0005	0,07	0,09	2	20,3	33,2	—	17,16
Кислород	O₂	20,96	1,11	1,43	32	90,2	154,4	4,87	2,43
Азот	N₂	78,0	0,97	1,25	28	77,4	126,0	—	2,38
Углекислый газ	CO₂	0,03	1,53	1,97	44	194,6	242,0	—	1,42
Аргон	Ar	0,93	1,38	1,78	40	87,2	153,2	4,74	1,63
Неон	Ne	0,0016	0,70	0,90	20	27,2	44,4	2,63	4,56
Гелий	He	0,00046	0,14	0,18	4	4,2	5,2	0,22	14,36
Криптон	Kr	0,00011	0,89	3,71	84	120,2	210,6	5,32	0,88
Ксенон	Xe	0,00001	4,51	5,84	131	164,2	289,8	5,65	0,50
Аммиак	NH₃	—	0,60	0,77	17	239,8	405,5	—	2,17

**Производство газов. Производство водорода.** Водород получают электролитическим способом, разлагая дистиллированную воду в специальных аппаратах — электролизерах (например, типа ЭФ-24/12, производительностью 24 м³/ч). Одновременно как побочный продукт образуется и кислород (по объему в 2 раза меньше, чем водорода).

Для получения 1 м³ водорода и 0,5 м³ кислорода электролизер потребляет около 6 кВт·ч электроэнергии.

Электролизер собран из большого числа ячеек (рис. 2-7), которые заполнены электролитом.

Принципиальная технологическая схема электролизной установки изображена на рис. 2-8.

При прохождении через электролит постоянного тока при напряжении 2,2 В молекулы воды диссоциируют.

Под действием тока ионы H⁺ направляются к отрицательному электроду (катоде), получают от него заряд и превращаются в нейтральные молекулы водорода.

Ионы ОН направляются к положительному электроду (аноду), отдают ему заряд и превращаются в нейтральные молекулы воды и кислорода. Водорода со стороны катода выделяется по объему в 2 раза больше, чем кислорода на стороне анода.

В ячейках поддерживают температуру 65—70°C. Для предотвращения смешения водорода и кислорода и предупреждения образования взрывчатого гремучего газа электроды каждой ячейки разделяют диафрагмой из плотного асбестового полотна.

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, идет по отдельным отводящим трубкам в два собирательных коллектора: один для водорода, другой для кислорода.

Из коллектора эмульсия поступает в две колонки, отделяющие жидкость от газов. Освобожденный от газов электролит возвращается по трубам обратно в ячейки, а газообразный водород и кислород разделяются в скрубберы (промыватели) для охлаждения и отмывки от щелочей. Водород, выделяющийся из электролита, содержит до 0,5% кислорода. Его очищают в печах с осажденным на керамических кольцах палладием.

Благодаря каталитическому воздействию палладия примеси кислорода при 150—180°C соединяются с водородом, образуя пар, который в дальнейшем уда-

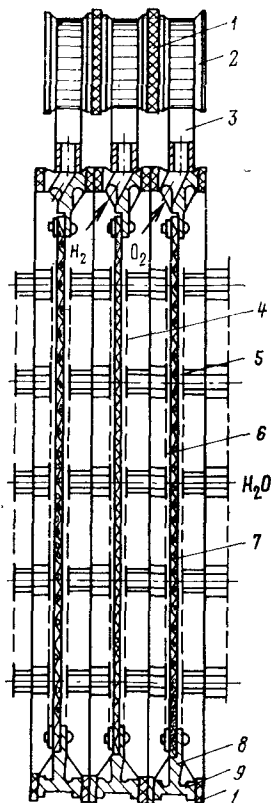


Рис. 2-7. Ячейка электролизера ЭФ-24/12 в собранном виде.

1 — изолирующие прокладки из паранита; 2 — газовый канал; 3 — газотводная трубка; 4 — выносной перфорированный катод; 5 — выносной перфорированный анод; 6 — разделительная стенка (основной электрод); 7 — асбестовая диафрагма; 8 — полки рамы для крепления диафрагмы; 9 — рама.

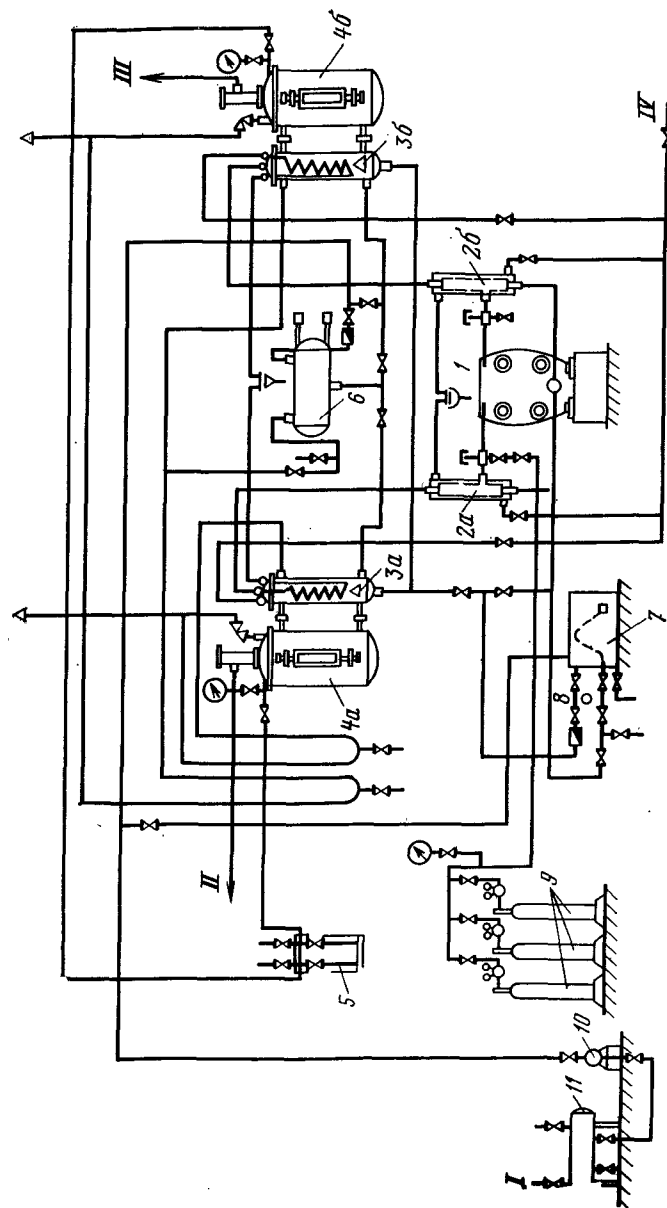


Рис. 2-8. Принципиальная технологическая схема электролизной установки.

1 — электролизер; 2a — разделительная колонка для водорода; 2б — разделительная колонка для кислорода; 3a — промыватель водорода; 3б — промыватель кислорода; 4a — регулятор давления на линии водорода; 4б — регулятор давления на линии кислорода; 5 — дифференциальный манометр; 6 — уравнительная емкость; 7 — сборник электролита; 8 — насос для электролита; 9 — азотная рама; 10 — насос для дистиллированной воды; 11 — сборник дистиллированной воды; I — водород; II — кислород; III — водород; IV — вода.

ляют влагопоглотителями. Очищенный водород поступает в трубчатый холодильник и оттуда в металлический газгольдер колокольного типа с водяным заполнением.

Тонкую очистку водорода от водяного пара производят в местах потребления. Точка росы хорошо высушенного водорода не должна превышать  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Из газгольдеров газы разводят по газопроводам от наполнительной ramпы к местам потребления или отсасывают компрессорами и нагнетают под давлением около 17 МПа через наполнительные ramпы в стальные баллоны.

Водород технический марки А, получаемый электролизом, должен содержать по объему водорода не менее 99,7%, кислорода, азота и окиси углерода не более 0,3%, содержание влаги для несжатого водорода — не более 25 г/м<sup>3</sup>, для сжатого — не более 1 г/м<sup>3</sup>.

Водород в смеси с воздухом образует гремучий газ, взрывающийся при малейшей искре с большой силой. Работая с водородом, нужно с особой тщательностью следить за герметичностью аппаратуры и коммуникаций, так как водород способен проникать через малейшие неплотности и давать большие утечки.

**Производство кислорода и азота.** Основным сырьем для промышленного получения кислорода и азота служит атмосферный воздух.

Процесс получения кислорода и азота состоит из двух основных операций: сжижения воздуха и его разделения.

Сжижение воздуха (рис. 2-9). Сжатый компрессором 7 воздух охлаждается сначала в холодильнике 6 проточной водой, а затем в противоточном теплообменнике 5 — парами ранее сжиженного воздуха. Из теплообменника охлажденный сжатый воздух продавливается через узкий канал 3 (дроссельный клапан), где затрачивается энергия на преодоление сил взаимодействия между молекулами, вызывающая сильное охлаждение воздуха после его расширения и превращение его в жидкость. Сжиженный воздух направляется в резервуар 2, где происходит отделение паров от сжиженной части.

Разделение жидкого воздуха основано на различии температур кипения и испарения его составных частей. Для ректификации жидкого воздуха служат вертикальные аппараты — ректификационные колонны (рис. 2-10),

снабженные большим числом горизонтальных перегородок (тарелок).

Разделение воздуха производят по системе одно-кратной и двукратной ректификации. По первой системе можно одновременно получить кислород и азот (один на 6—7% загрязнен другим); по второй — оба газа в чистом виде. Воздухоразделительный аппарат двукратной ректификации состоит из нижней и верхней

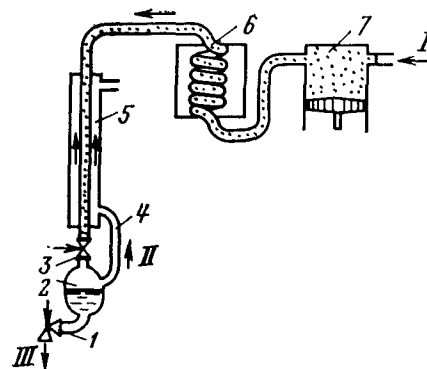


Рис. 2-9.

Рис. 2-9. Сжижение воздуха по методу простого дросселирования. 1 — сливной кран; 2 — резервуар жидкого воздуха; 3 — дроссельный клапан; 4 — трубка; 5 — противоточный теплообменник; 6 — холодильник; 7 — компрессор; I — сжатый воздух; II — дросселированный воздух; III — жидкий воздух.

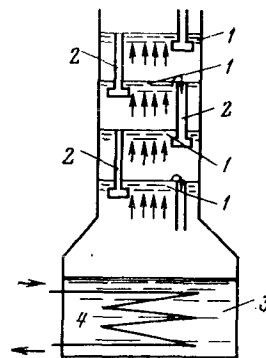


Рис. 2-10.

Рис. 2-10. Ректификационная колонка для разделения жидкого воздуха.

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

ректификационных колонн и помещенного между ними конденсатора.

Кислород газообразный технический высшего сорта содержит кислорода по объему не менее 99,5%, а 1-го сорта — 99,2%. Содержание влаги допускается не более 0,07%.

Азот газообразный содержит азота по объему не менее 99,9% и не более 0,1% кислорода.

**Производство аргона, криптона и ксенона.** Источником получения аргона, криптона и ксенона служит атмосферный воздух.

Извлечение аргона затруднено из-за того, что температура, при которой он улетучивается (87 К), занимает

промежуточное положение между температурами кипения кислорода (90 К) и азота (77 К).

Фракция (кислородно-азотная смесь с малым содержанием аргона), полученная в воздухоразделительной колонне, разделяется на кислород и «сырой» аргон в специальной аргоновой колонне по тому же методу, как в основной колонне разделяют воздух на кислород и азот.

Сырой аргон направляют в реактор, куда вводят электролитический водород, поглощающий в присутствии палладиевого катализатора примесь кислорода. Образовавшуюся влагу осаждают в трубчатом холодильнике.

Аргон очищается от азота и примесей водорода методом низкотемпературной ректификации.

Допускается содержание кислорода (по объему) для марки А не более 0,003%, для марки Б — 0,005%, содержание азота для марки А не более 0,01%, для марки Б — 0,04%, допускается содержание влаги при давлении 0,1 МПа не более  $0,03 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>.

Техническим аргоном наполняются стальные баллоны емкостью 40—55 л при давлении  $15 \pm 0,5$  МПа.

Аргон высокой чистоты нагнетается в стальные баллоны емкостью 12 л под давлением 15 МПа и в стеклянные баллоны емкостью 2 л при давлении 80—85 кПа.

Криптон кипит при температуре 120 К (—153°C). Сырьем для получения криптона служит технический кислород, образующийся из жидкого воздуха.

Технический кислород пропускают через дополнительную колонну для извлечения из него первичного 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 меди) для окисления содержащихся в нем примесей метана, ацетилена и других углеводородов, которые, будучи растворенными в жидком кислороде, создают опасность взрыва разделительной аппаратуры.

Освобожденный от углеводородов газ сжимают компрессором до высокого давления (15 МПа — около 150 ат) и очищают от углекислого газа и воды, образовавшихся при окислении углеводородов. Очищенный газ снова сжижают и во второй разделительной колонне

получают вторичный концентрат, содержащий до 50—70% криптона. Затем его газифицируют и подвергают дальнейшему обогащению вымораживанием криптона жидким азотом; получившийся технический криптон содержит около 90% криптона.

Чистый криптон нагнетается в стальные баллоны емкостью 12 л под давлением от 4 до 10 МПа.

Криптон технический и криптон — ксеноновая смесь нагнетаются в стальные баллоны емкостью 20—25 л под давлением от 5 до 10 МПа.

Ксенон кипит при температуре 164 К (—109°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 153 К (—120°C) ксенон, сжижаясь, стекает в сборные колонны, а газообразный криптон нагнетается в баллоны.

Чистый ксенон содержит ксенона не менее 97,5%, криптона не более 3%, примеси кислорода, азота и других инертных и химически активных газов и водяного пара не допускаются. Относительная плотность газа (по воздуху) не менее 4,51.

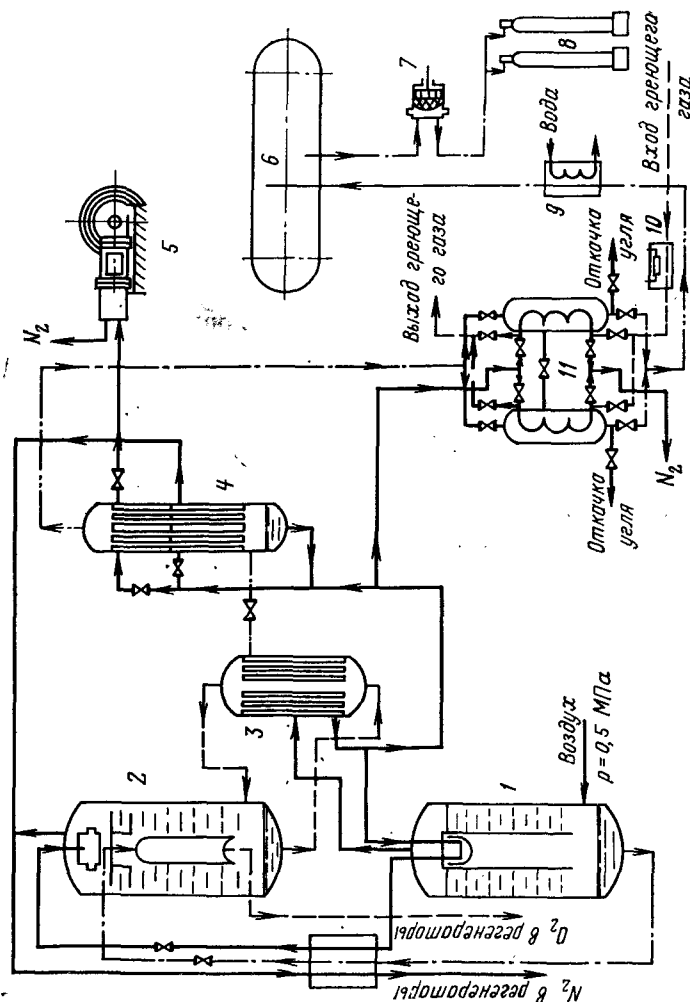
Ксенон нагнетается в стальные баллоны малой емкости под давлением от 4 до 10 МПа.

*Получение неона.* Неон производится из воздуха на современных установках получения технологического кислорода (БР-1, БР-2, БР-5, БР-6, БР-9). Извлечение неона сводится к двум основным операциям: отбор и обогащение неона-гелиевой смеси; ее разделение и получение чистого неона.

Схема установки для отбора и обогащения неона-гелиевой смеси изображена на рис. 2-11.

Неоно-гелиевая смесь с азотом (Ne+He около 3%, остальное N) под давлением 0,5 МПа поступает в дефлегматор, где содержание азота доводится до 10% (не более). Для последующего удаления азота газ направляется в один из двух переключающихся адсорбиров с активированным углем и получается смесь из 75% неона и 25% гелия (по объему), которая, выходя из адсорбера, нагревается водой до комнатной температуры и поступает в тканевый газгольдер, а затем нагнетается насосами в стальные баллоны под давлением 15 МПа.

Рис. 2-11. Схема установки для отбора и обогащения неон-гелиевой смеси.



Разделение неон-гелиевой смеси — довольно сложная задача, так как эти газы относятся к числу наиболее трудно конденсируемых.

В практике получили распространение два способа разделения неон-гелиевой смеси:

адсорбционный, основанный на селективной адсорбции неона активированным углем при низкой температуре;

конденсационный, основанный на переводе неона в жидкое или твердое состояние.

**Получение гелия.** В СССР гелий получают из газов «сухих» месторождений, непосредственно не связанных с нефтью, а также из попутных нефтяных газов. Разработан процесс отбензинивания нефтяных газов при охлаждении до умеренно низких температур; при этом из газов извлекаются тяжелые углеводороды, а остаток используется для получения гелия.

Промышленностью выпускаются:

гелий высокой чистоты, в котором содержание примесей не должно превышать: водорода 0,025%, азота 0,08%, кислорода 0,01%, углеводородов 0,01%;

гелий технический 1-го сорта, в котором содержание гелия должно быть не менее 99,1%, а водорода не более 0,5%;

гелий технический 2-го сорта, в котором содержание гелия должно быть не менее 95,5%, а водорода не более 3%.

В техническом гелии 1-го и 2-го сортов содержатся также азот, неон, аргон и влага. Гелий высокой чистоты и технический поставляются в стальных баллонах емкостью 40 л под давлением 15 МПа. Выпускается «спектрально чистый» гелий (азота не более 0,03%, неона не более 0,5%, кислород, углекислота и углеводороды отсутствуют). Газ поставляется в стальных баллонах емкостью 12 л под давлением 15 МПа и в стеклянных емкостью 2 л под давлением 80—90 кПа.

**Производство препаарировочного газа.** Препаарировочный газ (формиргаз) — заменитель водорода, представляющий собой очищенную смесь азота и водорода (последнего 25—75% по объему).

Препаарировочный газ получается двумя способами: прямое смешение водорода с азотом; диссоциация аммиака — этот способ более прост и экономичен.

Принципиальная схема установки для получения препарировочного газа смешением водорода с азотом показана на рис. 2-12,а.

В смесительный бак под давлением 0,1—0,3 МПа подводятся водород и азот. Процентное содержание смеси регулируют вентилями и контролируют приборами для анализа газа. Из смесителя газ направляют в электрическую печь с нагретой восстановленной медью для

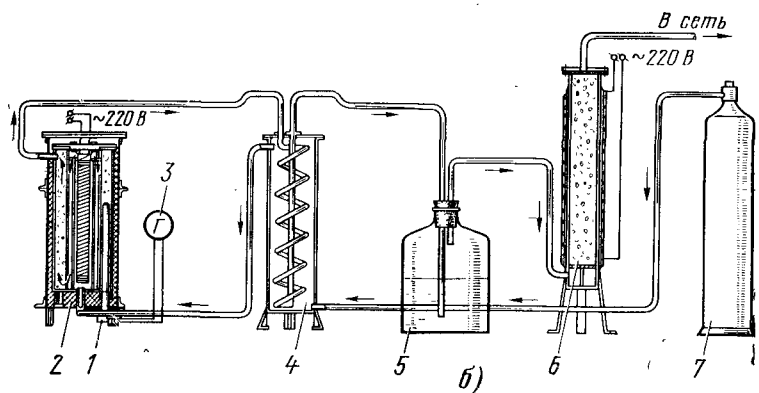
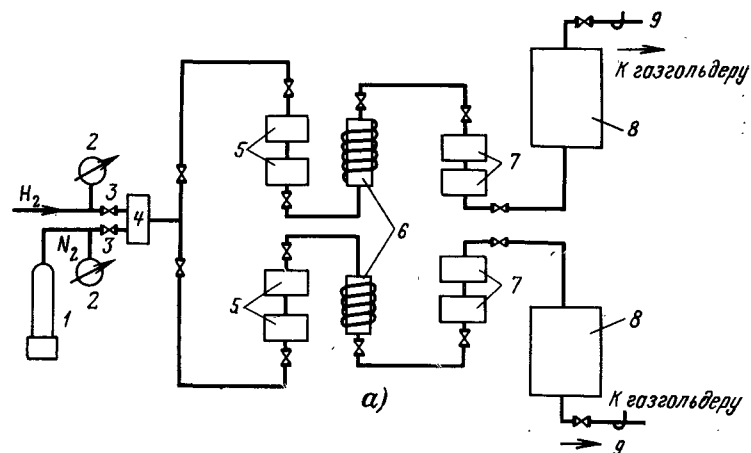


Рис. 2-12. Установки для получения препарировочного газа.

а — смешением (1 — баллон с азотом; 2 — манометры; 3 — клапаны; 4 — смеситель; 5 — буферные баки; 6 — печи поглощения водорода; 7 — холодильники; 8 — баки со щелочью; 9 — манометры); б — разложением аммиака (1 — термодатчик; 2 — печь разложения аммиака — диссоциатор; 3 — гальванометр; 4 — теплообменник; 5 — бутылка с раствором серной кислоты; 6 — сосуд с силикагелем; 7 — баллоны с жидким аммиаком).

очистки от кислорода, далее через холодильник с проточной водой для конденсации водяного пара в бак с кусковой щелочью, где поглощается углекислый газ и происходит более тщательная очистка от водяного пара. Для обеспечения непрерывности работы смесительную установку обыкновенно собирают из двух параллельных периодически переключающихся ветвей. Сеть питают газом под давлением 13—40 кПа.

Принципиальная схема установки для получения препарировочного газа разложением аммиака показана на рис. 2-12,б.

Жидкий аммиак под давлением 0,7—0,8 МПа поступает из баллона в теплообменник, где, нагреваясь, переходит в газообразное состояние, затем 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 диссоциирует на азот и водород.

Из печи расщепленный аммиак направляют в теплообменник, где он отдает свое тепло аммиаку, поступающему на разложение.

Из теплообменника газ направляется в сосуд с 20%-ным раствором серной кислоты, здесь улавливается неразложившийся аммиак. 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.

Содержание влаги в очищенном газе должно быть не выше такого, при котором точка росы 253 К (—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.

**Очистка инертных газов.** Все применяющиеся в производстве установки для очистки инертных газов основаны на двух методах: химическом и физико-химическом.

Основными примесями к инертным газам являются кислород, азот, водород и углекислота.

**Химический метод очистки.** Для удаления кислорода могут использоваться многие металлы и некоторые низ-

## Свойства твердых осушителей

Осушители	Характеристика
Фосфорный ангидрид $P_2O_5$	Белый рыхлый порошок. Дает высокую степень очистки от влаги, но поглощательная способность быстро снижается по мере насыщения влагой. Влажный газ перед сушкой фосфорным ангидридом предварительно сушат каким-либо другим влагоемким осушителем
Едкое кали KOH, едкий натр NaOH	Белые куски (20—40 мм) с кристаллической структурой в изломе. Наряду с влагой хорошо поглощает углекислый газ. Едкий натр, впитывая влагу, быстро расплывается и закрывает каналы для прохода газа. Едкое кали, поглощая углекислоту, покрывается коркой двууглекислого калия, замедляющей дальнейшее поглощение влаги. Едкое кали лучше поглощает влагу, а едкий натр—углекислый газ
Натриевая известь $Na_2O + Ca(OH)_2$	Из кристаллического порошка белого цвета, замешанного на воде, готовят гранулы, которые перед загрузкой в поглощательные колонки сушат и прокачивают при температуре 250 °C под вакуумом  Применяется в качестве поглотителя влаги и углекислого газа
Силикагель $SiO \cdot H_2O$	Твердый некристаллический кремнезем, имеющий пористое строение. Поверхность пор у 1 г силикагеля 400—500 м <sup>2</sup>  При 20° C и 100%-ной относительной влажности мелкопористый силикагель поглощает до 35% влаги по весу, а крупнопористый — 70%. Силикагель регенерируется продувкой подогретым до 240—265° C сухим азотом или нагретым до 180—220° C сухим воздухом  Может служить поглотителем несколько лет. Химически нейтрален, механически прочен при переменах температур, безопасен в обращении, не расплавляется при насыщении водой и достаточно дешев

шие окислы. Наиболее эффективны — активная медь и окись марганца (пиролюзит). Азот поглощается значительно труднее, с меньшей скоростью и при более высокой температуре. Могут быть использованы щелочные, щелочноземельные и тяжелые металлы, чаще применяются кальций, иногда литий, реже натрий, калий или их сплавы, титан, тантал.

При повышенных температурах 1 кг металлической меди может связать не более 176 л кислорода.

При полном превращении 1 кг окиси марганца связывает 157 л кислорода, а 1 кг кальция — 280 л кислорода и 187 л азота или 205 л воздуха.

Для понижения содержания азота до тысячных долей процента используется титановый порошок или аморфный титан при температуре 850—950 °C.

От водорода газы очищаются окисью меди при температуре 500 °C, 1 кг ее связывает около 100 л водорода.

Углекислота эффективно связывается растворами этаноламина: моноэтаноламина  $(CH_2-CH_2OH)NH_2$ , диэтаноламина  $(CH_2-CH_2OH)_2NH$  и триэтаноламина  $(CH_2-CH_2OH)_3N$ , а также растворами едкого натра или едкого кали в скрубберах.

*Осушение и увлажнение газов.* Простейший способ сушки — вымораживание газов в охлаждающих трубах, но не всегда она бывает достаточной или приемлемой. Поэтому применяют также сушку с помощью гигроскопических веществ, в табл. 2-23 приведены характеристики некоторых твердых осушителей.

К твердым осушителям принадлежат также негашеная известь CaO, алюмогель  $Al_2O_3 \cdot H_2O$ , хлористый кальций CaCl и др.

Эффективность любого влагопоглотителя можно повысить путем понижения его температуры, увеличения высоты слоя и уменьшения скорости движения осушаемого газа.

Для увлажнения газа его пропускают пузырьками сквозь подогретую дистиллированную воду. К этому, например, прибегают на операционных отжигах изделий из вольфрама и молибдена, загрязненных углеродом. Под действием высокой температуры влага разлагается с выделением кислорода, который окисляет углерод.

*Очистка азота и аргона.* Исходным сырьем для получения химически чистого аргона (азота) служит технический аргон (азот), в состав которого входят следующие примеси: 12—15%  $N_2$ , до 0,5%  $O_2$ , 0,2—0,3%  $CO_2$ , влага; технический азот содержит до 0,5%  $O_2$ , 0,3%  $CO_2$ , влагу.

Для удаления примесей газ пропускают под давлением через специальную газоочистительную систему, схема которой показана на рис. 2-13.

Из баллона через редукционный вентиль газ поступает в стальной бачок, заполненный снизу техническим едким кали и сверху техническим едким натром. Щелочи поглощают влагу и уголекислоту. Затем газ последовательно проходит через несколько электропечей, заполненных окисленной медью (в виде гранул) и металличе-

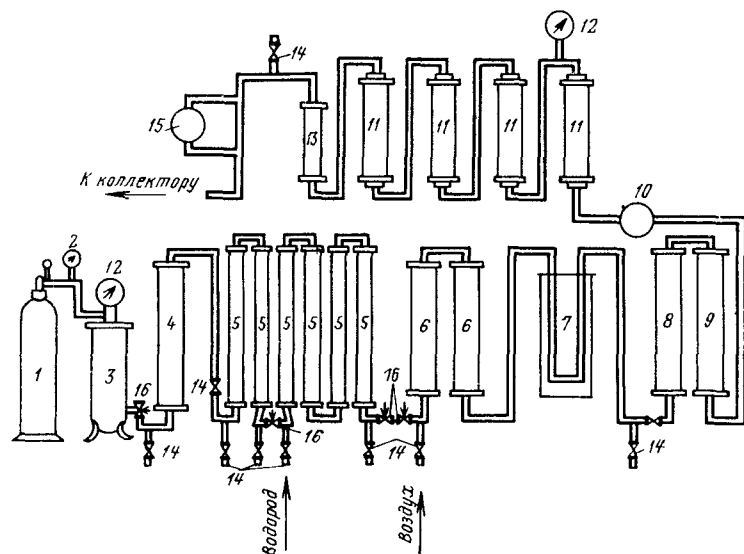
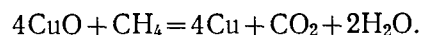


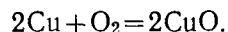
Рис. 2-13. Система очистки азота и аргона.

1 — баллон с неочищенным газом; 2 — редукционный вентиль с манометрами высокого и низкого давления; 3, 8 — бачки со щелочью; 4 — печь с окисью меди (650—750 °С); 5 — печи с металлической медью (300—350 °С); 6 — печи с окисью меди (300—350 °С); 7 — холодильник; 9 — бачок с натровой известью; 10 — детандер; 11 — фосфорницы; 12 — манометры; 13 — ловушка со стеклянной ватой; 14 — краны; 15 — индикаторная лампа; 16 — клапаны.

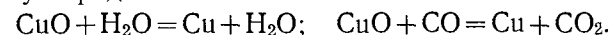
ческой медью (в виде стружки или обрезков проволоки). В первой печи с окисленной медью, нагретой до 650—750 °С, сжигаются углеводороды:



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:



Продукты восстановления окиси меди — пары воды и уголекислый газ — выводятся из печи с очищенным газом.

Из печей поглощения газ пропускают через бачок с кусковой щелочью и бачок с прокаленной гранулированной натровой известью, в которых газ очищается от уголекислого газа и паров воды. Затем он поступает в стеклянные цилиндры с фосфорным ангидридом для тонкой очистки от паров воды.

Очищенный сухой газ пропускают через ловушку с фильтром из стеклянной ваты для улавливания пыли фосфорного ангидрида и посторонних твердых частиц, способных засорять трубопроводы и аппаратуру.

Газ значительно лучше осушается, если перед бачками с осушителями установлен холодильник с проточной водой.

Для очистки газа от органических соединений иногда вместо высокотемпературной печи с окисью меди 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 последними бачками со щелочью поддерживают редуктором давление 0,3—0,4 МПа. При более высоком давлении увеличивается утечка 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 40—70 кПа.

Производительность газоочистительной системы при среднем содержании кислорода в неочищенном газе до 4 л/м³ составляет 2 м³/ч. Такая производительность при двухсменной работе требует регенерации печей с восстановленной медью раз в сутки, а с окисленной медью — раз в неделю или реже.



По техническим требованиям электроламповых заводов объемное содержание кислорода в техническом (неочищенном) азоте не должно превышать 0,5%, а в техническом аргоне 0,4%; содержание углекислого газа в азоте и аргоне не должно превышать 0,3%; сернистых соединений и углеводородов в аргоне не должно быть вовсе.

В очищенных газах не допускается никаких активных примесей. Точка росы сухого очищенного газа должна быть не выше  $-35^{\circ}\text{C}$ , что соответствует содержанию влаги не более  $0,2 \text{ г/м}^3$ .

Качественную оценку степени чистоты газа производят индикаторными лампами накаливания, смонтированными в газоочистительную систему. Присутствие в очищенном газе кислорода определяют продуваемой индикаторной лампой. Налет на накаливаемой вольфрамовой спирали по истечении 1 мин работы лампы свидетельствует о наличии в газе кислорода.

Присутствие в очищенном газе паров воды и углеродосодержащих примесей определяют продуваемой индикаторной лампой (темный налет на электродах вблизи спирали свидетельствует о наличии в газе водяного пара, коробление спирали и хрупкость ее — о наличии газообразных соединений углерода).

**Очистка криптона и ксенона.** Технический криптон содержит примеси кислорода, азота и аргона, углеводородов, двуокись углерода и др.

Для очистки от углекислого газа и влаги криптон пропускают через бачок со щелочью, через печь из палладированных колец при температуре  $180\text{--}200^{\circ}\text{C}$  и две печи с гранулированной окисью меди при  $700\text{--}750^{\circ}\text{C}$ .

Для очистки от кислорода криптон пропускают через несколько печей с активной (восстановленной) медью при  $300^{\circ}\text{C}$ , для очистки от водорода — через печи с гранулированной окисью меди.

Для тонкой очистки от влаги криптон пропускают через несколько стеклянных цилиндров с фосфорным ангидридом, для задержания механических примесей — через сосуд со стеклянной ватой. Содержание кислорода в криптоне контролируется проточной индикаторной лампой.

Ксенон очищается так же, как и криптон.

**Наполнение ламп накаливания криптоном.** Наполнение ламп криптоном состоит из следующих этапов:

приготовление криптоно-азотной смеси, очистка ее, подача на линии сборки ламп, сбор остатков смеси на откачном автомате, извлечение газовой смеси из бракованных ламп и очистка собранной криптоно-азотной смеси.

Для предотвращения внутреннего короткого замыкания в лампе к криптону добавляют 12—15% азота.

Криптон с азотом смешивается на смесительной рампе (рис. 2-14).

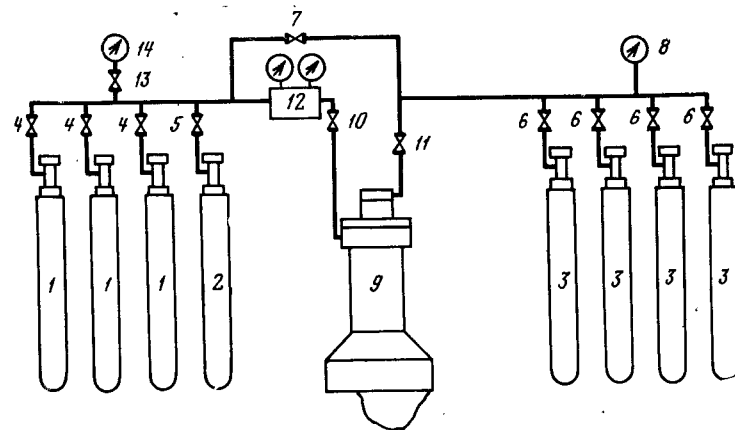


Рис. 2-14. Схема смесительной рампы.

С помощью манометра 8 через вентили 4 и 7 поочередно измеряется давление криптона в каждом баллоне 1. Через вентили 6 и 7 технический криптон из баллонов 1 перепускается в пустые баллоны 3 до выравнивания давлений. Закрыв вентиль 7 и открыв вентили 10 и 11, с помощью мембранного компрессора 9 наполняют криптоном баллоны 3 до давления 5 МПа. Редуктор 12 регулирует давление криптона, поступающего в компрессор. Наполненные криптоном баллоны снимаются с рампы и выдерживаются в течение суток.

Манометром 14 через вентиль 13 измеряют остаточное давление в баллонах 1. После суточной выдержки баллоны (расходные) ставятся на рампу для добавления азота. Манометром 8 проверяется давление в баллонах 3. После определения по специальному графику давления азота, который должен быть добавлен в криптон, медленно открывается вентиль 5 баллона с техническим азотом 2. Азот из баллона 2 перепускается в бал-

лон 3 до тех пор, пока давление, определяемое по манометру 8, не станет равным сумме парциальных давлений криптона и азота. Давление в расходном баллоне выравнивается до постоянного в течение 20 мин. Наполненный баллон снимается и укладывается на бок (на 2 дня) до полного смешивания газов.

Очистка криптоно-азотной смеси от примесей кислорода, водорода, двуокиси углерода, углеводородов, паров воды производится на очистительной установке (рис. 2-15).

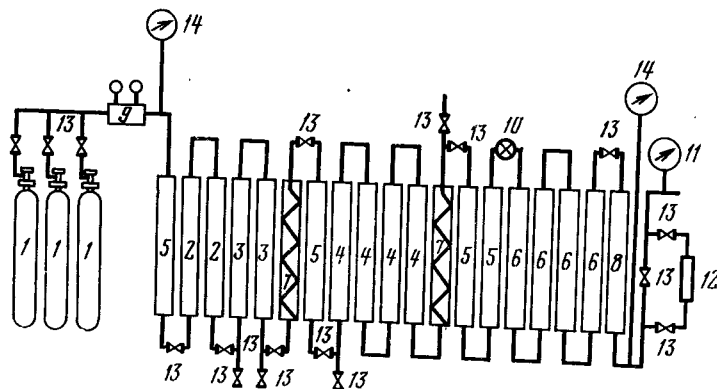


Рис. 2-15. Схема очистительной установки.

Газовая смесь из баллонов 1 по газопроводу поступает в печи с палладированной керамикой 2 (температура 280—300 °С), освобождаясь от углеводородов. Затем газовая смесь поступает в печи 3 с гранулированной окисью меди (температура 650—750 °С), где окончательно очищается от остатков углеводородов и водорода. Проходя через печи 4 с гранулированной медью при температуре 300—400 °С, смесь очищается от кислорода. В бачках 5 с едким кали она очищается от паров воды и углекислого газа. После этого смесь поступает в стеклянные цилиндры 6 с фосфорным ангидридом, где улавливаются остатки паров воды и окончательно осушается газовая смесь. Холодильники 7 служат для более эффективной сушки смеси. Ловушка 8 со стеклянной ватой задерживает твердые частички. В системе между баллоном 1 и детандером 10 с помощью редуктора 9 поддерживается давление 0,5 МПа, а после детандера

0,16—0,17 МПа, измерение производится с помощью манометра 11. Во всех элементах очистительной установки используются только мембранные вентили 13, применение которых позволяет избежать утечек дорогостоящего газа. Мановакуумметры 14 контролируют всю систему во время регенерации. Чистота смеси проверяется индикаторной лампой 12. После очистки 15 м³ криптоно-азотной смеси необходимо производить регенерацию печей.

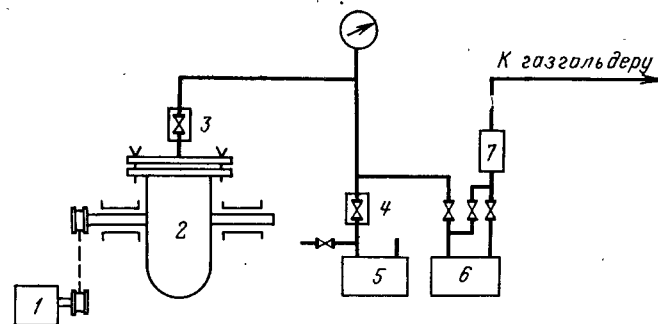


Рис. 2-16. Схема установки для извлечения криптоно-азотной смеси из бракованных ламп.

На линии сборки ламп очищенная смесь подается либо по трубопроводам, либо в тщательно обезгаженных металлических 10—12-л баллонах.

После наполнения ламп смесью в патрубке откачного автомата (между золотником и отпаянным концом штенгеля) остается от 3 до 50 см³ смеси, которая откачивается насосом и собирается в газгольдер емкостью 1,5 м³.

Извлечение смеси из бракованных ламп, у которых не нарушена герметичность, производится на специальной установке (рис. 2-16).

В металлический герметичный барабан 2 на 0,8 объема загружаются бракованные лампы и стальные болванки. Барабан соединяется с вакуумным насосом 5. Открыв зажимы 3 и 4, откачивают из барабана воздух до давления 1,5 кПа, и зажимы снова закрывают. Двигатель 1 приводит во вращение барабан, болванки разбивают лампы и криптоно-азотная смесь заполняет барабан. После этого производится откачка смеси насосом 6 в газгольдер. По пути к газгольдеру смесь про-

ходит через фильтр 7 для очистки от механических загрязнений.

Затем смесь перекачивается в 40-л баллоны до давления 3 МПа и направляется на очистку.

В табл. 2-24 приведены данные по расходу инертных газов в производстве источников света.

Таблица 2-24

Расход инертных газов на производство источников света

Тип лампы	Расход инертных газов, м³, на выпуск 1000 год- ных ламп					
	N <sub>2</sub>	Ar	He	Ne	Kr+Xe	Xe
Лампы накаливания обще- го назначения:						
НБ, НГ 40—150 Вт	0,4—0,97	0,17—0,33	—	—	—	—
НБ, НГ 200 Вт	1,0	0,52	—	—	—	—
НБ, НГ 300—1000 Вт	1,1—5,5	1,0—3,4	—	—	—	—
НБК 40 Вт	0,25	—	—	—	0,050	—
НБК 60 Вт	0,29	—	—	—	0,0558	—
НБК 100 Вт	0,53	—	—	—	0,0558	—
Лампы накаливания мест- ного освещения на на- пряжение 36 В:						
24—40 Вт	0,24	0,216	—	—	—	—
60—100 Вт	0,55	0,38	—	—	—	—
Автомобильные лампы:						
A-12-20	0,27	0,16	—	—	—	—
A-6	1,145	0,53	—	—	—	—
Лампы с йодным циклом КИ, КИМ, КИО:						
1000 Вт	14,0	0,04	—	—	—	0,030
1500 Вт	14,0	0,07	—	—	—	0,038
2500 Вт	50,0	0,2	—	—	—	0,0479
Люминесцентные лампы:						
20—30 Вт	—	0,07—0,11	—	—	—	—
40 Вт	0,001	0,27	—	—	—	—
80 Вт	0,0014	0,35	—	—	—	—
125 Вт	0,02	0,25	0,35	—	—	—
Ртутные лампы типа ДРЛ:						
80 Вт	0,07	0,22	—	—	—	—
125 Вт	0,09	0,45	—	—	—	—
250, 400, 700 Вт	0,11—0,15	1,1	—	—	—	—
1000 Вт	0,186	1,1—1,2	—	—	—	—
Ртутные лампы типа ДРТ	—	0,13—0,2	—	—	—	—
Ртутные шаровые лампы типа ДРШ:						
250, 500 Вт	—	0,8	—	—	—	—
Стартеры СК-220	0,154	0,016	0,0003	0,0008	—	—

**Анализ газов.** Аналитические работы подразделяют-  
ся на:

определение содержания активных примесей (кисло-  
рода, водорода, углекислоты, углеводов и влаги)  
в чистых инертных газах;

определение содержания инертных газов в исходных  
смесях;

анализ состава инертной газовой смеси.

Приборы для анализа газов основаны на химических,  
физико-химических и физических методах.

В этом разделе рассматриваются наиболее распро-  
страненные или перспективные универсальные методы  
газового анализа и приборы для определения основных  
компонентов в газовых смесях.

Правильное определение состава анализируемого  
газа возможно только при соблюдении правил отбора  
проб.

**Определение содержания основных активных компо-  
нентов в инертных газах. Кислород.** Для определения  
содержания кислорода в диапазоне концентраций 100—  
0,1% используются автоматические магнитные анализа-  
торы. Магнитная восприимчивость кислорода по край-  
ней мере на два порядка выше, чем у инертных или  
сопутствующих им газов. Поэтому при повышенных кон-  
центрациях магнитная восприимчивость смеси газов уве-  
личивается практически независимо от соотношения дру-  
гих компонентов.

При небольшом содержании кислорода применяются  
деполяризационные газоанализаторы, а при очень низ-  
ком — гальванические.

Термомеханический анализатор основан на измере-  
нии теплоты, выделяющейся при связывании кислорода  
имеющимся в смеси или специально добавленным горю-  
чим газом (обычно водородом). Анализатор позволяет  
производить измерения кислорода в диапазоне 0—0,01  
и 0—0,2% при приведенной погрешности анализа  $\pm 10\%$   
предела измерений.

Гальванические газоанализаторы основаны на ис-  
пользовании электрохимической реакции в щелочном  
гальваническом элементе, имеющем полусмоченный  
катод. Гальванический газоанализатор имеет пределы  
измерения 0—0,05; 0—0,01; 0—0,005; 0—0,001 и 0—  
0,0005% с погрешностью  $\pm 10\%$  верхнего предела диапа-  
зона шкалы.

Деполяризационный газоанализатор на кислород  
имеет семь диапазонов измерений: от 0—0,1 до 0—10%  
с погрешностью до 10% верхнего предела шкалы.

В лабораторной практике для эпизодического анали-  
за газовых проб на содержание кислорода применяются  
приборы, основанные на трех принципах: валуометри-  
ческом (адсорбционном), калориметрическом, гидриро-  
вания.

Качественный анализ на кислород состоит в определении окисления нагреваемого электрическим током вольфрама в атмосфере анализируемого газа.

**Водород.** При анализе на водород используют реакцию окисления его кислородом, содержащимся в смеси или добавленным. Содержание водорода в анализируемой смеси определяется по теплоте реакции или по количеству образовавшихся водяных паров. Приборы, предназначенные для таких анализов, принципиально не отличаются от тех, которые применяются для аналогичных определений кислорода. Водород в смеси, лишенной кислорода, можно определить при помощи реакции восстановления меди при 350 °С. В этом случае критерием служит изменение температуры смеси или влажности газа.

Для определения содержания водорода используется термокондуктометрический газоанализатор типа ТКГ-4, а при анализах сложной смеси с непостоянным содержанием других компонентов — прибор типа ТКГ-5Б.

**Азот.** Большие и средние концентрации азота определяются прибором для адсорбционного анализа с твердым поглотителем. Поглотительной ячейкой является реактор с кальцием при температуре 700 °С или титаном при 1000 °С.

Небольшие концентрации азота определяются с помощью прибора с расплавленным литием. Измерение ведется в системе постоянного объема, и о количестве поглощенного азота судят по изменению давления.

При очень небольших концентрациях азота рекомендуется применять двухколбовый литиевый прибор, в котором измерения осуществляются по дифференциальной схеме. Прибор позволяет определить примеси порядка  $5 \cdot 10^{-5} \%$ , но на проведение анализа требуется значительное время (до 3 ч) и большое количество газа.

Для определения содержания малых примесей азота в аргоне предложен прибор, основанный на изменении упругости насыщенных паров над сжиженным газом. Прибор очень прост в эксплуатации, расходует около 150 см<sup>3</sup> газа, продолжительность анализа 3—5 мин.

Для определения содержания азота в гелии также используются приборы адсорбционного типа.

**Углекислота.** Углекислота отличается высокой активностью, и определение ее содержания основано на поглощении различными веществами. Используются приборы

для адсорбционного анализа с твердыми (гранулированные едкие щелочи или препарат щелочи — аскарит) или жидкими (концентрированные растворы NaOH, KOH, Ba(OH)<sub>2</sub> или растворы этаноламинов) поглотителями.

Очень малые концентрации углекислоты определяют на титрометрическом газоанализаторе типа СВ-7633.

В последнее время получили распространение непрерывные методы определения содержания углекислоты в газовых смесях. Например, углекислота поглощается из потока смеси раствором щелочи с последующим определением электропроводности раствора.

Широко используются для анализа газов оптико-акустические газоанализаторы, основанные на селективном поглощении излучения в инфракрасной области спектра. Избирательность оптико-акустических промышленных газоанализаторов (ГИП-10 и др.) настолько высока, что позволяет во многих случаях измерять концентрацию определяемого компонента независимо от содержания других газов. Порог чувствительности приборов лежит в области концентрации 0,01% верхнего предела измеряемого диапазона.

**Углеводороды.** При использовании инертных газов в качестве защитных средств требуется определить суммарное содержание углеводородов. Если среди углеводородов присутствуют метан и его гомологи, определить общую концентрацию можно практически только путем каталитического сожжения углеводородов в присутствии кислорода над платиной при 600 °С или на нагретой окиси меди при 450 °С. После сожжения углеводородов определяют количество образовавшейся углекислоты любым из описанных выше методов с последующим пересчетом результатов. Суммарное определение углеводородов возможно с помощью титрометрического газоанализатора типа СВ-7633, содержащего камеру с платиновой спиралью, нагреваемой электрическим током.

**Анализ сложных газовых смесей.** Анализ смесей, содержащих, помимо аргона, криптона и ксенона, также углекислоту и азот, можно производить на объемно-манометрической установке, в которой последовательно поглощаются углекислота и азот и определяется состав инертного остатка (аргон, криптон и ксенон) дистилляционным методом. С уменьшением содержания азота и аргона проведение анализа на установке усложняется, в этом случае представляет интерес метод дистилляцион-

ного анализа с применением дифференциального отсчета по манометру, заполненному маслом.

Точный анализ тройных смесей кислород — азот — аргон осуществляется на установке с последовательным поглощением кислорода медью и азота кальцием с промежуточным измерением давления остаточного газа.

**Измерение влажности газа.** Наиболее просто влажностное содержание газа определяется пропусканием отмеренной

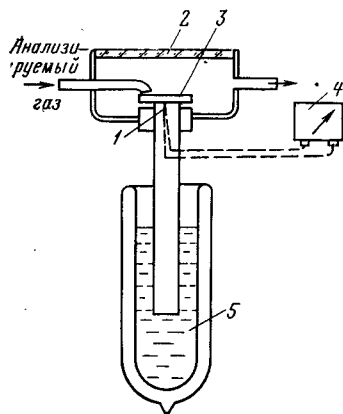


Рис. 2-17. Принципиальная схема конденсационного гигрометра.

пробы через предварительно взвешенную с достаточной точностью охлаждаемую ловушку. Объем пробы определяется влажностью газа и чувствительностью используемых весов.

Наиболее распространены конденсационные гигрометры, непосредственно измеряющие температуру точки росы  $t_p$ . Стержень металлического зеркальца 3 (рис. 2-17) охлаждается в ванне 5, и его температура регистрируется термопарой 1, присоединенной к милливольтметру 4. Зеркальце размещено в стеклянной камере 2, через

которую с небольшой скоростью продувают анализируемый газ. Регистрируют температуру зеркальца, при которой на его поверхности начинается конденсация влаги, что хорошо заметно по окислению поверхности. Температура точки росы по таблицам может быть приведена в соответствии с объемным или массовым содержанием влаги (табл. 2-25).

Выпускается несколько типов гигрометров конденсационного типа, различающихся конструкцией и методом охлаждения зеркальца, а также методами измерения и регистрации температуры. Так, в индикаторе типа ДДН-1 можно определять влагосодержание до  $t_p = -80^\circ\text{C}$  при давлении анализируемого газа до 18 МПа. расход анализируемого газа через прибор составляет 1—3 л/мин.

**Масс-спектрометрический анализ.** Масс-спектрометрический анализ основан на разделении сложной газо-

вой смеси на компоненты и распределении их по массам с получением спектра масс.

Масс-спектрометрический анализ можно применять для качественного и количественного анализа готовых смесей; для исследования газового наполнения ламп; для определения небольших примесей и следов загрязнений в газах, частным случаем которого является

Таблица 2-25

Определение температуры точки росы

Температура точки росы,		Содержание влаги (в воздухе)	
$^\circ\text{C}$	К	масс. %	об. %
0	273	$37,0 \cdot 10^{-2}$	$6,03 \cdot 10^{-1}$
—5	268	$24,85 \cdot 10^{-2}$	$3,96 \cdot 10^{-1}$
—10	263	$16,06 \cdot 10^{-2}$	$2,56 \cdot 10^{-1}$
—15	258	$10,2 \cdot 10^{-2}$	$1,63 \cdot 10^{-1}$
—20	253	$6,37 \cdot 10^{-2}$	$1,02 \cdot 10^{-1}$
—25	248	$3,9 \cdot 10^{-2}$	$6,24 \cdot 10^{-2}$
—30	243	$2,34 \cdot 10^{-2}$	$3,75 \cdot 10^{-2}$
—35	238	$1,38 \cdot 10^{-2}$	$2,20 \cdot 10^{-2}$
—40	233	$0,79 \cdot 10^{-2}$	$1,267 \cdot 10^{-2}$
—45	228	$4,45 \cdot 10^{-3}$	$7,10 \cdot 10^{-3}$
—50	223	$2,43 \cdot 10^{-3}$	$3,89 \cdot 10^{-3}$
—55	218	$1,29 \cdot 10^{-3}$	$2,07 \cdot 10^{-3}$
—60	213	$6,7 \cdot 10^{-4}$	$1,06 \cdot 10^{-3}$
—65	208	$3,34 \cdot 10^{-4}$	$5,33 \cdot 10^{-4}$
—70	203	$1,62 \cdot 10^{-4}$	$2,86 \cdot 10^{-4}$
—75	198	$7,55 \cdot 10^{-5}$	$1,20 \cdot 10^{-4}$

отыскание течей в вакуумных системах; для количественного изотопного анализа газов.

Масс-спектрометрический анализ газовых наполнений ламп дает возможность конструкторам и технологам получать весьма ценные сведения о количественных и качественных изменениях, которые могут иметь место при технологической обработке и испытаниях ламп на долговечность.

Для анализа содержащихся в лампе газов изготавливаются экспериментальные лампы (ампулы) с «чертиком» (рис. 2-18,а) или на штенгель обычной лампы надевается специально подготовленная стеклянная трубочка, вакуумное уплотнение трубочки осуществляется при помощи мастики или пирекса (рис. 2-18,б), или лампа заключается в стеклянную оболочку (рис. 2-18,в). Лампы вскрываются с помощью бойка и магнита.

Исследуемые лампы присоединяются к напускной системе масс-спектрометра типа МС-2М (рис. 2-19). При наличии в лампе более  $1 \text{ см}^3$  газа (объем, приведенный к нормальным условиям) они присоединяются к вилке 1, при количестве газа менее  $1 \text{ см}^3$  — к центральному штуцеру 9 в пробирке 10.

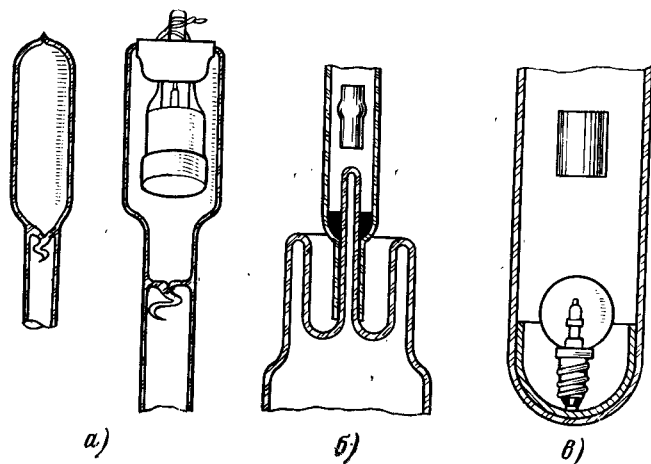


Рис. 2-18. Технологические приемы анализа газов в лампах.

а — лампа и баллон с «чертиком»; б — присоединение ламп к напускной системе через штенгель (для колб большого объема); в — присоединение ламп к напускной системе с помощью стеклянной оболочки (для колб малого объема).

После откачки вилки или пробирки исследуемые лампы вскрываются, газ выпускается в напускной баллон. Анализируемый газ через отверстие в диафрагме проходит в ионизационную камеру ионного источника масс-спектрометра, где подвергается ионизации. При помощи электрического поля ионы вытягиваются из ионизационной камеры, ускоряются и в виде слаборасходящегося пучка направляются в магнитный анализатор. Под действием магнитного поля основной пучок ионов распадается на ряд пучков, каждый из которых характеризуется определенным отношением массы иона к его заряду. С изменением напряженности магнитного поля ионные пучки поочередно направляются в приемник ионов и при помощи специального усилителя измеряется их интенсивность. Таким образом регистрируется спектр масс анализируемого газа.

Для получения количественных результатов необходимо, чтобы интенсивность линий спектра линейно зависела от парциальных давлений соответствующих компонентов этого газа в напускном баллоне или вилке напускной системы. Это обеспечивается применением диафрагмы с малым отверстием и напускным баллоном большого объема.

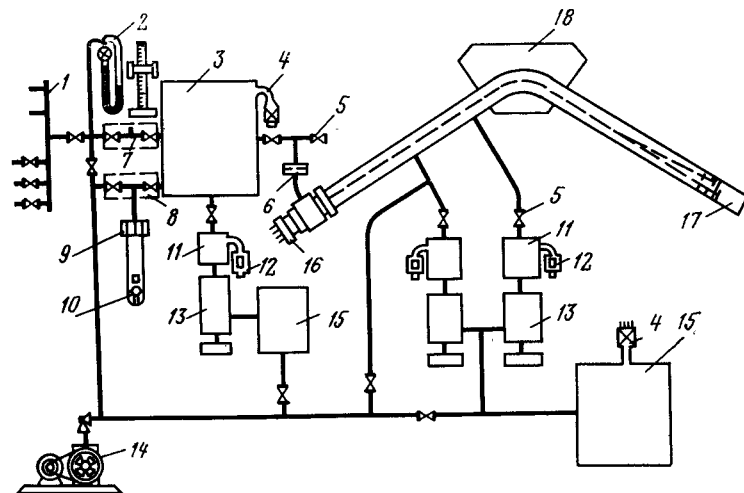


Рис. 2-19. Принципиальная схема вакуумной части прибора МС-2М и молекулярной напускной системы.

1 — вилка; 2 — U-образный манометр; 3 — напускной объем (емкость 7,5 л); 4 — термопарный преобразователь ЛТ-2; 5 — краны; 6 — диафрагма (отверстие  $\varnothing 20 \text{ мкм}$ ); 7 — парциальный кран; 8 — шлицевой кран; 9 — центральный штуцер; 10 — пробирка; 11 — ловушка; 12 — ионизационный манометр ЛМ-2; 13 — паромасляный насос; 14 — механический насос; 15 — форвакуумный бачок; 16 — ионный источник; 17 — приемник ионов; 18 — электромагнит.

Минимальное количество газа, необходимое для анализа, —  $0,1 \text{ см}^3$ . Относительная точность измерения концентраций компонентов составляет  $\pm 5\%$ . Относительная точность измерения парциальных давлений компонентов газового наполнения ламп составляет  $\pm (5-10\%)$ .

Для работы практически с любыми инертными газами необходим прибор, позволяющий анализировать смеси с массовым числом до 140. Этот диапазон перекрывается рядом масс-спектрометров, выпускаемых промышленностью.

Чувствительность отечественных масс-спектральных анализаторов лежит в пределах  $0,1-0,001\%$ , и они

могут работать при объемах проб не меньше нескольких десятых кубического миллиметра.

**Спектральный анализ.** Рассмотрим спектральный анализ газов с помощью фотоэлектрической регистрации спектров.

Принципиальная схема установки для анализа смеси неон — гелий изображена на рис. 2-20.

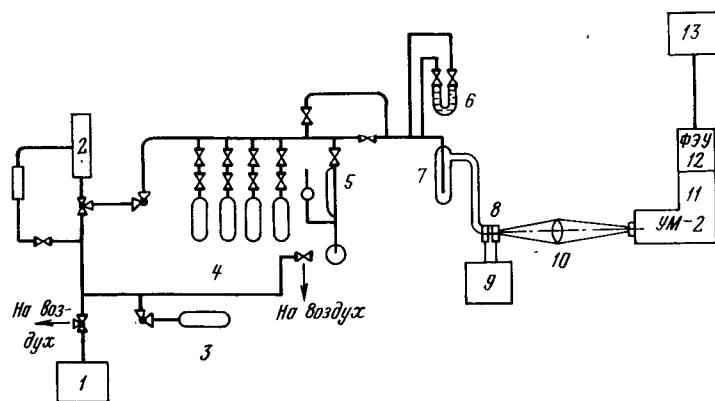


Рис. 2-20. Принципиальная схема установки для анализа неона-гелия.

1 — механический насос; 2 — парортутный насос; 3 — баллон с анализируемым газом; 4 — баллоны с эталонными газами; 5 — компресссионный манометр; 6 — масляный манометр; 7 — ловушка; 8 — разрядник; 9 — генератор высокой частоты; 10 — конденсатор; 11 — монохроматор; 12 — фотоэлектронный умножитель; 13 — блок питания и регистрация тока фотоэлектронного умножителя.

Разрядник 8, припаянный к установке, представляет собой Г-образную кварцевую трубку диаметром 10 мм. Питание осуществляется от высокочастотного генератора 9 (частота 7 МГц, мощность 500 Вт). Рабочее давление газа в разряднике 55 Па.

Излучение разряда, сосредоточенное внутри цилиндрических электродов («полый высокочастотный катод»), проектируется на щель спектрального прибора — монохроматора 11. За выходной щелью монохроматора расположен фотоэлектронный умножитель 12 типа ФЭУ-19М, питающийся от высоковольтного стабилизированного выпрямителя 13, в этом же блоке смонтирован и электронный микроамперметр для регистрации фототока.

Для анализа составляются эталонные смеси 4, каждая из которых последовательно пропускается через

разрядник. Зажигается газовый разряд. Монохроматор вырезает из спектра газа аналитическую линию гелия с длиной волны 388,8 нм, свет которой направляется на катод фотоэлектронного умножителя. Фототок, соответствующий данной концентрации гелия, измеряется электронным микроамперметром. Вслед за эталонами через разрядник пропускаются анализируемые газы 3, и фиксируется фототок, соответствующий концентрации гелия в них. Строится график зависимости фототока от концентрации гелия в эталонных смесях и по графику находится искомая концентрация гелия. Анализ аргона на азот осуществляется без применения обычной спектральной аппаратуры (спектрографа, монохроматора) при помощи фильтра из цветного стекла ( $\lambda_{\text{макс}} = 388,5 \text{ нм}$ ,  $\Delta\lambda = 30 \text{ нм}$ ).

При помощи механического насоса 1 (рис. 2-21) эталонные и анализируемые газы отсасываются сквозь разрядную трубку при давлении 1,3 кПа. Разрядник 3 представляет собой капилляр из молибденового стекла диаметром 2 мм. Питание — от сети переменного тока через повышающий трансформатор (220/2500 В).

В области спектра, вырезаемого фильтром, содержится несколько полос азота, свет которых попадает на катод фотоэлектронного умножителя, расположенный за светофильтром. Анализ осуществляется по известному методу эталонов, с помощью которого строится график зависимости фототока от концентрации азота в аргоне. Описанный вариант особенно удобен в полевых условиях и дает возможность контролировать качество очистки аргона от азота непосредственно на газоочистительной установке.

При фотоэлектрической регистрации спектров светоприемником является фотопластинка с выбранной спектральной чувствительностью эмульсии. Плотность почернения спектральных линий, соответствующая их интенсивности, измеряется на микрофотометре.

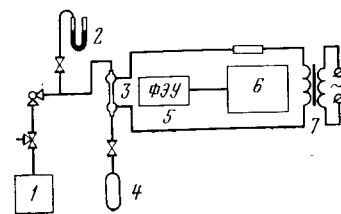


Рис. 2-21. Принципиальная схема установки для анализа аргона.

1 — механический насос; 2 — ртутный манометр; 3 — разрядник; 4 — баллон с газом; 5 — фотоэлектронный умножитель и светофильтр; 6 — блок питания и регистрации тока фотоэлектронного умножителя; 7 — повышающий трансформатор для питания разрядника.

Фотоэлектрический метод, помимо повышенной точности и объективности по сравнению с фотографическим, требует значительно меньшего времени на проведение анализа (до 40 раз).

Анализ, основанный на измерении плотности. Плотность анализируемой смеси определяется сравнением с известной плотностью эталонного газа, обычно воздуха.

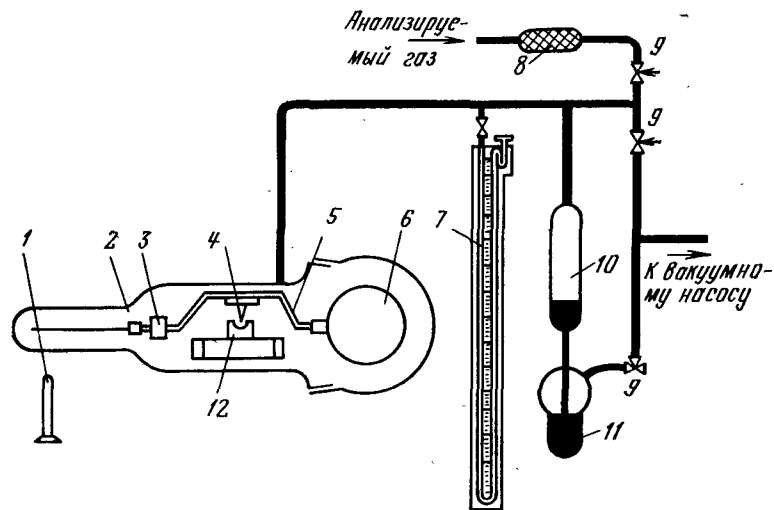


Рис. 2-22. Схема коромысловых газовых весов.

1 — зрительная труба; 2 — баллон; 3 — противовес; 4 — стальные опоры; 5 — коромысло; 6 — полый шарик; 7 — манометр; 8 — осушительный патрон; 9 — вакуумные краны; 10 — вспомогательный баллон для регулирования давления в системе; 11 — резервуар со ртутью; 12 — агатовый подпятник.

Чаще всего для этого применяются методы с использованием коромысловых газовых весов Штока или пружинных весов Големана, а также метод сравнительного взвешивания газовых столбов по Политцеру.

Рассмотрим метод с применением коромысловых газовых весов, который освоен и оправдал себя на Московском заводе электровакуумных приборов.

В баллоне уравновешена система из двух элементов разного объема (рис. 2-22): полого запаянного шарика 6 объемом  $V_1$  и противовеса 3 объемом  $V_2$ . При изменении плотности анализируемого газа на  $\Delta Q$  масса элементов изменяется соответственно на  $V_1 \Delta Q$  и  $V_2 \Delta Q$  и система разбалансируется. Если взвешивание производится

в атмосфере различных газов неодинаковой плотности, то равновесие системы в обоих случаях может быть достигнуто при различных давлениях.

Чувствительность газовых весов пропорциональна разности объемов  $V_1 - V_2$ , поэтому целесообразно увеличивать диаметр шарика и уменьшать объем противовеса. В то же время уменьшение массы коромысла с шариком и противовесом уменьшает трение в подпятниках и повышает чувствительность.

Прочие методы анализа газовых смесей. Термокондуктометрические газоанализаторы (катарометры) — наиболее распространенные приборы непрерывного анализа — основаны на сопоставлении теплопроводностей анализируемой газовой смеси и сравнительного газа. Метод дает удовлетворительный результат в том случае, когда теплопроводность анализируемого компонента газовой смеси существенно отличается от теплопроводности остальных компонентов, например при определении содержания гелия и водорода в смесях с азотом и т. д.

Интерферометрический анализ основан на измерении коэффициента преломления составляющих компонентов газовой смеси. Коэффициент преломления анализируемого газа измеряется с помощью интерферометра.

Интерферометрический метод рекомендуется для анализа аргоно-азото-водородной смеси, азота в аргоне, неона-гелиевой смеси и чистоты неона.

Абсорбционный анализ основан на абсорбции и сжигании газов. Компоненты анализируемой смеси последовательно поглощаются соответствующими реагентами в ряде поглотительных сосудов. После поглощения очередного компонента газ переводится в бюретку и регистрируется изменение объема пробы. Водород и горючие газы либо сжигаются после добавления кислорода или воздуха, либо взаимодействуют с легко восстанавливающимися окислами металлов с последующим анализом продуктов сгорания. При достаточном числе поглотительных сосудов может быть осуществлен общий анализ смеси. В настоящее время разработано и выпускается несколько приборов для общего анализа газов: ГПХ-3, ВТИ-2, ГИАП-3 и др.

Адсорбционный анализ основан на адсорбции газов. Приборы по конструкции принципиально не отличаются от приборов адсорбционного типа с твердым поглотителем. Адсорбционные газоанализаторы не могут использоваться для определения небольших примесей в газах.

Наибольший интерес из других методов анализа газовой смеси представляют анализ чистоты газа методом определения упругостей их насыщенных паров, полумикроанализ сложной газовой смеси, газовая хроматография.

## 6) ТОПЛИВНЫЕ ГАЗЫ

**Химические свойства.** Все газовые топлива состоят главным образом из водорода, окиси углерода и углеводородов. Некоторые искусственные газы содержат сероводород, придающий им характерный неприятный



запах. Содержание сероводорода в природном газе не должно превышать 2 г на 100 м³ газа. Искусственные газы, получаемые переработкой твердого топлива, даже после тщательной очистки содержат некоторое количество нафталина, смолы, угольной пыли и других веществ.

Химический состав и пирометрические характеристики горючих газов приведены в табл. 2-26, физико-химические свойства простейших газов и паров — в табл. 2-27.

Для определения химического состава газа пользуются переносным газоанализатором марки ГПХ-3.

Для полного сгорания одного объема водорода, так же как и одного объема окиси углерода, требуется 2,35 объема воздуха, для сгорания одного объема метана требуется 9,4 объема воздуха.

Зная состав газа, можно рассчитать количество воздуха, необходимого для его полного сгорания. Сгорая, природный газ выделяет значительно больше продуктов горения, чем водяной газ, в котором особенно много содержится водяного пара, повышающего влажность воздуха в производственном помещении.

**Термические свойства.** *Теплоемкость* — количество тепла, необходимое для нагревания единицы веса или объема газа на 1 °C.

Теплоемкость газа зависит от температуры. В целях упрощения тепловых расчетов введено понятие средней теплоемкости  $c_{ср}$ .

*Теплота сгорания* — количество тепловой энергии, выделяющееся при сгорании единицы массы или объема топлива.

С возрастанием содержания углеводородов теплота сгорания газа увеличивается, а с возрастанием содержания азота, углекислого газа и паров воды — уменьшается.

Приближенно считается, что расход воздуха на каждые 4 МДж тепла составляет 1 м³.

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

*Температура горения газа* — это температура, которую приобретают полученные при его сжигании газообразные продукты в результате нагревания теплом, выделяемым при горении.

Отношение температуры пламени к теоретической температуре горения называют пирометрическим эффек-

Таблица 2-26

Наименование газа	Содержание в смеси, %						Пирометрические характеристики						Температура пламени в воздухе, °C
	водорода	окиси углерода	метана	тяжелых углеводородов	углекислого газа	азота	теоретический расход воздуха, необходимый для полного сгорания 1 м³ газа, м³	объем продуктов сгорания на 1 м³ газа, м³	относительная плотность (по воздуху)	теплота сгорания, МДж/м³	теоретическая температура горения, °C	скорость распространения пламени газовой смеси, м/с	температура воспламенения в воздухе, °C
Водород	100	—	—	—	—	—	2,4	2,9	0,07	10,7	2210	4,9*	510
Окись углерода	—	100	—	—	—	—	2,4	2,9	0,97	12,6	2470	1,2	610
Метан	—	—	100	—	—	—	8,5	10,5	0,55	35,8	2095	0,7	645
Пропан	—	—	—	100	—	—	23,8	25,8	1,56	91,2	2155	0,8	510
Бутан	—	—	—	—	—	—	31,0	33,4	2,07	118,6	2130	0,8	490
Воздушный генераторный газ	6	23	2	1	6	62	0,9	1,9	0,92	4,1	1560	0,5	750
Смешанный генераторный газ	12	25	3	—	5	55	1,2	2,0	0,86	5,0	1670	0,6	700
Водяной газ из полуантрацита	50	38	2	1	5	4	2,2	2,9	0,52	10,4	1680	3,0	680
Природный (саратовский) газ	—	—	94	2	—	4	9,8	10,9	0,57	35,7	2060	0,7	700
Природный (дашавский) газ	—	—	98	1	—	1	9,6	10,5	0,56	35,6	2040	0,7	700
Природный (шебелинский) газ	—	—	93	6	—	1	10,0	11,2	0,60	35,7	2060	0,7	700
Природный (ставропольский) газ	—	—	98	1	—	1	9,6	10,5	0,56	35,6	2040	0,7	700

Примечание. При применении газокислородной смеси скорость распространения пламени водорода 30 м/с.

Таблица 2-27

Наименование газа	Молекулярная масса	Плотность, кг/м³	Газовая постоянная, кДж/(кг·К)	Теплота сгорания, МДж/м³	Температура кипения, К	Критические		Динамическая вязкость, МПа·с	Температурный коэффициент вязкости сухого газа при 0°С и давлении 98 КПа, К⁻¹
						температура, К	давление, МПа		
Азот	28,016	1,251	127	—	78	126	3,3	16,7	110
Ацетилен	26,036	1,162	136	0,056	190	309	6,0	9,3	278
Бензол	78,046	3,485	45	145	193	561	4,6	7,0	700
Бутан	58,121	2,593	61	118	263	425	3,5	7,91	375
Бутилен	56,105	2,503	63	113	268	424	3,3	—	—
Водород	2,016	0,090	1760	10,7	20	33	1,2	8,5	72
Кислород	32,000	1,429	110	—	90	155	4,9	19,2	127
Метан	16,043	0,717	221	35,6	112	190	4,5	10,4	171
Оксись углерода	28,010	1,250	127	12,6	83	132	3,5	17,2	102
Пентан	72,147	3,219	49	145	309	470	3,3	—	—
Пропан	44,095	1,967	80	91	229	369	4,6	—	—
Пропилен	42,078	1,877	84	86	226	365	4,6	—	—
Сернистый газ	64,065	2,927	56	—	263	430	7,8	11,7	375
Сероводород	34,076	1,520	104	23,4	221	373	8,7	11,8	—
Углекислый газ	44,020	1,977	81	—	195	304	7,2	14,1	240
Этан	30,063	1,341	12	63,2	179	307	4,9	8,6	266
Водяные пары	18,015	0,804	197	—	373	647	22,1	8,2	960
Воздух	28,96	1,293	123	—	82	133	3,8	17,3	117
Этилен	28,052	1,251	126	59,5	169	283	5,1	9,5	226

том горения. Он зависит не только от свойств газа, но и от соотношения газа и воздуха в смеси и условий сжигания газа.

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 (печах) достигается более высокий пирометрический эффект, чем при сжигании в открытой среде (на автоматах).

Температуру горения определяют по уравнению

$$t = \frac{Q + Q_r + Q_v}{Vc},$$

где  $t$  — температура горения, °С;  $Q$  — теплотворная способность газа, МДж/м³;  $V$  — объем продуктов горения на 1 м³ топлива, м³;  $c$  — средняя объемная теплоемкость продуктов горения при температуре от 0 до  $t$ , °С, МДж/(м³·К);  $Q_r$  — тепло нагретого газа, МДж/м³;  $Q_v$  — тепло нагретого воздуха, МДж/м³.

Из уравнения следует, что газ с низкой теплотворной способностью может иметь высокую температуру горения, если объем продуктов горения мал и температуру горения можно повысить предварительным подогревом воздуха или воздуха и газа.

При сравнении водорода и метана оказывается, что хотя водород, сгорая, выделяет в 3 раза меньше тепла, 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 для расщепления молекул на углерод и водород расходуется около 8% тепла, а водород не имеет этих потерь. По тем же причинам водяной газ имеет температуру горения, более высокую, чем природный, и продукты его горения нагреваются сильнее, чем продукты горения природного газа.

При замене воздуха кислородом температура пламени повышается.

При обработке деталей газовым пламенем высокая температура пламени имеет более важное значение, чем высокая температура газа.

Температуру пламени измеряют платино-платинородовой термопарой, обнаженный спай которой защищают тонким кварцевым колпачком.

*Скорость распространения пламени* — расстояние, которое пламя пройдет через газозвоздушную смесь за 1 с, характеризует, как быстро газозвоздушная смесь нагревается до температуры воспламенения.

Скорость распространения пламени не зависит от теплотворной способности газа.

Большая скорость распространения пламени способствует полному сгоранию газа.

Горючие газы, содержащие много водорода, обладают большей скоростью распространения пламени, газы, содержащие много балластных составных частей ( $N_2$  и  $CO_2$ ), — меньшей скоростью. Скорость распространения пламени уменьшается с уменьшением содержания воздуха в газозвоздушной смеси и значительно увеличивается при применении газокислородной смеси вместо газозвоздушной.

На увеличение скорости распространения пламени благоприятно влияет предварительный подогрев газа и воздуха.

*Температура воспламенения* (взрываемость) газов — это минимальная температура, до которой должна быть нагрета газозвоздушная или газокислородная взрывчатая смесь, чтобы начался процесс горения.

Температура воспламенения не является физической константой, принадлежащей данному газу. Она зависит от содержания горючего газа в газозвоздушной смеси, степени перемешивания газа с воздухом, формы и размеров горелочных устройств и т. д.

Газокислородные смеси имеют более широкий предел воспламеняемости, чем смесь горючего газа с воздухом.

Увеличение температуры газозвоздушной смеси расширяет пределы воспламеняемости. Увеличение балластных примесей в газовых смесях повышает температуру воспламенения и пределы воспламеняемости.



### 3-1. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ

#### а) ХОЛОДНАЯ ШТАМПОВКА

Холодная штамповка как наиболее прогрессивный метод обработки металлов широко применяется в производстве источников света. Особенности штамповки в электроламповом производстве являются сортамент и свойства применяемых материалов, а также предъявляемые требования к чистоте поверхности и точности деталей.

Так, тугоплавкие металлы — вольфрам, молибден, тантал и их сплавы относятся к трудноштампуемым материалам. Для придания лучших пластических свойств эти металлы отжигают перед всеми операциями холодной штамповки.

У никеля, латуни, железа, малоуглеродистых сталей и других металлов под воздействием усилий на различных операциях штамповки возникают напряжения, которые могут привести к разрыву заготовки.

Металлы этой группы также отжигают перед всеми выполняемыми операциями штамповки.

В качестве смазок при листовой штамповке используются спирто-бензиновые смеси, минеральное масло, машинное масло СУ, эмульсионные и мыльные составы, при объемной — жиры и масла животного и растительного происхождения.

*Нарезка заготовок* является первой заготовительной операцией и предназначена для получения полос или рулонов заданной величины. Заготовки нарезаются при помощи ножниц с параллельными наклонными, дисковыми, роликовыми и другими ножами. Точность нарезки не превышает 0,5—1 мм.

Заготовки в виде полос шириной 3—55 мм из ленточных материалов толщиной 0,05—0,5 мм нарезаются на специальных роликовых ножницах.

*Вырубка и пробивка.* Применяется для изготовления плоских деталей с отверстиями: выступов, лопаток и т. п., а также для получения заготовок, обрабаты-

мых затем гибкой, вытяжкой, формовкой и другими способами холодной штамповки.

Процессы вырубки и пробивки (рис. 3-1) состоят из четырех основных стадий: упругое сжатие и растяжение волокон, появление сколов и отделение детали.

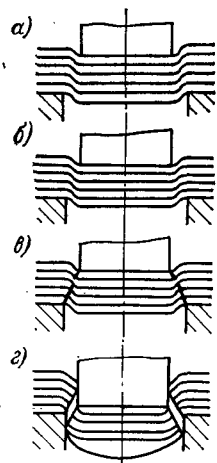


Рис. 3-1. Схема процесса вырубки.

а — упругое сжатие; б — сжатие с изгибом и растяжением волокон; в — появление сколов; г — отделение детали.

Качество среза обеспечивается правильным выбором зазора между пуансонами и матрицей, который зависит от толщины и свойств обрабатываемых материалов (табл. 3-1).

При неправильно выбранных зазорах, несвоевременной заточке инструмента и ненадежном креплении его в прессах на деталях получают заусенцы. Особенно опасны заусенцы, не обнаруживаемые невооруженным глазом, которые, распыляясь в вакууме, вызывают нежелательные явления в лампах.

Смазка при вырубки и пробивке выбирается в зависимости от свойств обрабатываемых материалов.

При штамповке молибдена и ковара применяют машинное масло СУ; тантала — минеральное масло; никеля и алюминированных металлов — спирто-бензиновые смеси; железа, углеродистых сталей и железоникелевых сплавов — минеральное масло и эмульсионные составы. В некоторых случаях используется

Таблица 3-1

Зазоры при вырубки деталей, мм

Материал	Толщина материала, мм			
	До 1,0	1,0—2,0	2,0—3,0	3,0—5,0
Мягкие металлы (медь, малоуглеродистая сталь и др.)	0,05	0,06	0,07	0,08
Металлы средней твердости (никель и др.)	0,06	0,07	0,08	0,09
Твердые металлы (молибден, ковар, тантал и др.)	0,07	0,08	0,09	0,10

мыльная вода, а иногда штамповка производится без смазки.

Штамповку деталей производят преимущественно на эксцентрикковых и кривошипных прессах.

Гибка является процессом упругопластических деформаций. При гибке наружные слои металла, расположенные со стороны матрицы, растягиваются, а внутренние (со стороны пуансона) — сжимаются и укорачиваются. Между наружными и внутренними волокнами находится нейтральный слой, длина которого при гибке не изменяется.

Типовые способы гибки деталей изображены на рис. 3-2.

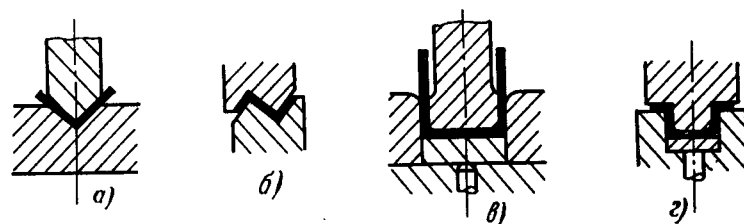


Рис. 3-2. Типовые способы гибки деталей.

а — одноуголовая гибка без прижима; б — двухуголовая гибка без прижима; в — двухуголовая гибка с прижимом; г — многоуголовая гибка.

Гибка сопровождается появлением упругих деформаций, а по окончании процесса готовая деталь «распружинивается», вследствие чего происходит изменение угла гибки.

Особенно значительна упругая деформация у твердых металлов с высоким модулем упругости (молибден, ковар, тантал и др.). Стабилизация размеров достигается за счет гибки с прижимом, дополнительных калибровочных операций, а также применения пресс-автоматов, в которых формообразование деталей осуществляется на специальных оправах.

На гибочных пресс-автоматах при помощи приспособлений и комбинированных штампов гибку можно совмещать с выружкой, пробивкой, отрезкой, заострением концов, накаткой буртиков, сшиванием полос, неглубокой вытяжкой и т. д.

В производстве источников света применяют универсально-гибочные автоматы А-910 и А-913 с усилием 15 000—30 000 Н (1,5—3 тс). На автомате А-910 изго-

тавливают мелкие детали из ленты шириной не более 5 мм и из проволоки диаметром до 0,8 мм, на автомате А-913 — детали из ленты шириной до 25 мм. Точность деталей, получаемых гибкой, определяется их геометрическими размерами и зависит от толщины и механических свойств металла, при работе на операционных штампах допустимые отклонения составляют  $\pm 30\text{--}40\%$  толщины материала; при использовании совмещенных штампов, калибровочных операций, формообразований на пресс-автоматах —  $\pm 5\text{--}10\%$ .

Частным случаем гибки является правка или рихтовка.

**Вытяжка** — процесс получения полых деталей из плоских заготовок. Плоская заготовка под давлением пуансона втягивается в отверстие матрицы и превращается в полое изделие. Преимущественное распространение в производстве источников света получили вытяжка с прижимом и без прижима (рис. 3-3).

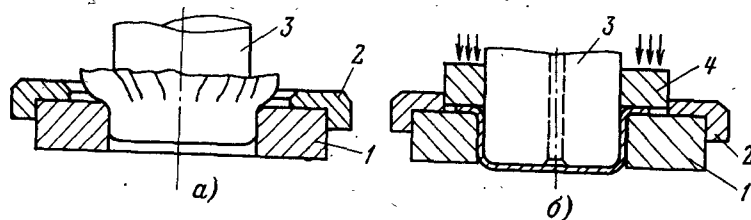


Рис. 3-3. Схема вытяжки заготовки.

а — без прижима; б — с прижимом; 1 — матрица; 2 — фиксатор; 3 — пуансон; 4 — прижим.

Вытяжка без прижима применяется при изготовлении неглубоких деталей из толстых материалов, когда при втягивании металла в матрицу не появляются складки.

При изготовлении высоких деталей из тонких материалов применяется вытяжка с прижимом. Прижимы предотвращают появление складок, давление прижимом колеблется в пределах  $(0,4\text{--}3) \cdot 10^6$  Па ( $0,04\text{--}0,3$  кгс/мм<sup>2</sup>) в зависимости от механических свойств и толщины штампуемого материала.

Отношение диаметра дна детали к диаметру заготовки называется коэффициентом вытяжки. Минимально допустимые коэффициенты вытяжки, при которых процесс вытяжки идет нормально, для металлов и сплавов,

применяемых в производстве источников света, приведены в табл. 3-2.

Высокий коэффициент вытяжки допускают молибден, тантал и ковар, их вытяжка не может быть глубокой из-за образования трещин и расслаивания.

Таблица 3-2

Рекомендуемые значения коэффициента вытяжки

Наименование материала	Коэффициент вытяжки	
	для первой операции	для второй и последующих операций
Молибден	0,60—0,65	—
Тантал	0,65—0,67	0,84—0,87
Никель	0,48—0,53	0,70—0,75
Медь	0,57—0,60	0,75—0,80
Сталь марок 0,8 и 10	0,58—0,60	0,79—0,87
Железоникелевые сплавы	0,60—0,65	0,70—0,90
Ковар	0,65—0,67	0,85—0,90
Константан	0,50—0,55	0,75—0,88

Никель, медь, железо, малоуглеродистые стали и др., допускающие малые значения коэффициента вытяжки, могут быть вытянуты на глубину до 6—8 диаметров в несколько операций с промежуточными отжигами.

В процессе вытяжки внешняя часть заготовки утолщается. Поэтому зазор между пуансоном и матрицей принимается в пределах 1,1—1,3 толщины материала.

На возникающие напряжения оказывают влияние радиусы закруглений матриц и пуансонов. Для первой операции оптимальные радиусы принимаются равными 6—10 толщины материала, при последующих операциях радиусы закруглений могут быть уменьшены.

Вытяжка с утоньшением стенок изделий производится в несколько операций и применяется при изготовлении деталей, у которых толщина дна равна толщине исходного материала. При вытяжке с утоньшением стенок поверхность деталей получается гладкой, без рисков и следов складок.

Вытяжка деталей из материалов малой толщины производится на эксцентриковых и кривошипных прессах, глубокая вытяжка материалов значительной толщины — на прессах двойного действия.

Изготовление массовых деталей, особенно цоколей, производится на многопозиционных вытяжных пресс-

автоматах типов А-820, А-821 и А-822. Процесс изготовления цоколей изложен в § 3-4.

Вытяжные пресс-автоматы с автоматической подачей ленты имеют от 7 до 11 позиций, на каждой из которых устанавливаются операционные штампы. На них можно осуществлять не только вытяжку деталей различной конфигурации, но и производить пробивку, формовку, вырубку, обратную вытяжку и другие операции.

На многопозиционных автоматах глубокая вытяжка производится без промежуточного отжига заготовки, что позволяет сократить цикл изготовления деталей.

Смазка, применяемая при вытяжке, снижает коэффициент трения и создает прочную пленку между материалом и инструментом. Обычно применяют смазку с наполнителями (измельченный графит, тальк или мел).

За последнее время распространился способ штамповки деталей резиной (пуансоны изготавливаются из металлов, а матрицы — из листовой резины). При этом способе обеспечивается более равномерное давление на заготовку, высокое качество поверхности, правильность формы и точность размеров.

#### б) ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННАЯ ОБРАБОТКА

*Электроэрозионная или электроискровая обработка* основана на явлении направленного разрушения металлов импульсами электрического тока.

Между двумя электродами, находящимися на относительно небольшом расстоянии, электрический заряд вызывает локальные нагрев, размягчение и разрушение металла.

Под воздействием взрывной волны частички расплавленного металла выбрасываются в межэлектродное пространство, образуя на поверхности обрабатываемой детали углубления (лунки).

Наибольшее количество металла выбрасывается с анода, которым является обрабатываемая деталь; с электрода-инструмента, являющегося катодом, выбрасывается значительно меньше металла. Продолжая подавать импульсы электрического тока, электрод-инструмент постепенно углубляется в обрабатываемое изделие.

Интенсивность эрозии повышается при работе электродов в жидкой диэлектрической среде (спирте, керосине, минеральных маслах, водных растворах электролитов, дистиллированной воде и др.), поскольку в меж-

электродном пространстве возникают дополнительные гидравлические удары.

Диаметр и глубина образующихся лунок на металле зависят от энергии импульса, свойства материалов и среды.

Увеличение энергии импульсов повышает производительность процесса, но приводит к получению шероховатой поверхности. Поэтому повышение производительности достигается высокой частотой импульсов (до 300 кГц) при энергии менее  $10^{-3}$  Дж. Длительность импульса должна быть не более 1 мкс. Точность изготовления деталей зависит от напряжения на электродах и межэлектродного расстояния. Напряжение на электродах при использовании импульсов малых энергий обычно не превышает 100—120 В. При этом межэлектродное расстояние составляет 10—12 мкм. Уменьшение зазора и понижение напряжения затрудняют удаление продуктов эрозии из зоны обработки и соответственно снижают производительность. Электроэрозионным методом возможно изготавливать детали с очень высокой точностью (до  $\pm 2$  мкм). Чистота обрабатываемой поверхности определяется размерами микроскопических выступов и углублений, образуемых лунками, а они в свою очередь зависят от энергии импульса, материала электродов и среды.

Кроме того, производительность электроэрозионной обработки, чистота обработанной поверхности и точность выполнения технологических процессов определяются формой, размерами и взаимным расположением электродов.

Электроды-инструменты изготавливаются из вольфрама, меди, легированных сталей и других металлов и сплавов.

С помощью электроэрозии можно обрабатывать глубокие отверстия в труднообрабатываемых металлах — вольфраме, тантале, титане и др.; прошивать сквозные отверстия при изготовлении твердосплавных фильер, высадочных штампов, пресс-форм, всевозможного инструмента; производить плоское и круглое шлифование при обработке поверхностей твердосплавных матриц и деталей твердосплавного инструмента; разрезать твердые сплавы, вольфрам, тантал, молибден и др.; выполнять обратное копирование при изготовлении пуансонов для твердосплавных штампов и т. п.

В состав электроискровых установок входят генераторы импульсов, кинематические элементы и следящие системы, ванны для диэлектриков, измерительные приборы и др.

Следящие системы (электродвигатели-регуляторы) предназначены для автоматического поддержания оптимального межэлектродного расстояния путем перемещения электрода-инструмента или обрабатываемой заготовки.

В состав некоторых установок входят устройства (вибраторы, гидравлические системы и др.), улучшающие удаление продуктов эрозии из зоны обработки.

Промышленность выпускает разнообразное электроэрозионное оборудование, номенклатура установок все время расширяется.

*Анодно-механическая обработка металлов* является разновидностью электроэрозионной обработки. Она основана на термическом и электрохимическом разрушении металла, когда между двумя электродами проходит электрический ток.

При одной из схем анодно-механической обработки (рис. 3-4) обрабатываемая деталь соединяется с положительным полюсом источника постоянного тока, а инструмент — с отрицательным. В зазор между инструментом и поверхностью обрабатываемого изделия вводится электролит — водный раствор жидкого стекла, водные растворы различных солей и др.

Электрод-инструмент, вращаясь, увлекает в зазор электролит. В результате действия электрического тока на электролит и на обрабатываемую деталь поверхность изделия покрывается пленкой, которая обладает сравнительно высокими механической прочностью, электрическим сопротивлением и дугогасящими свойствами. Движущийся инструмент оказывает давление на обрабатываемую поверхность и удаляет часть образовавшейся пленки и прослойку электролита. Происходит сближение инструмента и поверхности обрабатываемого

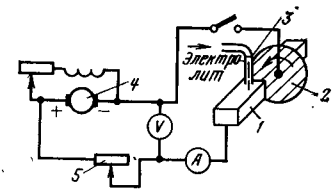


Рис. 3-4. Схема анодно-механической обработки.

1 — деталь (анод); 2 — электрод-инструмент (катод); 3 — электролит; 4 — источник постоянного тока; 5 — реостат.

изделия, сопровождающееся прохождением тока через вершины неровностей их поверхностей.

При малых плотностях тока съем металла происходит в углублениях микрорельефа обрабатываемой поверхности способствует концентрации тока на вершинах неровностей и их преимущественному растворению. Происходит сглаживание поверхностей.

При больших плотностях тока происходит импульсное плавление металла в кратковременно сближающихся точках поверхностей инструмента и детали. Защитная пленка способствует концентрации тока и выделению тепла и препятствует развитию дугового разряда.

Съем металла определяется электрохимическими и тепловыми характеристиками (электрохимический эквивалент, теплоемкость, температура плавления, теплопроводность) и не зависит от механических свойств (твердости, вязкости и др.).

Интенсивность процесса зависит от электрического режима обработки (плотности тока, напряжения), частоты вращения электрода (увеличивается или уменьшается время контактирования в отдельных точках обрабатываемой поверхности) и от давления на обрабатываемую поверхность.

Анодно-механическая обработка металлов применяется для резки, заточки, чистовой обработки, шлифования и других операций.

#### в) УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОБРАБОТКА

За последние годы в различных областях народного хозяйства все большее применение получают ультразвуковые методы обработки, внедрение которых обеспечивает получение значительного технико-экономического эффекта.

Ультразвук широко используют для механической обработки различных материалов, очистки, получения покрытий, сварки и спайки, размола и размешивания материалов и т. д.

В настоящем разделе рассмотрены основные представления об ультразвуковых процессах и их использовании для механической обработки металлов. Другие применения ультразвука изложены в соответствующих разделах.

Ультразвук представляет собой периодические механические упругие колебания с частотами, лежащими выше верхнего порога слышимости. Для технологических целей используется только часть ультразвукового диапазона частот, от 16 до 1600 кГц.

Интенсивные ультразвуковые колебания в жидкости связаны с эффектом, называемым ультразвуковой кавитацией.

Почти все жидкости способны легко воспринимать очень большое всестороннее сжатие (в гидравлических прессах сжатия достигают десятков мегапаскалей). Вместе с тем жидкости чрезвычайно чувствительны к растягивающим усилиям.

При прохождении ультразвуковых колебаний через жидкость периодически создаются усилия растяжения и сжатия. В этом случае в микрообъемах жидкости происходит разрыв среды с образованием большого количества пузырьков.

Возникновение кавитации облегчается при наличии в жидкости микроскопических частиц, особенно плохо смачиваемых твердых частиц. Эти частицы имеют микротрещины, в которых находится газ, что способствует более легкому возникновению кавитации.

Кавитационные полости после кратковременного существования захлопываются. Часть из них существует от фазы разряжения до следующей фазы сжатия. Однако наблюдаются пузырьки, продолжительность существования которых составляет несколько десятков, а иногда и сотен периодов, но рано или поздно каждый кавитационный пузырек захлопывается. Во время этих захлопываний развиваются мгновенные местные давления, достигающие тысяч мегапаскалей. Эти давления неизбежно приводят к механическим разрушениям поверхности твердого тела, находящегося вблизи мест захлопывания.

Кавитация, вызываемая ультразвуковыми колебаниями, поддается управлению — ее можно создавать в нужных местах и нужных дозах.

Основными источниками ультразвуковых колебаний являются механические и электромеханические излучатели.

Механические излучатели применяются в основном для возбуждения звуковых и ультразвуковых колебаний в воздухе или в газообразной среде. Они просты по кон-

струкции и надежны, но сравнительно низкая генерируемая частота не дает возможности получать от таких излучателей большие мощности в жидкостях.

В электромеханических излучателях ультразвуковые колебания генерируются за счет преобразования электрической энергии в механическую. Электромеханические источники позволяют получать ультразвуковую энергию высокой частоты и устойчиво работают, как правило, в очень узкой полосе частот. По принципу преобразования энергии электромеханические излучения делятся на магнитострикционные, пьезоэлектрические и электродинамические.

Одним из широко распространенных излучателей является магнитострикционный преобразователь. Эффект магнитострикции состоит в изменении размеров ферромагнетиков в переменном магнитном поле. Магнитострикционный преобразователь состоит из катушки, навитой на пакет из тонких пластин (0,1—0,2 мм) никеля, пермендюра, альфера и др. От толщины пакета зависит площадь излучаемой поверхности и мощность преобразователя.

Излучающая поверхность преобразователя достигает 500 см<sup>2</sup>. С помощью магнитострикционных преобразователей удается получить плотность энергии ультразвуковых колебаний до 10—12 Вт/см<sup>2</sup>.

Простота изготовления, дешевизна и эксплуатационная надежность магнитострикционных излучателей обеспечили им широкое распространение.

Для получения ультразвуковых колебаний высокой частоты используются пьезоэлектрические преобразователи.

Пьезоэлектрический эффект — это обратимая связь между поверхностными электрическими зарядами на гранях некоторых кристаллов и их деформацией. Пьезоэлектрический способ получения ультразвуковых колебаний основан на способности материалов (кварц, титанат бария, сегнетовая соль, турмалин и др.) излучать звуковые волны той частоты, с которой изменяются знаки прикладываемых к ним электрических зарядов. Диапазон частот, в котором используются такие преобразователи, от 40 до 1600 кГц.

Возбуждение магнитострикционных и пьезоэлектрических преобразователей осуществляется при помощи высокочастотных генераторов электрической энергии.



Наиболее широкое распространение получили ламповые генераторы, к которым предъявляются требования по стабильности генерируемой частоты и возможности плавной регулировки в заданных пределах частоты и выходной мощности, малой стоимости и др.

Генераторы по режиму работы подразделяются на генераторы непрерывного и импульсного действия. Генераторы непрерывного действия выпускаются как широ-

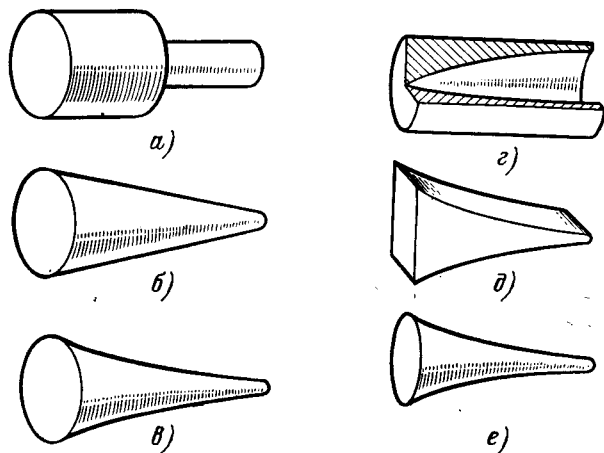


Рис. 3-5. Акустические трансформаторы скорости.  
а — ступенчатый; б — конусный; в — экспоненциальный; г — трепанообразный;  
д — ножевой; е — катеноидальный.

когодиапазонные, т. е. перекрывающие весь ультразвуковой диапазон частот, так и на низкие ультразвуковые частоты — до 40 кГц и высокочастотные — до 1600 кГц.

Импульсные генераторы различаются в зависимости от импульсной мощности, энергетического спектра импульса, длительности и частоты следования импульсов.

Для согласования параметров преобразователя с нагрузкой, для крепления колебательной системы и ввода ультразвуковых колебаний непосредственно в зону обработки материала используются акустические трансформаторы скорости (волноводы, концентраторы).

Трансформаторы скорости (рис. 3-5) представляют собой стержни различной формы в основном из различных марок нержавеющей и углеродистых сталей, к которым предъявляются требования по коэффициенту по-

терь, коррозионной и кавитационной стойкости, жаростойкости.

Ультразвуковой метод обработки является методом механического воздействия на материал, им могут обрабатываться твердые и хрупкие материалы, частицы которых могут выталкиваться при ударе. Ультразвуковая обработка характеризуется образованием выколов при ударе инструмента по частицам абразива и перемещением зерен абразива в рабочем зазоре. Кавитация ускоряет процесс перемещения частиц абразива.

Ультразвуковая обработка материалов является относительно новым технологическим процессом, возможности которого еще полностью не используются.

При обработке металлических деталей с помощью ультразвука могут выполняться следующие операции: глухая и сквозная прошивка отверстий и полостей, разрезка, прорезка канавок, изготовление фасонных поверхностей, шлифование плоскостей, обработка криволинейных и кольцевых пазов и др.

Особенно широко внедряется ультразвук для изготовления твердосплавных фильер, вырубных штампов и высадочных матриц, профилирования и заточки твердосплавного инструмента. Производительность, качество поверхности, точность обработки и другие технологические характеристики ультразвуковой обработки зависят от амплитуды и частоты колебаний, физико-механических свойств обрабатываемого материала и материала абразива, кинематической схемы станка, площади и конструкции поперечного сечения инструмента, статической нагрузки и глубины обработки.

### 3-2. ОЧИСТКА И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

При изготовлении деталей (штамповка, вытяжка, прокатка, гибка, резание, шлифовка) применяются различные смазки, пасты, эмульсии, растворы и т. п., которые загрязняют их поверхность. При механической обработке пыль, вода и твердые частицы из окружающего воздуха адсорбируются на поверхности деталей. Загрязнение деталей может происходить при прикосновении к ним рук работающих, при химической и термической обработке их (загрязнение технологическими средами), а также в процессе их транспортировки и хранения.

Поверхностные загрязнения деталей можно подразделить на две основные группы.

К первой относятся загрязнения, не образующие с материалом деталей химических соединений (следы различных смазок, паст и эмульсий, пыль и т. д.).

Ко второй группе относятся загрязнения, образующие с материалом деталей химические соединения (окисные пленки, сернистые и сульфидные соединения и т. д.).

Те или иные загрязнения на поверхности деталей, используемых внутри источников света (экраны, держатели, поддержки, аноды и др.), приводят к повышенному браку на отдельных технологических операциях и в конечном счете уменьшают продолжительность горения, снижают надежность и стабильность работы ламп. Загрязнения на поверхности внешних деталей (выводы, цоколи и др.) ухудшают их стойкость против атмосферных и других воздействий.

Выбор способа очистки деталей определяется в зависимости от характера загрязнений, свойств металла, геометрических размеров деталей, серийности производства и т. д.

Существуют следующие способы очистки деталей: обезжиривание (в органических растворителях и щелочах, химическое и электрохимическое); промывка в воде; травление (химическое и электрохимическое); полирование (химическое и электрохимическое); ультразвуковая обработка; термическая обработка.

Технология очистки деталей источников света должна обеспечивать практически полное удаление всех возможных загрязнений. Поэтому необходимо установление норм допустимых загрязнений для отдельных деталей и методов контроля чистоты их поверхности. В основу создания современной технологии очистки должны закладываться следующие принципы:

процессы очистки должны быть увязаны с общим технологическим маршрутом изготовления деталей и ламп в целом;

при очистке необходимо непрерывно контролировать чистоту технологических сред (воды, растворителей, газов) и производить выборочный операционный контроль чистоты поверхности деталей;

при транспортировке и хранении деталей, а также при последующих этапах изготовления ламп необходимо сохранить достигнутую степень очистки и исключить возможные источники повторного загрязнения поверхности деталей;

технологические процессы очистки, особенно в крупносерийном производстве, должны быть максимально механизированы с целью достижения стабильного качества очистки и получения необходимой производительности.

#### а) ОБЕЗЖИРИВАНИЕ

Обезжиривание — процесс удаления с поверхности деталей жиров животного и растительного происхождения, минеральных масел (смазки и эмульсии) и других загрязнений. Обезжиривание является начальной операцией очистки деталей и предшествует всем технологическим процессам химической и термической обработки деталей.

В производстве источников света обезжиривание деталей производят в органических растворителях и щелочных моющих растворах с применением ультразвука и окислительно-восстановительного отжига. В щелочных моющих растворах при использовании электрического тока (электрохимическое обезжиривание) достигается повышение качества очистки.

**Обезжиривание в органических растворителях.** В качестве обезжиривающих средств применяются трихлорэтилен ( $\text{CHCl}-\text{CCl}_2$ ), тетрахлорэтилен ( $\text{CCl}_2-\text{CCl}_2$ ), четыреххлористый углерод ( $\text{CCl}_4$ ), дихлорэтан ( $\text{CH}_2\text{Cl}-\text{CH}_2\text{Cl}$ ), фреон-113 ( $\text{CCl}_3\text{C}-\text{CF}_3$ ), ацетон ( $\text{CH}_3-\text{CO}-\text{CH}_3$ ) и бензин.

В трихлорэтилене обезжиривают детали из никеля, железа, меди, молибдена, вольфрама и их сплавов. Трихлорэтилен растворяет жиры, смазки, лаки, краски, смолы, он не горюч и не образует взрывоопасных соединений с воздухом. Основной недостаток его — склонность к разложению под действием влаги, солнечных лучей, кислорода воздуха и при соприкосновении с кислотами, щелочами, щелочными и щелочноземельными металлами, магнием, алюминием с образованием при медленном разложении соляной кислоты, при быстром — соляной кислоты и фосгена. Разложившийся трихлорэтилен вызывает коррозию деталей. Стойкость трихлорэтилена повышается с добавлением в него монобутиламина. Детали, смоченные мыльными растворами и эмульсиями, в трихлорэтилене обезжиривать нельзя из-за образования нерастворимой клейкой массы.

В тетрагхлорэтилене можно обезжиривать детали из магния, алюминия и их сплавов, но он дорог.

Четыреххлористый углерод имеет большую растворяющую способность, но применяется реже, чем трихлорэтилен, из-за ядовитости, наличия примесей сернистых соединений и склонности к разложению.

Фреон обладает в 2 раза большей растворяющей способностью, чем трихлорэтилен, устойчив к алюминию и магнию, солнечный свет на него не действует.

Ацетон применяют для удаления с деталей небольших жировых, лаковых, смоляных и других загрязнений.

Бензин в основном применяют для обезжиривания щелочных и щелочноземельных металлов и деталей из алюминия и алюминиевых металлов от жиров, масел, однако широкому применению бензина препятствует его легкая воспламеняемость.

Обезжиривание в растворителях производят вручную (в вытяжных шкафах), на автоматических и полуавтоматических установках. В вытяжном шкафу устанавливаются 3—4 ванны с растворителем. На дне ванн смонтированы змеевики для нагрева растворителя паром, в шкаф подведены холодная, горячая и дистиллированная (или деионизованная) вода. Никелевые корзины, загруженные деталями, последовательно загружаются в ванны с растворителем, продолжительность обезжиривания в каждой ванне 3—5 мин.

Детали внутренней арматуры ламп, не требующие других видов химической обработки (травления, полирования, нанесения гальванических покрытий), после обезжиривания промывают водой, обезвоживают в спирте и сушат. Детали, подлежащие дальнейшей химической обработке, после обезжиривания сушат.

Схема полуавтоматической герметичной установки типа А471-20 для обезжиривания деталей в горячем трихлорэтилене показана на рис. 3-6.

Органические растворители позволяют обезжиривать детали сложной формы, они легко удаляются с поверхности деталей. Если отсутствует химическое взаимодействие между материалом деталей и растворителями, то органические растворители можно многократно использовать, регенерируя их очисткой от жировых загрязнений. Обезжиривание органическими растворителями — достаточно высокопроизводительный процесс. Однако он

не обеспечивает достаточно высокое качество очистки поверхности, так как не удаляются твердые загрязнения (пыль, остатки шлифовальных и полировальных паст и др.). Кроме того, органическими растворителями нельзя обезжиривать влажные детали, они вредно действуют на организм человека и довольно дороги.

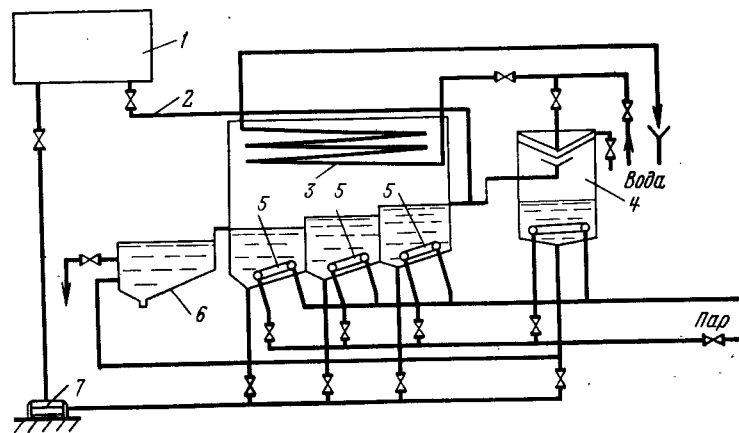


Рис. 3-6. Схема установки для очистки деталей с регенерацией трихлорэтилена.

1 — напорный бак; 2 — трубопровод наполнения ванн; 3 — охлаждающий змеевик; 4 — перегонный бак; 5 — змеевик парового обогрева; 6 — отстойник; 7 — насос.

**Обезжиривание в щелочных растворах** основано на химическом воздействии щелочей с жирами и маслами животного и растительного происхождения, которые превращаются в растворимые в воде соединения. Минеральные масла, смазки, твердые частички (пыль, сажа, следы полировальных паст и др.) в химическую реакцию со щелочью не вступают, а образуют сравнительно легко удаляемые с поверхности деталей эмульсии (если загрязнения жидкие) или суспензии (если загрязнения твердые).

Существуют различные способы обезжиривания в щелочных растворах: окунание (с механическим встряхиванием), обрызгивание деталей раствором, электрохимическое обезжиривание (с применением постоянного или переменного тока) и ультразвуковая очистка. Выбор того или иного способа обезжиривания в щелочных рас-

творях зависит от требований, предъявляемых к чистоте деталей, и их геометрической формы, серийности производства и др.

На качество обезжиривания влияют концентрация раствора, температура, способ перемешивания, структура и геометрическая форма обезжириваемой поверхности, режим промывки и сушки деталей.

Для приготовления щелочных растворов используют гидроокиси калия и натрия (KOH, NaOH), силикаты ( $K_2SiO_3$ ,  $Na_2SiO_3$ ), тринатрийфосфат ( $Na_3PO_4$ ) и соду ( $Na_2CO_3$ ).

В состав щелочных растворов вводят добавки поверхностно-активных веществ ПАВ, НПАВ, ОП. Препараты ОП-7, ОП-10, ОП-20 обладают сравнительно высокой моющей способностью, хорошей растворимостью в воде, отсутствием в их молекулах серы, фосфора, хлора и др., которые оказывают вредное воздействие на работу источников света.

Для обезжиривания деталей из стали, никеля, кобальта, молибдена, вольфрама и других стойких к щелочам металлов и сплавов рекомендуются растворы, указанные в табл. 3-3, а для обезжиривания деталей из цветных и легких металлов и сплавов — в табл. 3-4.

Таблица 3-3

Рецепты растворов для обезжиривания стойких к щелочам металлов

Раствор	Состав растворов, мг/см³				
	Тринатрий-фосфат	Гидроокись калия или натрия	Силикат калия или натрия	Сода	Поверхностно-активное вещество (ОП-7 или ОП-10)
I	10—20	—	25—50	—	1—3
II	30	50—60	5—15	30	5—7
III	30	—	—	—	3

Электрохимический способ обезжиривания применяется преимущественно при очистке деталей перед гальваническими покрытиями. Под влиянием пропускаемого тока бурно выделяющиеся на поверхности деталей газы (водород и кислород) механически срывают жировую пленку. Этот способ достаточно производительный и эффективный, но при обезжиривании на переменном токе или при включении деталей в качестве катода появля-

Таблица 3-4

Рецепты растворов для обезжиривания цветных металлов

Раствор	Состав растворов, мг/см³			
	Тринатрий-фосфат	Силикаты калия или натрия	Сода	Поверхностно-активное вещество (ОП-7 или ОП-10)
I (для всех цветных сплавов)	5—10	25—50	5—10	1—3
II (для меди)	35—40	5—10	20—25	3—5
III (для алюминия и его сплавов)	20—25	—	20—25	5—7

ется опасность наводороживания деталей, что может привести к ухудшению их механических свойств.

Электрохимическая очистка применяется для удаления аквадуга с поверхности вольфрамовых и молибденовых проволок.

Если деталь подвешена на катод, то процесс называется катодной очисткой, если на анод — анодной.

Катодная очистка имеет большую скорость, и удаление жировых загрязнений или окислов происходит без изменения размеров деталей. Однако при катодной очистке пузырьки водорода могут проникать в толщу материала очищаемой детали, что в конечном счете приведет к хрупкости деталей.

Таблица 3-5

Рецепты электролитов для электрохимической очистки

Материал детали	Состав электролита, вещество—мг/см³	Температура раствора, °C	Плотность тока, А/см²	Продолжительность процесса, мин
Стали различных марок	NaOH—10; $Na_2CO_3$ —25; $Na_3PO_4$ —25; ОП-10—3—5	50—60	0,05—0,1	5—10
Медь и ее сплавы	$Na_2CO_3$ —25—30; $Na_3PO_4$ —20—25; ОП-10—3—5	50—60	До 0,05	3—5
Никель, молибден, ковар	$Na_2CO_3$ —30—40; $Na_3PO_4$ —10—15; ОП-10—3—5	50—60	0,03—0,05	3—5

Составы электролитов и режимы электрохимической очистки деталей приведены в табл. 3-5.

#### б) ПРОМЫВКА В ВОДЕ

Промывка деталей в воде осуществляется в различных стадиях процесса очистки деталей — обезжиривания, травления и других операций. Вода растворяет многие минеральные соли, жировые и масляные эмульсии, мыла, а также различные механические соединения.

Промывка производится обычно в нагретой дистиллированной или деминерализованной проточной воде, в некоторых случаях может быть использована водопроводная вода. Качество промывки в водопроводной воде улучшается при использовании душевых устройств и при барботировании воды сжатым воздухом. Промывку деталей производят последовательно в нескольких ваннах с водой и затем в двух или трех ваннах с этиловым спиртом, метанолом или ацетоном, которые быстро поглощают остатки влаги.

Водопроводная вода содержит минеральные и органические вещества, удаление растворенных в ней примесей осуществляют дистилляцией или обессоливанием с помощью ионнообменных смол, что является более дешевым и высокопроизводительным способом.

Степень очистки воды определяется путем измерения ее электрического сопротивления. Так, допустимое значение сопротивления воды, применяемой при изготовлении деталей катодов газоразрядных ламп, должно быть не менее  $(1,0—1,5) \cdot 10^3$  Ом·м.

Для промывки деталей применяются различные установки, которые имеют несколько ванн для воды и спирта, сушильную камеру, резервный бак с запасом подогретой воды, насосы и фильтры, обеспечивающие непрерывную циркуляцию и очистку воды и спирта от механических примесей.

Наиболее эффективным способом является промывка деталей в проточной деминерализованной воде в ультразвуковой ванне, что позволяет снизить начальное содержание солевых загрязнений поверхности деталей в тысячу и более раз.

#### в) ТРАВЛЕНИЕ

Химическое травление производят в растворах кислот, щелочей, кислых солей или в расплавах этих соединений. Химическим травлением деталей и узлов удаля-

Рецепты электролитов и режимы для травления

Материал	Состав электролита	Продолжительность обработки, с	Температура, °С	Средняя толщина удаляемого слоя, мкм
Медь/МБ, МВ	а) 500 см <sup>3</sup> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 500 см <sup>3</sup> HNO <sub>3</sub> 5 мг/см <sup>3</sup> NaCl	20	20	2,5—3,0
	б) 90 мг/см <sup>3</sup> CrO <sub>3</sub> 17 см <sup>3</sup> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2 мг/см <sup>3</sup> NaCl	1—2	20	До 1
Молибден	а) 500 см <sup>3</sup> HNO <sub>3</sub> 250 см <sup>3</sup> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 250 см <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O	1—10	50—60	1—3
	б) 500 см <sup>3</sup> HNO <sub>3</sub> 500 см <sup>3</sup> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 10 мг/см <sup>3</sup> NaCl	2	20	До 2
Вольфрам	500 см <sup>3</sup> HNO <sub>3</sub> 300 см <sup>3</sup> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 200 см <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O	600—900	До кипения	
Тантал, ниобий	500—600 см <sup>3</sup> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 200 см <sup>3</sup> HNO <sub>3</sub> 200 см <sup>3</sup> HF	10—15	30—40	До 3
Титан	а) 500 см <sup>3</sup> HNO <sub>3</sub> 500 см <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O 5 мг/см <sup>3</sup> HF 600 см <sup>3</sup> HNO <sub>3</sub> 200 см <sup>3</sup> HF	120—600	18—25	2—5
		60	18—25	5—6
Ковар, никель	а) 330 см <sup>3</sup> HNO <sub>3</sub> 330 см <sup>3</sup> HCl 340 см <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O	10—30	70—80	5—15
	б) 1000 см <sup>3</sup> HCl	60—300	70—80	2—5
Платинит	а) 300 см <sup>3</sup> NH <sub>4</sub> Cl 20 см <sup>3</sup> HCl (конц.) 1000 см <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O	—	—	—
Константан	а) 500 см <sup>3</sup> HNO <sub>3</sub> 500 см <sup>3</sup> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 10 мг/см <sup>3</sup> NaCl	10—20	20	До 3
	б) 500 см <sup>3</sup> HNO <sub>3</sub> 250 см <sup>3</sup> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 250 см <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O	5—10	50—60	8—12

Материал	Состав электролита	Продолжительность обработки, с	Температура, °С	Средняя толщина удаляемого слоя, мкм
Сплав H47XB и другие высокохромистые стали	400 см <sup>3</sup> HCl 600 см <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O 25 мг/см <sup>3</sup> K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	До снятия окисной пленки		

Примечание. Плотность: серной кислоты 1840 кг/м<sup>3</sup>, азотной кислоты 1400 кг/м<sup>3</sup>, соляной кислоты 1190 кг/м<sup>3</sup> (кроме электролита для травления платинита).

ют загрязнения, химически связанные с поверхностью металла. При этом удаляется поверхностный слой металла, в котором обычно сосредоточено основное количество загрязнений. Травление производят также для получения матовой поверхности (глубокое травление) и для увеличения отражающей способности поверхности (блестящее травление).

Выбор состава раствора для травления зависит от материала детали, толщины слоя окисла, допустимых пределов изменения размеров деталей, требований к структуре поверхности металла и др.

Состав электролита и режимы химического травления деталей приведены в табл. 3-6.

Иногда применяют так называемое ступенчатое травление — последовательное погружение одной и той же детали в растворы различных кислот. Так, травление деталей из кобальта и углеродистых сталей производят последовательным погружением сначала в раствор соляной кислоты и воды (1:1), а затем в смесь растворов соляной, азотной кислот и воды (1:1:1). Оба раствора нагревают до 80—100 °С. В первой ванне соляная кислота за 5—15 мин в основном разрушает слой окисла, во второй — происходит окончательное удаление разрыхленного слоя окисла и равномерное растворение поверхностного слоя металла в течение 15—45 с. В качестве ингибитора в смесь обычно добавляют уротропин или ПБ-5.

Отсутствие достаточно надежных методов промывки деталей от остатков травильных растворов создает опасность адсорбции на поверхности металлов ионов Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, F<sup>-</sup> и др.

Поэтому наряду с разработкой эффективных методов промывки деталей в воде за последние годы были внедрены новые травильные

составы (тройные смеси), не содержащие ионов сильных минеральных кислот. Тройная смесь состоит из перекиси водорода (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), муравьиной кислоты (НСООН), воды и аммиака.

Травление деталей в этих смесях позволяет получить чистые поверхности. В табл. 3-7 приведены данные о степени травления в тройных смесях деталей из различных материалов.

Таблица 3-7

## Степень травления различных металлов в тройных смесях

Состав травильной смеси, % объемные			Среднее уменьшение толщины, мкм						
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	НСООН	H <sub>2</sub> O	Медь	Сталь	Ковар	Никель	Молибден	Вольфрам	Нержавеющая сталь
80	10	10	15	2,5	2,5	2,5	7,5	2,5	2,5
45	45	10	132	70	60	5,0	25	2,5	2,5
45	10	45	104	2,5	5,0	2,5	10	2,5	2,5
33	33	33	203	68	2,5	7,5	12,5	2,5	2,5
10	80	10	33	94	20	18	5	2,5	2,5
10	45	45	63	58	60	33	5,0	2,5	2,5
10	10	80	66	2,5	7,5	5,0	5,0	2,5	2,5

Рекомендуемые составы тройных смесей и режимы для травления деталей из различных металлов даны в табл. 3-8.

В щелочных растворах производят травление алюминия и его сплавов. Для этого применяют 20—25%-ные растворы едкого кали при температуре 50—80 °С. Продолжительность травления не более

Таблица 3-8

## Рецепты тройных смесей и режим травления для различных металлов

Материал детали	Состав травильной смеси, %				Режим травления		Средняя толщина удаляемого слоя, мкм
	НСООН	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	NH <sub>4</sub> OH	Т°, °С	Время выдержки, мин	
Медь	80	10	10	—	60	2	2,3
Никель	45	45	10	—	70	0,5	1,5—2,0
Сталь марки 10	45	45	10	—	70	2	5—7
Ковар	5	35	60	—	70	2	1,5—2
Титан	—	50	—	50	20	<30	<1
Вольфрам (травление)	10	45	45	—	80	3—5	<2
Вольфрам (снятие слоя аквадага)	30	70	—	—	80	1—5	—
Молибден (травление):							1—2
режим 1	—	80	10	10	20	0,5—1	
режим 2	—	20	75	5	70	1—2	
Молибден (вытравливание сердечника в спиралах)	55—75	25—50	—	—	65—75	10	—

2 мин. Равномерное протекание процесса травления достигается добавлением в щелочной раствор 20 мг/см<sup>3</sup> хлористого калия или натрия.

**Электрохимическое травление** основано на процессе электролитической диссоциации и электролиза. Детали подсоединяют к одному из электродов. Под действием электрического поля в растворе кислоты или щелочи положительные ионы водорода ( $H^{+1}$ ) движутся к катоду, нейтрализуются на нем и выделяются в виде пузырьков водорода. Отрицательные ионы гидроксила ( $OH^{-1}$ ) движутся к аноду, разлагаются на нем и выделяются в виде пузырьков кислорода.

**Электрохимическая обработка проволоки из тугоплавких металлов** применяется в производстве источников света для самых разнообразных целей — травления, очистки, полирования и оксидирования.

Механизм процесса электрохимической очистки проволоки состоит в том, что анодная составляющая переменного тока вызывает растворение слоя металла под графитовой смазкой, благодаря чему ее связь с проволокой ослабляется. Выделение газообразного водорода способствует отделению графитовой оболочки и ее сбрасыванию в электролит. Для полного удаления графита проволока после электролизных ванн пропускается через ряд протирочных устройств.

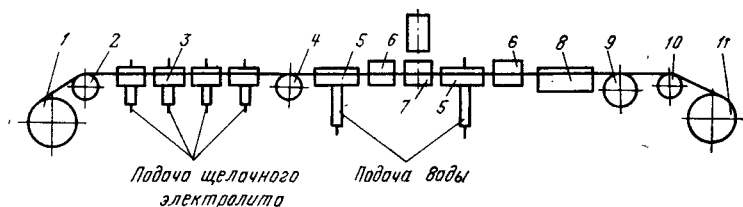


Рис. 3-7. Принципиальная схема процесса электрохимической очистки проволоки.

Принципиальная схема процесса электрохимической очистки проволоки показана на рис. 3-7.

Проволока, поступающая со смоточной катушки 1, проходит через направляющий ролик 2 и поступает в последовательно расположенные четыре секции ванны 3, куда центробежным насосом подается щелочной раствор. Далее проволока проходит через направляющий ролик 4, промывочную ванну 5, протирается ватой в коробке

6, нейтрализуется раствором соляной кислоты в устройстве 7, вторично промывается водой в ванне 8, протирается в коробке 6, после чего подсушивается в электропечи 8 и, пройдя ролик счетчика 9 и направляющий ролик 10, наматывается на приемную катушку 11.

Высококачественная очистка поверхности проволоки происходит, когда масса отрезка проволоки диаметром 20—100 мкм уменьшается на 3—6%, а проволоки диа-

Таблица 3-9

Режимы очистки проволоки на установке электрохимической очистки

Диаметр проволоки, мкм	Ток, А	Плотность тока, А/см <sup>2</sup>	Скорость очистки, м/мин	Диаметр проволоки, мкм	Ток, А	Плотность тока, А/см <sup>2</sup>	Скорость очистки, м/мин
Вольфрам				Молибден			
20	1,0	2,75	60	20	1,2	3,3	60
30	1,5	2,75	60	30	2,5	4,6	60
40	2,5	3,4	60	40	4,0	5,5	60
50	4,0	4,4	60	50	5,5	6,0	60
60	6,0	5,5	60	60	7,0	6,4	60
70	8,0	6,3	60	70	8,5	6,7	40
80	10,0	6,8	60	80	10,0	6,9	40
90	12,0	7,3	60	90	12,0	7,3	40
100	14,0	7,7	40	100	12,0	6,6	20
125	16,0	7,0	40	125	14,0	6,6	20
150	18,0	6,6	40	150	16,0	6,15	20
175	20,0	6,3	40	175	18,0	5,85	20
200	22,0	6,0	40	200	20,0	5,65	20
225	24,0	5,85	40	250	25,0	5,5	20
250	26,0	5,7	40	300	30,0	5,5	20
275	28,0	5,6	40	400	60,0	5,3	12
300	30,0	5,5	40	500	70,0	5,0	8
400	50	3,5	12	600	80,0	4,7	8
500	60	3,5	12	700	85,0	4,3	8
600	80	4,0	12	800	90,0	4,0	4
800	100	4,4	8	1000	120	4,25	4

метром 100—300 мкм — на 2—5%. Меньшее стравливание металла ведет к недостаточной очистке проволоки.

Режим очистки вольфрамовых и молибденовых проволок от графитовой смазки и окислов приведен в табл. 3-9.

Очистка вольфрамовых и молибденовых проволок от графитовой смазки и окислов диаметром 0,3—1,0 мм производится на установках электрохимической очистки.

Установка представляет собой стол, на котором размещены устройства для перемотки проволоки и электролизная ванна. Электролизная ванна однолинейная, имеет четыре основных и три вспомогательных секции. Основные секции предназначены для электролитической обработки, вспомогательные — для промывки и нейтрализации проволоки.

Процесс очистки поверхности проволоки сопровождается уменьшением ее диаметра на 1—2,5%.

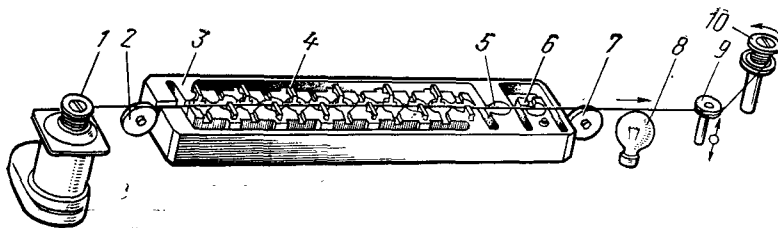


Рис. 3-8. Технологическая схема процесса изготовления микропроволоки методом электрохимического травления.

1 — смоточная катушка; 2, 7 — направляющие ролики; 3 — блок травления, имеющий 12 последовательных секций; 4 — нерастворимые электроды; 5 — секция нейтрализации электролита; 6 — промывное устройство; 8 — сушильная лампа; 9 — ролик раскладки; 10 — приемная катушка.

Для электролитического полирования проволоки на установках электрохимической очистки предусмотрено питание электролизных ванн постоянным током, при этом для вольфрама применяют 5%-ный раствор едкого натра, а для полирования молибдена — 60%-ный раствор серной кислоты. Скорость перемотки при полировании снижается до 2,5—5 м/мин. Очистка поверхности танталовой проволоки происходит с большим трудом из-за высокой коррозионной стойкости металла, его способности поглощать газы и образовывать соединения, вызывающие хрупкость проволоки. Очистка тантала ведется методом анодного травления в 40%-ном растворе плавиковой кислоты.

Тантал нельзя электролитически обрабатывать на переменном токе, так как при этом он поглощает водород и становится хрупким.

**Изготовление вольфрамовой микропроволоки диаметром 3—10 мкм методом электрохимического травления.** Тончайшим волочением получают вольфрамовую проволоку только до диаметра 12 мкм. Микропроволока диаметром менее 10 мкм широко применяется в производ-

ве микроминиатюрных ламп накаливания. Получить такую проволоку возможно только электролитическим травлением. Установки электролитического травления основаны на биполярном принципе — электрический ток подводится не непосредственно к проволоке, а к нерастворимым электродам ванн, и электрическая цепь замыкается самой проволокой.

Технологическая схема процесса изготовления микропроволоки методом электрохимического травления изображена на рис. 3-8.

#### г) ПОЛИРОВАНИЕ

Полирование — это разновидность травления, при котором поверхность деталей становится гладкой и блестящей за счет удаления заусенцев и микронеровностей.

**Химическое полирование** — обработка металлических деталей полирующим электролитом. Химическим полированием можно полировать изделия сложной формы и любых размеров, оно является более производительным, чем электрохимический способ.

Поверхность металла или сплава имеет шероховатости, причем растворение и удаление окислов на выступах происходит быстрее, чем во впадинах, поскольку окислы на выступах обладают большей пористостью и, следовательно, меньшей химической устойчивостью к полирующему раствору. Растворение выступов приводит к сглаживанию поверхности детали (удаление неровностей размером от 1 до 10—15 мкм) и гляцеванию (устранение мелких шероховатостей размером менее 1 мкм). При наличии на поверхности полируемых деталей толстых и плотных слоев окисла рекомендуется удалять их в обычных травильных растворах и затем производить химическую полировку.

Растворы для химического полирования состоят из нескольких компонентов, выполняющих различные функции. Азотная и серная кислоты служат для протравливания поверхности детали и удаления с нее окислов. Уксусная, ортофосфорная и хлорная кислоты вводятся для образования вязкой пленки на полируемых деталях.

Состав электролитов и режимы химического полирования деталей из различных металлов приведены в табл. 3-10.

**Электрохимическое полирование** — это процесс анодного растворения металлов. Полируемая деталь всегда



подвешивается на положительно заряженный электрод — анод.

Схема установки для электрохимического полирования изображена на рис. 3-9. Ванна заполняется полирующим электролитом. На анод подвешивают или за-

Таблица 3-10

Рецепты электролитов и режимы для химического полирования

Наименование материала	Состав электролита	Температура, °C	Продолжительность обработки, с	Средняя толщина удаляемого слоя материала, мкм
Медь	550 см <sup>3</sup> H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 200 см <sup>3</sup> HNO <sub>3</sub> 250 см <sup>3</sup> CH <sub>3</sub> COOH (уксусная кислота) 0,2 мг/см <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> N <sub>2</sub> S (тиомочевина)	18—25	180—300	7—10
Никель	700 см <sup>3</sup> CH <sub>3</sub> COOH 400 см <sup>3</sup> HNO <sub>3</sub> 5 см <sup>3</sup> HCl	70—80	20—40	3—10
Ковар	50 мг/см <sup>3</sup> CH <sub>3</sub> COOH 300 см <sup>3</sup> HNO <sub>3</sub> 5 см <sup>3</sup> HCl	70—80	20—40	10—16
Низкоуглеродистые стали	50 мг/см <sup>3</sup> COOH—COOH (щавелевая кислота) 100 см <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (30%-ная) 10 <sup>3</sup> см <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O	90—900		10—30
Титан	450 см <sup>3</sup> HNO <sub>3</sub> 400 см <sup>3</sup> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 200 см <sup>3</sup> HF	18—20	30—60	—

Примечание. Плотности: азотной кислоты 1400 кг/м<sup>3</sup>, серной кислоты 1840 кг/м<sup>3</sup>, плавиковой кислоты 1150 кг/м<sup>3</sup>, соляной кислоты 1190 кг/м<sup>3</sup>, ортофосфорной кислоты 1700 кг/м<sup>3</sup>, уксусной кислоты 1065 кг/м<sup>3</sup>.

крепляют полируемые детали, при этом они не должны экранировать друг друга. Во время полирования электролит перемешивают или покачивают анодные штанги для удаления пузырьков кислорода со всех участков деталей. Чем выше температура электролита и интенсивнее перемешивание, тем большая плотность тока необ-

ходима для получения хорошо отполированной поверхности. В зависимости от материала детали и типа электролита напряжение на ванне выбирается в пределах 5—15 В. В местах выступов поверхности деталей плотность тока больше, чем во впадинах. Поэтому выступы растворяются с большей скоростью, чем впадины, и поверхность детали сглаживается.

Электрохимическое полирование обеспечивает более высокий коэффициент отражения, чем химическое полирование. К недостаткам электрохимического полирования относятся затруднения в обработке сложного профиля, малых отверстий, узких каналов, возможности изменения геометрических размеров деталей.

В состав электролита для электрохимического полирования входит ряд компонентов, выполняющих различные функции. В качестве присадки в электролит добавляют хромовый ангидрид для пассивирования поверхности деталей и защиты их от химического разъедания электролитом при отсутствии электрического тока. Кроме того, хромовый ангидрид, как и глицерин, лимонная и уксусная кислоты, способствует получению очень блестящей поверхности деталей при меньших плотностях тока.

Для нейтрализации следов кислоты на отполированных деталях после выгрузки из электролитической ванны их помещают в 5—20%-ный раствор соды.

Составы электролитов и режимы электролитической полировки деталей из различных металлов приведены в табл. 3-11.

#### д) ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

На различных стадиях изготовления источников света многие детали внутри ламп подвергаются нагреву и из них выделяются газы (H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> и др.),

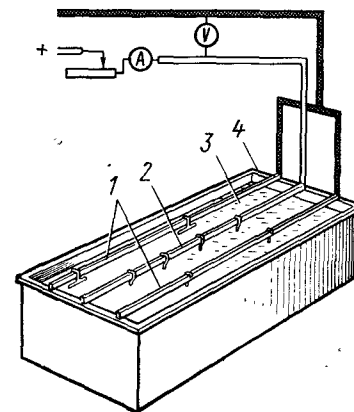


Рис. 3-9. Схема установки для электрохимического полирования.

1 — катоды; 2 — аноды, на которые подвешиваются обрабатываемые детали; 3 — электролит; 4 — ванна.

Таблица 3-11

## Рецепты электролитов и режимы электрохимического полирования

Материал	Состав электролита, см <sup>3</sup>	Плотность тока, А/см <sup>2</sup>	Напряжение, В	Температура, °С	Продолжительность обработки, с
Алюминий	а) HClO <sub>4</sub> — 45 Этиловый спирт — 800 H <sub>2</sub> O (дистиллированная) — 155	2—4	100—200	<35	8—12
	б) HClO <sub>4</sub> — 165 (CH <sub>3</sub> CO) <sub>2</sub> O Уксусный ангидрид — 785 H <sub>2</sub> O (дистиллированная) — 50	0,03—0,05	50—100	<50	600—900
Медь	а) H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> — 670 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> — 100 H <sub>2</sub> O (дистиллированная) — 270	0,1	2—2,2	22	—
	б) H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> — 700 Глицерин — 300	0,02—0,04	—	20—30	60—120
Железо	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> — 530 H <sub>2</sub> O (дистиллированная) — 470	0,006	0,5—2,0	15—20	8—10
Молибден	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (конц.) — 35 H <sub>2</sub> O (дистиллированная) — 140	—	12	50	—
Никель	HClO <sub>4</sub> — 210 H <sub>2</sub> O — 790	0,2	22	20	—
Тантал	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> — 90 HF — 10	0,1	—	34—45	9
Титан	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> — 10 (CH <sub>3</sub> CO) <sub>2</sub> O — 200	1,0	2	<5	4
Вольфрам	NaOH — 100 H <sub>2</sub> O (дистиллированная) — 900	0,03—0,03	—	20	20—30
Углеродистая сталь	HClO <sub>4</sub> — 185 (CH <sub>3</sub> CO) <sub>2</sub> O — 765 H <sub>2</sub> O (дистиллированная) — 50	0,04—0,07	50	<30	4—10

которые ухудшают вакуум, изменяют давление газа в лампах или приводят к отравлению катода.

Для удаления газов из металлических деталей и узлов и очистки их поверхности широко используются термические методы обработки — отжиг деталей в водороде, окислительно-восстановительный отжиг, отжиг в вакууме, комбинированный отжиг в различных атмосферах и др. Кроме того, отжиг придает деталям формоустойчивость за счет снятия механических напряжений.

Термической очистке должна предшествовать тщательная очистка поверхности деталей от органических и

солевых загрязнений химическими методами, в противном случае на поверхности могут появиться темные пятна, различные налеты, включения и др.

Температура отжига металлических деталей определяется температурой плавления и температурой рекристаллизации металла, из которого изготовлена деталь. Наилучшие результаты получаются в большинстве случаев при нагреве металлов до температуры, лежащей несколько выше температуры начала рекристаллизации, которую можно полагать равной 40% температуры плавления (в кельвинах).

Выбор вида отжига деталей источников света определяется свойствами металла, из которого изготовлены детали и узлы, назначением деталей в лампах, соображениями экономичности в производстве, техникой безопасности и др.

Наибольшим распространением пользуются отжиг в атмосфере водорода и отжиг в вакууме. Другие виды отжига применяются в производстве в значительно меньших объемах.

**Отжиг в водороде.** Во время отжига водород восстанавливает окислы большинства металлов, диффундирует с высокой скоростью в глубь их кристаллической решетки, вытесняя ряд других газов, а затем легко удаляется из деталей в процессе вакуумной обработки ламп. Для отжига используется водород с минимальным количеством примесей кислорода и влаги при достаточно высокой скорости его подачи и вывода из печей (влаги не более 0,001% и кислорода 0,005% в объемном исчислении при скорости подачи 0,3—0,4 м<sup>3</sup>/ч). В водороде отжигают большинство металлов: вольфрам, молибден, никель, бескислородную медь и их сплавы.

Ряд металлов, например тантал, цирконий, обычная медь, при отжиге в водороде резко меняют свои свойства — появляется хрупкость и теряется способность поглощать газы («водородная болезнь»).

Отожженные в водороде детали имеют повышенную коррозионную стойкость. Отжиг в увлажненном водороде (точка росы в пределах 15—25°C) применяется для очистки проволок из вольфрама, молибдена или из их сплавов от остатков аквадага. При этом происходит окисление углерода до CO<sub>2</sub>. Кроме того, в увлажненном водороде отжигают детали, предназначенные для впаивания в стекло (ковар, железохромовые сплавы), на ко-

торых образуется тонкая, плотная пленка окисла, обеспечивающая получение надежного герметичного спая металла со стеклом.

Для отжига металлических деталей в атмосфере водорода используют электрические печи непрерывного действия (рис. 3-10) с максимальной рабочей температурой 1100—1300 °С.

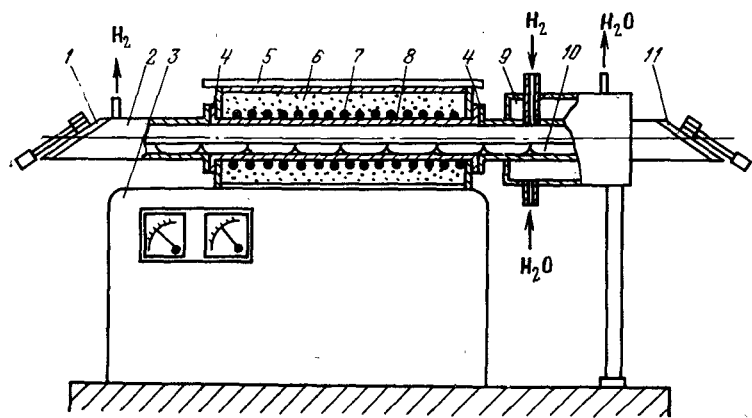


Рис. 3-10. Печь водородного отжига.

1 — крышка загрузки; 2 — загрузочная часть печи; 3 — каркас; 4 — фланцы; 5 — крышка печи; 6 — алундовая засыпка; 7 — нагреватель; 8 — муфель; 9 — холодильник; 10 — место выгрузки; 11 — крышка выгрузки.

Рекомендуемые режимы отжига металлических деталей и узлов в водороде приведены в табл. 3-12.

При выборе режимов отжига в водороде руководствуются следующим:

температура, время выдержки деталей в горячей зоне печи, чистота и скорость прохождения водорода должны обеспечить восстановление окислов металла;

режимы отжига должны обеспечить деталям необходимые механические свойства и сохранение начальной формы;

выбор режимов охлаждения деталей определяется температурной зависимостью растворимости газов в металлах и должен исключать возможность повторного окисления деталей.

Рекомендуемые режимы отжига проволок из вольфрама, молибдена и сплава ВР-20 в атмосфере увлажненного водорода приведены в табл. 3-13.

**Отжиг в вакууме.** Отжиг в вакууме производится для обезгаживания деталей, кроме того, происходит снятие внутренних напряжений. При отжиге деталей в вакууме

Таблица 3-12

Режимы отжига в водородных печах

Наименование металла	Толщина, мм	Режим отжига		
		Температура, °С	Время выдержки, мин	
			Нагрев	Охлаждение
Никелевая лента различных марок	0,05—0,1	700±25	5—10	20—30
	0,1—0,2	750±25	5—10	20—30
	0,2—0,3	850±25	10—15	30—45
	0,3—0,8	950±25	15—20	30—45
	0,9 и выше	1000±25	15—20	30—45
Никелевая проволока	0,1—0,5	800±25	10—20	20—30
Медь (МБ, МВ) — мягкие детали, проволока	0,1—0,5	650±25	10—15	20—30
Ковар	0,1—1,0	1110±25	20—40	40—60
Молибден	Крупные детали Проволока 0,1—0,5	1050±50	30—40	30—40
		1050±50	10—15	20—30
Железо Армко, сталь марки 20	0,1—0,3	1030±80	10—30	20—60
Константан	0,1—0,5	800±25	10—15	До 45
Вольфрам	0,1—0,6	1350±150	20—30	До 30

удаляются не только сорбированные газы, но и значительная часть химически связанных газов (в виде окислов, нитридов и др.). В вакууме отжигают детали, изготовленные из металлов, которые нельзя отжигать в водороде: титан, тантал, ниобий, цирконий, торий и др., которые, взаимодействуя с водородом, образуют гидриды. Кроме того, в вакууме отжигают также все

металлы, содержащие в качестве легирующих добавок хром, ванадий, титан, так как при отжиге в водороде возможно их окисление.

Температуру отжига принимают равной 75% температуры плавления металла в кельвинах.

Обычно температура отжига деталей в вакууме на 300—400 °С выше их рабочей температуры в лампе и примерно на 200 °С выше температуры обезгаживания деталей при откачке ламп.

Таблица 3-13

Режимы отжига тугоплавких проволок в водородных печах

Материал	Диаметр проволоки, мкм	Температура отжига, °С	Скорость протяжки через печь, м/мин
Вольфрам	25—30	а) 1100	8,5—10
	25—30	б) 1375±25	8—10
	До 40	1250±50	8—10
	40—60	1425±25	До 20
	60—80	1425±25	8,5—10
	60—90	1475±25	10—15
	90—120	1475±25	До 10
	150—200	1475±25	До 10
Сплав ВТ-20	20—50	1625±25	8—10
	120—150	1250±50	8—10
	350	1625±25	3
Молибден и сплав МВ-50	100—140	1250±50	10—13
	200	1375±25	10—13

Максимальная температура обезгаживания деталей в вакууме определяется физическими и химическими свойствами материалов, скоростью испарения, их структурой и др.

Отжиг деталей в вакууме производится в высокотемпературных печах с молибденовыми нагревателями или в установках с высокочастотным нагревом. Процесс отжига деталей в вакуумной печи состоит из загрузки деталей в печь, откачки до требуемого давления, нагрева и охлаждения деталей в вакууме.

Для отжига большинства деталей достаточен вакуум не ниже  $10^{-3}$  Па, для деталей из тантала, титана, ниобия и др. необходим вакуум  $10^{-4}$ — $10^{-5}$  Па. Вакуумные

печи (установки) оборудуются вращательными масляными и паромасляными диффузионными насосами, а за последние годы — высокопроизводительными безмасляными насосами.

### 3-3. ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ МЕТАЛЛОВ

Гальванические покрытия — это процесс электролитического нанесения металлических покрытий, который основан на осаждении металлов из водных растворов их солей под действием постоянного электрического тока.

При электролизе растворов солей положительные ионы металлов под действием разности потенциалов направляются к катоду и осаждаются на нем в виде металлических частиц; отрицательно заряженные частицы движутся к аноду и, разряжаясь, переходят в раствор в виде положительных ионов. В качестве катодов электролитических ванн служат покрываемые детали, в качестве анодов — металл, которым покрываются детали.

В производстве источников света применяются цинкование, никелирование и хромирование деталей. В зависимости от размера, формы деталей и массовости гальванические покрытия производят в стационарных, барабанных или колокольных ваннах.

Перед гальваническими покрытиями детали тщательно очищают от загрязнений.

Процесс цинкования в производстве источников света широко используется при изготовлении цоколей, описание этого процесса изложено в § 3-4.

**Никелирование** применяют для защиты деталей от коррозии и придания им декоративного вида. Никелем покрывают в основном детали из стали, меди и ее сплавов.

Цвет никелевых покрытий серебристо-белый с желтоватым оттенком; они легко полируются, но со временем тускнеют. Покрытия характеризуются мелкокристаллической структурой, хорошим сцеплением со стальной и медной основой и способностью пассивироваться на воздухе.

В зависимости от назначения деталей, их размеров и формы, требований, предъявляемых к свойствам покрытий, серийности производства и других факторов никелирование производится в электролитах различного состава.

Основой никелевых электролитов являются хлористые соли никеля, калия, натрия или аммония. Примерный состав электролита ( $\text{мг/см}^3$ ): сернистый никель 70—100, борная кислота 15—20; хлористый натрий 15. Концентрация водородных ионов (рН) 5,3—5,5, температура 20—30 °С, плотность тока 0,01 А/см<sup>2</sup>.

Электролиты для никелирования чувствительны к присутствию в них загрязнений. Пористость никелевых покрытий является основным дефектом покрытия, влияющим на защиту изделий от коррозии. Повышенная пористость никеля объясняется загрязнением раствора солями железа в количестве свыше 0,2—0,3 мг/см<sup>3</sup> при повышенных плотностях тока и кислотности ванны. Для уменьшения пористости применяют многослойные покрытия. Пористость никеля уменьшается с увеличением толщины слоя, и практически, начиная от 25 мкм, никелевые покрытия имеют минимальное количество пор.

Для деталей, работающих в закрытых помещениях, толщина покрытий достаточна в пределах 10—15 мкм, для обычных атмосферных условий достаточно 25 мкм, и беспористое покрытие получают при толщине 50 мкм.

Никелирование может быть матовое и блестящее.

Электролиты матового никелирования создают покрытия, улучшающие смачиваемость поверхности многих металлов. Такие поверхности удобны для пайки, они обладают высокими защитными свойствами. Для приобретения декоративных качеств матовые поверхности требуют последующей шлифовки и полировки.

Электролиты блестящего никелирования создают мелкокристаллические плотные покрытия и почти не требуют полировки.

На ряде заводов внедрен электролит для блестящего никелирования с выравниванием поверхности. Электролит выравнивает микрогеометрические неровности поверхности и дает блестящие покрытия на неполированной матовой основе.

Применение этого метода никелирования дает возможность уменьшить толщину наносимого покрытия на величину слоя никеля, снимаемого при полировке обычных покрытий.

Состав такого электролита следующий:

сернистый никель 250 мг/см<sup>3</sup>;

хлористый никель 60 мг/см<sup>3</sup>;

борная кислота 40 мг/см<sup>3</sup>;

паратолуолсульфамид (блескообразователь) или хлорамин «Б» 44 л;

антипиттинговая добавка (синтапон в порошке или мыльный корень) 0,03—0,04 мг/см<sup>3</sup>;

сахарин (для устранения хрупкости) 2—3 мг/см<sup>3</sup>;

выравнивающая добавка 0,004 см<sup>3</sup> на 1 см<sup>3</sup> раствора;

формальдегид (40%-ный, ежедневная добавка)  $2 \cdot 10^{-5}$  см<sup>3</sup> на 1 см<sup>3</sup> раствора.

Выравнивающая добавка готовится из следующих компонентов: кумарин 125 г, ледяная уксусная кислота 450 см<sup>3</sup>, углекислый никель 150 г, вода до 1000 см<sup>3</sup>.

Формальдегид добавляется в электролит для стабилизации блескообразующей добавки.

Режим никелирования: плотность тока 0,05—0,06 А/см<sup>2</sup>, температура 55—65 °С, рН 4,5—5,5.

Последнее время для изготовления электродов вместо никелевой проволоки применяют стальную никелированную.

Схема 10-ручьевого устройства для никелирования стальной проволоки диаметром 0,5—0,8 мм представлена на рис. 3-11.

Проволока, сматываясь с десяти катушек смоточного механизма 1, последовательно проходит контактный барабан 2, служащий для подвода напряжения к проволоке, ванну 3 для обезжиривания, ванну промывки в горячей воде 4, ванну травления 5, ванну промывки в холодной воде 6, механизм изменения направления движения проволоки 7, ванну никелирования 8, тянущий барабан 9 и наматывается на вращающиеся катушки 10 механизма намотки.

Подача электролита в ванну из расположенного под ней резервуара через трубку 11 осуществляется сжатым воздухом, очищенным от механических примесей и подаваемым через трубопроводы 12 и 13 с помощью электромагнитных клапанов 14.

При подаче сжатого воздуха через трубопровод 12 электролит подается в ванну из левой полости резервуара, а слив из нее происходит в правую полость. При подаче воздуха через трубопровод 13 движение жидкости будет происходить в обратном направлении. Непрерывная подача и слив растворов обеспечивают их интенсивное перемешивание. В ваннах обезжиривания и никелирования предусмотрен подогрев растворов. Устройство ванн для травления и обезжиривания аналогично.

Обезжиривание проволоки производится электрохимическим способом. Состав электролита: NaOH — мг/см<sup>3</sup>, NaCO<sub>3</sub> — мг/см<sup>3</sup>, жидкое стекло — мг/см<sup>3</sup> при плотности тока 0,25—0,30 А/см<sup>2</sup> и температура электролита 70—80 °С.

Травление — химическим способом в 40%-ной соляной кислоте (плотность 1190 кг/м<sup>3</sup>) при температуре 20—25 °С.

Никелирование производится в электролите: 250 мг/см<sup>3</sup> NiSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O; 25 мг/см<sup>3</sup> NiCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O; 40 мг/см<sup>3</sup> H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>.

Электролит имеет рН 2,0—2,2, температуру 55—60 °С. Плотность тока 0,20—0,60 А/см<sup>2</sup>. Толщина покрытия составляет 8—10 мкм, производительность установки до 3,5 м/мин.

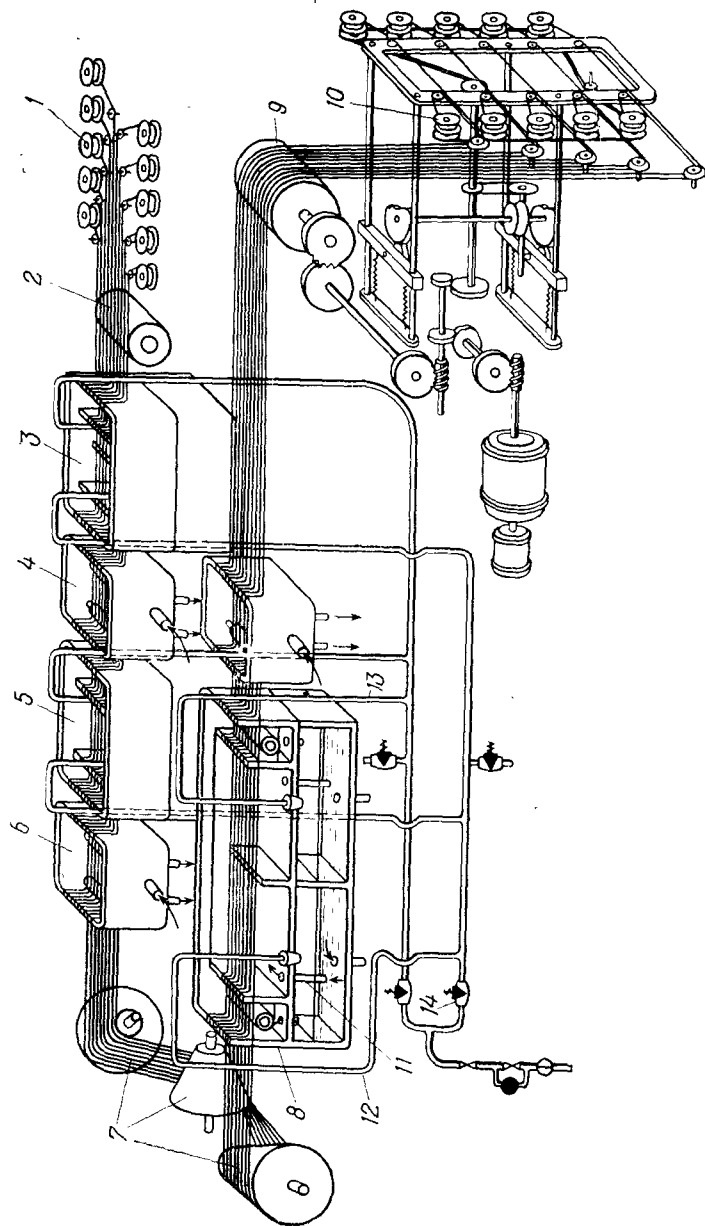


Рис. 3-11. Схема 10-ручевой установки для никелирования стальной проволоки

**Хромирование.** Хромовые покрытия обладают высокими твердостью и износостойкостью, низким коэффициентом трения, прочно сцепляются с основным металлом, а также химически и нагревостойки.

Хромирование производят для создания блестящей поверхности изделиям (декоративное хромирование) и для повышения сопротивления механическому износу (твердое износостойчивое хромирование). В соответствии с этим различаются и технологические процессы хромирования. Для улучшения коррозионной стойкости при декоративном хромировании в качестве подслоя наносят никель, медь или комбинируют слои этих металлов. Хромирование пресс-форм, измерительных калибров и лекал значительно увеличивает их износостойкость. Хром плохо смачивается смазочными маслами, поэтому для повышения износостойкости трущихся деталей применяют так называемое пористое хромирование. Поверхность, испещренная микроскопическими каналами, хорошо удерживает масло.

Процесс электролитического осаждения хрома значительно отличается от других процессов и по составу электролита и по режимам осаждения. Электролиты для хромирования состоят в основном из веществ, содержащих хром в виде хромовой кислоты.

Для осаждения хрома требуется значительно более высокая плотность тока, чем при других покрытиях. Хром осаждается с выделением водорода (на катоде) и кислорода (на аноде), которые увлекают с собой капельки ядовитой хромовой кислоты, что требует устройства более мощной вентиляции.

При хромировании значительная часть тока расходуется на побочные процессы, в том числе и на разложение воды и выделение тепла. Выход хрома по току весьма мал (от 12 до 15%). Хромирование производится при напряжении 10—12 В.

В качестве нерастворимых анодов применяются преимущественно свинец или сплав свинца с 6% сурьмы. Нерастворимые аноды требуют частых добавок в электролит хромовой кислоты.

Свойства хромовых покрытий, которые подразделяются на матовые, блестящие и молочные, зависят от условий осаждения, т. е. от состава и концентрации электролита, плотности тока, температуры, размеров анодов, их расположения и т. д.

Для разных условий производства могут быть рекомендованы следующие составы электролитов и режимы хромирования:

- а) 250 мг/см<sup>3</sup> CrO<sub>3</sub>;  
2,5 мг/см<sup>3</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>;  
1000 см<sup>3</sup> воды.

Плотность тока 0,15 А/см<sup>2</sup> при температуре 45 °С, 0,25 А/см<sup>2</sup> при 50 °С и 0,35 А/см<sup>2</sup> при 55 °С.

- б) 350 мг/см<sup>3</sup> CrO<sub>3</sub>;  
3,5—4,5 мг/см<sup>3</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>;  
1000 см<sup>3</sup> воды.

Плотность тока 0,15—0,25 А/см<sup>2</sup> при температуре 50 °С.

Состав рекомендуется для хромирования профилированных изделий и для хромирования по никелю.

- в) 120—150 мг/см<sup>3</sup> CrO<sub>3</sub>;  
1—1,5 мг/см<sup>3</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>;  
1000 см<sup>3</sup> воды.

Плотность тока 0,30—0,40 А/см<sup>2</sup> при температуре 50—55 °С.

Состав рекомендуется для износостойчивого хромирования профилированных деталей простой формы.

Одним из требований к электролитам для хромирования является постоянство соотношения CrO<sub>3</sub>:SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, которое не должно выходить за пределы 100—200. При нарушении этого соотношения изменяются выход по току, рассеивающая способность (неравномерное распределение тока) и структура осадков

Для повышения устойчивости хромовых электролитов в работе путем поддержания постоянства соотношения CrO<sub>3</sub>:SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> применяют саморегулирующиеся электролиты. Для этого в хромовый электролит добавляют сульфат стронция SrSO<sub>4</sub> и кремнефтористый калий K<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>, имеющие ограниченную растворимость в электролите. Эти соли, находясь в небольшом избытке на дне ванны, при изменении концентрации CrO<sub>3</sub> автоматически поддерживают ее за счет частичного растворения.

В состав такого электролита входят:

- 250 мг/см<sup>3</sup> (очищенный от примесей сульфатов) CrO<sub>3</sub>;  
6 мг/см<sup>3</sup> SrSO<sub>4</sub>;  
20 мг/см<sup>3</sup> K<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>.

Плотность тока 0,4—0,8 А/см<sup>2</sup>, температура 55—65 °С.

Этот электролит не нуждается в частой корректировке, менее чувствителен к изменениям температуры и благодаря повышенному выходу по току значительно производительней (в 1,5 раза) обычных хромовых электролитов.

За последнее время внедрен новый способ холодного защитного (антикоррозийного) хромирования с применением раствора тетраchromата. Этот способ позволяет получать практически беспористые покрытия хрома, отличающиеся высокой коррозионной стойкостью и имеющие повышенный выход по току (25—30%).

Покрытия, полученные из тетраchromатного электролита, имеют матовый серый цвет, однако после полирования приобретают блеск, присущий хрому.

Состав электролита:

- 375 мг/см<sup>3</sup> CrO<sub>3</sub>;  
50 мг/см<sup>3</sup> NaOH;  
0,8—1,0 мг/см<sup>3</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>;  
2—3 мг/см<sup>3</sup> MgSO<sub>4</sub>.

В электролите образуются ионы трехвалентного хрома 5—20 мг/см<sup>3</sup>.

Хромирование производится при плотности тока 0,2—0,3 А/см<sup>2</sup> и температуре 15—25 °С.

### 3-4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЦОКОЛЕЙ

Цоколи предназначены для фиксации внешних выводов ламп и создания необходимого контакта с патроном светильника.

Цоколи в зависимости от назначения и требований к эксплуатации ламп имеют различные конструкции (рис. 3-12). Например, для ламп накаливания общего назначения, миниатюрных ламп, ламп ДРЛ, натриевых ламп низкого и высокого давления и др. используются в основном резьбовые цоколи различных размеров (рис. 3-12,а).

Автомобильные, кинопроекторные и другие лампы, где требуется фиксация тела накала в определенном положении, применяются фокусирующие цоколи (рис. 3-12,б).

Лампы, которые работают в условиях вибраций, тряски (железнодорожные, трамвайные, самолетные и др.), имеют штифтовые цоколи (рис. 3-12,в).

У ламп, имеющих двусторонние выводы (люминесцентные, софитные лампы накаливания, галогенные и др.), цоколи имеют форму колпачка (рис. 3-12,г).

Цоколи изготавливаются из низкоуглеродистой стали, латуни, никеля и алюминия. Стальные цоколи обяза-

гельно цинкуются, а некоторые латунные цоколи покрываются небольшим слоем никеля.

В соответствии с международными рекомендациями на большинство выпускаемых цоколей разработаны отечественные стандарты, регламентирующие габаритные и

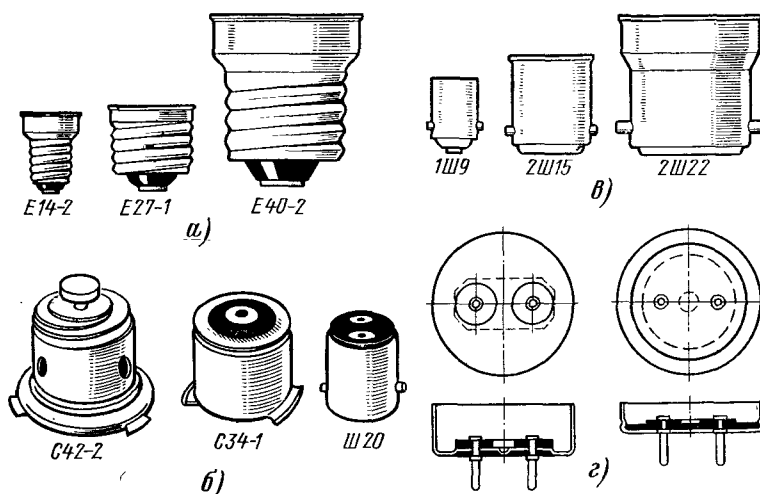


Рис. 3-12. Цоколи.

а — резьбовые; б — фокусирующие; в — штифтовые; г — для люминесцентных ламп.

установочные размеры, их допуск, требования к сопротивлению изоляции, допустимое напряжение, ток или мощность и т. д. Цоколи к лампам крепятся с помощью цоколевочных мастик и цемента. Известны также конструкции цоколей с механическим креплением их к лампе.

**Штамповка цоколей.** Корпуса цоколей изготавливают на кривошипном семипозиционном прессе-автомате модели А-821 с номинальным усилием 20 тс (рис. 3-13).

Кинематическая схема пресса изображена на рис. 3-14. Коленчатый вал 5 получает движение от электродвигателя 1 через ременную передачу 2, маховик 3, муфту 10 и шестерни 9, 7. Движение ползуна 12 осуществляется с помощью двух шатунов 4. Грейферные линейки 14 с захватами 15 (предназначенные для последовательного перемещения заготовок от первой операции до последней) раздвигаются рычажной системой 16

с помощью кулачка 6 и ролика 8, а возврат их осуществляется с помощью пружин 11, связанных с тягой 13. Продольное перемещение грейферных линеек осуществляется с помощью рычажной системы 20, кулачка 22, приводимого через шестерни 23—29 от вала 30. Меха-

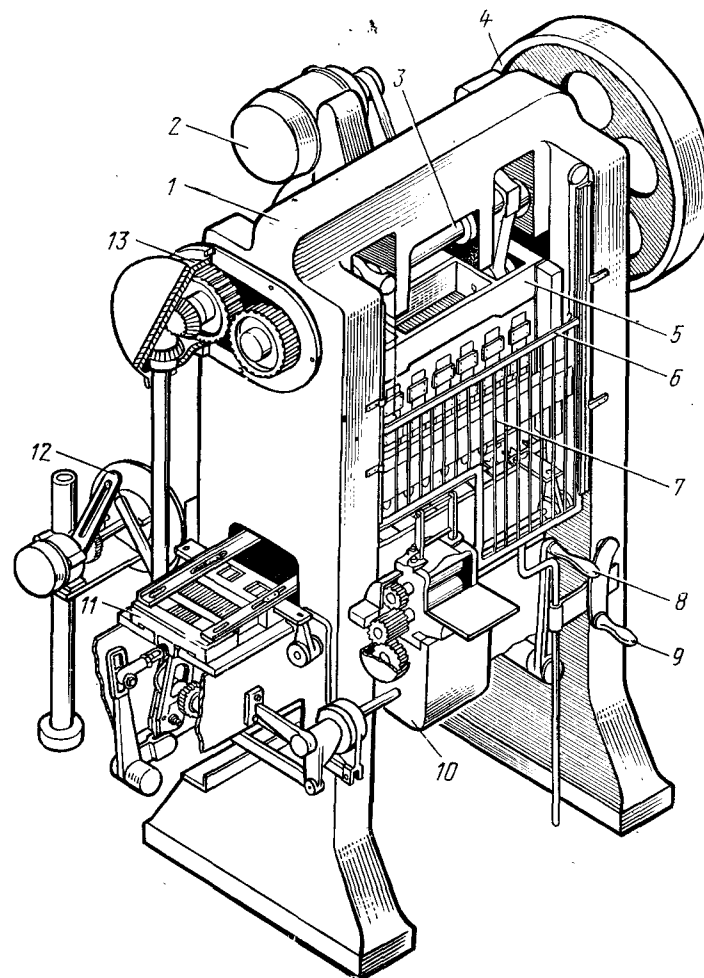


Рис. 3-13 Семипозиционный автоматический пресс А-821.

1 — станина; 2 — электродвигатель; 3 — коленчатый вал; 4 — маховик; 5 — ползун; 6 — оградительная решетка; 7 — штамп; 8 — рукоятка включения пресса; 9 — рукоятка включения тормоза; 10 — механизм подачи ленты; 11 — грейферный механизм; 12 — приспособление для намотки просеченной ленты; 13 — коробка передач.



низм валковой подачи ленты в штамп первой операции 17 приводится в движение через храповую передачу 18, рычажную систему 19 и далее через серию шестерен 31—34 от коленчатого вала 5. Подача ленты регулируется изменением положения пальца 21 относительно центральной оси диска 26.

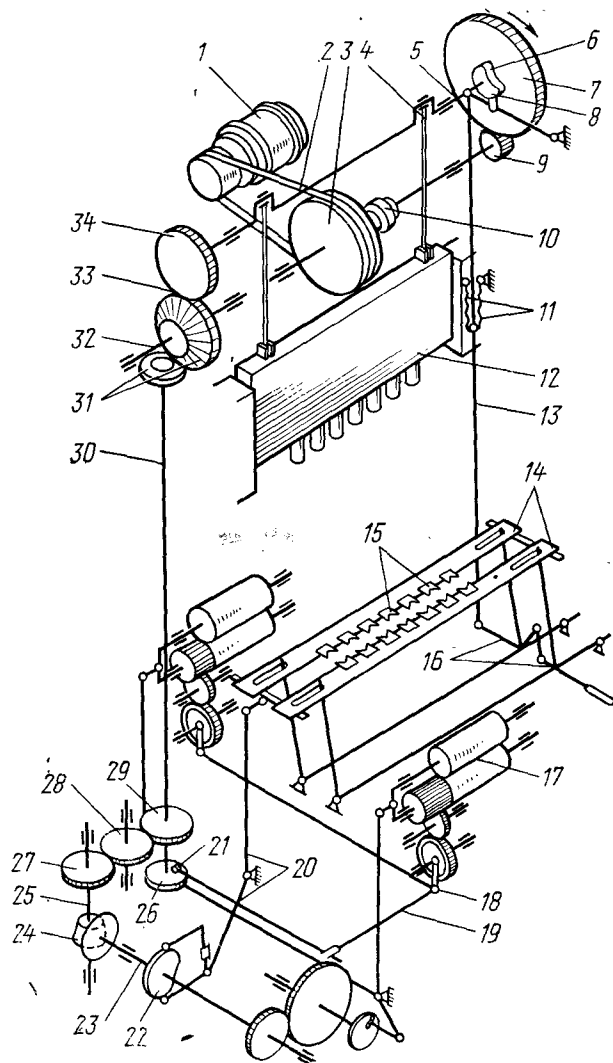


Рис. 3-14. Кинематическая схема пресса А-821.

При штамповке резьбовых цоколей пресс-автомат работает совместно с двумя резьбодавальными автоматами (для накатки резьбы на корпусе), а при штамповке штифтовых цоколей — с двумя автоматами пробивки боковых отверстий и запрессовки штифтов.

Корпуса цоколей, требующие для штамповки три операции, изготавливают в два ручья. На первой операции

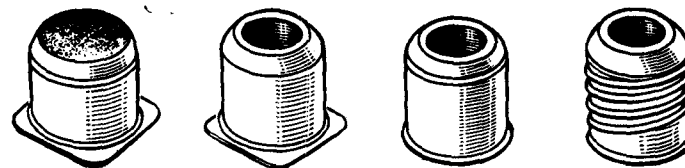


Рис. 3-15. Стадии штамповки цоколей Е27-1 и готовый корпус цоколя.

производятся вырубка и первая вытяжка (рис. 3-15); на второй — вторая вытяжка, формовка доньшка и пробивка в доньшке отверстия; на третьей — обесчка фланца (ранта). На второй половине позиций (второй ручей) повторяются эти же операции. Одна свободная позиция используется для установки наклонного желоба подачи корпусов к резьбодавильному автомату (или автомату пробивки боковых отверстий).

При накатке резьбы (рис. 3-16) корпус цоколя толкателем 7 надевается на вращающийся накатный винт 4 резьбодавильного автомата. Накатный винт и накатный ролик 7, вращаясь вокруг своих осей в противоположных направлениях с одинаковой окружной скоростью, выдавливают на гладком корпусе цоколя винтовую резьбу. Поверхность корпуса при этом увеличивается за счет утончения материала в резьбовой части.

Корпуса цоколей Е40 изготавливают на 45-тс однопозиционном прессе модели А-822, а цоколей Ш9 и Е10 — на 10-тс восьмипозиционном прессе модели А-820. Контактные пластинки изготавливают на эксцентриковых прессах многорядным комбинированным штампом с шахматным расположением пуансонов. Штамп одновременно вырубает, вытягивает и прокалывает по несколько контактных пластинок сразу.

Сборка цоколей диаметром 14 мм и более производится на 18-позиционном стеклосаливочном автомате

(рис. 3-17) карусельного типа. Автомат работает совместно с маленькой стеклоплавильной печью (рис. 3-18).

На позиции I в рабочее гнездо загружается из бункера 6 контактная пластинка. Позиции II и III — резервные (для ручной загрузки контактной пластинки). На

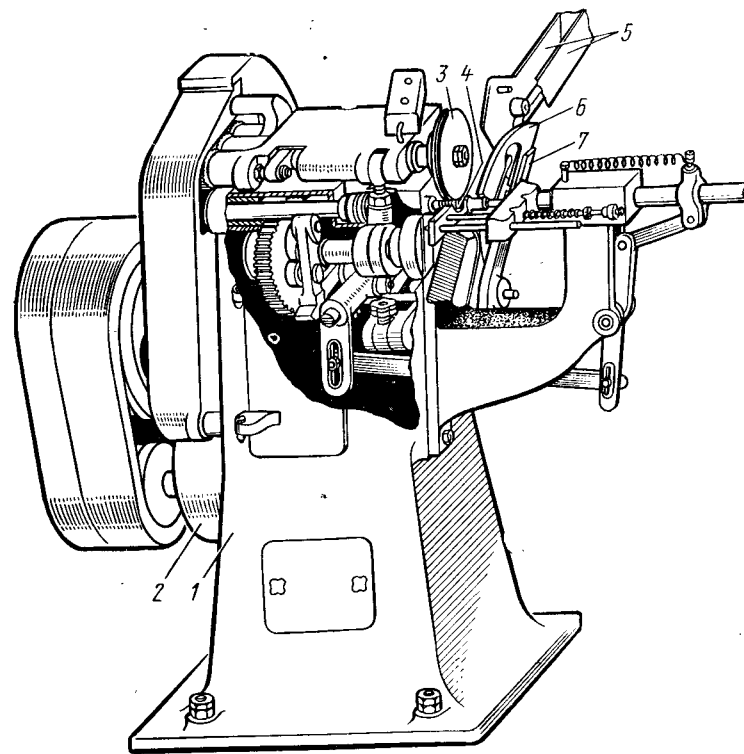


Рис. 3-16. Резьбодавильный автомат.

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.

позиции IV в рабочее гнездо загружается корпус цоколя из бункера 5. Позиции V и VI резервные (для ручной загрузки корпуса). На позиции VII пружинный грибок 2 поправляет положение корпуса в гнезде. Позиции VIII и IX — свободные. На позиции X корпус заливается стекломассой. Перед переходом гнезда на позицию XI струя расплавленного стекла отводится от гнезда в особую полость механизмом дозировки стекломассы 3. На пози-

ции XI пуансон запрессовывает в цоколь пластичную стекломассу. На позиции XII стекломасса остывает. На позиции XIII стальная игла прокалывает в изоляции сквозное отверстие для вывода ламп. Позиция XIV свободная. На позиции XV цоколь выталкивается из гнезда

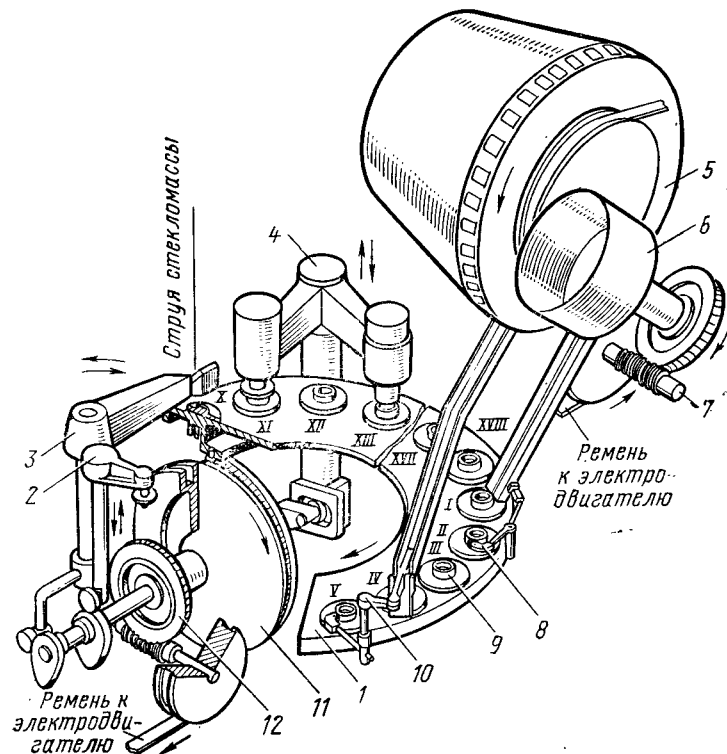


Рис. 3-17. Стеклозаливочный автомат.

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 привода бункера загрузки контактных пластинок; 8 — механизм поштучной выдачи контактных пластинок; 9 — рабочие гнезда; 10 — механизм поштучной выдачи корпусов; 11 — кулак периодического поворота карусели; 12 — червячный редуктор привода распределительного вала.

и сдувается сжатым воздухом по наклонному желобу в печь отжига. Позиция XVI свободная. На позиции XVII гнездо очищается от стеклянной пыли сжатым воздухом. Позиция XVIII — съем.

В случае отсутствия в гнезде контакта или цоколя срабатывает блокировка и подача стекла прекращается.

Температуру струи стекломассы поддерживают равной 1150—1200°C. На цоколь Р27 требуется около 6 г стекломассы.

Производительность автомата около 3000 цоколей (Е27 или 1Ш15) в 1 ч.

Сборку цоколей Е10 и 1Ш9 производят на 12-гнездом карусельном автомате. Учитывая меньшие диаметры цоколей, вместо заливки стекломассы из печи применяют стеклянный дрот (штабик диаметром 5,4 мм из стекла С87-1). Стеклянный дрот устанавливается вручную на позиции запрессовки вертикально, концевая часть его разогревается газовыми горелками. При каждом повороте карусели дрот перемещается вниз на заданное расстояние и механизмом отрезки отделяет небольшой кусочек стекла (0,32 г), который по лотку попадает в очередное гнездо карусели. Производительность автомата 2000 цоколей в 1 ч.

Цоколи Е27 после заливки не отжигают, их помещают в термос (стальной ящик), где они постепенно остывают.

Цоколи 2Ш22, 2Ш15 и Е40 сразу после заливки отжигают в печи отжига; для латунных цоколей температура печи должна быть 460°C, для стальных — 540°C.

**Травление цоколей.** Стальные цоколи перед цинкованием травятся. Процессы травления и, в частности, стальных деталей подробно

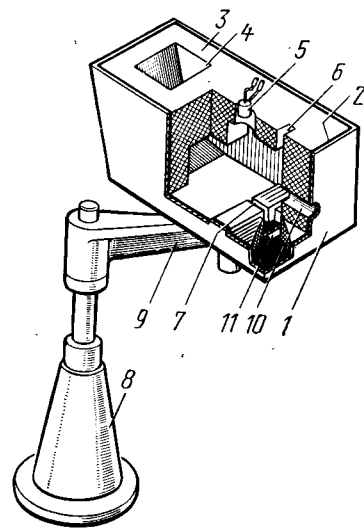


Рис. 3-18. Стеклоплавильная печь к автомату сборки цоколей.

1 — стальной корпус печи; 2 — тепло-изоляционная 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.

изложены в § 3-2. Цоколи обезжиривают 2—10%-ным раствором каустической соды и промывают в холодной проточной воде. Затем их травят в подогретом (не выше 50°C) 15—20%-ном растворе серной или 5—10%-ном растворе соляной кислоты в течение 5—10 мин и промывают в проточной холодной воде.

Латунные цоколи сначала отбеливают, т.е. удаляют окислы и загрязнения, после чего производят блестящее травление — придают цоколям глянцевую поверхность и, наконец, пассивируют — создают постоянную плотную пленку, сохраняющую естественный цвет латуни и предохраняющую от более глубокого окисления.

Для отбеливания применяют разбавленный водой раствор, предварительно использованный на блестящем травлении, после чего цоколи промывают в холодной проточной воде.

Для блестящего травления применяют смесь азотной и серной кислот (1:2 по объему) с добавкой 5—10 г поваренной соли на 1000 см<sup>3</sup> этой смеси.

При отбеливании и блестящем травлении цоколи погружаются в растворы на несколько секунд.

После блестящего травления цоколи тщательно промывают сначала в холодной, а затем в горячей проточной воде и сразу же производят пассивирование путем кратковременного погружения цоколей в подкисленный серной кислотой водный раствор хромпика (K<sub>2</sub>CrO<sub>7</sub>), после чего следует промывка холодной и горячей водой.

Сушат цоколи в сухих древесных опилках и обдувают подогретым воздухом.

**Цинкование** стальных цоколей производят в гальванических ваннах (рис. 3-19). Во вращающийся барабан загружают одновременно до 3000 цоколей Р27-1 или 8000 1Ш15.

На латунные штанги подвешены цинковые плитки — аноды.

На цоколи через латунную или медную струну подается отрицательный потенциал. Ванна питается постоянным током при напряжении 9—11 В от двигателя-генератора.

Электролит для цинкования цоколей состоит из 300—350 г сернокислого цинка (ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O), 100—150 г сернокислого натрия (NaSO<sub>4</sub>·10H<sub>2</sub>O), 20—30 г гидрата сернокислого алюминия (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·18H<sub>2</sub>O) на 1000 см<sup>3</sup> воды. Плотность электролита 1180—1220 кг/м<sup>3</sup>.

При электролизе сернокислый цинк разлагается на положительные ионы цинка  $Zn^{+}$  и отрицательные — кислотного остатка  $SO_4^{-}$ . Ионы цинка, разряжаясь у катода (цоколей), осаждаются на их поверхность. Ионы кислотного остатка, достигая анода, реагируют с ним и образуют сернокислый цинк, который пополняет электролит.

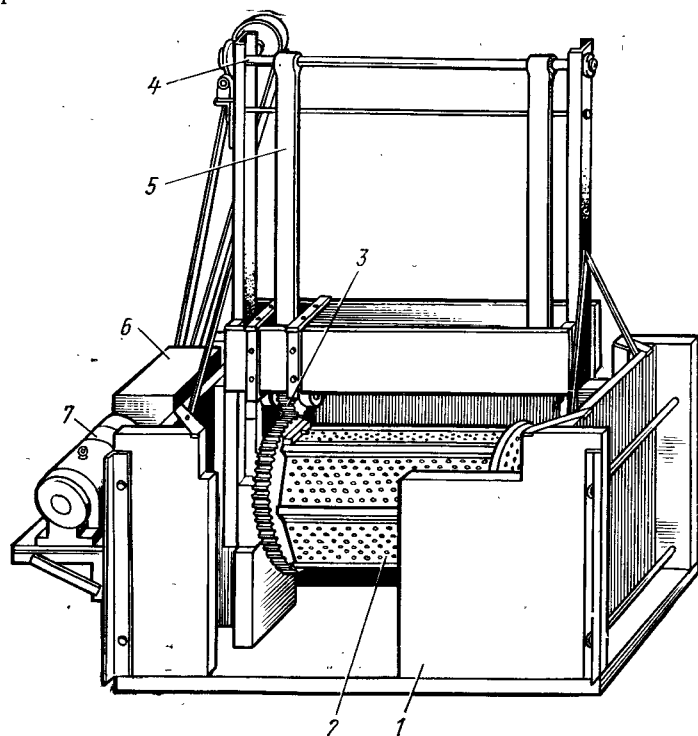


Рис. 3-19. Гальваническая ванна для цинкования цоколей.

1 — корпус ванны; 2 — текстолитовый перфорированный барабан; 3 — текстолитовые шестерни для вращения барабана; 4 — вал подъема барабана; 5 — ремень подъема барабана; 6 — редуктор привода вращения и подъема барабана; 7 — электродвигатель.

Качество покрытия зависит от плотности тока в ванне, температуры, плотности электролита, концентрации водородных ионов, длительности процесса покрытия и др.

Ток в цепи ванны должен быть 250—300 А, что соответствует плотности тока около  $0,0025 \text{ А/см}^2$  при вышеуказанной загрузке барабана.

Температура электролита должна быть  $40\text{—}50^\circ\text{C}$ , при этой температуре электрическая проводимость электролита наиболее высокая.

Концентрация водородных ионов (рН) должна быть около 4. При недостаточно кислом электролите (рН  $>4,5$ ) покрытие получается темным и крупнокристаллическим; при кислом (рН  $<3,5$ ) — покрытие светлое, но рыхлое и пористое. Для автоматического регулирования кислотности в электролит вводят сернокислый аммоний или алюминиевые квасцы.

Толщина покрытия цинком должна быть не менее 5 мкм, а для усиленного покрытия некоторых цоколей — не менее 10—12 мкм. Усиленное покрытие производят в два приема: сначала наращивают цинк толщиной 3—4 мкм, промывают, сушат и прокаливают цоколи в течение 30—40 мин при температуре  $200\text{—}210^\circ\text{C}$ , а затем снова цинкуют до получения покрытия толщиной 10—12 мкм.

Обычно при массовом изготовлении стальных цоколей травление и цинкование их производят автоматический. Автоматизация охватывает загрузку и выгрузку цоколей и последовательную транспортировку цоколей по монорельсу из одной ванны в другую.

Цинкование сложных деталей производят в основном в щелочных электролитах, обладающих большой рассеивающей способностью.

Применяются щелочные электролиты следующих составов:

- а)  $4\text{—}6 \text{ мг/см}^3 \text{ ZnO}$ ;  
 $85\text{—}100 \text{ мг/см}^3 \text{ KOH}$ ;  
 $0,15\text{—}0,25 \text{ мг/см}^3 \text{ Na}_2\text{SnO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ .

Температура электролита  $50^\circ\text{C}$ ; плотность тока  $0,007 \text{ А/см}^2$ .

- б)  $8 \text{ мг/см}^3 \text{ Zn(CN)}_2$ ;  
 $25 \text{ мг/см}^3 \text{ NaCN}$ ;  
 $25 \text{ мг/см}^3 \text{ NaOH}$ .

При комнатной температуре плотность тока  $0,005\text{—}0,01 \text{ А/см}^2$ .

- в)  $42 \text{ мг/см}^3 \text{ ZnO}$ ;  
 $75\text{—}80 \text{ мг/см}^3 \text{ NaCN}$ ;  
 $70\text{—}80 \text{ мг/см}^3 \text{ NaOH}$ ;  
 $0,5\text{—}5 \text{ мг/см}^3 \text{ Na}_2\text{SO}_4$ ;  
 $3\text{—}5 \text{ мг/см}^3 \text{ глицерина}$ .

Температура электролита 18—25°C, плотность тока 0,02—0,08 А/см<sup>2</sup>. Электролит обеспечивает получение блестящего цинкового покрытия.

После цинкования детали промывают в воде и погружают на несколько секунд в 3—5%-ный раствор азотной кислоты. Затем детали вновь промывают, погружают в 5%-ный раствор хромового ангидрида, снова промывают в холодной и горячей проточной воде и сушат.

**Изготовление цоколей для люминесцентных ламп.** Конструкции цоколей для люминесцентных ламп изображены на рис. 3-12,2.

Технологический процесс изготовления цоколей состоит из следующих операций: штамповка металлических стаканчиков, изготовление штырьков, штамповка гетинаксовых вкладышей и сборка цоколя.

Штамповку корпуса цоколя для 20—40 Вт (рис. 3-20) производят на семипозиционном пресс-автомате модели А-821, как и корпуса для цоколей ламп накаливания.

На пресс-автомате одновременно производятся вырубка и вытяжка стакана, формовка дна, пробивка отверстий для штырьков, обрезка бортиков, и получают готовый стальной стаканчик. Перед сборкой цоколей стаканчики травят и цинкуют.

Изготовление штырьков осуществляется на автоматах различных конструкций (в основном на базе наклонного пресса 2,5 тс, имеющего 115 двойных ходов в минуту). На этих автоматах производятся свертывание из непрерывно движущейся ленты и нарезка ее в трубку, высадка бортика и осадка конуса штырька. Готовые штырьки никелируют.

Гетинаксовые вкладыши штампуют на карусельном полуавтомате.

Сборку цоколей производят на эксцентриковых прессах 3 тс или на специальных автоматах.

### 3-5. СОЕДИНЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

#### а) СВАРКА

**Электроконтактная сварка.** Существует несколько основных способов электроконтактной сварки, различаемых по характеру получающихся соединений, по типу применяемого оборудования и по особенностям технологического процесса сварки. Электроконтактная сварка

подразделяется на три основных вида: стыковую, точечную и роликовую.

Все способы электроконтактной сварки характеризуются тем, что сварочный ток проходит непосредственно через свариваемые детали; во всех случаях необходимо применение давления; все способы предусматривают наличие электродов, через которые сварочный ток подводится к изделию.

При электроконтактной сварке ток, проходящий через свариваемые детали, в месте их соприкосновения встречает значительное сопротивление, вследствие чего здесь выделяется большое количество тепла, под действием которого металл нагревается до пластического состояния или до плавления. При последующем сжатии деталей металл соединяется в месте сварки в одно целое, образуя прочное соединение. Количество выделяемой при сварке энергии определяется формулой

$$Q = I^2 R_{\text{к}} t,$$

где  $Q$  — количество тепловой энергии, выделяемой при сварке, Дж;  $R_{\text{к}}$  — контактное сопротивление соединяемых деталей, Ом;  $I$  — ток, А;  $t$  — время сварки, с.

Нагрев свариваемых деталей обычно производится переменным током, а сварка деталей для источников света в большинстве случаев производится импульсами переменного тока продолжительностью 0,02 с и менее.

Стыковая сварка осуществляется двумя способами: сопротивлением и оплавлением. При первом способе свариваемые детали сдавливают, затем включают сварочный ток, под действием которого в месте стыка выделяется значительное количество тепла. Нагретый до пластического состояния металл сваривается под действием усилия сжатия.

При стыковой сварке оплавлением сварочный ток включается до момента сближения торцов свариваемых деталей. Ток, проходя стык деталей, встречает большое сопротивление, в силу чего торцы металла оплавляются. Сварка происходит при быстром сближении торцов деталей и приложении необходимого давления. В этот момент сварочный ток выключается.

Точечная сварка бывает двусторонней и односторонней. При двусторонней сварке детали помещаются между электродами. Односторонняя сварка осуществляется одним или несколькими электродами, которые располагаются по одну сторону свариваемых деталей.

Рельефная и Т-образная сварка является разновидностью точечной и стыковой сварки. При рельефной сварке чаще всего одновременно сваривается несколько точек, для чего на одной из свариваемых деталей предварительно выштамповываются рельефы.

При Т-образной сварке деталь малого сечения (шпилька, бобышка) приваривается к листу с помощью специально изготовленных для этой цели электродов.

При роликовой сварке получается ряд сварных точек, из которых каждая последующая точка частично перекрывает предыдущую, образуя при этом сплошной прочный и плотный шов.

Двусторонняя роликовая сварка производится двумя роликами, расположенными один над другим, а односторонняя — одним роликом.

При конденсаторной сварке (роликовой, точечной, стыковой) обеспечивается точное дозирование электрической энергии на сварку каждой точки или стыка. За счет этого обеспечивается стабильный процесс сварки.

В производстве источников света в основном используется точечная электросварка.

**Точечная сварка.** При двусторонней точечной сварке детали сжимаются между электродами, после чего включается сварочный трансформатор. Центральная часть столбика металла между электродами быстро нагревается до расплавления, образуя жидкое ядро, окруженное пластической оболочкой, удерживающей расплавленный металл ядра.

При односторонней сварке на медной подкладке ток распределяется между верхней и нижней деталями и сварка осуществляется током, протекающим через нижнюю деталь и медную подкладку.

В обоих случаях образуется сварная точка с литым ядром.

Получаемое соединение при соответствующих условиях сварки и охлаждения может быть равнопрочным с основными металлами.

Если по каким-либо причинам пластическая оболочка не образовалась или разрушилась, то некоторая часть металла будет выброшена наружу — произойдет выплеск металла.

Выплеск сопровождается образованием более или менее глубокой вмятины на поверхности детали. Необходимо различать начальный и конечный выплески. На-

чальный выплеск происходит мгновенно после включения тока, он объясняется несколькими причинами. Например, могут произойти перегрев и расплавление отдельных выступов и неровностей на соприкасающихся поверхностях деталей либо из-за завышенной величины тока и недостаточного давления. Нагрев происходит слишком быстро, расплавленное ядро образуется раньше, чем удерживающая его пластическая оболочка, и часть ядра выплескивается. Начальный выплеск может происходить также из-за недостаточно чистых поверхностей свариваемых деталей, раннего включения тока и др. Конечный выплеск происходит в основном из-за перегрева ядра точки.

На качество сварки влияют сила тока, длительность сварки, давление, диаметр и материал электрода, свойства свариваемых материалов, толщина и состояние поверхности свариваемых деталей и др.

Контактное сопротивление различных сочетаний свариваемых материалов колеблется в очень широком диапазоне. Поэтому для каждого сочетания свариваемых металлов устанавливается соответствующий режим сварки. Хорошо свариваются такие металлы, у которых близки точки плавления, удельное сопротивление и теплопроводность. Свариваемость металлов ухудшается с повышением точки плавления. В табл. 3-14 приведены данные о свариваемости различных металлов.

Легко окисляющиеся металлы (вольфрам, молибден и др.) иногда сваривают в восстановительной защитной атмосфере — водорода или смеси водорода с азотом, в аргоне или гелии.

Для трудносвариваемых пар металлов применяют фольговые прокладки из металлов, которые хорошо свариваются с каждым из них.

Сварку деталей производят на специальных станках (монтажных столах) для точечной сварки. Потребляемая мощность монтажных столов составляет 1—5 кВт.

Монтажный стол оснащен сварочным станком, понижающим трансформатором, устройствами для регулирования силы тока, времени прохождения импульсов и усиления сжатия (рис. 3-20).

В настоящее время используются как индивидуальные регуляторы времени сварки, так и групповые, а также широко применяются конденсаторные источники питания.

## Свариваемость металлов

Металл 1	Металл 2										
	Алюминий	Вольфрам	Железо	Железные- сплавы	Инвар	Ковар	Константан	Медь	Молибден	Никель	Нихром
Цирконий	—	2	2	—	—	—	—	3	5	2,5	—
Титан	—	4,5	3,7	—	—	—	—	4	4,5	—	—
Тантал	—	—	—	—	—	—	—	4	—	—	—
Сталь высокохромис- тая	—	—	—	—	—	—	—	4	—	—	—
Нихром	4	3	6	2	6	6	—	4	4	—	6
Никель	4	4	1	3	6	6	—	3	4	—	—
Молибден	3,4	4; 7; 8	3,7	3	—	—	—	4	5	—	—
Медь	4	4; 7; 8	—	3	—	—	—	4	4; 7; 8	—	—
Константан	—	6	5	2,6	—	—	6	3,4	—	—	—
Ковар	—	3	—	—	6	6	—	—	—	—	—
Инвар	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Железные- сплавы	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Железо	—	3,7	—	2	—	—	—	—	—	—	—
Вольфрам	—	4,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Алюминий	4	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—

1. Очень хорошо.

2. Хорошо.

3. Затруднительно.

4. Плохо или невозможно.

5. Возможно при смазывании защитной жидкостью.

6. Хорошо при схеме с тигatronным регулятором времени.

7. То же, что и 6, но для тонких проволок при малой длительности импульса.

8. Возможно с помощью прокладок из тантала.

Для сварки детали зажимаются между подвижным 1 и неподвижным 2 электродами (рис. 3-21). Верхний подвижный электрод связан тягой с педалью станка, при опускании которой замыкается электромагнит, действующий на пружину, обеспечивающую требуемое усилие сжатия. После сжатия деталей при дальнейшем движе-

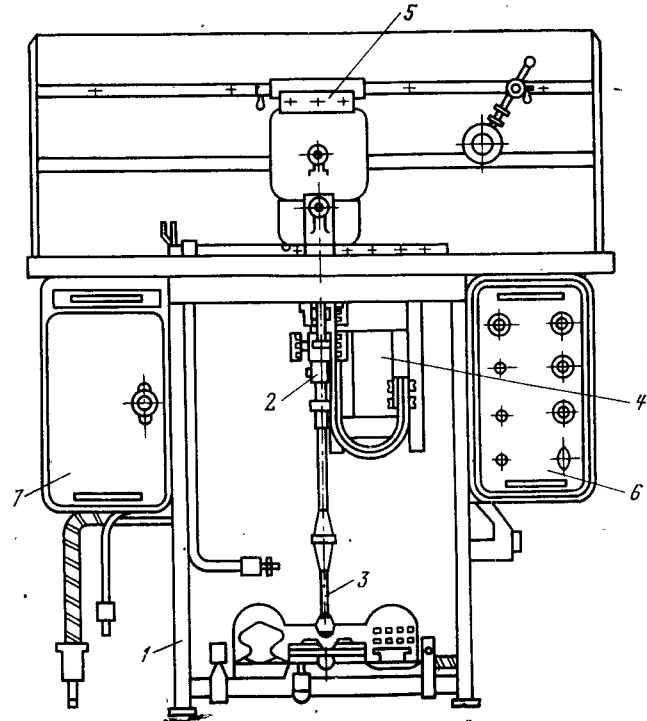


Рис. 3-20. Монтажно-сварочный стол.

1 — каркас; 2 — механизм создания сжатия; 3 — педальный привод; 4 — сварочный трансформатор; 5 — панель местного освещения; 6 — панель управления; 7 — шкаф управления.

нии педали замыкаются контакты и происходит сварка. При освобождении педали сначала выключается ток и только потом освобождаются свариваемые детали.

При сварке деталей, имеющих толщину менее 1 мм, время сварки измеряется долями секунды. Применяемые управляющие системы позволяют регулировать длительность импульса тока в пределах от 0,01 до 0,001 с.

Для сварки очень мелких деталей используется ряд конденсатора — конденсаторная сварка.

Обычно используются блоки конденсаторов общей емкостью 10—200 мкФ. Изменяя емкость конденсатора, можно регулировать частоту и длительность импульса. Напряжение на конденсаторе определяет амплитуду тока разряда.

Электроды монтажных столов обычно изготавливаются из меди (особенно при больших токах), но медь

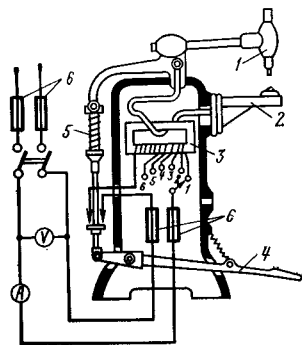


Рис. 3-21.

Рис. 3-21. Схема станка для точечной сварки.

1 — подвижный электрод; 2 — неподвижный электрод; 3 — трансформатор со ступенями для регулирования тока; 4 — педаль; 5 — пружина для регулирования давления при сварке; 6 — предохранитель.

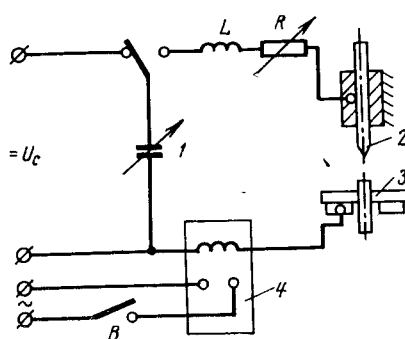


Рис. 3-22.

Рис. 3-22. Принципиальная схема установок дуговой конденсаторной сварки.

1 — батарея конденсаторов; 2 — электрод; 3 — цоколь; 4 — осциллятор.

легко деформируется, увеличивается размер торцов электрода, что часто вызывает прилипание их к деталям и непровар точек из-за снижения плотности тока.

Лучше зарекомендовали себя более твердые сплавы (хромистая медь, медно-вольфрамовые сплавы и др.), а также вольфрамовые электроды, закрепленные в медных держателях.

В зависимости от формы свариваемых деталей применяют различные конструкции электродов. Электроды время от времени необходимо очищать от нагара и окислов наждачной бумагой или мелким напильником. При сильном износе их необходимо заблаговременно заменять.

Представляет интерес разработанный недавно Институтом электросварки им. Патона и ВНИИИС им. Ладыгина новый способ приварки бокового вывода к цоколям

ламп накаливания — дуговая конденсаторная сварка (ДКС).

Источником энергии сварки при ДКС служит электрическая дуга, поддерживаемая разрядом конденсаторов. Батарея конденсаторов 1 (рис. 3-22) заряжается от источника постоянного напряжения  $U_c$ , и ее напряжение подводится к сварочному электроду 2 (вольфрам, графит) и цоколю 3. Пробой промежутка 2—3 осциллятором 4 обуславливает разряд, дуга расплавляет вывод и сваривает его с цоколем. Сварка должна производиться при положительной полярности на цоколе.

Конденсаторной сваркой можно приваривать медный боковой вывод к цоколям из малоуглеродистой оцинкованной стали, латуни и алюминия. Приварка ферроникелевого вывода к цоколям требует более жестких режимов.

**Аргонодуговая сварка.** В производстве источников света, как и в электровакуумном производстве, распространена аргонодуговая сварка. Процесс сварки основан на расплавлении металлов при действии дугового разряда между вольфрамовым электродом и изделием в атмосфере аргона. Аргонодуговая сварка может производиться в наполненных аргоном камерах и на воздухе с местным обдувом кромок соединяемых деталей (рис. 3-23 и 3-24).

Питание сварочной дуги производится как постоянным, так и переменным током. При сварке постоянным током (минус на вольфрамовом электроде) дуга устойчива, горит при низком напряжении (12—27 В при длине дуги 1—3 мм).

Напряжение горения установившейся дуги зависит в основном от ее длины, степени ионизации промежутка, материала электродов, состава газов, давления окружающей среды, силы и рода тока.

Температура в осевой части столба сварочной дуги может достигать 6000 °С.

Держатели электродов могут выполняться без охлаждения или с водяным охлаждением. При водяном охлаждении токи могут быть повышены на 20—30%.

Аргонодуговой сваркой получают вакуум-плотные, чистые и прочные соединения деталей многих металлов и сплавов — никеля, меди, кобальта, стали, а также титана, циркония и других металлов и сплавов, в том числе и реагирующих с водородом и другими газами.



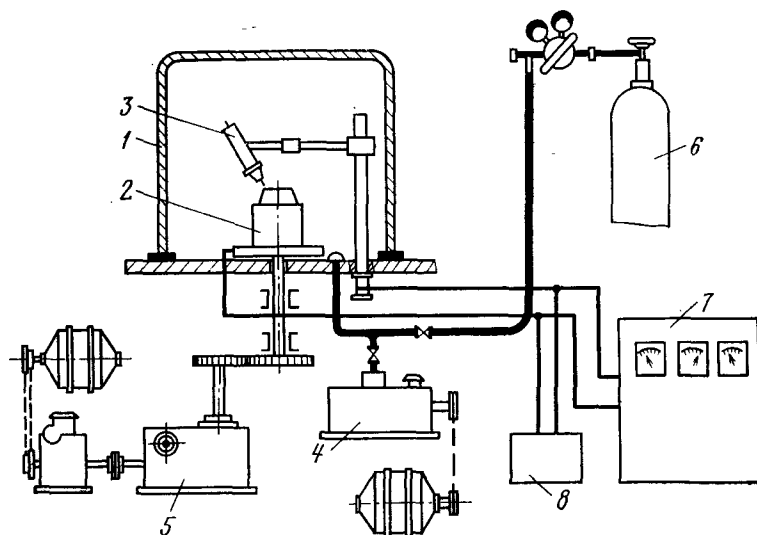


Рис. 3-23. Схема установки для аргодуговой сварки в камере.

1 — камера; 2 — приспособление с изделием; 3 — электрододержатель; 4 — вакуумный насос; 5 — привод вращения; 6 — баллон с редуктором; 7 — источник питания; 8 — осциллятор.

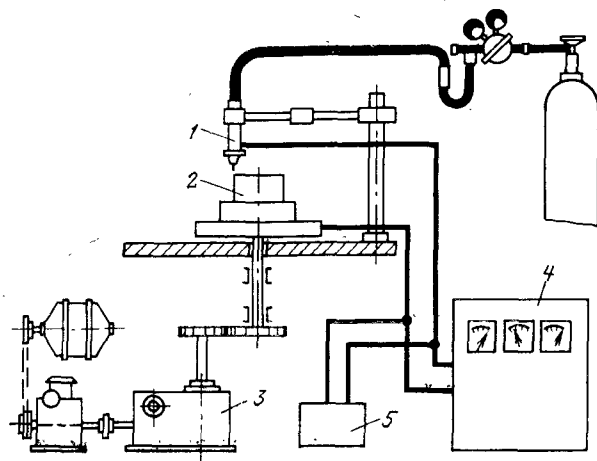


Рис. 3-24. Схема установки для аргодуговой сварки с местным обдувом.

1 — электрододержатель; 2 — приспособление с изделием; 3 — привод вращения; 4 — источник питания; 5 — осциллятор.

Сварку в камере производят в тех случаях, когда предъявляются высокие требования к чистоте сварочного шва; сварка с поддувом аргона более производительна.

Зазор между свариваемыми деталями не должен превышать 0,1 мм, длина дугового промежутка для кромок толщиной 0,2—2,0 мм устанавливается в пределах 0,5—0,8 мм.

**Атомно-водородная сварка** основана на использовании тепла, освобождающегося при переходе атомарного водорода в обычный двухатомный водород.

Двухатомный водород продувается через пламя дуги, горячей между вольфрамовыми электродами, нагревается до температуры около 4000 °С и частично переходит в атомарный водород.

Полученный атомарный водород у поверхности нагреваемого металла, соприкасаясь с относительно холодными свариваемыми металлами, превращается обратно в молекулярный, и освобождающееся тепло плавит металл.

В атомно-водородной сварке используется косвенное действие сварочной дуги, свариваемый металл не включен в ее цепь.

С учетом того, что водород имеет высокий ионизационный потенциал, дуга питается переменным током сравнительно большого напряжения зажигания (220—360 В) и горения (60—120 В).

Высокое напряжение делает атомно-водородную сварку опасной из-за возможности поражения сварщика электрическим током.

Большая температура пламени и высокие восстановительные свойства атомарного водорода допускают возможность сварки этим способом деталей из тугоплавких металлов (вольфрама, молибдена и др.).

Зазор между свариваемыми деталями не должен превышать 0,2—0,3 мм.

При атомно-водородной сварке ток дуги должен быть таким, чтобы вольфрамовый электрод лишь оплавлялся с торца на небольшую глубину и плавление дальше не распространялось. При достаточной подаче водорода, защищающего электрод от окисления, вольфрамовый стержень расходуется медленно, его хватает на несколько часов непрерывной работы.

**Новые методы сварки.** Сварка является одним из ведущих технологических процессов, от степени развития и совершенствования которого во многом зависит уровень технологии и качества выпускаемых источников света. За последние годы в СССР и особенно в электронной технике достигнуты значительные успехи в разработке прогрессивных методов сварки, представляющих интерес для производства источников света.

**Ультразвуковая сварка.** В сварочной технике ультразвук может быть использован в различных целях.

Воздействуя им на сварочную ванну в процессе кристаллизации, можно улучшить механические свойства сварного соединения благодаря измельчению структуры металла шва и удалению газов. Ультразвуковые колебания активно разрушают естественные и искусственные пленки, что позволяет сваривать металлы с окисленной поверхностью. Ультразвук снижает или снимает собственные напряжения и деформации, возникающие при сварке.

С помощью ультразвуковой сварки могут быть получены без нагрева от постороннего источника и при сравнительно небольших давлениях прочные и вакуум-плотные соединения однородных и разнородных металлов (меди, никеля, нержавеющей стали, алюминия, вольфрама, молибдена, тантала, титана и др.).

Ультразвуковые колебания, распространяющиеся в плоскости контакта между деталями при небольших усилиях сжатия, приводят к разрушению окисных пленок и взаимному проникновению атомов одного металла в кристаллическую решетку другого с образованием прочных сплавов. Совместное действие относительного перемещения

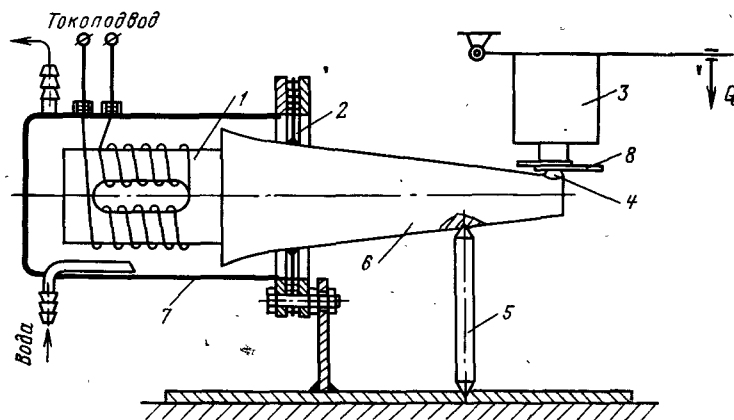


Рис. 3-25. Схема установки для точечной сварки ультразвуком.  
1 — магнитострикционный преобразователь; 2 — диафрагма; 3 — механизм нажатия; 4 — выступ; 5 — маятниковая опора; 6 — волновод; 7 — кожух водяного охлаждения; 8 — изделие.

свариваемых металлов с частотой ультразвука при небольших статических нагрузках и нагрева обуславливает сглаживание микронеровностей на внутренних поверхностях деталей, улучшение контакта между ними и возможность молекулярного сцепления.

При ультразвуковой сварке для получения механических колебаний высокой частоты обычно используется магнитострикционный эффект. На рис. 3-25 показана принципиальная схема машины для выполнения точечных соединений с помощью ультразвука.

Ультразвуковая сварка имеет ряд преимуществ перед другими видами сварки:

1. Отсутствие существенного нагрева места сварки, что дает возможность соединять химически активные металлы или металлы, склонные образовывать хрупкие интерметаллические соединения в зоне сварки.

2. Возможность приварки тонких листов и фольги к детали неограниченной толщины.

3. Снижение требований к чистоте свариваемых поверхностей дает возможность проводить сварку плакированных и оксидированных поверхностей.

4. Применение небольших сдавливающих усилий (10—25 Н).

5. Малая потребляемая мощность при сварке ультразвуком.

Диффузионная сварка осуществляется при твердом состоянии с нагревом до температуры ниже точки плавления свариваемых металлов в вакууме при незначительном давлении (5—20 МПа).

Для возникновения на линии раздела металлических связей необходимо обеспечить тесный контакт свариваемых поверхностей и создать условия для удаления поверхностных пленок окислов, жидкостей, газов и различного рода загрязнений.

Нагрев деталей при диффузионной сварке приводит к уменьшению сопротивления металла пластическим деформациям. Вследствие этого имеющиеся в зоне действительного контакта выступы на ме-

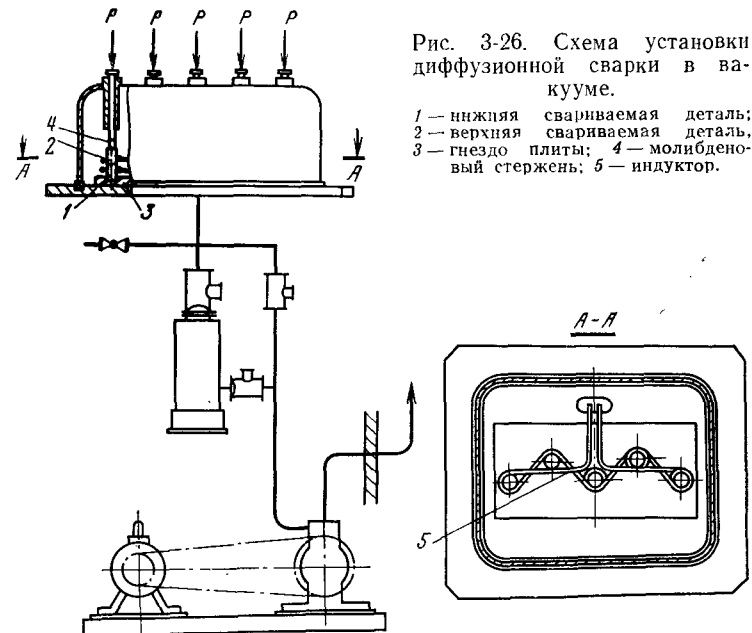


Рис. 3-26. Схема установки диффузионной сварки в вакууме.

1 — нижняя свариваемая деталь; 2 — верхняя свариваемая деталь; 3 — гнездо плиты; 4 — молибденовый стержень; 5 — индуктор.

талле деформируются при значительно меньших нагрузках, что облегчает сближение атомов металла на всей площади свариваемой поверхности.

Удаление поверхностных пленок и предупреждение возможности образования их в процессе сварки достигается использованием вакуумной защиты и тщательной предварительной зачисткой свариваемых поверхностей.

В процессе диффузионной сварки происходит взаимная диффузия атомов свариваемых материалов, образуются промежуточные слои, увеличивающие прочность сварного соединения.

Изделия, выполненные диффузионной сваркой, получают с высокой точностью размеров. Этим способом можно сваривать широкий круг металлов и сплавов (медь, никель, ковар, титан, молибден и др.) и их различных сочетаний.

На рис. 3-26 приведена схема установки для диффузионной сварки. На установках подобного типа можно сваривать детали с нагревом от 400 до 1300°C при частоте тока до 400 кГц, продолжительность сварки составляет от 10 до 20 мин.

С помощью диффузионной сварки можно соединять металлы с неметаллами.

**Холодная пластическая сварка** — соединение деталей в результате пластической деформации, возникающей под давлением выше предела текучести обрабатываемых металлов без применения нагрева.

Сварка производится на прессах различной мощности или с помощью зажимных приспособлений.

Прилагаемое давление зависит от свойств и толщины свариваемых металлов.

Основным условием получения прочного шва является высокая степень чистоты соприкасающихся поверхностей.

Холодной пластической сваркой могут быть получены прочные вакуум-плотные соединения, особенно пластических материалов (медь, алюминий, никель и др.). Холодная сварка металлических штенгелей может применяться при отпайке некоторых специальных газоразрядных ламп.

**Электронно-лучевая сварка.** Сущность процесса сварки электронным лучом в вакууме состоит в использовании кинетической энергии электронов в глубоком вакууме.

Принципиальная схема установки для сварки электронным лучом приведена на рис. 3-27.

Электронный прожектор имеет катод 1, который нагревается до высоких температур. Катод размещается внутри фокусирующей головки 2. На некотором удалении от катода находится первый анод 3

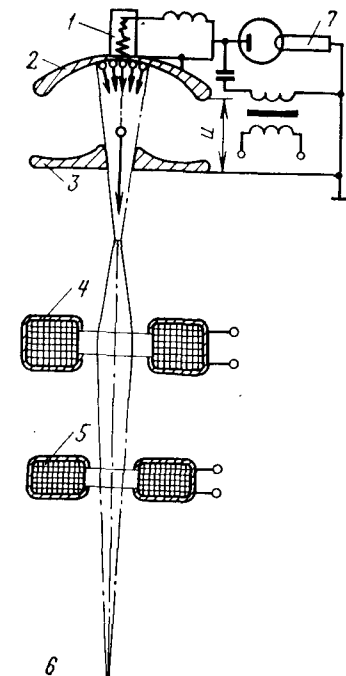


Рис. 3-27. Принципиальная схема установки для сварки электронным лучом.

с отверстием. Головки катода обеспечивают такое строение электрического поля, которое фокусирует электроны в пучок с диаметром, равным диаметру отверстия в первом аноде. Положительный потенциал анода может достигать нескольких десятков тысяч вольт, поэтому электроны на пути к аноду приобретают значительную скорость и энергию. Питание прожектора производится от высоковольтного источника постоянного тока 7. Для увеличения плотности энергии в луче после выхода электронов из первого анода электроны фокусируются магнитным полем в специальной магнитной линзе 4 и ударяются с большой скоростью о свариваемую деталь, при этом кинетическая энергия электронов вследствие торможения превращается

в тепло, нагревая металл до очень высоких температур. Для перемещения луча по свариваемому изделию 6 применяется магнитная отклоняющая система 5.

В установке создается высокий вакуум порядка  $10^{-2}$  Па.

Электронно-лучевая сварка обеспечивает высокое качество сварки деталей без значительных деформаций и структурных превращений за счет концентрации энергии на малых поверхностях.

Качество шва, глубина и ширина провара зависят от степени разряда, тока эмиссии, анодного напряжения, скорости перемещения деталей и т. п.

В производстве источников света сварка электронным лучом является перспективным способом, так как получаются исключительно чистые швы, возможно сваривать различные металлы, включая тугоплавкие и активные. Относительно малая производительность может быть повышена с помощью автоматических устройств.

**Сварка световым лучом.** Квантовые генераторы оптического диапазона появились относительно недавно, но уже сейчас с их помощью можно получать интенсивные и остронаправленные пучки света и концентрировать энергию на очень малые площадки, размером в тысячные доли миллиметра. Созданное на этом принципе технологическое оборудование позволяет обрабатывать различные металлы, производить сварку и т. п.

В основу принципа действия оптического квантового генератора положено индуцированное излучение, которое связано с поглощением электромагнитных волн или фотонов атомными системами. При поглощении фотона его энергия передается атому, который переходит в «возбужденное» квантовое состояние. Через некоторый промежуток времени атом может спонтанно излучить эту энергию в виде фотона и возвратиться в основное состояние.

В квантовых генераторах обычно в качестве основного энергетического элемента используется синтетический кристалл рубин — окиси алюминия, в котором небольшое число 0,05% атомов алюминия замещено атомами хрома.

Рубин обрабатывается в виде стерженька, длина и диаметр которого определяют мощность излучения. Его торцы полируются до получения оптически плоской поверхности, затем они подвергаются серебрению для получения отражающих поверхностей. Выходной конец кристалла является полупрозрачным. Рубиновый стержень помещается вблизи импульсной лампы, служащей источником широкополосного света для оптической накачки. Энергетическая схема квантового генератора на рубине представлена на рис. 3-28.

Атомы хрома, находящиеся в основном состоянии (I), поглощают фотоны (волнистые стрелки) и переходят на один из вышеразложенных энергетических уровней (II). Часть энергии они передают кристаллической решетке, вызывая повышение температуры, и переходят при этом на метастабильный уровень (III). Затем под действием индуцирующих фотонов, испускаемых другими атомами хрома, они излучают фотоны характеристической длины волны, возвращаясь опять в исходное состояние (IV).

При освещении импульсной лампой рубинового стержня большинство атомов хрома переводится в возбужденное состояние. При спонтанном испускании возбужденным атомом фотона параллельно оси кристалла фотон побуждает другой возбужденный атом испустить второй фотон (индуцированный). Этот процесс развивается лавинообразно, поскольку фотоны, отражаясь от торцов кристалла,

многократно проходят по кристаллу в осевом направлении. Интенсивность пучка растет в результате многократного отражения от обоих торцов стержня. В том случае, если интенсивность света от импульсной лампы превысит некоторый критический уровень, начинает появляться эффект квантового усиления и тогда с полупрозрачного торца рубина в течение тысячных долей секунды выбрасывается интенсивный поток фотонов с длиной волны 6943 нм. Выходной пучок является узконаправленным, мощным, монохроматическим и когерентным.

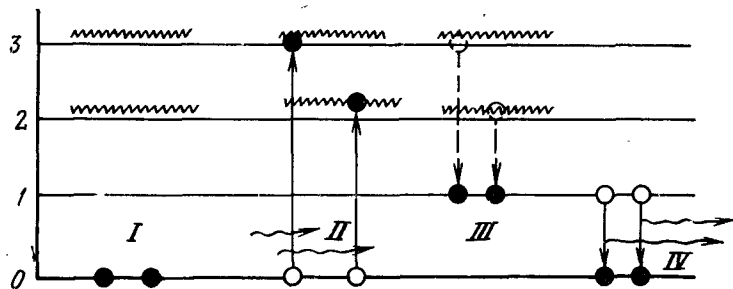


Рис. 3-28. Энергетическая схема квантового генератора на кристалле рубина.

Коэффициент полезного действия рубиновых квантовых генераторов составляет 0,1%. Несмотря на низкий к. п. д., оптические квантовые генераторы в настоящее время находят практическое применение при сварке.

Создание мощных квантовых генераторов, обладающих большим к. п. д., по-видимому, в ближайшее время приведет к необходимости пересмотра установившихся взглядов на ряд существующих технологических процессов.

## 6) ПАЙКА

Пайка — это соединение двух металлов с помощью припоя, температура плавления которого всегда ниже, чем у металлов соединяемых деталей.

Припой подразделяется на «мягкие» (легкоплавкие) — температура плавления их ниже 450°C и «твердые» (тугоплавкие) — температура плавления выше 450°C.

При выборе припоя учитывается следующее:

температура плавления припоев должна быть на 50—60°C ниже температуры плавления спаиваемых материалов и не менее чем на 100°C выше температуры прогрева ламп на откачном посту или предельной температуры нагрева ее при тренировке и эксплуатации;

температурный интервал кристаллизации (разность температур начала и окончания ее) должен быть не более 50°C;

припой должны обладать хорошей смачиваемостью по отношению к соединяемым металлам;

электрическая проводимость припоев должна быть близкой к проводимости соединяемых деталей;

припой должны обладать необходимой прочностью и пластичностью;

припой должны быть коррозионно-стойкими в тех средах, в которых работает лампа.

Пайка мягкими припоями производится паяльником, погружением в расплавленный припой, тонким пламенем, электрической дугой; пайка твердыми припоями — в печах с защитной атмосферой, высокочастотным нагревом, электрической дугой, нагревом проходящим током и др. Для защиты спаиваемых поверхностей металлов от окисления кислородом воздуха спаиваемое место покрывают флюсом. Флюсы одновременно способствуют растворению, улетучиванию или связыванию возникающих окислов, а также способствуют лучшей растекаемости припоя. Пайка мягкими припоями с применением флюсов производится в основном для соединения внешних деталей ламп — припайки внешних выводов ламп к контактными элементам цоколя, припайки к стакану наружного кольца у фокусирующих цоколей и др.

К мягким припоям относятся оловянно-свинцовые, кадмиевые и другие сплавы (табл. 3-15).

Характеристики флюсов мягких припоев приведены в табл. 3-16.

Таблица 3-15

## Характеристики оловянно-свинцовых припоев по ГОСТ 1499-70

Химический состав, %	Марка припоя					
	ПОС-90	ПОС-60	ПОС-50	ПОС-40	ПОС-30	ПОС-18
Олово	89—90	59—61	49—50	3—40	29—30	17—18
Сурьма	0,15	0,8	0,8	1,5—2,0	1,5—2,0	2,0—2,5
Медь	0,08	0,1	0,1	0,15	0,15	0,15
Свинец				Остальное		
Плотность, кг/м³	7570	8540	8900	9310	9690	10 230
Температура плавления, °C	220	183	210	235	256	277
Температура пайки, °C	280	240	250	290	320	340
Температурный коэффициент линейного расширения, 10 <sup>-6</sup> /K	2,6	26	25,5	25	26,5	26
Проводимость относительно меди, %	13,4	12,0	11,2	10,2	9,5	9,0
Усадка линейная, %	0,50	0,51	0,51	0,52	0,55	0,56
Предел прочности при растяжении, Па	43	47	38	38	33	28

Таблица 3-16

## Состав флюсов для пайки легкоплавкими припоями

Основные компоненты	Составы флюсов, %			
	для оцинкованной стали		для латуни	
Цинк хлористый . . . . .	33,5	7,4	12,2	—
Хлористый аммоний . . . . .	—	14,8	4,1	—
Глицерин . . . . .	—	3,7	2,4	—
Диэтиламин солянокислый . . . . .	3,5	—	—	4,0
Триэтиламин . . . . .	0,7	—	—	2,0
Спирт этиловый . . . . .	—	—	—	70,0
Вода . . . . .	62,3	74,1	81,3	—
Каинфоль . . . . .	—	—	—	24,0
	100,0	100,0	100,0	100,0
Добавки сверх 100% к готовому составу флюса				
Цинк металлический гранулированный . . . . .	—	0,26%	0,26%	—
Цинк фтористый . . . . .	0,5%	—	—	—

Для пайки алюминия рекомендуется применять припой эвтектического сплава 91% олова и 9% свинца, плавящегося при 205°C, и флюс из триэтилоламина (80%) и борфторидов кадмия, цинка и аммония (20%).

Поскольку пайку твердыми припоями в основном используют для соединения деталей внутренней арматуры ламп и создания вакуум-плотных соединений, то к ним предъявляются дополнительные требования:

1. Низкое давление насыщенных паров. При температуре 400—500°C (температура обезгаживания стекла) оно не должно превышать  $10^{-5}$  Па.

2. Легкость удаления газов. Рекомендуется тщательное предварительное обезгаживание припоев.

3. Припои должны достаточно легко образовывать сплавы с металлами спаиваемых деталей. Рекомендуется наносить на металлические детали слои других металлов, которые удовлетворяют этим условиям.

4. Отсутствие склонности к межкристаллической диффузии. Припой не должен проникать между отдельными кристаллами спаиваемых металлов, в противном случае место спая может стать неплотным и вызвать его разрушение.

5. Температура плавления припоя не должна снижаться при образовании сплавов с материалом соединяемых деталей.

6. Нечувствительность припоя к ртути. Не должны образовываться легкоплавкие или хрупкие амальгамы.

В табл. 3-17 приведены характеристики некоторых применяемых марок твердых припоев.

Таблица 3-17

Марка припоя	Состав, %	Плотность, кг/м³	Температура плавления, °С		Удельное электрическое сопротивление, мкОм·см	Механические свойства			Примечание
			начало	конец		H <sub>В</sub>	σ <sub>10Па</sub>	δ, %	
Припои на основе серебра (ЦМТУ 07-12-67)									
ПСр72В	Ag-72, Cu-28	9900	780	780	2,2	85	30	21	Медь, никель, сталь Э, сплав Н29К18
ПСр52П20	Ag-52, Cu-28, Pd-20	10 000	898	879	4,2	120	45	—	Стали Х18Н9Т, Э, сплав Н29К18
ПСрМН63В	Ag-63, Cu-27, In-10	9600	710	685	7,7	160	40	—	Сталь Э, сплав Н29К18
Припои на основе золота (ЦМТУ 07-12-67)									
ПЗМВ35	Au-35, Cu-65	10 500	1010	990	80,5	75	50	24	Сталь Э, сплав Н29К18
ПЗлМН35В	Au-35, Cu-62, Ni-3	—	1030	975	—	—	—	—	Сплав Н29К18, сталь Э

Медь, никель, сталь Э, сплав Н29К18

Стали Х18Н9Т, Э, сплав Н29К18

Сталь Э, сплав Н29К18

Сталь Э, сплав Н29К18

Сплав Н29К18, сталь Э



#### 4-1. ОЧИСТКА ПОВЕРХНОСТИ

К стеклоизделиям, помимо ряда требований к физическим и химическим свойствам, предъявляются высокие требования к внешним порокам стекла, которые при дальнейшей обработке стеклоизделий могут привести к повышенному браку и снизить эксплуатационную надежность источников света. Самыми распространенными видами пороков стекла в процессе варки его являются камни, свили и пузыри.

Камни — это твердые кристаллические включения, которые остались в стекле после варки. Камни являются опасными дефектами. При наблюдении в поляризованном свете можно заметить вблизи камней сильные напряжения, которые получают в результате разности ТКЛР стекла и включений.

Свили — это неоднородности в стекле с иными физическими свойствами, чем масса стекла. Свили получают вследствие местного отклонения химического состава стекла, например из-за использования «чужого» боя при варке стекла или вследствие местного отклонения температуры (тепловые свили). Кроме того, свили часто возникают на месте растворившегося камня, если стекломасса не успела гомогенизироваться. В стеклоизделиях свиль резко выделяется на общем фоне разницей в преломлении света, искажая форму предметов, на которые смотрят через стекло. Кроме того, наличие свили можно обнаружить в поляризованном свете.

Пузыри — это полости стекла, заполненные газом, имеющие шарообразную или удлиненную форму. При вытягивании дроба пузыри превращаются в капиллярные каналы.

В табл. 4-1 приведены некоторые виды пороков стекла при изготовлении стеклянных трубок (дроба) и колб.

Получаемые с других предприятий колбы и весовое стекло на электроламповых заводах подвергаются очистке. Для этого их рекомендуется в течение 3—5 с промывать 1—5%-ной соляной кислотой, затем в течение

#### Дефекты стеклянных изделий

Дефекты	Характеристика порока и причина его возникновения
---------	---

#### Стеклянная трубка (дроб)

Овальность	Слишком высокая температура стекломассы при вытягивании
Конусность	Неравномерная работа тянущей машины, колебания давления поддуваемого воздуха, колебания температуры стекломассы
Разностенность	Вибрация вала мундштука, колебания давления поддуваемого воздуха, колебания температуры стекломассы
Кривизна трубки «Грань» на стеклянной трубке	Неправильное расположение роликового конвейера по отношению к мундштуку
	Чрезмерно низкая температура стекломассы на мундштуке, недоброкачественные детали мундштука

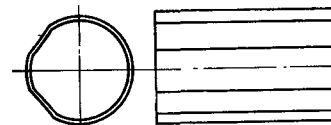


Рис. 4-1. Трещины на трубках.

Соприкосновение горячего стекла с холодным металлом роликов конвейера, быстрое охлаждение трубки (сквозняки), попадание воды на горячее стекло

#### Колбы

##### Длинные и короткие колбы

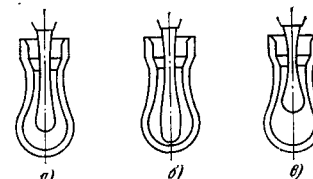


Рис. 4-2. Положение капли в момент закрывания формы.

##### Воднистость

„Длинные“ колбы имеют толстое и неровное (с заливами) дно, „короткие“ (продутые) — тонкие стенки шаровой части и особенно купола. Причиной является слишком низкое или высокое положение капли в момент закрывания формы (рис. 4-2). Появление „коротких“ колб свидетельствует о слишком высокой частоте вращения автомата, „длинных“ — о слишком низкой

Вмятины и „волны“ на куполе колбы. Излишне большая подача воздуха на предварительном вдувании

Дефекты	Характеристика порока и причина его возникновения
Сдвиг центра колбы	Неравномерная толщина колбы, особенно в куполе. Неполный набор стекломассы всасывающей головкой автомата
Кольцеватость	Концентрические кольца на наружной поверхности колбы. Излишне высокий вакуум в наборных головках, слишком высокое давление воздуха при выдувании в закрытой форме, изношенные формы, отсутствие лакового покрытия
Недодутые колбы	Слишком большая частота вращения автомата, недостаточный прогрев дутьевых трубок, недостаточное давление воздуха (износ уплотнений дутьевых трубок, засорение регулятора воздуха, утечки в резиновых шлангах и т. п.)
Трещины в шаре колбы	Переохлаждение форм из-за чрезмерного обдува воздухом, капель воды в форме, соприкосновение горячих колб с непрогретой лентой конвейера или холодными колбами и др.
Темное чернение	Темные круговые черточки на наружной поверхности колбы. Плохая лакировка формы, неравномерная толщина лакового покрытия

10 с промывать в горячей воде (20—50 °С) под давлением около  $1,5 \cdot 10^5$  Па и, наконец, для удаления воды обдуть в течение 1—2 с сжатым очищенным от масла воздухом. Окончательную сушку колб после мойки производят теплым, очищенным от пыли воздухом. Для магnezияльных стекол рекомендуется промывка в разбавленной 2—5%-ной уксусной кислоте: можно вводить в раствор смачивающие добавки, способствующие удалению прилипших к поверхности стекла частиц.

Очистка сильно загрязненного стекла производится следующим образом: предварительная мойка в концентрированных растворах NaOH или KOH, промывка в проточной воде, погружение в концентрированный раствор хромпика ( $K_2Cr_2O_7$ ) на время от нескольких часов до нескольких дней в зависимости от степени загрязнен-

ности, промывка в проточной и дистиллированной воде и сушка.

Обезжиривание стекла (удаление следов вакуумной смазки) производится промывкой в ацетоне, мойкой в горячем 10%-ном растворе соды или в растворе хромпика, промывкой в горячей дистиллированной воде, а затем в метиловом спирте.

Очистка поверхности стекла перед металлизацией производится в мыльном растворе, промывкой в проточной воде, погружением в концентрированный раствор хромпика до тех пор, пока поверхность не будет полностью обезжирена.

#### 4-2. МАТИРОВАНИЕ

##### а) ХИМИЧЕСКОЕ МАТИРОВАНИЕ

Характер матовой поверхности зависит от состава стекла. Лучше всего матируются химически нестойкие стекла, содержащие много окислов щелочных металлов, хуже матируются боросиликатные стекла.

Рекомендуемые составы травильных смесей приведены в табл. 4-2.

Таблица 4-2

Рецепты травильных смесей для матирования стекла

Компоненты	Составы для матирования		
	наружного	внутреннего	
		1	2
HF	25	40	27,5
$K_2CO_3$	—	19,8	—
$(NH_4)_2CO_3$	—	6,2	—
$NH_4HF_2$	37,5	42	—
$Na_2CO_3$	37,5	—	—
$BaSO_4$	—	—	20
$NaHSO_4$	—	—	3,5
Декстрин	—	—	7
$H_2O$	—	34	Добавляется до получения концентрации HF 18—25%

При изготовлении состава для наружного матирования вначале перемешиваются HF и  $NH_4HF_2$  в деревянных оцинкованных емкостях в течение 12 ч, после чего добавляется  $Na_2CO_3$ . Колбы погружаются на 1 мин. Ино-

гда колбы предварительно моют 30%-ным раствором HF.

Участки стекла, не подлежащие травлению, покрывают слоем пчелина, воска или парафина, который затем удаляется скипидаром. В результате матирования на стекле образуется бесчисленное количество острых выступов и микроскопических трещин, придающих хрупкость стеклу. Этот недостаток устраняют обработкой колб закрепителем ( $1000 \text{ см}^3 \text{ HF} + 1000 \text{ см}^3 \text{ H}_2\text{O}$ ), который сглаживает мельчайшие острия. Для 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 полуавтомате карусельного типа:

- позиции 1—5 — загрузка и разгрузка колб;
- позиция 6 — промывка 3—8%-ным раствором плавиковой кислоты;
- позиция 7 — промывка горячей водой;
- позиции 8—9 — стекание воды;
- позиция 10 — введение матирующего состава;
- позиции 11—12 — стекание матирующего состава;
- позиция 13 — промывка горячей водой;
- позиция 14 — введение закрепителя;
- позиции 15—17 — промывка горячей водой;
- позиция 18 — продувка сжатым воздухом.

Производительность полуавтомата составляет 2000 шт/ч.

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 оплавляється и становится прозрачной.

В § 4-3 изложены краткие сведения об обработке колб зеркальных ламп накаливания на полуавтомате, где одновременно производится внешнее и внутреннее матирование.

#### 6) МАТИРОВАНИЕ КОЛЛОИДНЫМ КРЕМНЕЗЕМОМ

Это покрытие внутренней поверхности колб слоем двуокиси кремния белого цвета очень тонкой структуры, поглощение светового потока этим слоем не превышает

2%. Исходным материалом для нанесения слоя  $\text{SiO}_2$  является кремнийорганическое соединение — этилсиликат  $(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_4\text{Si}$  (этиловый эфир ортокремниевой кислоты). При сжигании паров этилсилката образуется обильный белый дым, состоящий из частиц двуокиси кремния размером 0,03—0,3 мкм. Испарение и сжигание эфира, а также введение в колбу дыма  $\text{SiO}_2$  производят специальной горелкой, состоящей из испарителя этилсилката и трех концентрических вставленных друг в друга металлических трубок. Во внутреннюю трубку подводят из испарителя пары этилсилката, в среднюю сжатый воздух и в наружную — кислород. Этилсиликат в испарителе нагревается до кипения ( $167^\circ\text{C}$ ). Смесь паров этилсилката и воздуха зажигают и так регулируют пламя, чтобы оно оторвалось от горелки на 5—10 мм. Кислород подают с избытком, чтобы обеспечить полное сгорание, иначе углерод несгоревшего этилсилката окрашивает колбу в желтый цвет. Колбу, помещенную в шаблоне, надвигают на пламя так, чтобы горелки поместились на уровне перехода цилиндрической части колбы в шаровую. Осаждение ведут до такой толщины, чтобы через двойной слой осадка еле видна была спираль горячей лампы мощностью 25 Вт.

Слой двуокиси легко стирается рукой и при простукивании осыпается. Его закрепляют вдуванием перегретого водяного пара и немедленно переносят колбу под струю горячего воздуха до полного восстановления белого цвета. Такая обработка превращает слой разрозненных частиц двуокиси кремния в прочную пленку коллоидного кремнезема, которая имеет высокую температуру плавления, плохо растворяется в расплавленном стекле и препятствует образованию вакуум-плотного шва при заварке колбы с ножкой. Поэтому ее счищают с горла колбы перед заваркой. Матирование колб коллоидным кремнеземом производят на 16-позиционном полуавтомате карусельного типа; на каждой позиции одновременно обрабатываются три колбы:

- позиция 1 — загрузка колб;
- позиция 2 — центровка колб и продувка сжатым воздухом;
- позиции 3—7 — опускание колб на горелки сжигания этилсилката и осаждение двуокиси кремния на вращающиеся колбы;



- позиции 8—11 — охлаждение колб снаружи и изнутри сжатым воздухом;
- позиция 12 — вдувание внутрь колб перегретого пара для закрепления нанесенного слоя;
- позиция 13 — очистка зоны заварки колб от пленки резиновой пластинкой;
- позиции 14—15 — сушка колб нагретым до 80—100 °С воздухом при одновременном наружном обогреве пламенем горелки;
- позиция 16 — съем колб.

Производительность полуавтомата составляет 1800 шт/ч.

Некоторые зарубежные фирмы при изготовлении «опаловых» колб для нормальных осветительных ламп вместо матирования внутренней поверхности или введения «глушителей» в состав стекла покрывают их изнутри слоем мелкого порошка  $\text{SiO}_2$ . Размеры зерен окиси кремния лежат в пределах от 4 до 7 мкм. При этом в отличие от оболочек из опалового стекла прочность колб по сравнению с прозрачными не снижается. Лампы с оболочками, покрытыми слоем двуокиси кремния, характеризуются гораздо меньшим спадом световой отдачи в процессе эксплуатации, чем другие типы ламп. Это объясняется тем, что образование темных налетов на внутренней поверхности колб в этом случае происходит медленнее. Поэтому концентрация азота в газовом наполнении ламп может быть снижена (до 2% вместо 12% в обычных лампах), а температура тела накала — несколько повышена. Плотность покрытия составляет 7—13 мг/см<sup>2</sup>. Перед его нанесением внутреннюю поверхность колб матируют.

#### в) ОРГАНОСИЛИКАТНЫЕ ПОКРЫТИЯ

В последнее время в электроламповой промышленности освоено внешнее покрытие колб на основе органосиликатных материалов, дающее очень надежное светорассеивающее покрытие.

Органосиликатные покрытия, состоящие из растворов полимеров и силикатных и окисных компонентов, имеют высокую нагревостойкость, высокие электроизоляционные свойства и вибростойкость, обладают гидрофобно-

стью, стойкостью в тропиках; такого типа покрытия имеют хорошую адгезию к стеклу.

Нагревостойкость покрытия определяется высокой стойкостью силоксановой связи к термической и к термоокислительной деструкции. Эластичность пленок обеспечивается наличием органических радикалов. Введение ароматических групп повышает их твердость и нагревостойкость.

Тонкослойные покрытия из органосиликатных материалов возможно получить на основе немодифицированных полиметилфенилсилоксанов, наполненных мелкодисперсными силикатами и окислами. В состав органосиликатного покрытия входят и окислы металлов, у которых коэффициент преломления совпадает с показателем преломления кремнийорганического полимера. Лишь при этом условии луч света проходит через покрытие с незначительными потерями с созданием эффекта светорассеивания.

Светорассеивающее покрытие наносится методом окунания с последующей сушкой и термообработкой, толщина покрытия составляет 25—35 мкм. При этом размеры глушащих частиц в полимере составляют 6—8 мкм, что обеспечивает хорошие светорассеивающие свойства покрытия.

Спад светового потока ламп накаливания с этим светорассеивающим покрытием составляет около 9% по сравнению с 13,5% у ламп с внутренним покрытием.

### 4.3. МЕТАЛЛИЗАЦИЯ

#### а) РАСПЫЛЕНИЕ МЕТАЛЛА В ВЫСОКОМ ВАКУУМЕ

Метод испарения металла на поверхность стекла в высоком вакууме в производстве источников света дает возможность быстро наносить как металлические, так и неметаллические покрытия толщиной 1—20 мкм. Напыляемый металл нагревают в вакууме до температуры, при которой давление его пара составляет 1 Па. Нагревательные элементы (испарители) обычно изготавливают из вольфрама, молибдена и в отдельных случаях из ниохрома или хромеля.

На рис. 4-3 изображены испарители различных типов. Расстояние между испарителем и поверхностью деталей обычно составляет 50—100 мм. Если под действием теплового излучения испарителя с поверхности де-

талей может происходить выделение газов, это расстояние увеличивают до 300—600 мм. Шарообразные и цилиндрические детали и изделия неправильной формы в процессе металлизации непрерывно вращают. Иногда используют несколько испарителей. В процессе работы на стенках установки образуется налет, поглощающий большие количества газов. Для экономии времени, необходимого для чистки рабочей камеры, ее стенки можно защищать экранами, которые время от времени моют в кислоте.

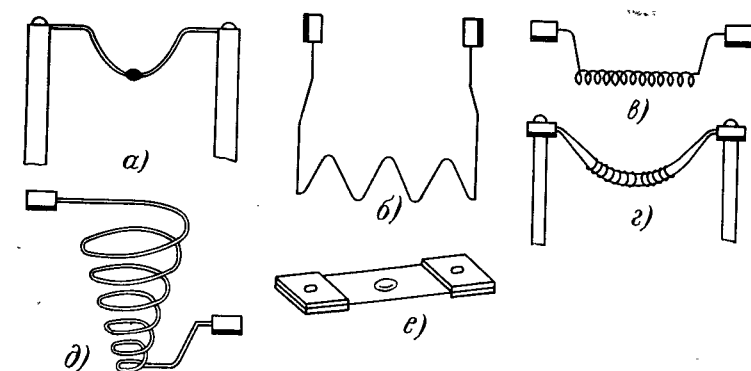


Рис. 4-3. Основные типы испарителей.

а — U-образный проволочный; б — зигзагообразный; в — спиральный; г — проволока из испаряемого металла навита на подогреватель; д — коническая спираль; е — ленточный с углублением для испаряемого материала.

Температуры, при которых ведется испарение различных металлов, указаны в табл. 4-3.

В таблице приведены также указания о выборе испарителя, материал которого определяется не только рабочей температурой, но и некоторыми свойствами испаряемого металла (смачиваемость, химическое взаимодействие).

Для нанесения многокомпонентных покрытий, в том числе и тугоплавких металлов в виде пленок, можно воспользоваться эффектом «взрыва проволоки» в вакууме под действием мощного импульса тока (от разряда конденсатора).

Путем испарения металлов в вакууме можно в течение нескольких минут осаждать на стекле пленки толщиной от 0,1 до 2 мкм. При испарении легколетучих металлов (с низкой температурой плавления) рекомендуется

для улучшения прочности сцепления предварительно наносить на поверхность деталей молекулярный промежуточный слой более тугоплавкого металла (серебра или хрома).

Таблица 4-3

# Режимы металлизации в вакууме

Материал	Точка плавления, °C	Условные испарения		Материал испарителя (расположены в порядке ухудшения качества)
		Температура, °C	Скорость испарения, $10^{-7}$ г/(см <sup>2</sup> ·°C)	
Ag	960	1050	17	Ta, Mo, Nb, Fe, W, хромель
Al	660	1000	8	W, Ta, Mo, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Be	1284	1250	5	Ta, W, Mo
Cd	321	260	27	Хромель, Nb, Ta, Fe, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub>
Se	640	1300	17	—
Cr	1800	1200	11	W, графит
Cu	1084	1270	12	Mo, Ta, Nb, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Mg	651	440	11	W, Ta, Mo, Nb, Fe, Ni, хромель, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Ni	1453	1500	11	W, Ni, хромель, тигли из Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Pd	1552	1570	14	W
V	1710	1900	9	W, Mo, графит
Zr	1830	2000	12	W, графит

Когда при металлизации необходимо получить окна или просветы на поверхности колб, экранируют нужные участки пластинками слюды, стеклянными шариками и др. Иногда для удаления части покрытия применяют травление.

Особенно широкое распространение в производстве источников света получило алюминирование в лампах с внутренним рефлектором — лампы-фары, инфракрасные, сигнальные, железнодорожные, проекционные и другие лампы. Структура современных зеркальных покрытий изображена на рис. 4-4.

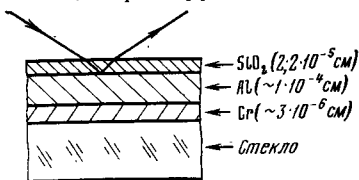


Рис. 4-4. Структура высококачественного алюминированного зеркала, полученного методом испарения в вакууме.

Алюминирование колб диаметром 175 мм для зеркальных ламп накаливания производится на полуавтоматической линии, состоящей из трех карусельных машин: полуавтомата мойки и матирования, полуавтомата

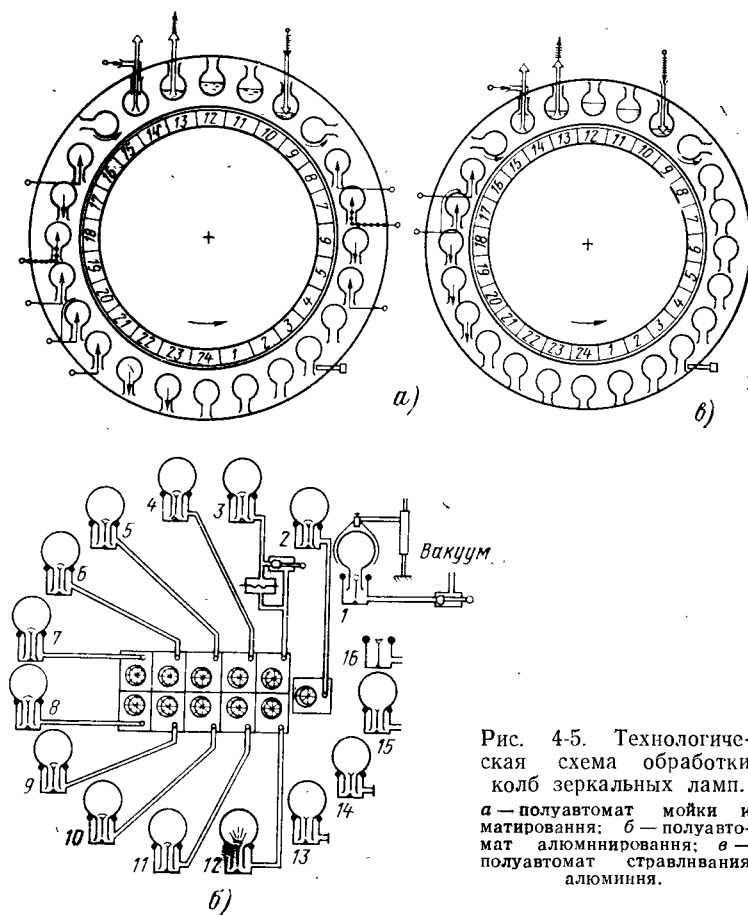


Рис. 4-5. Технологическая схема обработки колб зеркальных ламп.  
а — полуавтомат мойки и матирования; б — полуавтомат алюминирования; в — полуавтомат стравливания алюминия.

алюминирования и полуавтомата стравливания алюминия (рис. 4-5), машины соединены между собой подогревными конвейерами. Производительность линии 200 колб в час.

Зеркальный слой алюминия наносится на заднюю часть внутренней поверхности колбы; матированию мо-

жет подвергаться либо только купол колбы, либо вся ее внутренняя поверхность, либо вся колба снаружи.

Технологическая схема 24-позиционного полуавтомата мойки и матирования колб изображена на рис. 4-5, а:

- позиции 1—2 — загрузка колб (горлом вниз);
- позиция 3 — контрольная;
- позиция 4 — свободная;
- позиция 5 — промывка внутренней поверхности колбы теплой водой;
- позиция 6 — стекание воды;
- позиция 7 — промывка 3—5%-ным раствором плавиковой кислоты;
- позиция 8 — промывка теплой водой;
- позиция 9 — переворачивание колбы горлом вверх;
- позиции 10—12 — введение матирующего состава;
- позиция 13 — отсасывание матирующего состава;
- позиция 14 — подача и отсос промывочной воды;
- позиция 15 — переворачивание колбы горлом вниз;
- позиция 16 — промывка теплой водой;
- позиция 17 — стекание воды;
- позиция 18 — промывка 8—10%-ным раствором плавиковой кислоты;
- позиция 19 — промывка теплой водой изнутри;
- позиция 20 — промывка теплой водой изнутри и снаружи;
- позиция 21 — промывка внутренней поверхности деминерализованной водой;
- позиции 22—23 — стекание воды с колбы;
- позиция 24 — съем колб.

Технологическая схема 16-позиционного полуавтомата алюминирования колб изображена на рис. 4-5, б. Откачка производится ротационными масляными насосами. Перед алюминированием колбы проходят через туннельную электрическую печь:

- позиция 1 — загрузка колбы (горлом вниз);
- позиция 2 — предварительная откачка;
- позиция 10 — окончательная откачка;
- позиция 11 — прогрев распылителя электрическим током;
- позиция 12 — распыление алюминия;
- позиции 13—14 — охлаждение спирали;

- позиция 15 — впуск атмосферного воздуха и  
съем колбы;  
позиция 16 — вставление в распылитель отрезка  
алюминиевой проволоки.

Технологическая схема 24-позиционного полуавтомата  
стравливания алюминия в колбе приведена на рис.  
4-5,а:

- позиции 1—2 — загрузка колб (горлом вниз);  
позиция 3 — контрольная;  
позиции 4—8 — свободные;  
позиция 9 — переворот колбы горлом вверх;  
позиция 10 — заливка в колбу 1,5%-ного раство-  
ра подогретого едкого кали;  
позиции 11—12 — стравливание слоя алюминия  
с купола колбы;  
позиция 13 — отсос раствора;  
позиция 14 — промывка водой;  
позиция 15 — переворот колбы горлом вниз;  
позиция 16 — промывка фонтаном воды;  
позиция 17 — промывка внутренней и внешней  
поверхности колбы;  
позиции 18—23 — стекание воды с колб;  
позиция 24 — съем.

Ниже приводится процесс алюминирования рефлекторов само-  
летных ламп-фар по данным фирмы Sylvania Electric Produkts  
(США).

#### А. Предварительная очистка стекла

1. Промывка в горячей воде.
2. Ополаскивание горячим раствором щелочи.
3. Промывка горячей водой.
4. Промывка плавиковой кислотой. Концентрация кислоты  
3—15% (слабый раствор слегка протравливает поверхность стекла,  
чтобы обеспечить прочное сцепление пленки металла со стеклом; бо-  
лее концентрированную кислоту используют для получения слегка  
матовой поверхности стекла на тех участках, где слой алюминия  
должен отсутствовать).
5. Промывка в горячей воде.
6. Промывка горячей дистиллированной водой.
7. Сушка горячим воздухом.

#### Б. Металлизация

1. Сушка теплым воздухом для удаления следов воды, которая  
могла конденсироваться в оболочке при хранении.
2. Монтаж отрезка алюминиевой проволоки или фольги на воль-  
фрамовой спирали испарителя. Содержание алюминия должно быть  
не менее 99%. Величина навески алюминия зависит от размеров

металлизируемой поверхности, для оболочек средних размеров на-  
веска составляет 0,3 г.

3. Загрузка: мелкие детали укрепляют по несколько штук одно-  
временно в специальном держателе, который затем устанавливают  
в вакуумной камере; крупные рефлекторы устанавливают и алюми-  
нируют по одному.

При алюминировании колб с узкими горловинами (оболочки  
инфракрасных ламп) вакуумный колпак не применяют, а затыкают  
горловину резиновой пробкой с введенными в нее вакуум-проводом  
и вводами испарителя.

4. Откачка. На каждую оболочку или вакуумный колпак оде-  
вается взрывозащитный пластмассовый экран. Откачка установки  
производится паромасляными или паротурбинными насосами с вымо-  
раживающей ловушкой, наполненной жидким азотом, до давления  
(1—5) · 10<sup>-2</sup> Па.

5. Формирование испарителя. Прогрев током алюминиевой про-  
волоки в течение 10 с, не доведя до плавления, затем ток накала  
увеличивается до расплавления алюминия.

6. Испарение. Ток накала увеличивается до тех пор, пока не  
начнется быстрое испарение алюминия. При этом давление в рабо-  
чей камере не должно превышать 10<sup>-2</sup> Па.

7. Отжиг. После съема оболочки зеркало в течение 3—5 мин про-  
гревается на воздухе инфракрасными лампами (или другим источни-  
ком инфракрасного излучения) для образования тонкой пленки окиси  
алюминия.

#### В. Удаление слоя алюминия

1. Травление. Для удаления алюминия с участков стекла, кото-  
рые должны быть прозрачными, в колбы, укрепленные вертикально,  
вводят слабый раствор едкого натра с небольшой примесью спирта.  
Подачу и отсос раствора производят по введенной в колбу трубке  
так, чтобы раствор не касался отражающей поверхности. Растворе-  
ние пленки алюминия продолжается 2—3 мин. Открытые рефлекторы  
погружают сверху в раствор щелочи на такую глубину, чтобы уда-  
лить слой алюминия в зоне последующей заварки.

2. Удаление следов раствора щелочи. Промывка оболочки теплой  
водой.

3. Промывка проточной водой.
4. Сушка теплым воздухом.
5. Контроль.

#### б) МЕТАЛЛИЗАЦИЯ ХИМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

**Серебрение.** Высококачественное отражающее покры-  
тие на внутренней поверхности колб можно получить на-  
несением на нее серебряного зеркала, коэффициент  
отражения которого достигает 0,92—0,94 по сравнению  
с 0,85—0,87 у алюминиевого зеркала. Однако ввиду вы-  
сокой стоимости покрытия, малой производительности  
процесса, а также из-за быстрого тускнения серебряного  
зеркала под влиянием нагрева при заварке, воздействия  
промышленных газов, содержащихся в воздухе, и тому  
подобных причин химическое серебрение в последнее  
время применяется крайне редко.

Для серебрения могут быть рекомендованы следующие рецепты.

1. Предварительно готовятся три раствора:

А. Раствор азотнокислого серебра — 4 г  $\text{AgNO}_3$  растворяют в 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды; 6 г  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  растворяют также в 10<sup>-4</sup> м<sup>3</sup> дистиллированной воды и оба эти раствора смешивают.

Б. Раствор сахара — 5 г сахара-рафинада растворяют в 50 см<sup>3</sup> дистиллированной воды, добавляют 0,6 г винной кислоты и кипятят 10 мин. После охлаждения добавляется 10 см<sup>3</sup> 96%-ного этилового спирта и объем раствора доводится до 100 см<sup>3</sup> дистиллированной водой.

В. Раствор щелочи — 10 г едкого натра растворяют в 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды.

Перед серебрением 5 см<sup>3</sup> раствора Б добавляют к 30 см<sup>3</sup> раствора А, а затем сразу же вливают 15 см<sup>3</sup> раствора В. Этим устраняют возможность образования взрывоопасного гремучего серебра. Восстановление серебра начинается сразу же после введения раствора и при температуре 20—22°C заканчивается за 25 мин.

2. Раствор азотнокислого серебра готовят, растворяя 8 г  $\text{AgNO}_3$  в 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды, затем по каплям добавляют  $\text{NH}_4\text{OH}$  до тех пор, пока образующийся небольшой осадок не перестанет растворяться. Раствор фильтруют и незадолго до употребления в него вводят 50 капель 30%-ного формалина — водного раствора формальдегида  $\text{HCHO}$  (восстановителя). Серебрение продолжается 10—15 мин.

**Меднение.** В колбу лампы заливают 7,8%-ный раствор сернокислой меди  $\text{CuSO}_4$ , на 1000 см<sup>3</sup> которого добавляют 350 см<sup>3</sup> 25%-ного раствора  $\text{NH}_4\text{OH}$ , затем добавляют 6%-ный раствор гидрата гидразина  $\text{NH}_2 \times \text{NH}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  из расчета 3 объема на 10 объемов первого раствора. После выдержки в течение 1—2 мин (добавляется 5 объемов 8%-ного раствора щелочи) колба подогревается при температуре 80—100°C в течение 5—8 мин.

#### 4-4. ОКРАСКА КОЛБ

Среди значительного количества специальных видов электроламповых стекол имеется большое количество цветных стекол с селективным (избирательным) спектральным пропусканием, причем современное состояние

техники позволяет создавать стекла с заранее заданным спектром пропускания или поглощения. Эти цветные стекла применяются для качественного изменения светового потока путем полного или частичного поглощения отдельных участков спектра. Цветные стекла вследствие сравнительно малого объема производства варят в небольших ваннах печах периодического или непрерывного действия и в горшковых печах с выработкой колб вручную.

В последние годы взамен дорогостоящих цветных стекол начали широко внедряться различного рода поверхностные покрытия (окраска) колб, обеспечивающие селективное излучение ламп в требуемых участках спектра. Так, внедрены в производство зеркальные лампы накаливания (300 и 500 Вт) для теле- и киностудий со специальной цветной пленкой, нанесенной на внешнюю поверхность колбы. Излучение ламп с этой пленкой соответствует цветовой температуре 3200 К.

Кроме того, применение окраски колб создает условия для расширения ассортимента и объемов производства ламп для сигнализации, получения инфракрасного излучения, декоративного и рекламного освещения и т. д.

Основные данные по изготовлению красок для внутреннего покрытия колб приведены в табл. 4-4.

Таблица 4-4

Составы красок для внутреннего покрытия колб

Цвет краски	Наименование пигмента	Количество пигмента, кг	Диоксид титана, кг	Нитролак 6%-ный, см <sup>3</sup>	Дибутилфталат, см <sup>3</sup>	Время размола, ч	Разбавитель, см <sup>3</sup>	Кинематическая вязкость, см <sup>2</sup> /с
Желтый	Крон свинцовый желтый марки 0 или 00	1,600	—	1200	120	72	—	0,35—0,40
Красный	Крон свинцовый оранжевый марки 0 или 00	1,800	—	1500	150	72	—	0,40—0,47
Зеленый	Пигмент № 160	0,400	0,400	1500	150	72	750	0,35—0,40
Голубой	Пигмент № 906	0,325	0,425	1250	125	72	625	0,35—0,40
Сиреневый	Пигмент № 255	0,400	0,400	1250	125	72	400	0,35—0,40
Белый	Диоксид титана	—	0,600	1250	—	24	1200	0,28—0,39

Примечание. Разбавитель — смесь ацетона с амилацетатом (1 : 1).

Окраска колб производится на установке фонтанного типа, а обжиг колб (удаление растворителя, разложение нитроклетчатки и сжигание образующегося углерода) — на карусельной машине газовыми горелками при температуре 450—480 °С. Место заварки колбы с ножкой очищают от краски механической протиркой.

При внешнем покрытии лампы окрашивают прозрачными и непрозрачными красками. Прозрачными красками окрашиваются люминесцентные лампы и лампы накаливания мощностью не более 25 Вт (при высокой температуре краска бледнеет). Прозрачные краски приготавливаются растворением в бесцветном нитроцеллюлозном лаке различных анилиновых красителей. Бриллиантовая зелень дает зеленый цвет, родолин и конго красный — красный и т. п. Для окраски ламп можно применить готовые цветные прозрачные цапонлаки — № 950, 956, 963 и др.

Окраска ламп может производиться погружением ламп в раствор желатина (150 г желатина на 1000 см<sup>3</sup> дистиллированной воды), в который введены нужный краситель и несколько капель фенола (для защиты от плесени). После этого окрашенный слой покрывают нитролаком (25 г целлулоида, 600 см<sup>3</sup> ацетона, 1000 см<sup>3</sup> амилацетата).

Непрозрачные краски готовят из разведенных на бесцветном нитролаке сухих минеральных пигментов. Двуокись титана, окись цинка и литопон применяются для получения белого цвета, ультрамарин — синего, крон желтый и кадмиевый желтый — желтого, кадмиевый красный и лак рубиновый — красного цвета, крон зеленый — зеленого и др. Пигменты в отличие от красителей не растворяются в пленкообразующих лаках и образуют при тщательном растирании с ними суспензии.

У ламп инфракрасного излучения (зеркальные лампы) на световое окно перед алюминированием наносится прозрачная темно-красная краска. Эта краска приготавливается размолом в шаровой мельнице смеси сернокислой меди, хлористого серебра, красной окиси железа, каолина и разбавленного спирта. Колбы после нанесения краски отжигают при температуре, близкой к точке размягчения стекла, краска приплавляется к стеклу.

Окраска части поверхности колб специальных ламп накаливания в черный цвет производится на основе алюмофосфатной связки. Ортофосфорная кислота (плот-

ностью 1700 кг/м<sup>3</sup>) — 2,55 частей, гидроокись алюминия — 1,0 часть и дистиллированная вода — 1,0 часть нагреваются в фарфоровой чашке при непрерывном перемешивании в течение 20—30 мин до получения однородной липкой молочно-белой массы. На 250 г этой массы добавляются вода дистиллированная — 250 см<sup>3</sup>, окись алюминия — 250 г, черный пигмент № 1063 — 425 г. Краска размалывается в течение 6 ч в шаровой мельнице, фильтруется, вязкость ее должна быть 0,5—0,6 см<sup>3</sup>/с. Окраска производится или с помощью кисточек на специальном приспособлении, или окунанием. Закрепление покрытия производится нагревом до температуры 420 °С в течение 1,5 ч. При толстых покрытиях скорость подъема температуры не должна превышать 70 К/ч.

Окраску специальных ламп накаливания в красный цвет производят следующим образом. Краситель «ацетонорастворимый алый С» 20 г и 200 г этилового спирта-ректификата перемешивают и отстаивают 24 ч. После отстоя раствор фильтруют и добавлением спирта доводят до первоначального объема. Затем 200 см<sup>3</sup> спиртового раствора красителя и 900 см<sup>3</sup> лака МЛ-91 перемешивают в бутылки на валковой мельнице в течение 30—40 мин, отстаивают 12 ч и снова фильтруют. Вязкость краски должна быть 0,55—0,65 см<sup>2</sup>/с при температуре 20 °С. Нанесение производится окунанием, а сушка — вначале 10—15 мин на воздухе и после этого 15—20 мин при температуре 165—170 °С.

Окраску зеркальных ламп снаружи алюминиевой пудрой производят для устранения подсвета через полупрозрачное зеркало, нанесенное на внутреннюю поверхность лампы. Алюминиевая суспензия приготавливается из алюминиевого порошка (ПАК-2), размешанного в 2 кг лака. Состав лака: 750 г целлулоида, 8000 см<sup>3</sup> ацетона, 8000 см<sup>3</sup> амилацетата. Вязкость лака 0,75—0,85 см<sup>2</sup>/с при 20 °С. Нанесение краски производится пульверизатором, сушка — при температуре 60—70 °С в течение 8—12 мин. Удаление лишнего покрытия для образования светового окна производится механическим способом, и окончательно защищают его тампоном, смоченным в ацетоне. Окончательно лампы сушатся при равномерно поднимающейся от 100 до 160 °С температуре в течение 1,5 ч.

В настоящее время все более широкое распространение получают специальные светожаростойкие покрытия

(эмали), нанесенные на поверхность колб и придающие последним необходимые, заранее заданные, спектральные характеристики в данной области ультрафиолетового, инфракрасного или видимого спектра. Цветное покрытие может наноситься на всю поверхность колбы или на ее часть.

Эмали имеют низкую температуру размягчения, на 10—20 К ниже температуры размягчения окрашиваемых стекол.

Температурный коэффициент расширения эмали должен быть близок к коэффициенту расширения окрашиваемых стекол, иначе покрытие в процессе обжига может растрескиваться или вообще отлетать. Для придания хорошего блеска коэффициент преломления эмали должен быть достаточно высоким. Такие эмали состоят в основном из двуокиси кремния, окиси свинца или окиси бора. Иногда в состав эмалей могут входить и другие окислы, применяемые при варке обычных стекол. Эмали могут быть окрашены в массу окислами соответствующих металлов или быть бесцветными. Бесцветные флюсы при помеле перемешиваются с красителями, окрашивающими пленку при обжиге на стекле. Окрашивание в бесконечном диапазоне оттенков достигается добавлением окрашивающих веществ, являющихся в большей части окислами или солями металлов. Красящая и кроющая способности этих добавок должны быть достаточно высокими, чтобы даже при весьма малой толщине слоя все-таки были окрашенными.

Химические соединения, применяемые для окраски эмалей, приведены в табл. 4-6.

Легкоплавкие стекла варятся в специальных печах, осветленная стекломасса выливается в воду (фриттуется), измельчается, а затем тщательно размалывается или в шаровых мельницах с фарфоровыми барабанами и с фарфоровыми шарами или в вибромельницах до зерен размером не выше 50 мкм. Размол продолжается в течение 10—20 дней в зависимости от твердости стекла. При размолке в шаровой мельнице к измельчаемой краске добавляют скипидар, бутилацетатный лак, спирт, бензол, реже — ацетон. Хорошо размолотая масса сушится при 60—80 °С, а затем просеивается. Для придания краскам соответствующей консистенции и вязкости к ним добавляют связующие вещества (природные или синтетические высыхающие масла — розмариновое,

лавандовое или гвоздичное масло, дамаровую смолу, канифоль, различные виды терпентина и др.).

Отличие стекольных красок состоит в том, что все разбавители и связующие вещества являются добавками, которые связывают зерна пигментов лишь временно и при обжиге улетучиваются или сгорают, а по мере дальнейшего роста температуры стекольная краска плавится и соединяется со стеклом окрашиваемого изделия.

Таблица 4-5

Окрашивающие вещества для легкоплавких эмалей

Цвет	Наименование соединений
Фиолетовый	Калий марганцовокислый $\text{KMnO}_4$ Закись кобальта $\text{CoO}$ Двуокись марганца $\text{MnO}_2$
Синий	Закись кобальта $\text{CoO}$
Сапфир	Окись меди $\text{CuO}$ Закись кобальта $\text{CoO}$
Голубой	Закись кобальта $\text{CoO}$
Зеленый	Окись меди $\text{CuO}$ Калий двуххромовокислый $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$
Желтый	Свинец хромовокислый $\text{PbCrO}_4$
Янтарный	Свинец хромовокислый $\text{PbCrO}_4$ Хлористое серебро $\text{AgCl}$
Белый	Окись олова $\text{SnO}$
Красный	Свинец хромовокислый $\text{PbCrO}_4$ Окись железа $\text{Fe}_2\text{O}_3$

Краски поставляются в виде тонко размолотых порошков или в готовом виде (с разбавителями и связующими веществами). Для покрытия колб предпочтительнее порошок, так как он должен дополнительно размалываться в течение 90—110 ч. При этом краски перед загрузкой в барабан шаровой мельницы смешивают со связующими веществами и разбавителем. Связующие вещества подбирают в соответствии со способом нанесения краски и регулируют их свойства разбавлением. Готовую краску наносят на стекло кистью, распылением или окунанием. Для каждого способа нанесения необходимы смеси со специфическими свойствами. После высыхания и затвердевания краска должна прочно прилипать к стеклу. При нагреве она не должна растекаться. При сушке и обжиге связующие вещества и разбавители должны без остатка улетучиться или сгореть.

Наибольшее количество связующих веществ и разбавителей добавляется в краски, которые предназначены для покраски кистью, чтобы краска, прилипая к основанию, образовывала бы слой необходимой толщины. Смесь должна высыхать и затвердевать постепенно, чтобы приготовленной краской можно было пользоваться длительное время. Для красок, предназначенных к нанесению распылителем, наоборот, употребляют минимальное количество связующего вещества. Наносить краски распылением можно даже без применения связующего, например лишь с водой или спиртом, причем после обжига колбы имеют хороший внешний вид. Колбы, предназначенные для покраски, тщательно очищают от пыли и следов пальцев, обезжиривают слабым раствором щелочи, протирают спиртом, затем высушивают. Для очистки колб необходимо применять ткань, изготовленную из длинного волокна. Короткие хлопковые волокна легко отделяются и остаются на стекле. Шерстяные волокна не полностью сгорают и являются причиной дефектов в обожженном покровном слое. Любое загрязнение проявляется при обжиге неустраняемыми дефектами (точки, трещины, пятна).

При продолжительном хранении приготовленной краски в поверхностном слое оказывается много разбавителя, поэтому при работе краску необходимо тщательно во время ее перемешивать. При покраске необходимо точно подбирать соотношение связующего вещества и краски, так как слишком большое количество связующего вещества приводит при обжиге к выделению восстанавливающих газов, которые не только действуют на содержащийся в краске свинец, но и образуют закрытые пузыри внутри краски и открытые на ее поверхности; в таком случае говорят, что краска «кипит». Этот дефект встречается, в частности, и у красок, нанесенных толстым слоем.

Краски, размазываемые в терпентине, — тягучие. Краски, размазываемые с водой, плохо смешиваются при разбавлении их терпентином и менее тягучи. Для улучшения смачивания к такой краске выгодно добавлять хотя бы часть краски, размолотой с терпентином.

Перед началом работы с новой партией краски необходимо проверить ее цветовой оттенок, плавкость и возможность разбавления. Для этого на изделие или кусок листового стекла краску наносят слоями разной толщи-

ны или же слоем, сходящим на нет. Затем образцы обжигают вместе с другими изделиями при одинаковых условиях.

Для закрепления нанесенных просушенных красок и получения надлежащего качества покрытия колбы подвергаются обжигу при постепенном нагреве изделия до температуры начала размягчения стекла (около 550—590 °C). Нагрев должен длиться не менее 30 мин. После выдержки в течение 10—20 мин в зависимости от толщины пленки при температуре на 10—20% ниже температуры размягчения стекла изделия охлаждают по графику отжига стекла: до температуры примерно на 60 К ниже критической со скоростью около 3 К/мин (20 мин), а затем со средней скоростью не более 10 К/мин (около 50 мин). Общее время обжига колб, таким образом, будет составлять около 2 ч. Для получения равномерного покрытия необходимым условием является равномерность распределения температуры по объему печи. Обжиг можно производить как в муфельных, так и в туннельных печах.

#### 4.5. ПРОЧИЕ ПОКРЫТИЯ

**Проводящие покрытия.** Для облегчения зажигания ламп (люминесцентных, импульсных) производится покрытие наружной поверхности колб проводящими лаками. «Зажигающая» полоса должна иметь небольшое электрическое сопротивление, незначительную зависимость сопротивления от температуры. В качестве клеящей основы могут быть использованы нитроцеллюлозные лаки, бакелитовый лак и кремнийорганические лаки до рабочей температуры 150 °C. Так, в качестве проводящей основы используется посеребренный медный порошок (размер зерна 20—30 мкм). Серебрение порошка проводится из раствора азотнокислого серебра. Перед серебрением медный порошок обезжиривают и очищают от окислов обработкой в серной кислоте или хлористом аммонии и высушивают. Для нанесения используется состав: 45 см<sup>3</sup> бакелитового лака (вязкость 1,75—2,0 см<sup>3</sup>/с) и 55—60 г посеребренного медного порошка. После нанесения лампы сушат при 100—120 °C в течение 8—10 мин.

**Нанесение графита.** Графитовые покрытия в источниках света применяются для чернения поверхности колб



с целью уменьшения отражательной способности, конденсации паров вольфрама в проекционных и прожекторных лампах. Процесс нанесения графита прост: после обычной очистки поверхности колбу покрывают водной суспензией коллоидного графита путем погружения, намазывания или пульверизации. Готовую суспензию перед использованием разбавляют водой (в отношении 1:1) для придания ей нужной вязкости. При внешнем покрытии колб для защиты покрытия от механических повреждений наносится слой лака.

Если стеклянные изделия при откачке не удается обезгазить, то их покрывают слоем графита и, используя инфракрасные лампы, легко нагревают до 400 °С, что вполне достаточно для удаления газов.

**Защитные покрытия** применяются для защиты тонких пленок и особенно зеркальных покрытий от воздействия атмосферы и от коррозии (особенно в тропических условиях и по отношению к морской воде), а также для упрочнения металлических покрытий.

Слой тугоплавких металлов, нанесенные на нагревостойкие материалы (кварцевое стекло), можно защищать, покрывая их тонким слоем двуокиси кремния. Для этого металлизированные детали помещают в камеру, откачиваемую насосом предварительного разрежения, и при 850 °С обрабатывают в парах этилсиликата. При этой температуре этилсиликат диссоциирует и образующаяся двуокись кремния конденсируется на поверхности деталей в виде пленки, толщина которой при 850 °С увеличивается со скоростью 0,03 мкм/мин. Твердость пленки возрастает при повышении температуры подложки, однако в связи с опасностью быстрого роста зерен эта температура не должна превышать 900 °С. Пленки алюминия на стекле нельзя подвергать действию высоких температур, их можно покрывать надежной защитной пленкой путем напыления двуокиси кремния в вакууме. Для этого кварцевый штабик диаметром около 1 мм помещают в плотную спираль из вольфрамовой проволоки диаметром 0,5 мм. Кварц легко испаряется; образующаяся пленка слабо окрашена окислами вольфрама в коричневый цвет.

Чистые покрытия можно получить при возгонке двуокиси кремния, расплавленной в танталовом тигле, нагревание которого производится электронной бомбардировкой.

**Покрyтия стекла пленкой кремния испарением в вакууме** нашли применение в качестве зеркал для ультрафиолетового излучения благодаря высокой отражательной способности кремния при длинах волн менее 180 нм.

Бесцветные лаки применяются для покрытия фотоламп «вспышка» для защиты колбы от разрыва.

Состав лака (в частях):

ацетилцеллюлозы . . . . .	7,6
растворителей . . . . .	92,4
в том числе:	
ацетона . . . . .	62,9
бензола . . . . .	15,2
этилового алкоголя . . . . .	10,2
бензилового алкоголя . . . . .	4,1

Растворители перемешивают в мешалке и, продолжая перемешивать, вводят ацетилцеллюлозу. Лак процеживают через сито в 200 меш. Вязкость (при 20 °С) должна быть 1,5—1,7 см<sup>2</sup>/с.

Лак наносится методом окунания ламп, нанесение производят дважды. Нанесенный на колбу лак подсыхает через 10—15 мин при комнатной температуре и окончательно высыхает при 60—80 °С в течение 15—20 мин.

Для устранения токов утечки между вводами в результате распыления электродов ламп применяют покрытие поверхности стекла между вводами окисью магния. Окись магния увеличивает поверхность стекла, а также взаимодействует (химически) с испаряющимися материалами, в результате затрудняется образование сплошной проводящей пленки.

**Нанесение надписей.** Для нанесения на ножки и другие стеклянные детали обозначений перед заваркой можно пользоваться обычным пером и травящими растворами следующего состава:

Раствор 1: в 500 см<sup>3</sup> дистиллированной воды растворяют 36 г фтористого натрия, а затем добавляют 72 г сульфата калия.

Раствор 2: в 500 см<sup>3</sup> дистиллированной воды растворяют 14 г хлористого цинка и добавляют 65 г концентрированной соляной кислоты.

Оба раствора можно хранить в обычной стеклянной посуде. Перед использованием растворы (1:1) смешивают в парафинированной (или ларафиновой) чашке и добавляют несколько капель туши. После нанесения раствор сушат при комнатной температуре. Чернила для

нанесения надписей на стекло можно получить, размолот в фарфоровой шаровой мельнице в течение 48 ч смесь из 34 г очищенной ламповой сажи, 250 см<sup>3</sup> натриевого жидкого стекла и 185 см<sup>3</sup> дистиллированной воды. Затем чернила пропускают через бронзовое сито (130 меш) и разбавляют до получения нужной вязкости калиевым жидким стеклом.

## ГЛАВА ПЯТАЯ

### ТЕХНОХИМИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ



#### 5-1. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ОКСИДНЫХ СУСПЕНЗИЙ

Оксидные катоды являются наиболее распространенными катодами газоразрядных источников света. Карбонаты щелочноземельных металлов (бария, стронция и кальция) наносятся на металлический керн или вольфрамовую спираль, которые при последующей обработке катода в вакууме разлагаются до соответствующих окислов с выделением углекислого газа.

Карбонаты щелочноземельных металлов осаждаются из растворов азотнокислых солей под воздействием углекислого аммония или соды, например:  $\text{BaNO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{BaCO}_3 + 2\text{NaNO}_3$ .

Карбонаты берутся в таком соотношении, чтобы после их разложения соотношение количеств окислов Ba : Sr : Ca равнялось приблизительно 50 : 30 : 20 или 50 : 45 : 5. Двойной карбонат (Ba : Sr) имеет соотношение количеств окислов 50 : 50.

**Получение карбонатов.** Осаждение карбонатов проводится на установке, изображенной на рис. 5-1.

В котел 1 для растворения азотнокислых солей из бака 2 с помощью сжатого воздуха подается дистиллированная вода. Затем в котел засыпают азотнокислые соли, подают пар давлением 0,1—0,15 МПа и, перемешивая механической мешалкой, нагревают до 90—95°C. Раствор азотнокислых солей фильтруется.

В чане 3 приготавливают таким же образом 30—40%-ный раствор углекислого аммония, нагревая его до 40°C.

Горячие растворы через фильтры последовательно (сначала раствор азотнокислых солей) поступают в реактор 5, где производится непрерывное перемешивание растворов.

После осаждения карбонатов на дно реактора жидкую часть сливают, а осадок с перемешиванием промывают несколько раз горячей дистиллированной водой. Промывку производят до полного удаления ионов  $\text{NO}_3^-$ . Окончательно промытый осадок подается через трубопровод на воронку 4 с вакуумным отсосом. Полученные карбонаты сушат при температуре 150—250°C в течение 8—10 ч и хранят их после сушки в стеклянной посуде с притертой пробкой.

#### Изготовление раствора коллоксилина (биндера).

Для нанесения оксидных покрытий необходимы связующие вещества, которые должны без остатка разлагаться в вакууме и образовывать прочные пленки после испарения растворителей. Таким связующим веществом является раствор коллоксилина, который изготавливают путем растворения просушенного коллоксилина в органических растворителях (амилацетате, бутилацетате, ацетоне, диэтилоксалате, азоамилацетате).

Приготовление раствора производят в стеклянных бутылях при вращении в течение 20—24 ч, контролируя вязкость раствора. Количество коллоксилина определяет клеящую способность лака и оказывает большое влияние на процесс активирования катодов.

**Изготовление оксидных суспензий.** Оксидные суспензии состоят из карбонатов щелочноземельных металлов, взвешенных в растворе коллоксилина. Состав приготавливаемых суспензий (табл. 5-1) выбирается в зависимости от типа ламп, требований к покрытию и способа нанесения.

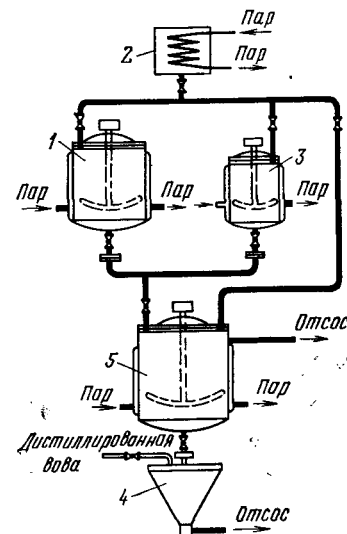


Рис. 5-1. Схема промышленной установки осаждения карбонатов.

При выборе составных частей суспензий необходимо применять вещества, не вступающие в химическую реакцию между собой.

Суспензии, изготовленные на основе легколетучих растворителей, имеют склонность к значительной коагу-

Таблица 5-1

Рецептура оксидных суспензий

Состав суспензий	Количество	Сушка карбонатов		Время размола, ч	Способ нанесения
		Температура, °C	Время, ч		
1) Двойной карбонат (Ba, Sr) 50:50	1500 г	150—250	2	16—24	Пудвализация
Спирт этиловый или метиловый	900 см³				
Изоамилацетат	520 см³				
Диэтилоксалат	120 см³				
Раствор коллоксилина	830 см³				
2) Тройной карбонат (Ba, Sr, Ca) 50:45:5	1000 г	350—400	2	24	Катафорез
Спирт этиловый или метиловый	500 см³				
Ацетон	1250 см³				
Этиленгликоль	150 см³				

ляции. Некоторые летучие вещества (этиловый спирт) не являются растворителями коллоксилина, а служат для разбавления суспензии до требуемой вязкости.

Поскольку при высыхании суспензии на катоде пленка коллоксилина дает большую усадку, то для увеличения эластичности покрытия в суспензию добавляют пластификаторы — диэтилоксалат, бутилфталат и т. п.

Приготовление суспензий производится в фарфоровых барабанах с шарами, а размол на специальных валках или шаровых мельницах с частотой вращения 50—70 об/мин.

После размолы суспензию процеживают через сетку.

Для облегчения контроля за прохождением каждой партии суспензии в производстве допускается их окраска спиртовыми растворами органических красителей различных цветов.

Хранят суспензии в стеклянных бутылках (но не более месяца) и перед употреблением размешивают на валках в течение 30—40 мин.

## 5-2. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ЛЮМИНОФОРНЫХ СУСПЕНЗИЙ И НАНЕСЕНИЕ ЛЮМИНОФОРНОГО СЛОЯ

Люминофорная суспензия представляет собой смесь люминофора с растворителем и лаком.

В последнее время вместо нитролака (раствор нитроцеллюлозы в бутилацетате или амилацетате) внедрен лак на полимерной смоле БМК5. Смола БМК5 образует прочные пленки с хорошей адгезией к стеклу и качество слоя люминофора лучше (малая пористость). В стеклянную бутылку емкостью  $20 \cdot 10^3$  см³ загружают 2,5—3,0 кг смолы БМК5 и 14—16  $\cdot 10^3$  см³ бутилацетата. Плотнo закрыв бутылку пробкой, вращают ее на валках 5—8 ч до полного растворения смолы. Добавлением бутилацетата доводят вязкость лака до  $15 \pm 1$  МПа·с, после чего фильтруют через шелковое или капроновое сито.

**Изготовление суспензии.** В фарфоровый барабан емкостью  $40 \cdot 10^3$  см³ загружают 20 кг ситаловых шаров,  $10^4$  см³ люминофора,  $4,5 \cdot 10^3$  см³ лака и производят размол на валковых мельницах. Плотность суспензии должна быть 1,38—1,52 г/см³.

Для повышения адгезионных свойств люминофорной суспензии в ее состав вводят 1% тетрафосфата бария.

**Нанесение люминофорного слоя.** В производстве источников света в основном используют два метода нанесения люминофорного слоя — компрессионный и метод обливания суспензией внутренней поверхности колб.

Компрессионный метод получил широкое распространение при нанесении люминофорного слоя люминесцентных ламп. Суть этого метода заключается в том, что столб суспензии с помощью сжатого воздуха или вакуума поднимается по трубке, а затем при прекращении подачи воздуха или включении вакуума опускается.

Метод обливания суспензией внутренней поверхности трубок состоит в том, что из специальных дозировочных головок суспензия стекает в трубки.

Сушка нанесенного люминесцентного слоя осуществляется теплым атмосферным воздухом.

**Выжигание биндера.** Биндер необходим лишь для первоначального закрепления слоя люминофора на стенках колбы, в дальнейшем же он должен быть удален. Наличие в лампах даже небольших остатков биндера приводит к значительному снижению светового потока ламп, к нарушению стабильности работы ламп и др.

Удаление биндера производят выжиганием его при высоких температурах в электрических или газовых печах. Для определения яркости люминофорного покрытия колб производят подсвечивание их изнутри кварцевой лампой.

### 5-3. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ЦОКОЛЕВОЧНЫХ МАСТИК (ЦЕМЕНТОВ)

Цоколевочные мастики (цементы) применяются для крепления цоколя с колбой лампы.

Крепление цоколя к стеклу посредством мастики основывается или на адгезии или на охватывании затвердевшей мастикой скрепляемых деталей (так называемое «фасонное крепление»).

Выбор цоколевочных мастик определяется материалом цоколя, температурными и атмосферными условиями работы ламп и другими требованиями, предъявляемыми к источникам света.

К цоколевочным мастикам предъявляют следующие требования:

прочность крепления должна сохраняться в течение всего срока службы ламп и при длительном хранении в складских условиях;

мастика должна иметь малый температурный коэффициент линейного расширения;

мастика должна медленно затвердевать при нормальных условиях хранения, а при цоколевании скорость затвердевания должна быть достаточно большой;

мастика не должна выделять веществ, разрушающих стекло и контакты;

мастика должна иметь высокое удельное электрическое сопротивление.

В зависимости от условий затвердевания цоколевочные мастики подразделяются на горячие и холодные.

#### а) ГОРЯЧИЕ МАСТИКИ

Горячие цоколевочные мастики затвердевают при нагреве до температур выше  $100^{\circ}\text{C}$  и в комнатных условиях могут храниться длительное время.

Основой большинства горячих мастик являются связующие вещества (естественные и синтетические смолы), наполнитель (мраморный порошок, молотый кварц, лиг-

пон и др.), отвердитель (уротропин), пластифицирующее вещество (канифоль), растворитель (этиловый спирт), индикатор (малахитовая и бриллиантовая зелень) и др.

Смолы — это твердые вещества, нерастворимые в воде, но хорошо растворяющиеся в органических растворителях — спиртах, эфирах и ацетоне. Они имеют хорошие электроизоляционные свойства и обладают высокой клеящей способностью.

Смолы различают термопластичные и термореактивные. Термопластичные смолы характеризуются тем, что они при нагреве размягчаются, а при охлаждении снова получают первоначальные свойства.

Термореактивные смолы под действием нагрева необратимо полимеризуются и приобретают новые свойства — твердость, хрупкость и не растворяются в органических растворителях.

Термореактивная фенолформальдегидная смола — идитол является термопластичной, но при сплавлении с веществами, выделяющими альдегид, например с уротропином, становится термореактивной и затвердевает при  $180\text{--}200^{\circ}\text{C}$ .

Идитол является основой цоколевочной мастики. Он обладает хорошей клейкостью, высокими электроизоляционными свойствами и необходимыми влаго- и нагревостойкостью.

Наполнители (мраморный порошок, молотый кварц, лигитон и др.) способствуют повышению механических свойств, нагревостойкости и обеспечивают нужную вязкость мастики. Качество получаемой мастики в значительной степени зависит от размеров зерен мраморного порошка. Для цоколей диаметром менее 10 мм используют зерна, проходящие через сетку 045, для цоколей диаметром более 10 мм — через сетку 028.

Индикаторы (малахитовая и бриллиантовая зелень) применяются для облегчения контроля режима цоколевания. При нагреве до  $185^{\circ}\text{C}$  они разлагаются, меняя цвет мастики с зеленого на желто-коричневый, и после охлаждения не восстанавливают свой первоначальный цвет.

Добавление в мастику пластифицирующего вещества (канифоли) повышает ее текучесть при нагреве, что способствует прочному соединению цоколя с колбой.

Состав и применение горячих цоколевочных мастик приведены в табл. 5-2.

Таблица 5-2

## Цоколевочные мостики

Состав цемента	Количество, %	Режим полимеризации	Примечание
Идитоловый лак (65%-ный)	10,0	250—300° С, 1—1,5 мин	Лампы накаливания, газоразрядные лампы
Канифоль сосновая	6,7		
Мраморный порошок	64,2		
Спирт этиловый	18,4		
Уротропин	0,7		
Эпоксидная смола (ЭД-16)	31,2	120—140° С, 20—25 мин	Лампы с повышенными требованиями по влагостойкости
Дибутилфталат	3,2		
Полиэтиленполиамин	3,5		
Мраморный порошок	62,1		
Клей ИП-9	22,2	325—350° С, 10—15 мин	Лампы с рабочей температурой цоколя до 300° С
Мраморный порошок	74,2		
Сиккатив № 63	2,4		
Себаценовая кислота	1,2		
Шеллачный лак (60%-ный)	26,5	160—180° С, 10—12 мин (с промазкой промежуточным слоем клея БФ)	Лампы с пластмассовыми цоколями
Бакелитовый лак	2,8		
Литопон	24,5		
Тальк керамический марки Б	38,5		
Уротропин	0,2		
Спирт этиловый	7,5		

Идитоловая мастика (№ 1) отличается повышенной влагостойкостью, но недостаточно высокой нагревостойкостью. При рабочей температуре ламп 100—120°С прочность крепления цоколя к колбе с течением времени снижается. Некоторое повышение нагревостойкости достигается увеличением ее количества при намазке.

Для ламп с повышенными требованиями по влагостойкости применяют мастику на основе эпоксидной смолы. Время ее хранения не более 2,5—3 ч, так как она способна полимеризоваться при комнатной температуре.

## 6) ХОЛОДНЫЕ ЦОКОЛЕВОЧНЫЕ ЦЕМЕНТЫ

Холодные цоколевочные цементы применяются для цоколевания ламп, которые не подвергаются нагреву. Цементы быстро затвердевают при комнатной температуре.

ре, поэтому их приготавливают перед цоколеванием непосредственно на рабочем месте.

В зависимости от состава холодные цементы могут застывать в течение 15—60 мин при комнатной температуре или при небольшом нагреве (40—50°С).

В качестве наполнителя в холодных цементах используют минеральный порошок (гипс, кварцевый порошок, магнезию, свинцовый глет и др.), который тщательно просушивают, размельчают и просеивают. Затем порошок наполнителя в соответствующей пропорции смешивают с растворителем, перемешивают до получения тестообразной однородной массы, которая сразу же наносится на цоколи. Растворителем может быть водный раствор декстрина, жидкое стекло, глицерин.

Таблица 5-3

## Цоколевочные цементы

Состав цемента	Количество, %	Режим сушки	Примечания
Шеллачный 60%-ный лак	52	Выдержка в течение 1 суток	Все типы газоразрядных ламп
Магнезия	48		
Раствор декстрина 10%-ный	30	Выдержка 60 мин	Лампы тлеющего разряда
Гипс	70		
Жидкое стекло	55	Сушка до удаления воды	Дуговые ртутные лампы
Кварцевый порошок или магнезия	45		

Иногда перед цоколеванием на поверхность колбы наносят слой бакелитового клея или раствор эпоксидной смолы в целях увеличения клеящих свойств цемента.

Состав и назначение холодных цементов приведены в табл. 5-3. Цемент № 1 должен быть использован в течение не более 30 мин. Затвердевание цемента № 2 начинается через 10 мин.

Для цемента № 3 жидкое стекло приготавливают растворением двуокиси кремния в нагретом до 60—80°С 20%-ном растворе щелочи. Затвердевание цемента происходит при полном удалении паров воды.

## 5-4. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ГАЗОПОГЛОТИТЕЛЕЙ

Газопоглотители предназначены для связывания активных газов в лампе. В вакуумных лампах накаливания газопоглотители улучшают вакуум, в газонаполнен-

ных — поглощают вредные примеси, занесенные с наполняющим газом, а также газы, выделяющиеся из деталей в процессе работы ламп.

Газопоглотители подразделяются на испаряющиеся и неиспаряющиеся.

К испаряющимся газопоглотителям относятся красный фосфор, углекислый барий и др.

К неиспаряющимся — металлические цирконий, титан, алюминий и др.

#### а) МАТЕРИАЛЫ ГАЗОПОГЛОТИТЕЛЕЙ

**Красный фосфор** — порошок темно-красного цвета, плотность 2300 кг/м<sup>3</sup>. Устойчив в атмосферных условиях, 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.

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. Очищенный фосфор увлажняют дистиллированной водой и размалывают в фарфоровой шаровой мельнице, после чего промывают этиловым спиртом или ацетоном и сушат на фильтровальной бумаге.

**Криолит** ( $3\text{NaF} \cdot \text{AlF}_3$ ) — белый полупрозрачный минерал со стеклянным блеском, плотность 3000 кг/см<sup>3</sup>. Температура плавления 995 °С. Его разбивают на мелкие куски, промывают водой, 10%-ным раствором азотной кислоты и снова водой, затем измельчают и размалывают в фарфоровой шаровой мельнице. Полученный порошок кипятят в 10%-ном растворе соляной кислоты, промывают дистиллированной водой и после сушки при 110—120 °С протирают сквозь сито 0,1 мм.

Вместо природного криолита применяется искусственный криолит — мелкокристаллический порошок белого цвета, приготовляемый взаимодействием плавиковой кислоты с глиноземом и содой. Для удаления из криолита плавиковой кислоты и влаги его после химической очистки и просеивания прокаливают 4 ч в муфельной печи при 550—600 °С.

**Газовая сажа** — тончайший черный порошок почти чистого углерода, плотность 1900—2000 кг/см<sup>3</sup>. Ее готовят сжиганием газообразных углеводородов при недо-

статочном доступе воздуха. Сажа обладает сильно адсорбирующей способностью. В холодном состоянии она химически инертна, а при высокой температуре жадно поглощает кислород. Перед применением сажу сушат при 110—120 °С и просеивают через сито 0,14 мм.

**Углекислый барий** — сухой порошок белого цвета, плотность 4300 кг/см<sup>3</sup>. Перед применением его сушат при 110—120 °С и просеивают через сито 0,1 мм.

**Цирконий металлический** применяют в виде порошка темно-серого цвета, плотность 6500 кг/см<sup>3</sup>. При 300—400 °С поглощает водород и при 700—800 °С — кислород. Перед применением прокаливается в вакуумной 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 до размеров частиц от 1 до 8 мкм.

**Титан металлический** применяют в виде порошка темно-серого цвета, плотность 4500 кг/см<sup>3</sup>. Он связывает водород при более низкой температуре, чем цирконий. Перед употреблением его обезгаживают в вакууме при 1000 °С.

**Алюминий металлический** применяют в виде пудры серого цвета, плотность 2700 кг/см<sup>3</sup>. При нагреве жадно поглощает кислород.

**Связующие вещества (биндеры)** служат средой, в которой распределяются частицы газопоглотителя. В качестве связующих веществ применяют нитролаки, этиловый спирт, амилацетат.

**Амилацетат** — бесцветная легко испаряющаяся жидкость, плотность 0,88 г/см<sup>3</sup>; температура кипения 148 °С.

#### б) ПРИГОТОВЛЕНИЕ ГАЗОПОГЛОТИТЕЛЕЙ

**Фосфорный газопоглотитель** готовится в виде суспензии, состоящей из тонко измельченных фосфора и криолита в этиловом спирте, амилацетате или лаке на основе высоковязкого коллоксилина.

Рецептуры фосфорных газопоглотителей приведены в табл. 5-4.

Соотношение между фосфором и криолитом в газопоглотителе для вакуумных ламп выбирается из расчета, чтобы количество фосфора было пропорционально поверхности колбы, а количество криолита пропорционально скорости испарения вольфрама и поверхности нити.

Чрезмерно большая дозировка криолита вредно влияет на механическую прочность спирали и срок службы.

Нанесение слоя газопоглотителя осуществляется пульверизацией или погружением в суспензию нити накала, смонтированной на ножке.

Более современным методом является покрытие спиралей до монтажа пульверизацией в закрытом аппарате фонтанного типа.

В зависимости от типа спиралей привес регулируется от 3 до 8%. В аппарат загружается одновременно до 2 тыс. спиралей.

Таблица 5-4

Фосфорные газопоглотители

Состав	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7
Фосфор промытый, г . . .	121,5	6	75,0	1,5	40	100	8
Криолит промытый, г . . .	878	3,5	75,0	—	260	400	—
Нитролак № 5, см³ . . .	1350	100	10	—	450	—	50
(вязкость, МПа·с) . . .	(12)	(6)	(6)	—	(6)	—	(2,5)
Амилцетат, см³ . . . . .	—	—	140	—	—	—	50
Спирт этиловый—ректи- фикат, см³ . . . . .	—	—	—	100	—	600	—
Плотность, кг/м³ . . . . .	1140	93	1100	—	1850— 1900	—	910

Регенерация спиралей производится промывкой спиралей в концентрированной серной кислоте. После регенерации спирали тщательно промывают и сушат при температуре 120—150°C в течение 30—40 мин. Перемытые спирали вновь препарируют при температуре  $1175 \pm 25^\circ\text{C}$  в течение 10 мин.

Фосфорно-криолитовый газопоглотитель применяется главным образом в вакуумных лампах накаливания.

**Циркониевый газопоглотитель.** Для приготовления суспензии газопоглотителя обезвоженный порошок циркония, просеянного через сито № 0045, в количестве 160 г размешивают в 1000 см³ этилового спирта. Суспензия наносится намазыванием кисточкой на электроды или крючки лампы.

Циркониевые газопоглотители применяются в газонаполненных лампах накаливания.

**Алюминиевый газопоглотитель** готовится смешением 20 г порошка алюминия с 40 см³ нитролака № 5 вязкостью 25 МПа·с. Суспензию наносят намазыванием

кисточкой. Алюминий применяется также в виде предварительного нанесенного покрытия на молибденовую проволоку (крючки).

Алюминирование проволоки производится непрерывной ее протяжкой через расплавленный алюминий в атмосфере водорода. Толщина слоя алюминия составляет 1—2 мкм.

Алюминиевый газопоглотитель применяется для газонаполненных ламп накаливания.

**Газопоглотитель из углекислого бария.** Углекислый барий применяется с добавкой или без добавки сажи. Сажу и углекислый барий перед применением сушат при температуре 110—120°C. В состав суспензии входят углекислый барий — 100 г; сажа — 5 г; амилцетат — 100 см³; нитролак № 5 — 300 см³. Углекислый барий при нагреве нити накала переходит в окись бария и частично восстанавливается до металлического бария, способного поглощать кислород и пары воды.

Газопоглотитель из углекислого бария применяется в специальных лампах накаливания (автомобильные, самолетные и др.).

## 5-5. ПРОЧИЕ ОПЕРАЦИИ

### а) ИЗГОТОВЛЕНИЕ ФАРФОРОВЫХ МОСТИКОВ

В специальных лампах накаливания (прожекторных, кинопрожекторных, кинопроекторных и др.) в качестве элементов конструкции смонтированных ножек вместо стеклянных применяют внутренние крепежные и изолирующие детали (мостики) из фарфора, отличающиеся высокой механической, электрической и термической прочностью, малым температурным коэффициентом расширения и температурой размягчения, превышающей 1400°C.

Технологический процесс изготовления фарфоровых мостиков состоит из следующих операций: подготовка фарфоровой массы; выдавливание фарфоровых палочек; изготовление фарфоровых мостиков.

Фарфоровая масса светло-серого цвета, состоит из замешанной на воде смеси (в весовых процентах):

Каолин просыновский . . . . .	32
Полевой шпат (пегматит) . . . . .	27
Кварцевый песок глуховский . . . . .	13
Фарфоровый бой . . . . .	14
Глина грошковская . . . . .	7
Глина друшковская . . . . .	7

Приготовленную сырую тестообразную массу продавливают пневматическим прессом через мундштук, находящийся в матрице, получая сплошные длинные гладкие стерженьки (палочки) с профилем, зависящим от формы выходного отверстия мундштука.

Палочки при помощи специальных приспособлений разрезают на заготовки требуемой длины, в которые затем вставляют необходимое количество держателей.

С целью предотвращения растрескивания мостиков в препарирующей печи их предварительно просушивают несколько часов при комнатной температуре. Режимы сушки и обжига сырых фарфоровых мостиков приведены в табл. 5-5.

Таблица 5-5

Режим сушки и обжига сырых фарфоровых мостиков

Размеры мостиков по сечению, мм	Время сушки на воздухе, ч	Время сушки при температуре 250—300° С, ч	Препарировка мостиков в печи		
			Температура, °С	Время препарирования, мин	Время нахождения мостиков в холодильнике, мин
От 2,5×2,5 до 15×14 и диаметром до 5,5	3—4	2—4	1340—1350	15—20	40—60
От 5,5×6,5 до 7×9,5 и диаметром от 6,0 до 22,0	4—6	3—5	1340—1350	20—30	40—60

При обжиге мостики дают усадку, их первоначальные размеры сокращаются на 10—12%.

Фарфор имеет температурный коэффициент линейного расширения  $30\text{--}40 \cdot 10^{-7} \text{ К}^{-1}$  в интервале 20—700°С, твердость по Моосу — около 7, удельное электрическое сопротивление при 20°С составляет  $10^7 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .

6) МАРКИРОВОЧНЫЕ СОСТАВЫ

Марку лампы наносят на колбу или на цоколь.

К маркировочным материалам предъявляются следующие основные требования: хорошая различимость, прочность на протяжении длительного периода хранения и работы ламп, быстрое закрепление на поверхности лампы (цоколе или колбе), химическая стойкость к растворителям.

Характеристики рекомендуемых маркировочных составов для стекла и режимы их закрепления приведены в табл. 5-6.

Таблица 5-6

Маркировочные составы для стекла

Материалы	Количество, части	Условия закрепления
Оксид серебра	13	Прогрев до 475—500° С
Борнокислый свинец	5,5	
Глицерин	5,7	
Жидкое стекло (плотность 1,27 г/см³)	70	Выдержка при комнатной температуре 5—10 мин
Литопон или оксид цинка	30	
Краска МКС	10	Прогрев при 120—140° С в течение 60 мин
Сиккатив № 7640	2	
Смола эпоксидная ЭД-20	100	Прогрев при 140—150° С в течение 2 ч
Дибутилфталат	30	
Сажа газовая	27,5	
Триэтаноламинтитанат	25,2	
Смола эпоксидная ЭД-20	100	То же
Дибутилфталат	30	
Пудра алюминиевая	22	
Триэтаноламинтитанат	24,3	

Нанесение и закрепление марки на колбу может производиться как до заварки (если закрепление марки невозможно осуществить на последующих операциях), так и во время и после заварки. Закрепление марки производится прогревом пламенем газовых горелок.

Нанесение марки на основе краски МКС производят на готовой лампе (до операции тренировки ламп).

Для маркировки металлических цоколей применяют следующие маркировочные составы, части:

По никелю:

12%-ный раствор теллуристой кислоты в концентрированной соляной кислоте	1,0
Спирт этиловый	2,0

По оцинкованному железу:

30%-ный раствор селенистой кислоты в концентрированной соляной кислоте	2,1
30%-ный раствор сернокислой меди в воде	3,1
Вода дистиллированная	1,0



По латуни:

27%-ный раствор селенистой кислоты в 7%-ном растворе азотной кислоты . . . . .	6,0
30%-ный раствор селенистой кислоты в концентрированной соляной кислоте . . . . .	13,8
25%-ный раствор сернистой меди в воде . . . . .	26,8
Вода дистиллированная . . . . .	6,6

Таблица 5-7

Назначение состава	Материалы, части					Условия закрепления
	Лак бакелитовый	Спирт бензольный	Спирт этиловый	Пудра алюминевая	Краситель основной флюоресцентный	
Для пластмасс темных тонов	30	25	40	—	5	Сушка при 80—100° С в течение 20—30 мин
Для пластмасс светлых тонов	25	25	30	20	—	То же

Марка наносится на цоколь штепелем вручную или одновременно с намазкой цоколей на автомате.

Составы для нанесения марки на пластмассовые цоколи приведены в табл. 5-7.

## ГЛАВА ШЕСТАЯ

### ПРОИЗВОДСТВО СПИРАЛЕЙ И КАТОДОВ



#### 6-1. ИЗГОТОВЛЕНИЕ СПИРАЛЕЙ

Для изготовления спиралей применяются вольфрамовые проволоки марок ВА, ВМ, ВТ диаметром от 0,010 до 1,25 мм. В качестве керн используется молибденовая проволока марки МЧ или стальная марки 10.

Спирали по форме можно подразделить на следующие основные группы (рис. 6-1):

1. Прямолинейные — моноспирали, биспирали и три-спирали.
2. Секционные — односекционные, двухсекционные, многосекционные.
3. Плоские.

Кроме этих основных групп спиралей, существует большое количество конструкций тел накала, которые несколько отличаются от основных типов.

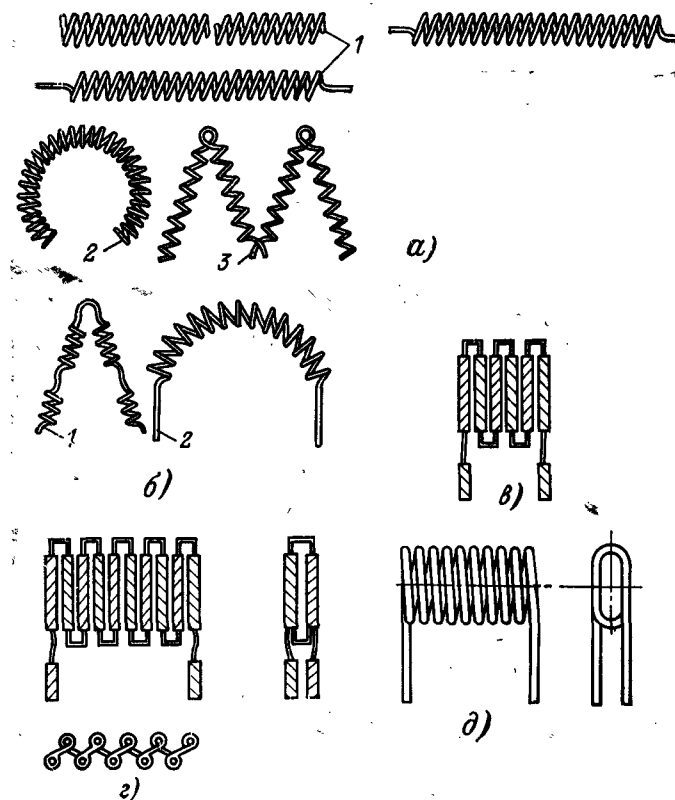
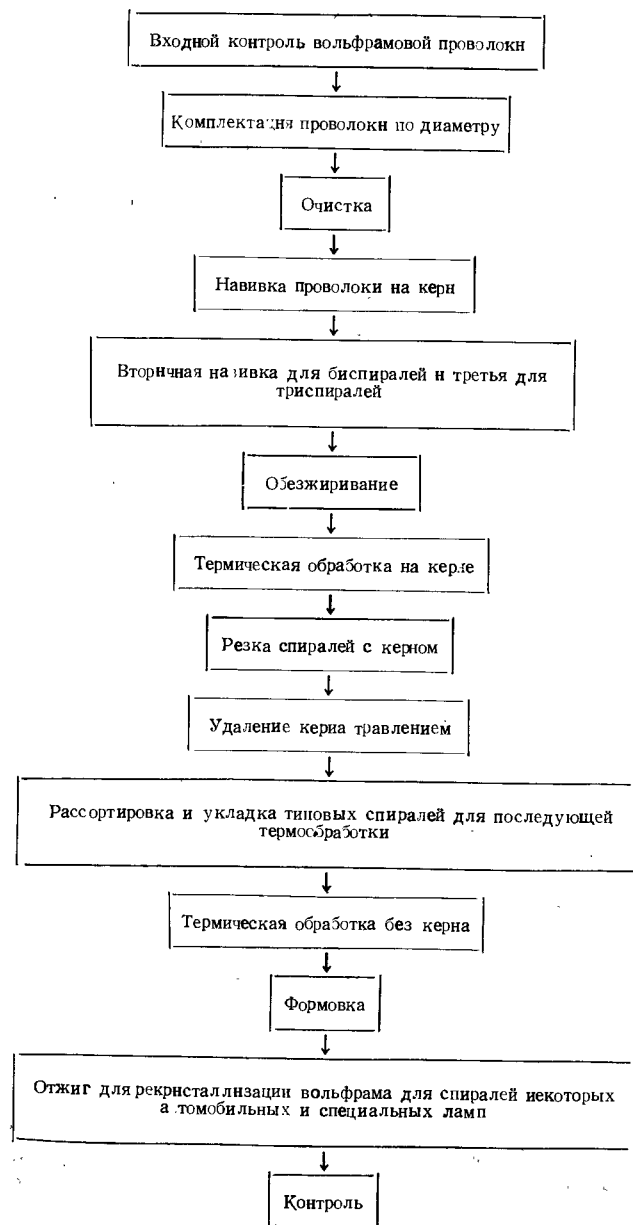


Рис. 6-1. Типы спиралей.

а — спирали (1 — прямолинейная, 2 — дуговая, 3 — в виде зигзага); б — секционные (двухсекционные) (1 — под углом, 2 — дужкой); в — многосекционные, формованные в одной плоскости, — «моноплан»; г — многосекционные, формованные в двух плоскостях, — «биплан»; д — плоские, изготавливаемые на керне в виде пластины.

Последовательность технологических операций изготовления тела накала определяется его конструкцией и материалами спирали и керн. Типовая технологическая схема приведена на рис. 6-2.

Поступающую на завод вольфрамовую проволоку проверяют на соответствие требованиям стандартов и,



как правило, перед спирализацией вольфрамовую проволоку комплектуют с керном в зависимости от фактических допусков с целью уменьшения разброса световых и электрических параметров ламп.

#### а) ОЧИСТКА ВОЛЬФРАМОВОЙ ПРОВОЛОКИ

В процессе производства вольфрамовой проволоки происходит загрязнение ее углеродом из графитовой смазки. Углеродные загрязнения при работе лампы образуют с вольфрамом карбиды, приводящие к повышению локальной температуры и точечной хрупкости проволок и спиралей, что в свою очередь может вызвать провисание и коробление тела накала и преждевременный выход ламп из строя.

Пагубное влияние углеродных загрязнений сильнее проявляется при сравнительно низких температурах накала вольфрамовых проволок; чем выше температура эксплуатации вольфрамовых спиралей, тем слабее становится разрушающее воздействие углерода. Отсюда следует, что углеродные загрязнения особенно опасны для катодов люминесцентных ламп, рабочая температура которых не превышает 1250—1300 °С.

От углеродных загрязнений очищаются либо вольфрамовая проволока (перед спирализацией), либо уже изготовленные спирали (катоды).

Вольфрамовая проволока очищается от окиснографитного слоя различными методами: отжигом в атмосфере влажного водорода, химическим травлением в растворах едких щелочей или в расплавах солей, а также электрохимическим травлением и ультразвуковой очисткой. Все перечисленные методы очистки, кроме ультразвуковой, описаны в гл. 3.

Ультразвуковая очистка проволоки начала внедряться в производство только в последнее время и производится на специализированной установке типа УЗУ. Вольфрамовая проволока и спирали на керне очищаются в процессе их перемотки через ванны с моющей жидкостью — 10%-ным раствором едкого натра, нагретого до 85—90 °С. Ванны снабжены пьезокерамическими излучателями с частотой 18—20 кГц.

На установке производятся последовательно все операции, связанные с очисткой: обработка щелочью, промывка водой и сушка нагретым воздухом.

Рис. 6-2. Типовая технологическая схема изготовления спиралей.

Скорость ультразвуковой очистки проволоки растет с увеличением диаметра и достигает 35 м/мин, максимальная потеря массы отрезка длиной 200 мм не превышает 1,7%.

#### б) СПИРАЛИЗАЦИЯ

Навивка спиралей осуществляется на специальных спирализационных машинах. Спирализационные машины подразделяются на две основные группы: машины с навивкой иа вытравливаемый (непрерывный) керн и машины с навивкой на постоянный керн.

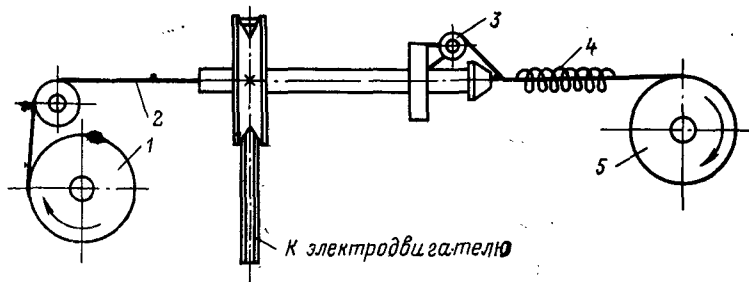


Рис. 6-3. Схема навивки непрерывной спирали.

**Навивка спиралей на машинах с непрерывным керном.** Вокруг керна из стальной или молибденовой проволоки 2 (рис. 6-3), перематываемой с одной катушки 1 на другую 5, вращается шпуля 3 с вольфрамовой нитью. При равномерном поступательном движении керна и равномерном вращении вокруг него шпули вольфрамовая нить навивается в спираль 4 с определенным шагом, который зависит от отношения скорости перемещения керна и частоты вращения шпули.

Машины с навивкой на непрерывный керн подразделяются в свою очередь на машины со сплошной (непрерывной) и прерывистой спирализацией (табл. 6-1).

При прерывистой спирализации через определенное число витков спирали получают участок неспирализованной нити, называемой тире. Тире можно получить двумя способами: приостановкой на заданное время вращения шпули либо протягиванием керна на заданную длину с большой скоростью. В первом случае тире получается прямым и параллельным керну, во втором — тире не прямое, а в виде растянутого витка.

Таблица 6-1

#### Технические характеристики спирализационных машин

Тип машины, номер чертежа, фирма-изготовитель (для иностранных марок)	Условное обозначение	Количество шпинделей	Диаметр нити, мм	Диаметр керна, мм	Шаг навивки, мм	Длина тире, мм	Частота вращения шпинделя, об/мин
<b>Машины непрерывной спирализации с горизонтальным шпинделем</b>							
ОКБМ 8-27	СГ-2	1	10-80	40-400	18-70	—	1000-5000
Б.282.02	СГ-3	2	10-65	50-200	18-100	—	3000-5000
Б.282.03	СГ-101/1200	4	15-80	60-300	20-60	—	4000
Б.282.04	СГ-101/2400	4	15-80	60-300	10-30	—	4000
ЮС.017.0014	СГ-101/4800	4	15-80	60-300	5-15	—	4000
Туигсрам* (ВНР)	—	2	20-80	60-350	8-24	—	5000-10 000
ZBML (ПНР)	FO-222	1	15-80	40-400	18-70	—	5000
	MO-262	2	11-200	40-320	15-100-500	—	6750, 8300, 10 000
<b>Машины непрерывной спирализации с вертикальным шпинделем</b>							
Б.282.01	CB2-101	2	11-80	80-300	5-60	—	3000
Туигсрам* (ВНР)	FO-П	2	11-80	80-300	5-60	—	3000
ZBML (ПНР)	MO-128	6	11-100	35-350	20-120	—	3000 при 50 Гц 4800 при 80 Гц
<b>Машины спирализации с тире, с электромагнитным торможением шпинделя</b>							
Б.282.05 (ОКБМ 8-25)	СГТМ-2	1	60-160	80-800	35-465	16	900
Б.282.07 (с резкой и формовкой спиралей)	СГТМ-Ф-1	1	50-200	100-800	100	19	900
ОКБМ 8-20	СГТМ-3	1	160-500	100-350	175-1400	10	60-180
Б.282.06 (с резкой)	СГТМ-0	1	12-45	60-200	35-75	35	900

Тип машины, номер чертежа, фирма-изготовитель (для иностранных марок)	Условное обозначение	Количество шпинделей	Диаметр нити, мкм	Диаметр керна, мкм	Шаг навивки, мкм	Длина тире, мм	Частота вращения шпинделя, об/мин
ЮС. 017.0012	—	2	12—200	100—500	40—400	15	1500
ЮС. 017.0016 (с резкой и формовкой спиралей)	—	2	50—200	100—500	100	19	1500
«Тунгсрам» (ВНР) с электронным счетчиком витков	FO-25	1	70—400	150—800	80—650	3—15	900

## Машины спирализации с тире, с ускоренным протягиванием керна с помощью кулачка

ОКБМ 8-08	СГТК-1	1	15—150	75—225	35—75	8	900—1800
ОКБМ 8-07	СГТК-2	1	30—300	200—600	50—700	8	1000—2500
ОКБМ 8-09	СГТК-3	1	60—600	600—1200	100—1200	8	700—2000
ОКБМ 8-26	СГТК-4	1	320—1000	1200—2000	500—1500	6	50—150
«Тунгсрам» (ВНР)	СГТК-7	2	35—130	200—700	40—900	12	2000
ZBML (ПНР)	МО-202	1	11—200	40—320	15—100—500	8, 10, 12, 15, 24	3550, 4250, 5400, 360
	МО-144	4	11—300	40—1000	14—1016		

## Машины спирализации с тире на постоянном крене

ОКБМ 8-03	—	1	110—230	400—600	—	—	668—1714
ЮС. 017.0021	—	1	103—153	400—800	—	—	700—1400
«Тунгсрам» (ВНР)	FO-33	1	15—250	250—2500	—	—	—

Из тонких вольфрамовых проволок обычно изготавливают спирали без тире, а спирали из толстых проволок, закрепляемые в электродах ножки приваркой, — с тире.

В процессе спирализации вольфрамовую проволоку подвергают прямому или косвенному электрическому нагреву для увеличения ее пластичности в момент навивки на керна.

Прямой нагрев (для проволок диаметром более 80 мкм) осуществляется пропусканием электрического тока через участок вольфрамовой проволоки, прилегающей к керну, температура при этом не превышает 300—400 °С.

Косвенный нагрев (для проволок диаметром до 80 мкм) осуществляется излучением от нихромового нагревателя, размещенного на расстоянии 3—4 мм от места формирования витков. Температура нагревателя устанавливается в пределах от 300 до 600 °С.

Некоторые типы спиралей навиваются без подогрева, при этом используют отожженную вольфрамовую проволоку.

Для получения равномерного шага и плотного прилегания спирали к керну при спирализации должно обеспечиваться равномерное натяжение вольфрамовой проволоки и керна. Для каждого диаметра проволоки устанавливается своя величина натяжения, зависящая от площади поперечного сечения проволоки, или, что то же самое, от массы ее отрезка. Для проволок диаметром до 80 мкм натяжение рекомендуется устанавливать в пределах, определяемых формулой

$$P = (60 \div 80) Q,$$

где  $P$  — натяжение проволоки, мН;  $Q$  — масса отрезка проволоки длиной 200 мм, мг.

Для более толстых проволок натяжение устанавливается в пределах 5—10% разрывного усилия.

Натяжение керна для большинства типов спиралей устанавливается в пределах 8—10% разрывного усилия проволоки керна, а на участке от тянущего диска до приемной катушки — на 2—5% больше. Этим обеспечивается равномерное движение керна, без проскальзывания по тянущему диску и без вытягивания.

Частота вращения спирализации, во многом определяющая производительность машин, зависит от диаме-

тра и механических свойств навиваемой нити, а также от конструкции головки и шпинделя. Машины первичной спирализации, имеющие паспортную частоту вращения шпинделя 3000—5000 об/мин, при условии тщательной балансировки головок могут работать при частотах вращения до 10 000 об/мин. Дальнейшее повышение скорости требует новых конструктивных решений, например электромагнитного подтормаживания шпули или применения вязких смазок для торможения. Наиболее перспективным представляется центробежное торможение нити, позволившее повысить частоту вращения спирализации до 20 000 об/мин. Дальнейшее повышение частоты вращения требует решения проблемы привода и опор шпинделя.

При изготовлении биспиралей сначала навивают вольфрамовую проволоку на тонкий керн и получают первичную спираль, затем керн с первичной спиралью навивают на более толстый керн, получая вторичную спираль — биспираль. Первичную спираль изготавливают без тире на машинах непрерывной спирализации (скорость 2000—4000 об/мин), вторичную — с тире на машинах периодической спирализации (частота вращения 700—900 об/мин). При этом первичную спирализацию производят с косвенным подогревом, а вторичную — без подогрева.

Машины вторичной спирализации (для навивки биспиралей из спирали) из-за необходимости образования тире и возникающих при этом инерционных нагрузок имеют значительно меньшую частоту вращения — от 200 до 2000 об/мин.

**Навивка спиралей на машинах с постоянным керном.** Вольфрамовая нить навивается на стальной керн, который механически извлекается из спирали и вновь используется для навивки следующих спиралей. По окончании навивания каждой спирали и образования тире дисковый нож автоматически отрезает спираль.

Такие типы машин, на которых производится последовательно полный цикл обработки спиралей — навивка, отрезка и формовка, получили широкое распространение для изготовления коротких спиралей и биспиралей автоламп.

Навивку спиралей из толстых вольфрамовых проволок (для ламп мощностью более 3 кВт) производят на специально приспособленных для этой цели токарно-

винторезных станках. Способ навивки аналогичен изготовлению спиральных пружин, вольфрамовую проволоку нагревают до вишнево-красного каления и навивают на неподвижный постоянный керн.

Качество изготавливаемых спиралей зависит от правильного подбора режима работы спирализационных машин — натяжений вольфрамовой проволоки и керна, температуры подогрева вольфрамовой проволоки, частоты вращения шпинделя и угла наклона вольфрамовой проволоки к керну. Подбор режимов спирализации определяется конструкцией спирали, диаметрами и материалами нити и керна и типом оборудования.

#### **в) ОБЕЗЖИРИВАНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА**

Перед термической обработкой спирали обезжиривают в ваннах с трихлорэтиленом, погружая в них на 15—30 мин намотанные на бобины спирали, или на специальной установке, перематывая проволоку через две последовательные ванны с трихлорэтиленом.

Обезжиренные спирали тщательно просушивают, промывают в кипящей 20%-ной щелочи в течение 30 мин, затем в воде и просушивают в центрифуге.

Более производительным методом является ультразвуковая очистка спиралей на описанной выше установке типа УЗУ.

Для устранения в проволоке наклепа, снятия внутренних напряжений и закрепления формы спирали отжигаются вместе с керном. Спиралы на стальном керне подвергаются окислительному или восстановительному отжигу, на молибденовом — только восстановительному.

Окислительный отжиг, кроме улучшения механических свойств спиралей, преследует цель частичного сжигания на спиралах графитовой пленки и разрыхления ее поверхности для облегчения дальнейшей очистки.

Окислительный отжиг осуществляется перемоткой спиралей на керне в воздушной среде через нагретый керамический муфель электрической печи. Температура отжига 600—900 °С, скорость перемотки 3—4 м/мин.

Восстановительный отжиг осуществляется перемоткой спиралей на керне в атмосфере водорода или препариргаза (30% водорода и 70% азота) через нагретый муфель трубчатой электрической печи. Температура отжига спиралей и скорость перемотки зависят от конст-

рукции спирали и материала керна. Из-за того, что поверхность вольфрама часто бывает покрыта аквадагом, высокотемпературный отжиг такой спирали недопустим, так как при температурах, больших 1200 °С, образуется карбид вольфрама, а это приводит в свою очередь

Таблица 6-2

# Режимы отжига спиралей

Вид спиралей	Режимы обработки	
	Температура, °С	Скорость, м/мин
Спираль из вольфрама марки ВА на молибденовом керне диаметром, большим 0,05 мм	1150—1200	4—4,5
Спираль на молибденовом керне, предназначенные для механизированного монтажа; специальные типы спиралей из вольфрама марки ВА, формирующиеся на молибденовом керне, спираль из вольфрама марки ВМ; биспираль и первичные спираль для специальных типов биспиралей	1-я зона 1150—1200	1,0
	2-я зона 1300—1350	
Специальные спираль на молибденовом керне и спираль, формирующиеся на керне	1250—1300	4—4,5
Спираль на стальном керне диаметром до 0,8 мм	1000—1050	1—2
Спираль на стальном керне диаметром более 0,8 мм	950—1000	0,5—1,0

к хрупкости спирали. Поэтому перед высокотемпературным отжигом необходимо произвести отжиг спиралей при меньшей температуре (1000—1050 °С), чтобы очистить поверхность вольфрама от аквадага. Часто отжиг спиралей на молибденовом керне производят в двухзонных печах, где первая зона имеет низкую температуру, вторая — высокую.

Режимы отжига наиболее распространенных типов спиралей приведены в табл. 6-2.

## г) РЕЗКА

Отожженную спирализованную проволоку на керне разрезают на отдельные отрезки требуемой длины на специальных машинах резки спиралей нескольких типов. Принципиально они работают следующим образом: спираль подается точно на требуемую длину к ножам механизма резки и отрезается. В некоторых случаях для получения особо точной длины спирали подача произво-

дится на расстояние, несколько превышающее длину спирали, и отрезается двумя ножами, расстояние между которыми и определяет длину отрезанной спирали.

Сплошные непрерывные спираль длиной от 10 до 12 мм режут на автомате, схема которого показана на рис. 6-4.

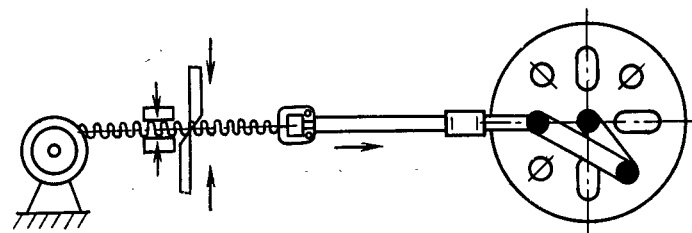


Рис. 6-4. Схема автомата для резки сплошных спиралей.

Резка спиралей с тире производится на станках с ручной или механической подачей.

На автомате с фотоэлементом можно разрезать спираль диаметром 0,2—0,7 мм при диаметре вольфрамовой нити 0,06—0,15 мм. Производительность автомата в зависимости от длины спиралей составляет 1300—1700 спиралей в час.

При изготовлении прерывистых спиралей больших диаметров и длиной более 100 мм (для небольших партий), а также спиралей, имеющих несколько секций (прожекторные, проекционные и др.), резка спиралей производится вручную.

## д) ТРАВЛЕНИЕ

Травление производят для удаления керна, окислов вольфрама и графитовой смазки. Технология удаления керна определяется материалом и конструкцией спирали. Травление не должно вызывать заметного уменьшения диаметра вольфрамовой проволоки, допускаются потери массы не более 3—5%. Наиболее массовый способ — травление спиралей в мешках из плетеной вольфрамовой сетки (так обрабатываются в основном спираль на стальном керне).

Для удаления молибденового керна травление производят в чашках (чашечный способ).

Последовательность и режимы обработки спиралей приведены в табл. 6-3.

Таблица 6-3

## Режимы вытравливания зерна

Наименование операций	Продолжительность, мин	Состав и плотность раствора, кг/м³	Температура раствора, °C
-----------------------	------------------------	------------------------------------	--------------------------

## Спираль на стальном зерне

Загрузка 150—200 г зерна на 1000 см³ кислоты

Кипячение в щелочи	30	1120—1200	Кипение
Вытравливание зерна в соляной кислоте	60—120 (до прекращения выделения пузырьков водорода)	1200	Кипение
Контрольное травление в смеси кислот	20—40	40% HNO <sub>3</sub> —1350 20% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> —1800 40% H <sub>2</sub> O	—
Промывка в проточной воде	30	—	—
Кипячение в щелочи	20	1120—1200	Кипячение
Промывка в проточной воде	10—20	—	—
Промывка в соляной кислоте	20	1180	50—60
Очистка в холодной соляной кислоте	10	1180	Комнатная
Промывка в проточной воде	30	—	—
Сушка в центрифуге или сушильными лампами	До полного высыхания	—	100 (при сушке лампами)

## Спираль на молибденовом зерне (диаметром 0,2 мм и больше)

Загрузка 130—150 г зерна на 1000 см³ кислоты

Вытравливание зерна в смеси кислот	15—20 (до прекращения реакции)	60% HNO <sub>3</sub> —1360 20% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> —1800 20% H <sub>2</sub> O	Не более 90
Промывка в проточной воде	10—20	—	—
Контрольное травление в смеси кислот	15—20	40% HNO <sub>3</sub> —1360 20% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> —1800 20% H <sub>2</sub> O	Не более 90
Промывка в проточной воде	15	—	—
Кипячение в растворе щелочи	10	—	Кипение
Промывка в проточной воде	10—20	—	—
Промывка в соляной кислоте	20	1180	50—60

Продолжение табл. 6-3

Наименование операций	Продолжительность, мин	Состав и плотность раствора, кг/м³	Температура раствора, °C
Промывка в холодной соляной кислоте	5—10	1180	Комнатная
Промывка в проточной воде	30	—	—
Сушка в центрифуге или сушильными лампами	До полного высыхания	—	100 (при сушке лампами)

## Тончайшие спирали на молибденовом зерне диаметром 0,06—0,20 мм

Загрузка 100—120 г зерна на 1000 см³ кислоты

Вытравливание зерна в смеси кислот	10 (до полного прекращения реакции)	50% HNO <sub>3</sub> —1360 25% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> —1800 25% H <sub>2</sub> O	Не более 90
Промывка в проточной воде	10—15	40% HNO <sub>3</sub> —1360 20% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> —1800 40% H <sub>2</sub> O	То же
Промывка в проточной воде	15	—	—
Промывка в горячей щелочи	5—7	1120—1200	50—60
Промывка в проточной воде	10—15	—	—
Окончательная очистка в соляной кислоте	20	1800	50—60
Очистка в холодной воде	10	—	Комнатная
Промывка в проточной воде	30	—	—
Сушка в центрифуге или сушильными лампами	До полного высыхания	—	100 (при сушке лампами)

## Биспираль (в чашках)

Загрузка 100—150 г зерна на 1000 см³ кислоты

Вытравливание зерна в смеси кислот	Примерно 10 (до полного прекращения кипения)	60% HNO <sub>3</sub> —1360 20% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> —1800 20% H <sub>2</sub> O	Не более 90
Промывка в проточной воде	5	—	—

Наименование операции	Продолжительность, мин	Состав и плотность раствора, кг/м³	Температура раствора, °C
Контрольное травление в смеси кислот	10—15	40% HNO <sub>3</sub> — 1360 20% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> — 1800 40% H <sub>2</sub> O	—
Промывка в проточной воде	10	—	—
Кипячение в щелочи	5	1120—1180	Кипение
Промывка в проточной воде	5—10	—	—
Окончательная очистка в соляной кислоте	10	1180	50—60
Очистка в холодной соляной кислоте	5	1180	Комнатная
Промывка в проточной воде	15	—	—
Сушка под сушильными лампами	—	—	100

Спирали для мощных ламп (без керн) 110 В  
мощностью 3—10 кВт

Кипячение в щелочи	20	1120—1180	Кипение
Промывка в проточной воде	10	—	—
Кипячение в смеси кислот (смесь используется 2—3 раза)	30	50% HNO <sub>3</sub> — 1360 17% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> — 1800 33% H <sub>2</sub> O	Кипение
Промывка в проточной воде	10	—	—
Кипячение в щелочи	15	1150—1200	Кипение
Промывка в проточной воде	10	—	—
Очистка в соляной кислоте	15	1180	50—60
Промывка в проточной воде	15	—	—
Промывка в ацетоне	Опустить в ванну 1 раз	—	—
Сушка под сушильными лампами	10—15	—	100

Термическую обработку спиралей производят в электрических водородных печах для снятия оставшихся внутренних напряжений, очистки поверхности, выделения оставшихся газов и закрепления формы.

Спирали, обрабатываемые при высокой температуре (выше 1300 °C), предварительно отжигаются при 1100—1150 °C. Биспирали и триспирали после удаления керн отжигать нельзя — это приводит к изменению формы; термическая обработка их производится до травления.

Для ламп, работающих в условиях сильных механических воздействий (удары, тряска, вибрация), термическая обработка спиралей осуществляется при более высокой температуре 2300—2400 °C (происходит рекристаллизация вольфрама). Рекристаллизацию рекомендуется производить только у спиралей, изготовленных из вольфрама марки ВА. Они обладают не только повышенной прочностью, но и хорошей формоустойчивостью.

Рекристаллизованные спирали рекомендуется применять в специальных лампах, в которых тело накала подвергается при монтаже значительной деформации, а также там, где по условиям работы мала рабочая температура и вследствие этого рекристаллизация вольфрама проходит медленно.

Режим отжига ламп оказывает влияние на первичное провисание спиралей (если напряжение при отжиге ниже 90% номинального, наблюдается большое провисание).

## ж) ФОРМОВКА

Для получения сложных форм многосекционных спиралей некоторых специальных ламп (прожекторных, кинопроекторных и др.) вводится их формовка, которая производится вручную путем перегибания тире об нагретый пропусканием тока до температуры 300—500 °C вольфрамовый или молибденовый «утюжок».

Изогнутые по тире на утюжке спирали вставляют в молибденовые рамки или укладывают в молибденовые формы — пластины с профрезерованными канавками, количество и размеры которых точно соответствуют требуемой форме спиралей.

Рамки и формы, заполненные спиралью, отжигают в электрической печи в атмосфере препарирующего газа при температуре 1400—1450 °C в течение 25—30 мин



Таблица 6-4

## Виды и причины брака спиралей

Вид брака	Причина
1. Разбитые витки, срезы, выбоины	Плохая наладка спирализационной машины, удары при формовке
2. Расслой	Плохое качество исходной проволоки, переагартования проволоки, отсутствие накала при спирализации или недостаточный прогрев при формовке, тупые ножи на резке, спирализация нагартванной проволоки на керн малого диаметра
3. Хрупкость спиралей	Нарушение режима собирательной рекристаллизации (занижена температура или выдержка, неправильно определена горячая зона печи); перегрев спиралей при отжиге; загрязнение вольфрама углеродом с образованием твердого раствора углерода в вольфраме либо карбидов из-за плохой промывки и отжига спиралей или загрязнения атмосферы печи углеродосодержащими соединениями; загрязнение спирали железом в процессе навивки, резки или из-за нарушения режимов отжига спирали на стальном керне или в стальных лодочках; неполное удаление стального керна или солей железа при травлении керна; загрязнение никелем (происходит обычно в процессе вытравливания керна)
4. Обрыв спиралей при монтаже ламп	Превышение усилия при зажиме спирали; не отожжена никелевая часть электродов; смещена верхняя часть электрода относительно нижней (происходит срез вольфрама); расплющивание спирали электродом и перегрев при контактной сварке; хрупкие спирали (см. п. 3)
5. Провисание спиралей в лампах	Низкое качество исходной проволоки; несовпадение направлений вращения первичной и вторичной спирализации при изготовлении спиралей; недостаточное закрепление формы спиралей в процессе отжига; изменения структуры вольфрама из-за загрязнения углеродом, железом никелем*; неправильный монтаж—спираль недостаточно натянута; неправильное соотношение диаметров проволоки и керна; неправильный отжиг ламп—процесс собирательной рекристаллизации не успел закончиться и вольфрам имеет смешанную структуру
6. Коробление спиралей в лампе	Резкое снятие внутренних напряжений и причины, изложенные в п. 5
7. Обрыв тела накала	См. п. 5

\* Источниками углерода, помимо указанных в п. 3, могут быть также пары масла (от насоса на откачке), следы углеводородов в газе, наполняющем лампы, и оксиды катодов люминесцентных ламп. Источником никеля может быть испарение его с деталей ламп.

для придания спиральям требуемой формы, снятия внутренних напряжений, очистки и обезжиривания спиралей.

Спираль из тонкой вольфрамовой проволоки формируют на утюжке и отжигают в препарировочном газе перед вытравливанием молибденового керна.

В табл. 6-4 указаны причины основных видов брака спиралей.

## 6-2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ КАТОДОВ

## а) ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Катоды являются одним из основных конструктивных элементов газоразрядных источников света. Катод должен обеспечивать необходимое для поддержания разряда поступление электронов в газоразрядный промежуток.

Одним из основных параметров, характеризующих эффективность катода, является работа выхода электронов, которая определяется материалами катода, состоянием и структурой его поверхности. Значения работы выхода находятся в пределах  $(0,08—1,6) \cdot 10^{-18}$  Дж  $(0,5—10$  эВ).

В газоразрядных источниках света применяются преимущественно активированные катоды, в состав которых введены вещества, снижающие работу выхода. Особенно широкое распространение получили так называемые оксидные катоды, поверхность которых покрывается оксидами щелочноземельных металлов (бария, стронция и кальция).

Катоды можно подразделить на две основные группы в зависимости от вида разряда — холодные катоды тлеющего разряда и катоды дугового разряда.

Катоды ламп тлеющего разряда работают при малых плотностях тока на их поверхностях (менее  $10^{-2}$  А/см<sup>2</sup>), и их рабочая температура не превышает несколько сотен градусов Цельсия. Поскольку при этих температурах термоэлектронная эмиссия отсутствует, разрядный ток поддерживается эмиссией электронов из катода за счет бомбардировки катода положительными ионами, фотоэлектронной эмиссии и энергии метастабильных атомов. Этот механизм эмиссии малоэффективен, и поэтому для поддержания разряда требуется большое околокатодное падение потенциала (у катодов из чистых металлов до 19\*

ходит до нескольких сотен вольт). Применение холодных катодов тлеющего разряда оправдано только в лампах, работающих на высоком напряжении, когда падение напряжения около катода составляет незначительную долю от полного падения напряжения на лампе, или в некоторых сигнальных лампах тлеющего свечения, для которых вопросы экономичности не играют роли.

Катоды дугового разряда работают при значительно более высоких плотностях тока на поверхности (обеспечивают поддержание разрядных токов от долей ампера до тысяч ампер). Эмиссия катодов дугового разряда значительно эффективнее, чем у холодных катодов, и поддерживается за счет термоэлектронной эмиссии.

Нагрев катода в дуговом разряде до необходимой температуры может осуществляться двумя способами: от постороннего источника тока — катоды с независимым накалом и за счет энергии, выделяемой на электродах в процессе самого разряда, — самокалящиеся катоды. В газоразрядных лампах дугового разряда применяются в основном самокалящиеся катоды.

Установлено, что явления на катодах в период зажигания и развития разряда, а также в период горения ламп вызывают разрушение их и нарушают нормальную работу ламп и в значительной степени оказывают решающее влияние на продолжительность горения ламп. К числу этих процессов относятся распыление и «разбрызгивание» материала катода под действием бомбардировки положительными ионами (явление наблюдается главным образом при тлеющем разряде); тепловое испарение материала электрода вследствие их перегрева (наблюдается в лампах дугового разряда при высоких плотностях тока); разрушение поверхности электродов (наблюдается в дуговых лампах с высокой плотностью тока); перенос материала анода на катод (наблюдается в дуговых разрядах с высокими плотностями тока при малых расстояниях между электродами) и др.

#### б) ХОЛОДНЫЕ КАТОДЫ ЛАМП ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА

Лампы тлеющего разряда подразделяются на лампы катодного свечения (неоновые лампы) и лампы тлеющего разряда с положительным столбом (газосветные трубки).

Форма и размеры катодов определяются требуемыми формой и размерами светящейся поверхности, потребляемой мощностью и другими требованиями. На рис. 6-5 представлены характерные конструкции применяющихся холодных катодов газосветных трубок.

У большинства ламп тлеющего разряда размер катода и режим разряда подбираются таким образом, чтобы свечение покрывало всю рабочую поверхность катода.

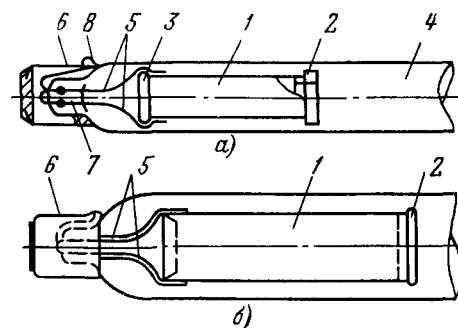


Рис. 6-5. Холодные катоды ламп тлеющего разряда.

а — на токи 20 мА; б — на 100 мА; 1 — цилиндрический электрод; 2 — втулка; 3 — донышко цилиндра; 4 — стеклянная трубка; 5 — внутреннее звено вводов; 6 — цоколь; 7 — стеклянная лопатка; 8 — место припайки выводов к цоколю.

Катоды таких ламп изготавливают в основном из никеля и реже из молибдена, алюминия и железа.

В целях снижения напряжения зажигания тлеющего разряда и уменьшения катодного падения потенциала у большинства катодов их поверхность покрывается тонким слоем активирующих веществ, уменьшающих работу выхода.

У ламп с напряжением возникновения разряда 40—60 В на окисленную поверхность (никель) наносится слой цезия. Из-за очень большой химической активности цезий можно получить из соединений только в вакууме, путем восстановления (см. гл. 2).

Другая группа ламп тлеющего разряда имеет катод из никеля марки ЛНО или ЛНМ, поверхность которого покрыта методом пульверизации тонким слоем двойного или тройного карбоната щелочноземельных металлов. При нагреве катода высокой частотой во время вакуумной обработки лампы обеспечивается разложение карбо-

натов до окислов. Окончательная активировка катодов производится после отпайки лампы в режиме импульсного газового разряда (с частотой до 100 Гц), после чего образуется достаточное количество свободного щелочноземельного металла. Такие катоды могут работать при нагрузке до 25 мА/см<sup>2</sup>, сохраняя длительное время низкое значение работы выхода. Напряжение зажигания разряда с этими катодами составляет 60—100 В.

У газосветных трубок оба электрода имеют одинаковую конструкцию, поскольку они работают на переменном токе. Катоды этих ламп обычно представляют собой цилиндры с доньшком, изготовленные из низкоуглеродистой стали. Доньшко предохраняет место впаивания в стекло от прямого воздействия разряда. Для уменьшения катодного распыления острые края цилиндра завальцовываются или зашлифовываются, в некоторых случаях надевают на край цилиндра стеклянную или керамическую (стеатитовую) втулку. У таких катодов работает только внутренняя поверхность цилиндра, плотность тока составляет 1,0—3,0 мА/м<sup>2</sup>, продолжительность горения — несколько тысяч часов.

#### в) КАТОДЫ ДУГОВЫХ ЛАМП НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

В дуговых лампах низкого давления (люминесцентных, натриевых и др.) используются в основном оксидные катоды. Конструктивно они представляют собой биспираль или триспираль преимущественно из вольфрамовой проволоки, покрытые слоем оксида щелочноземельных металлов (рис. 6-6). Такие конструкции катодов обеспечивают увеличение запаса оксида и улучшение его сцепления с подложкой. Некоторые типы катодных узлов имеют экраны различной конструкции (рис. 6-6, б—д). В анодный полупериод экраны принимают на себя часть разрядного тока, предотвращая перегрев, и уменьшают анодное падение потенциала. В катодный полупериод они предохраняют открытый активный слой катода от ионной бомбардировки. Обычно экраны используются в мощных люминесцентных лампах, в лампах с пониженным давлением наполняющего газа и в лампах на постоянном токе.

В последнее время для люминесцентных ламп мгновенного зажигания стали применять «триспиральные катоды». Они представляют собой вольфрамовую биспираль, основной провод которой обвит дополнительно

очень тонкой вольфрамовой проволокой диаметром около 18 мкм. Такие катоды имеют увеличенное количество оксида, обеспечивают более быстрое разогревание отдельных участков катода, благодаря этому лампы имеют значительно большую продолжительность горения.

Катоды неоновых дуговых ламп представляют собой спирали, свитые из проволоки в виде гитарной струны,

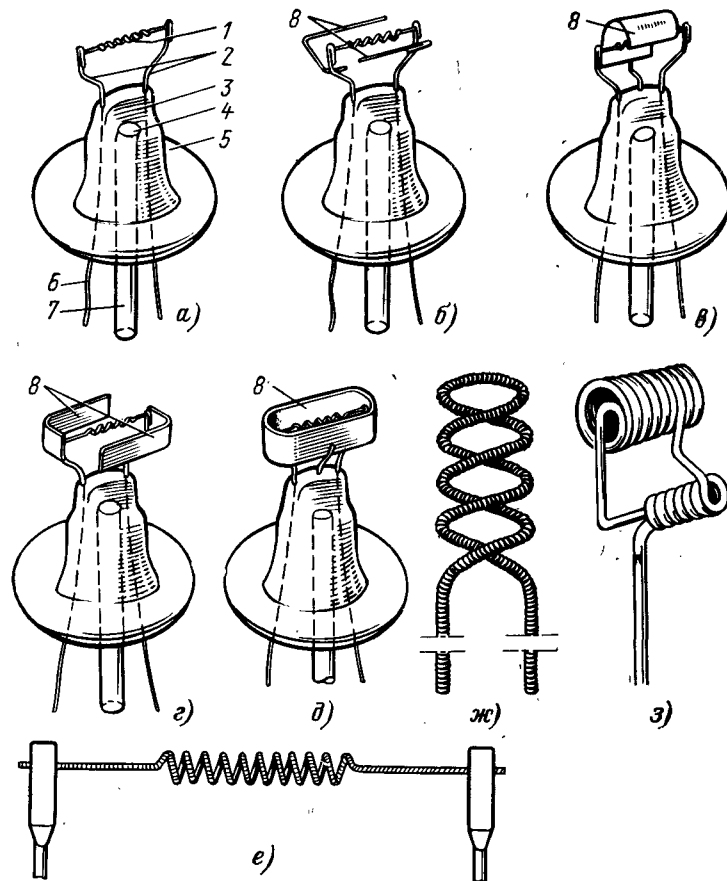


Рис. 6-6. Катоды ламп дугового разряда низкого давления различных конструкций.

а—д — люминесцентных ламп (1 — оксидированная биспираль из вольфрамовой проволоки; 2 — внутренние звенья вводов (никель); 3 — лопаточка; 4 — отверстие штенгеля для откачки и наполнения лампы; 5 — тарелочка; 6 — внешние звенья вводов (медь, платинит); 7 — штенгель; 8 — экран из никеля); е — вид биспирали в увеличенном масштабе; ж — триспиральный оксидный катод бифилярного типа (увеличено); з — оксидный катод блочного типа.

покрытые оксидом щелочноземельных металлов того же или близкого состава, что и оксид люминесцентных ламп. На рис. 6-6,ж представлена одна из конструкций триспирального бифилярного катода натриевых ламп.

В некоторых типах ламп, имеющих высокую плотность тока, применяют активаторы в виде таблетки. В этом случае вольфрамовая спираль имеет полость, внутри которой помещаются таблетки активатора (рис. 6-6,з). Такой катод имеет весьма большой запас активного вещества.

Нанесение оксида на катоды осуществляется катодорезным способом, обеспечивающим получение плотно и равномерного слоя.

#### г) КАТОДЫ РТУТНЫХ ЛАМП ВЫСОКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

В ртутных лампах в первый период после зажигания разряда плотность паров в холодной лампе мала и дуговой разряд происходит при сравнительно низком давлении, определяемом парциальным давлением инертного газа в лампе. Вследствие этого для зажигания разряда требуется сравнительно невысокое напряжение. Однако увеличивается возможность распыления катода в стадии разгорания, которая длится до нескольких минут.

Оба электрода (катода) ртутных ламп переменного тока трубчатой формы имеют одинаковую конструкцию и размеры. Как правило, электрод состоит из двух частей: зажигающей и рабочей. Зажигающая часть служит для облегчения зажигания разряда работы в период разгорания, в ней находится запас активного вещества. После разгорания разряд переходит на рабочую часть катода, более стойкую против распыления.

Рабочая часть катода изготавливается в основном из вольфрама, часто с активирующими присадками (торий).

На рис. 6-7,а показана одна из конструкций катодов для ртутных ламп высокого давления. Катод имеет вольфрамовый сердечник 1, один из его концов, обращенный к разряду, заточен в виде конуса для лучшей фиксации разряда. На сердечник надета и приварена к нему вольфрамовая спираль, которая покрывается оксидом щелочноземельных металлов. При высокой температуре эти катоды обеспечивают хорошее зажигание разряда, но имеют сравнительно малый запас активного

вещества. К тому же эти катоды весьма чувствительны к тепловому режиму, перегрев приводит к испарению активного слоя бария и потере эмиссии.

Все поверхностно-активные катоды имеют серьезный недостаток — зажигающая часть электрода не защищена от разряда. Поэтому в лампах сверхвысокого давления (СВД) применяют катоды с запасом активного вещества, которое защищено от непосредственного воздействия разряда, но в то же время попадает на эмиттирующую поверхность катода за счет испарения и диффузии. Некоторые конструкции таких катодов на токи до 10—12 А приведены на рис. 6-7,б—г.

Сердечник 1 изготовлен из торированного вольфрама, конец его заточен или на плоскость, или на конус, или в виде полусферы. На сердечник надета плотно свитая вольфрамовая спираль 2. Запас активного вещества в виде пасты из активатора 3 или блока активного вещества 4 помещен в пространстве между сердечником и витками спирали.

Активаторы могут быть выполнены как в виде пасты, так и в виде керамических спеченных блоков (трубочек). Хорошие результаты (для ламп ДРЛ) дает цирконат бария или бария — стронция — кальция с добавкой церия и лантана.

Конструкции катодов ртутных ламп СВД с короткой дугой переменного тока приведены на рис. 6-8.

Лампы мощностью до 1 кВт имеют катод с ториевым оксидом (рис. 6-8,а и б). Лампы СВД на токи свыше 15—20 А имеют катоды с развитой поверхностью охлаждения (рис. 6-8,в и г) для отвода выделяемой на катоде мощности.

Керн катода 1, изображенного на рис. 6-8,г, выполнен из торированного вольфрама, его конец, обращенный

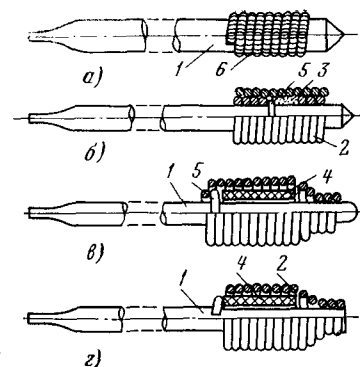


Рис. 6-7. Катоды ртутных ламп высокого и сверхвысокого давления переменного тока трубчатой формы.

а — катод ламп высокого давления; б—г — катоды ламп СВД на токи до 10—12 А (1 — сердечник из торированного вольфрама; 2 — покрывающая вольфрамовая спираль; 3 — оксидная паста; 4 — блок активного вещества; 5 — газопоглотитель; 6 — активированная спираль в виде гитарной струны).

к разряду, оплавлен в виде полусферы. Зажигающая часть представляет собой многослойную вольфрамовую спираль 2, промежутки между витками заполнены активирующей пастой.

Катод (рис. 6-8,з), имеющий фасонную форму, изготовлен из спеченного при высокой температуре вольфрамового порошка (синтерированный вольфрам) с добавкой окиси тория. В верхней части катода, обращенной к разряду, сделана вставка из кованого вольфрама. Сзади вставки имеется полость, которая несколькими узкими каналами соединена с поверхностью электрода

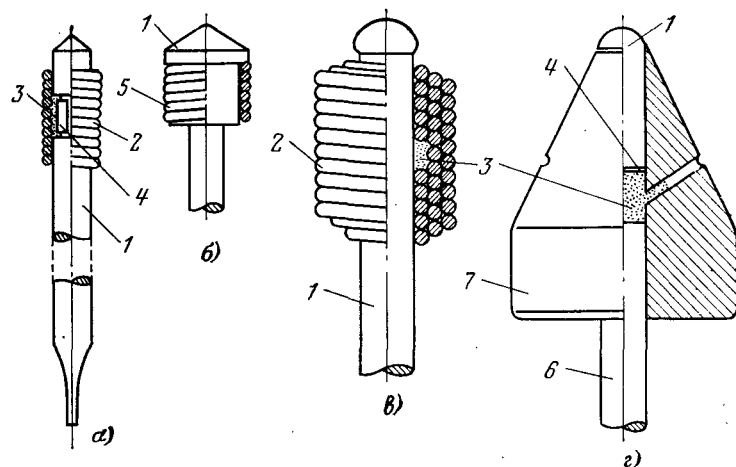


Рис. 6-8. Катоды ртутных ламп переменного тока с короткой дугой СВД.

а и б — катоды мощностью до 1 кВт; в — катод с активирующей пастой; з — синтерированный катод с добавкой окиси тория (1 — сердечник из торированного вольфрама; 2 — покрывающая спираль из вольфрамовой проволоки; 3 — оксидная паста; 4 — газопоглотитель; 5 — вольфрамовая спираль для облегчения зажигания; 6 — ввод; 7 — корпус электрода из спеченного вольфрама).

Полость заполнена пастой из активирующего вещества, и там же расположена танталовая пластина, служащая газопоглотителем. В нижнюю часть полости вставлен вольфрамовый стержень, соединенный с выводом. При зажигании разряда и в период разгорания катодное пятно располагается у отверстия одного из каналов. После

разгорания лампы и повышения давления разряд переходит на торец вставки, которая является рабочей частью катода.

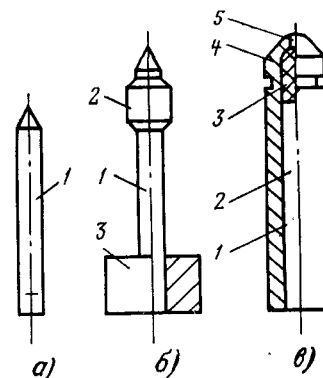
#### д) КАТОДЫ ГАЗОВЫХ ЛАМП ВЫСОКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

Катоды газовых ламп не имеют специальной зажигающей части, как у ртутных ламп, так как газовые лампы не имеют периода разгорания.

Катоды трубчатых ламп переменного тока представляют собой стержни цилиндрической формы из кованого

Рис. 6-9. Катоды газовых ламп постоянного тока с короткой дугой СВД различной мощности.

а — катод лампы мощностью 500 Вт; б — катод лампы 0,5–5 кВт (1 — сердечник из торированного вольфрама; 2 — муфта из спеченного вольфрама с присадками, 3 — муфта из молибдена для сварки с цилиндрическим фольговым вводом); в — камерный электрод газовых ламп переменного тока с короткой дугой СВД на токи свыше 40–50 А (1 — трубка из вольфрама; 2 — пробка; 3 — блок активного вещества; 4 — оплавленная рабочая часть электрода; 5 — отверстие).



вольфрама с присадкой окиси тория (ВТ-50). Конечный стержень, обращенный к разряду, имеет чаще всего форму полусферы. Катоды ламп СВД с короткой дугой постоянного тока представляют собой штифт из торированного вольфрама, конец которого заточен в форме конуса.

В лампах на большие токи на катод надета «муфта» из спеченного вольфрамового порошка (рис. 6-9,б).

Катоды ламп с короткой дугой переменного тока изготавливаются из торированного вольфрама с крупнокристаллической структурой, или же применяют так называемые камерные катоды (рис. 6-9,в).

#### е) КАТОДЫ ИМПУЛЬСНЫХ ЛАМП

В качестве катодов импульсных ламп применяют прутки из сплава вольфрам — никель — барий (марки ВНБ-3), концу катода придают полусферическую форму.

Размеры катодов рассчитывают так, чтобы их рабочая температура не превышала 800—900 °С.

В маломощных стеклянных лампах катодом является конец молибденового прутка, являющийся вводом. Для ламп, рассчитанных на большие энергии вспышек, на конец молибденового катода надевается вольфрамовая спираль. Катоды активируются пленкой калия или цезия.

В неоновых стробоскопах низкого напряжения катод имеет форму никелевой чашечки с запрессованной в нее смесью углекислого цезия и порошка никеля. Спекание и активировка катода производятся во время откачки путем прогрева токами высокой частоты и разрядом на постоянном токе в готовой лампе.

Катоды мощных ламп делают из вольфрама с большим содержанием окиси тория (BT-50, BT-80).

## ГЛАВА СЕДЬМАЯ

### СБОРКА ЛАМП



#### 7-1. СПАИ МЕТАЛЛА СО СТЕКЛОМ

Получение надежного спая металла со стеклом обеспечивает высокое качество выпускаемых источников света.

В производстве наблюдается еще большой брак по вакуумной плотности, который может обнаружиться не сразу, а в процессе эксплуатации ламп или при их длительном хранении.

Прочное сцепление достигается только при хорошем смачивании металла с расплавленным стеклом. Смачивание улучшается, если поверхность металла имеет адсорбирующий слой пленки окиси металла и металл нагрет до температуры, близкой к температуре расплавленного стекла. В некоторых случаях образующиеся окислы взаимодействуют с влагой воздуха, что приводит к нарушению вакуумной плотности спая при эксплуатации ламп во влажной среде. В связи с этим необходимо уделять особое внимание свойствам окисленного переходного слоя.

Спай металла со стеклом имеют два основных вида брака: трещины и «отлипания».

Если сцепление между частицами стекла и металла велико и силы сцепления превышают прочность стекла, то стекло спая разрушается, появляются трещины. Если же силы сцепления невелики, то нарушается связь между стеклом и металлом, т. е. происходит отлипание стекла.

Оба дефекта вызываются внутренними напряжениями, они возникают по двум причинам: неравномерное нагревание (или охлаждение) спая и (или) различие температурных коэффициентов линейного расширения (ТКЛР) стекла и металла.

На практике подобрать идеальное совпадение ТКР стекла и металла невозможно, поэтому очень важно, чтобы разность ТКЛР пары материалов была в таких пределах, когда температурные напряжения не превышают безопасной величины.

При спаивании стекла и металла с резко различными ТКЛР (несогласованные спай) возникновение температурных напряжений опасной величины предотвращается особой конструкцией металлической детали спая, которой придаются такие конфигурации и размеры, что она может свободно деформироваться, следуя за деформацией стекла. Несогласованный спай можно получить, применяя дифференциальный отжиг, когда при охлаждении поддерживается разность температур таким образом, чтобы величина теплового сжатия металла и стекла оставалась равной в продолжение всего процесса охлаждения.

Получить надежный спай не всегда удается из-за неправильно выбранной конструкции спаев, ослабления механической прочности образовавшимися вблизи поверхности спая пузырьками электролиза, расстекловывания стекла и др.

*Пузырьки* на поверхности спая возникают в основном по следующим причинам:

- выделение газов, растворенных в металле и стекле;
- присутствие на поверхности металлов атомов углерода, серы и других примесей, которые при температуре спаивания образуют газообразные окислы;
- загрязнение поверхности металла и стекла;
- недостаточная квалификация оператора.

Отдельные мелкие пузырьки не нарушают вакуумной плотности соединения, присутствие же большого количества пузырей на поверхности спая и особенно в виде цепочек ослабляет сцепление, образуя слабое место для возникновения трещин и волосных каналов.

**Электролиз стекла.** С повышением температуры объемное сопротивление стекла падает и под действием разности потенциалов между двумя металлическими впаями ионы стекла перемещаются к аноду или катоду.

С повышением температуры вязкость стекла уменьшается, скорость ионов увеличивается, увеличивается также электролитическая диссоциация силикатов, электрическая проводимость стекла возрастает и процесс электролиза протекает быстрее. Слой стекла, прилегающий к отрицательному электроду, обогащается натрием и калием, а у положительного электрода образуется слой стекла с большим содержанием кремнезема. Стекло теряет свою однородность, ТКЛР его вблизи металла изменяется и может вызвать разрушение спая. Кроме того, изменяются электрические свойства стекла — одни слои стекла приобретают большую электрическую проводимость, другие, наоборот, меньшую. Такая неравномерность может привести к возникновению больших градиентов потенциала, что в свою очередь может привести к пробое стекла.

Электрическая проводимость стекла увеличивается при возрастании содержания в стекле окислов щелочных металлов и наоборот.

Во время электролиза выделяются газы — водород на катоде, кислород на аноде — и в значительно меньших количествах выделяются азот, углекислый газ и пары воды. Выделяемые газы ухудшают вакуум в лампе и часто образуют цепочки пузырей вдоль электродов. Электролитические процессы в стекле сопровождаются изменением цвета спаев. Так, при платиновых вводах на аноде наблюдается почернение его в результате окисления поверхности под действием выделяющегося здесь кислорода. И наоборот, водород, выделяющийся на катоде, восстанавливает до меди существующую на платините пленку окиси меди.

Молибденовые и вольфрамовые впаи под действием кислорода и воды также заметно окисляются и темнеют.

Электролитическое разложение стекла наиболее интенсивно протекает при постоянном токе. Устранить

электролиз полностью невозможно, но ослабить его влияние можно следующими мерами:

применением стекла с высоким удельным электрическим сопротивлением;

увеличением расстояния между впаями;

снижением температуры спая путем выбора соответствующих размеров токоведущих частей,

применением тепловых экранов и искусственного охлаждения.

К некоторым источникам света предъявляются повышенные требования — лампы должны сохранять рабочее состояние в течение многих лет хранения и эксплуатации в суровых климатических условиях (колебание наружной температуры от  $-50$  до  $+80^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности до 100%). Испытания показывают, что слабыми местами спаев являются граница между окислом металла и его поверхностью, где часто наблюдается недостаточно прочная адгезия, а также сам слой окисла металла. Появление течей под действием агрессивных реагентов и повышенной влажности наблюдается именно в этих местах. Для увеличения надежности спаев применяют различные меры, обеспечивающие увеличение адгезии между окислом и металлом. Появилась также тенденция к производству безокисных спаев.

К впаиваемым металлам и сплавам предъявляется ряд требований. Помимо выбора ТКЛР (в зависимости от типа спая и его конструкции), важную роль играют такие свойства, как температура плавления, упругость паров в вакууме, газоотделение, электро- и теплопроводность, химическая стойкость по отношению к тем или иным газам и парам, механические и упругие свойства, обрабатываемость резанием и давлением, возможность сварки или спайки, способность амальгамироваться в присутствии ртути, возможность аллотропических изменений в рабочем температурном интервале, свойства окисной пленки, стоимость и др.

Основные свойства применяемых металлов и сплавов изложены в гл. 2.

#### а) ВИДЫ СПАЕВ

На напряжения в спае, а следовательно, и на надежность его в значительной степени влияет правильно выбранная форма или вид спая.

Выбор спая в первую очередь определяется спаиваемыми материалами, поэтому прежде всего должна быть выбрана спаиваемая комбинация исходя из технологических соображений и условий эксплуатации источника света.

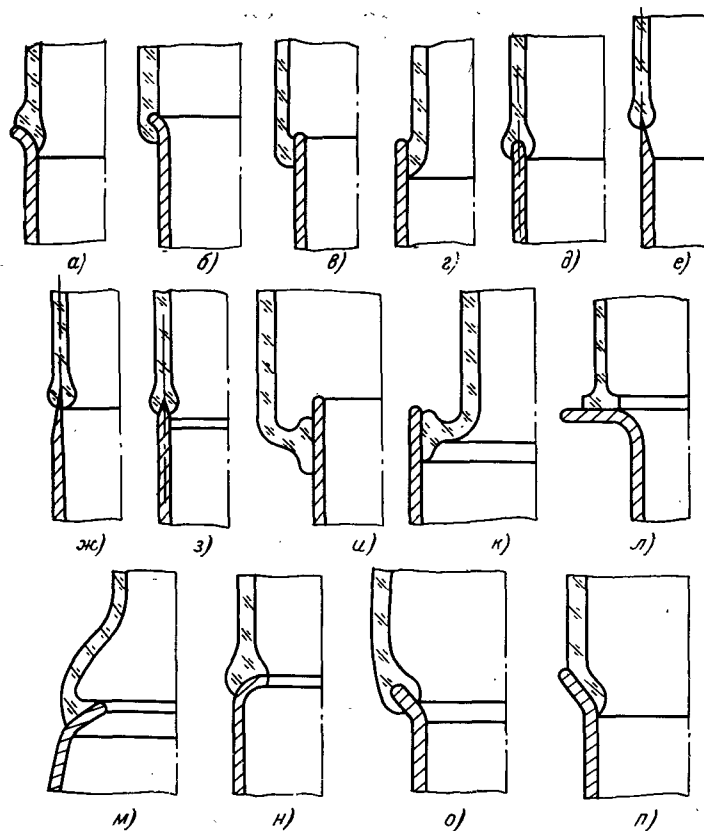


Рис. 7-1. Конструкции рантовых согласованных спаев.

**Согласованные рантовые спаи.** На рис. 7-1 изображены встречающиеся виды рантовых спаев (швов). Лучшими следует считать виды, изображенные на рис. 7-1, а, д—з; нежелательными, но допустимыми — виды рис. 7-1, в, г, л—п; нерекомендуемыми — рис. 7-1, б, и, к. Технологически легче выполняются спаи — рис. 7-1, а, д—з, л, п.

Виды спаев 7-1, а и д отличаются более высокой механической прочностью по сравнению с другими. Кромка металлического стаканчика должна быть правильно обработана. Примеры неправильного выполнения кромки стаканчика показаны на рис. 7-2, а, в, д, е и з, а примеры

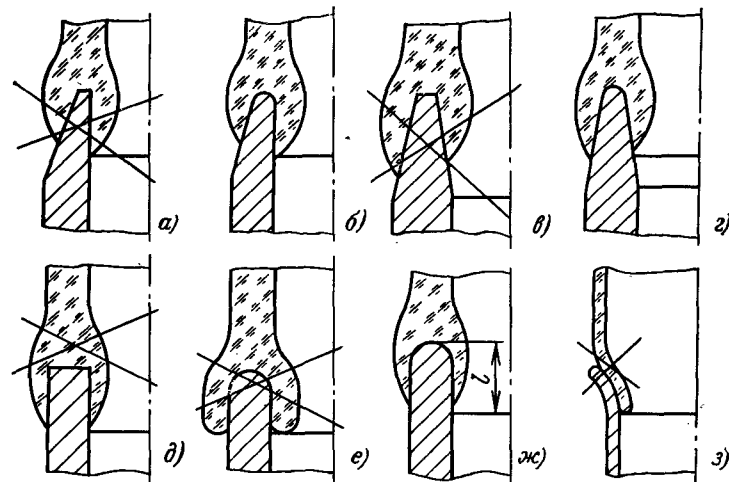


Рис. 7-2. Примеры правильного и неправильного выполнения швов рантовых согласованных спаев.

Таблица 7-1

Рекомендуемые размеры рантовых согласованных спаев

Диаметр трубки, мм	Толщина металла, мм	Толщина стекла, мм	Высота шва мм
5—8	0,4—0,6	0,6—1,0	1—1,5
8—15	0,5—0,8	1—1,5	1,5—2,5
15—30	0,6—1,0	1,5—2,2	2,5—3,0
30—70	0,8—1,2	2,2—3,0	3,0—4,0
70	1,0—2,0	3,0—4,0	4,0—6,0

правильного выполнения той же кромки — на рис. 7-2, б, г, ж.

Ширина шва (рис. 7-2, а, ж) рантовых спаев должна быть достаточной, чтобы гарантировать необходимые адгезию и механическую прочность, рекомендуемые размеры приведены в табл. 7-1.

**Несогласованные рантовые (лезвенные) спаи.** Лезвенные спаи можно получить между многими металлами и



любым стеклом. Наиболее подходящей для этой цели является медь благодаря высокой пластичности, отличной адгезии окисной пленки и хорошей теплопроводности.

На рис. 7-3 изображены наиболее распространенные виды лезвенных спаев. При лезвенном спае конец метал-

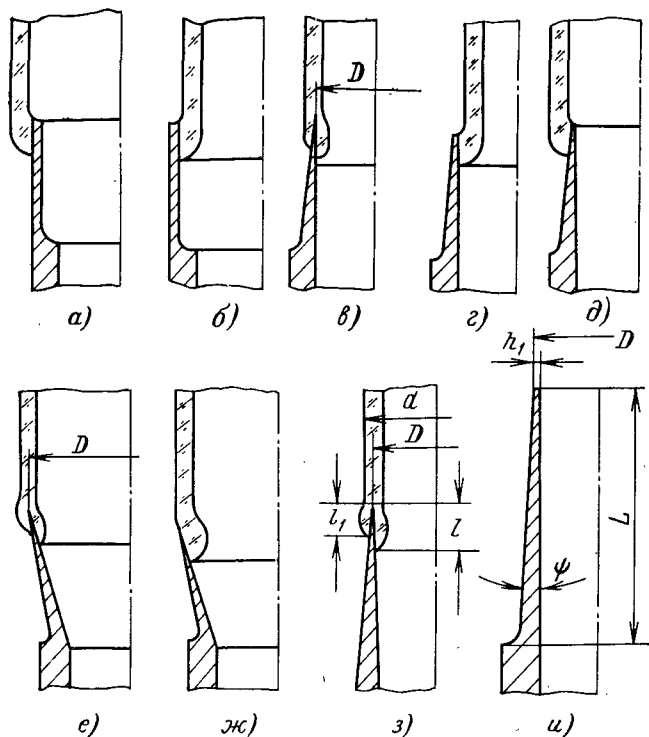


Рис. 7-3. Конструкции лезвенных спаев.

лического стаканчика на некоторой длине имеет малую толщину стенки. Этот участок стаканчика служит поглотителем деформации основного тела стаканчика, он следует за тепловой деформацией стекла, практически не оказывая сопротивления этой деформации.

Однако лезвенные спаи имеют малую механическую прочность «лезвия», низкое сопротивление длительным циклическим тепловым нагрузкам, повышенную трудоемкость изготовления и др. Лезвия должны быть обра-

ботаны весьма тщательно и чисто (6—7-класс чистоты по ГОСТ 2789-59).

Двусторонние швы (рис. 7-3, в, е) являются технологически простыми и надежными в эксплуатации. Если наружные швы (рис. 7-3, а, д) изготавливаются методом индукционного нагрева, то они технологически просты и предпочтительнее внутренних (рис. 7-3, б, г).

Для получения двустороннего шва должно удовлетворяться следующее требование (рис. 7-3, е):

$$d \approx D + (0,6 \div 0,8) t.$$

Двусторонний шов у лезвенного спая должен быть несимметричным (рис. 7-3, з). Ширина внутреннего наплыва  $l$  должна превышать  $l_1$  — ширину внешнего наплыва на 1—2 мм; размер  $l_1$  выбирается по табл. 7-2.

Таблица 7-2

Рекомендуемые размеры двусторонних лезвенных спаев, мм

$D$	До 8	8—16	16—30	30—70	$\geq 70$
$l_1$	1—1,5	2—2,5	2—3,0	2,5—4,0	3,5—5,0
$L$	1,5—1,8	1—1,5	0,8—1	0,5—0,8	0,3—0,5

Толщина лезвия на кромке  $h_1$  (рис. 7-3, и) должна лежать в пределах 0,04—0,06 мм, угол заострения лезвия  $\psi$  может колебаться от  $2^\circ$  до  $3^\circ 30'$ . Дальнейшее увеличение размеров  $h_1$ ,  $\psi$  и уменьшение  $L$  заметно увеличивают механическую прочность спая, но приводят к возрастанию напряжений в стекле и к увеличению брака спаев.

**Сжатые спаи.** Примеры сжатых спаев показаны на рис. 7-4. Сжатые спаи в сравнении с лезвенными спаями имеют большую длину шва и большую жесткость кромки стаканчика. Прочность сжатых спаев значительно выше, чем лезвенных, вакуумная плотность их удовлетворительная.

Толщина стенки в месте спая для меди лежит в пределах от 0,3 до 1,5 мм при толщине стекла в том же месте 2,5—5 мм и длине  $l = 15 \div 20$  мм.

Спаи (рис. 7-4, ж и з) предпочтительнее конструкции рис. 7-4, е, поскольку в стеклянном изоляторе этих спаев

создается большое сжатие, они прочнее и могут быть выполнены с большим количеством штырьков.

Минимальное расстояние между штырьками или между штырьками и стенкой не должно быть меньше диаметра штырька.

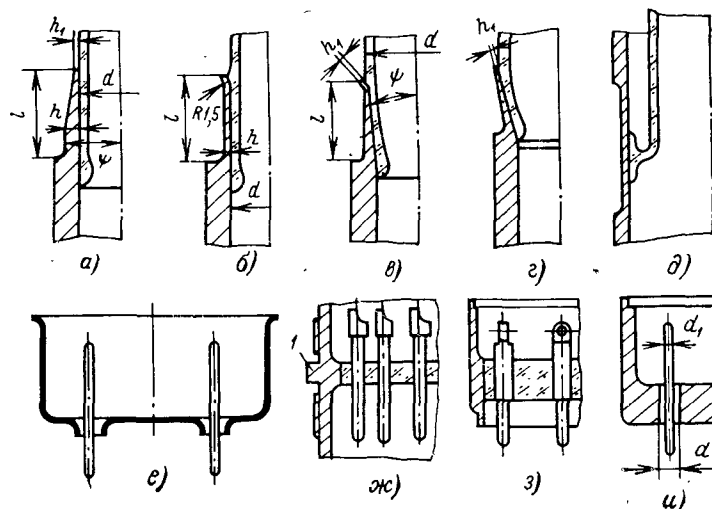


Рис. 7-4. Конструкции сжатых спаев.

**Дисковые спаи.** Дисковые спаи представляют собой соединение торца стеклянной трубки с плоскостью металлического кольца или диска, толщина диска обычно от 0,5 до 3 мм.

Дисковые несогласованные спаи изготавливаются на основе использования пластических свойств металла, преимущественно меди. Толщина металла должна быть такой, чтобы усилия, необходимые для пластического радиального растяжения диска, не превышали опасных для стекла значений.

Надежность дискового спая, его механическая прочность в значительной степени зависят от формы шва.

**Одиночный ввод.** Одиночные вводы можно разделить на две основные группы:

1. Вводы, впаиваемые в стеклянную колбу (рис. 7-5, а).

2. Вводы, впаиваемые в металлические детали, предназначенные для вакуумного соединения с корпусом прибора (пайкой или сваркой, рис. 7-5, б).

Второй вид одиночного ввода может найти применение в изготовлении специальных источников света.

В качестве материала для одиночного ввода первого вида применяются для легкоплавких стекол — высоко-

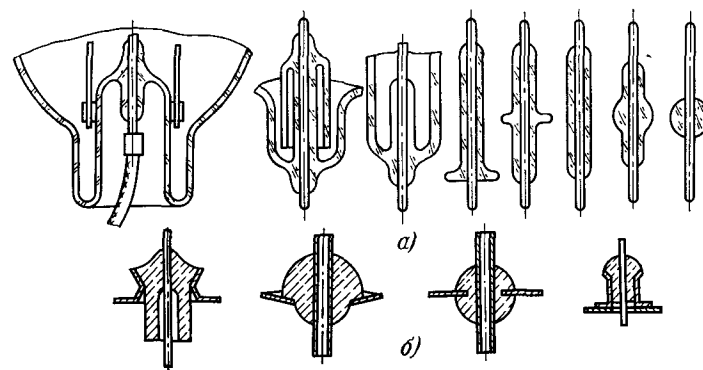


Рис. 7-5. Примеры конструкций одиночного ввода.

хромистая сталь (фуродит), титан, сплавы 47НХР, НЗОК25Х8 и 47НД; для тугоплавких стекол — молибден, вольфрам и ковар.

#### б) СПАИВАНИЕ МЕТАЛЛА СО СТЕКЛОМ

**Подготовка металла.** Обработка металлов перед спайванием обеспечивает придание спаиваемому металлу нужной формы, создание на поверхности определенного окисного слоя, увеличение механической прочности спая, снижение содержания растворенных газов, обезуглероживание поверхностных слоев, удаление поверхностных загрязнений и др.

Спаиваемые металлы должны иметь поверхность необходимой чистоты (в пределах 5—7-го класса).

После механической обработки металлические детали подвергаются химической обработке, заключающейся в обезжиривании и травлении. Применяются травящие составы самых различных рецептов.

Для предотвращения возникновения газовых пузырей на поверхности спая металлические детали подвергаются отжигу в водороде или в вакууме.

В большинстве случаев для успешного спаивания металла со стеклом необходимо окисление поверхности металла. Толщина слоя окиси должна лежать в определен-

ных границах. При слишком тонком слое вся окись растворится в стекле, которое будет непосредственно соединено с чистой поверхностью металла: величина адгезии у таких спаев может быть недостаточной. При слишком толстом слое окиси сцепление между металлом и пленкой может оказаться слабым, произойдет отслаивание окиси.

Критерием оптимальности толщины окисной пленки служит цвет спая. Цвет спая (холодного) определяется характером окиси и ее толщиной. С увеличением толщины пленки цвет спая изменяется от естественного металлического (недостаточное окисление) до черного (переокисление). Молибденовые спаи характеризуются светло-коричневым цветом, спаи высокохромистой стали — зеленым, спаи кобальта — мышино-серым и т. д. Необходимо иметь в виду, что растворение окиси в стекле является функцией длительности горячей обработки — при продолжительном нагреве спая можно добиться полного растворения даже толстой пленки окиси.

Предварительное покрытие поверхности спаиваемых металлических деталей слоем стеклянной пасты дает хорошие результаты при спаивании. Паста изготавливается из порошка стекла того же состава, что и стекло, подлежащее спаиванию. Порошок замешивается на какой-нибудь связующей жидкости (лучше всего метиловый спирт или ацетон) и наносится тонким слоем на поверхность металлической детали кисточкой или пульверизатором, просушивается на воздухе или в термостате и подвергается сплавлению в сплошной тонкий слой стекла путем предварительного нагрева в печи или непосредственно при спаивании. При сплавлении на поверхности металла образуется пленка окисла за счет кислорода, содержащегося в самой пасте. Образовавшаяся пленка стекла надежно защищает поверхность металла от дальнейшего окисления.

Для предотвращения переокисления металла весьма широко распространено хромирование или электролитическое покрытие пленками других металлов, имеющих высокую адгезию к стеклу.

Другим способом предотвращения переокисления является спаивание металла со стеклом в защитном газе (углекислый газ, азот, аргон, гелий и др.).

**Спаивание стекол с медью.** Медь широко применяется в дисковых и фланговых (лезвенных) трубчатых спаях,

а также в форме платинита — биметаллической железоникелевой проволоки с медным покрытием.

В фланговых и дисковых спаях соответствующим уменьшением толщины стенок медной трубки или диска можно настолько снизить напряжения в стекле, что такие заготовки будут пригодны для спаивания не только с мягкими, но в случае необходимости и с твердыми стеклами. Для спаивания пригодна медь, не имеющая тенденции к «водородной болезни». Медь перед спаем обрабатывается погружением на несколько секунд в раствор азотной кислоты и промывается в проточной, а затем в дистиллированной воде. После химической обработки медная деталь отжигается и погружается в насыщенный раствор буры. После высушивания в пламени на поверхности меди образуется стекловидная пленка.

Изготовление спая производится на специальном стеклодувном станке-автомате или путем высокочастотного нагрева. Спай должен иметь ярко-красный цвет (цвет закиси меди  $\text{Cu}_2\text{O}$ ). Черная окись меди ( $\text{CuO}$ ) не обеспечивает надежного спая. Нужно иметь в виду, что при длительном спаивании может произойти полное растворение закиси меди и спай будет цвета чистой меди, такой спай также ненадежный.

**Спаивание стекол со сплавами железа.** Сплавы железа с хромом и никелем применяются для изготовления спаев с мягкими стеклами, а сплавы железо-никель-кобальт — для спаивания с твердыми стеклами.

Детали из сплавов подвергаются промежуточному отжигу в защитной атмосфере при  $800^\circ\text{C}$ . После механических операций и обезжиривания в трихлорэтилене детали подвергаются химическому или электролитическому травлению с целью удаления поверхностного слоя и придания поверхности необходимой шероховатости. Лучшим является электролитический способ. В качестве электролита используется 5—10%-ный раствор серной кислоты или смесь 1%-ного раствора поваренной соли с 5—10%-ной соляной кислотой. Электролитическое травление производится при напряжении 10—12 В и плотности тока  $1,75 \cdot 10^{-4} \text{ А/м}^2$ .

Мелкие детали можно травить в смеси 10%-ной соляной и 10%-ной азотной кислот при  $70^\circ\text{C}$  или в соляной кислоте концентрации 1:1, а затем в смеси раствора щавелевой кислоты с перекисью водорода (25 г щавелевой кислоты + 40 см<sup>3</sup> 30%-ной перекиси водорода). Пос-

ле промывки в дистиллированной воде и сушки детали отжигаются в защитной атмосфере (лучше влажный водород) при максимальной температуре 900—1100°C в течение 10—30 мин.

После отжига металлические детали окисляются. Окислы, образующиеся на сплавах железа и никеля с кобальтом и хромом, имеют более высокое сцепление со стеклом, чем окислы на сплаве железоникель. Цвет поверхности сплава должен быть после обработки мышино-серым, а для хромистых сталей — с зеленоватым оттенком. Черный цвет спая свидетельствует об избыточном окислении, металлический блеск поверхности — о недостаточном окислении. После окисления или гальванической обработки детали спаиваются со стеклом непосредственно, специальные детали — после нанесения на них стеклянного покрытия.

Хорошие результаты дает суспензия стеклянного порошка, которая наносится погружением, пульверизацией или кистью. В суспензии используются те же стекла, из которых получают спай. Для остекловывания металлов, применяемых в спаях с мягкими стеклами, могут быть использованы эмали.

#### в) ВВОДЫ

Ввод является конструктивным узлом источника света, предназначенным для подвода тока от внешнего источника питания к элементам, расположенным внутри колбы: спирали, катоду, аноду.

Вводы должны отвечать следующим основным требованиям:

быть вакуум-плотными во всем диапазоне температур при изготовлении и работе источника света;

иметь достаточную механическую прочность при работе лампы;

быть конструктивными и технологичными.

На рис. 7-6 показаны основные виды вводов, наиболее широко применяющихся в современных источниках света. Наибольшее распространение получили вводы на основе спая платинита со стеклом. Чаще всего такой ввод состоит из двух или трех последовательно сваренных между собой звеньев — внешнего (находящегося вне откачиваемого пространства лампы) 1, среднего (впаиваемого в ножку лампы) 2 и внутреннего (помещенного внутри колбы) 3.

Вводы разных типов ламп могут иметь от одного до четырех звеньев. Однозвенные вводы применяются для изготовления впаев сверхминиатюрных, миниатюрных, самолетных, сигнальных и других специальных ламп.

Четырехзвенные вводы применяются для изготовления впаев прожекторных ламп, киноламп и других ламп накаливания большой мощности, а также для биспиральных ламп накаливания, где между медным и платиновым звеном вваривается звено из ферроникеля, используемое как плавкий предохранитель.

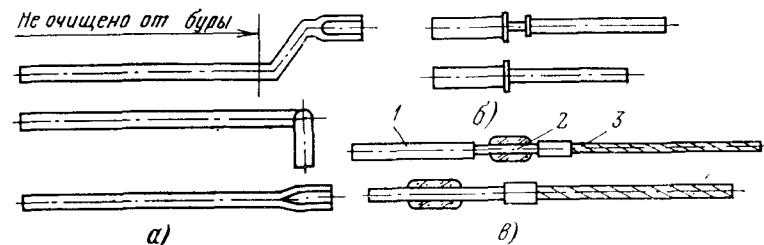


Рис. 7-6. Конструкции вводов.

а — однозвенные; б — трехзвенные; в — мощные.

Для впаев в твердые и тугоплавкие стекла применяют молибден, вольфрам и ковар.

В лампах большой мощности (прожекторных) вводы изготавливаются из двух или трех звеньев. Звено, впаиваемое в стекло, изготавливается из молибдена или вольфрама диаметром от 0,8 до 4,0 мм. Наружным звеном служит медный канатик, имеющий от 3 до 70 жил диаметром от 0,25 до 0,45 мм каждая. Внутреннее звено чаще всего изготавливается из никеля.

Помимо вводов, в стекло впаиваются различные вспомогательные детали для крепления арматуры — поддержки, стойки, крючки и т. д. Они изготавливаются в основном из отрезков никелевой или молибденовой проволоки. В некоторых случаях поддержки изготавливают сварными с платиновым звеном, которое впаивается в стекло ножки.

**Изготовление платиновых вводов.** Платиновые вводы изготавливаются из отдельных отрезков проволок с помощью газовой или электрической (конденсаторной) сварки.

**Электрическая (конденсаторная) сварка.** Этот вид сварки является наиболее массовым и распространенным при изготовлении вводов.

Автомат электросварки типа ЛА-8 представляет собой четырехпозиционную машину последовательного действия, в которой позиционный барабан переносит одно из звеньев ввода из позиции в позицию, и к нему поочередно привариваются другие звенья.

Процесс сварки осуществляется путем оплавления соударяющихся концов двух проволок энергией разряда батареи конденсаторов. При ударной сварке свариваемые детали сначала включаются под электрическое напряжение сварочной установки, а затем производится соударение обеих деталей. Процесс ударной сварки делится на три последовательно протекающие стадии.

В первой стадии при соударении свариваемых деталей возникает ток короткого замыкания, который производит мгновенный интенсивный разогрев свариваемых поверхностей с резким возрастанием давления и взрывообразным выплеском мелких металлических капель.

Во второй стадии происходит оплавление свариваемых поверхностей обеих деталей дуговым разрядом. Дуговой разряд продолжается до вторичного соприкосновения свариваемых деталей, наступающего после того, как сила подачи подвижной детали преодолет силу отдачи.

Таким образом, с наступлением вторичного соприкосновения свариваемых деталей дуговой разряд переходит снова в короткое замыкание.

В третьей стадии происходит механическая осадка разогретых и оплавленных торцов обеих деталей с выплеском расплавленных частиц из сварного стыка.

Технологический процесс электросварки вводов показан на рис. 7-7.

Изготовление трехзвенных вводов начинается с рихтовки медной проволоки (операция 1), подачи на необходимую длину с одновременным центрированием (операция 2), зажима в губках корпуса позиционного барабана (операция 3 на позиции I), отрезки медного звена (операция 4). Барабан, поворачиваясь на 90°, переносит медное звено в позицию II сварки с платинитом (зона нижней сварки). К этой позиции подается отрихтованный (операция 1) и просушенный в электроспирали подогрева (операция 2) платинит, установленный на ли-

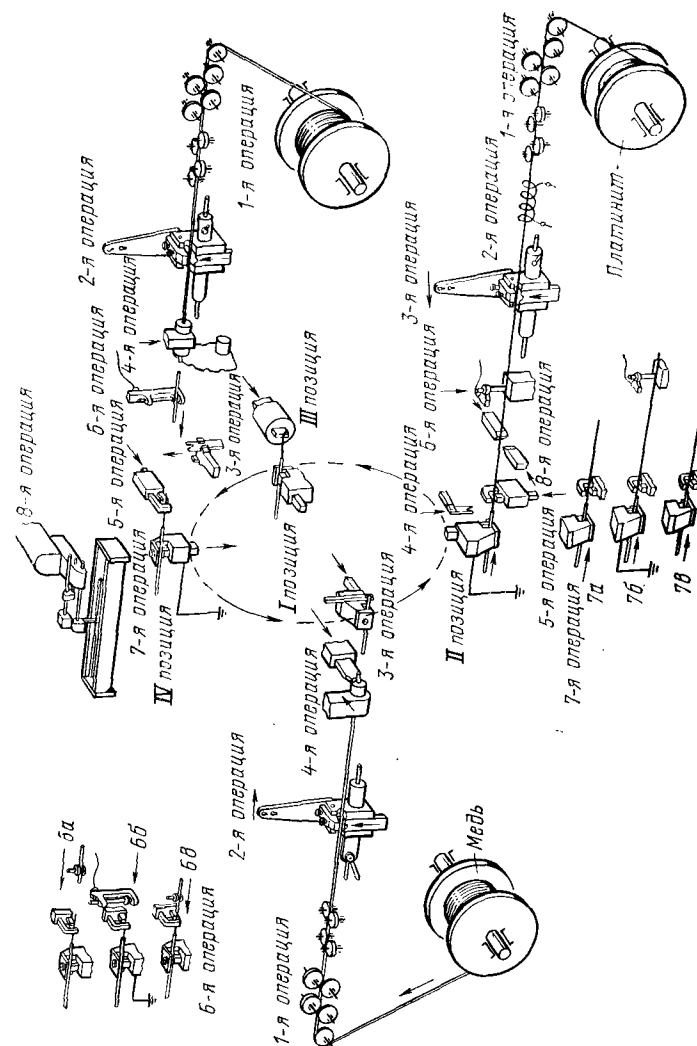


Рис. 7-7. Технологический процесс электросварки вводов.

нии сварки с помощью направляющей вилки (операция 4) и центрального зажима (операция 5); одновременно просекатель, электрически соединенный с конденсаторами, прижимается к платиниту (операция 6), просекая слой буры. На позиции II резким перемещением производится сближение концов меди и платинита. Между ними возникает электрический разряд, сваривающий эти два звена (операция 7). После отрезки платинита на заданную длину (операция 8) и отвода платинита назад (для увеличения зазора в месте резки) следует второй поворот барабана на  $90^\circ$ . В позиции III специальной оправкой звено платинита подгибается к оси вращения позиционного барабана для облегчения его центровки в позиции IV. После третьего поворота барабана платинит, сваренный с медью, устанавливается в позиции IV сварки с никелем (зона верхней сварки).

Отрихованная никелевая проволока (операция 1) подается (операция 2) к этой позиции и после центровки (операция 3) зажимается в рычаге-державке никеля и отрезается на заданную длину (операция 4) с последующим отводом отрезанного звена от ножа на 0,8—1,0 мм. Резким движением рычага-державки в сторону позиционного барабана (операция 6) сближаются концы платинита и никеля, между ними возникает электрический разряд, производящий сварку. Перед четвертым поворотом губки корпуса открываются (операция 7) и готовый ввод захватывается съемником (операция 8), сбрасывающим его в лодочку, установленную перед барабаном.

Таким образом, за полный оборот барабана получаются четыре готовых ввода.

Автомат имеет производительность 105—130 шт/мин и рассчитан на изготовление электродов диаметром никелевого звена до 1,2 мм, медного — до 0,6 мм, платинитового — до 0,5 мм и длиной одного из звеньев не более 75 мм.

**Газовая сварка.** На автомате газовой сварки изготавливают двух- и трехзвенные электроды. Технологический процесс изготовления трехзвенных электродов представлен на рис. 7-8.

Изготовление электродов начинается с рихтовки (операции 1) и подачи на определенную длину через направляющие устройства медной и никелевой проволоки (операции 2) которые затем зажимаются на линии свар-

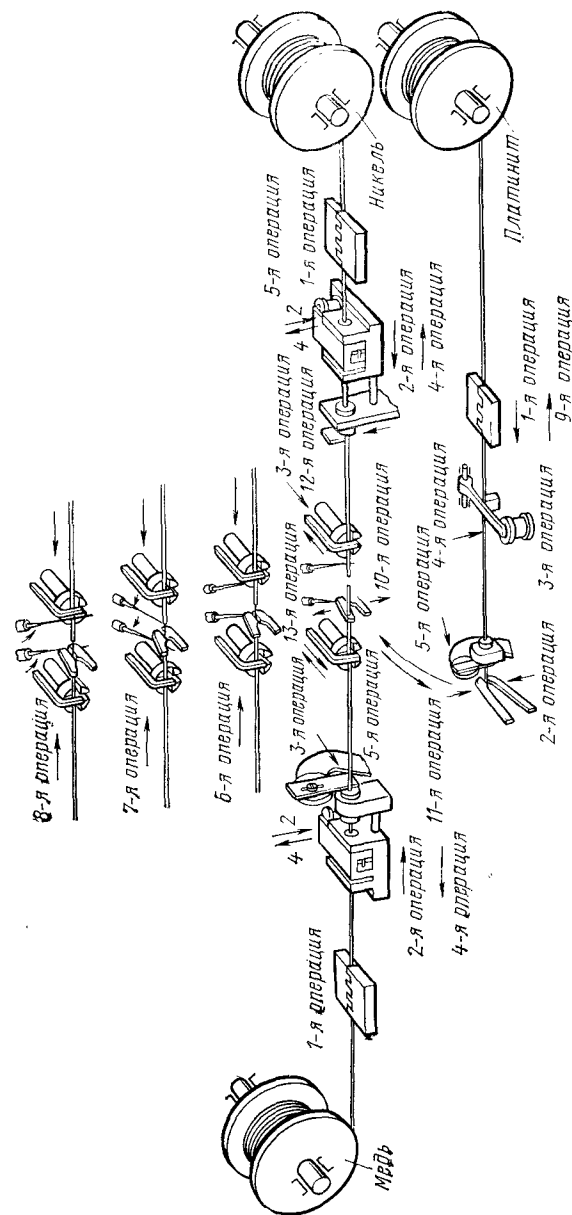


Рис. 7-8. Технологический процесс газовой сварки вводов.

ки (операции 3) и автоматически отрезаются ножами (операции 5). Одновременно с никелевой проволокой подается платинитовая проволока (операция 1), которая после зажима в клещах (операция 2) отрезается на заданную длину (операция 4) и переносится клещами, устанавливающими звено платинита между концами отрезков никеля и меди (операция 5). После того как все три звена установлены на линии сварки, под действием пружин никель и медь подаются к платиниту (операция 6). Вслед за этим пламя двух горелок направляется на стыки (операция 7). Стыки оплавляются, и под действием пружин происходит соединение свариваемых элементов. После отвода горелок в исходную позицию пружины еще некоторое время продолжают осадку для получения плотного шва (операция 8). Осадка оканчивается в момент освобождения готового ввода, который затем по желобу соскальзывает к механизму развальцовки, где производятся расплющивание конца никеля и образование лопатки ввода.

Нагрев металлов для сварки производится кислородно-водородным пламенем. Температура пламени в значительной мере зависит от соотношения содержания кислорода и водорода в смеси. Наибольшая температура (2400—2600 °C) достигается при отношении содержания кислорода к содержанию водорода 1:3.

Автомат имеет производительность 48—50 шт/мин и рассчитан на изготовление электродов с диаметром никелевого звена до 1 мм, медного — до 0,6 мм и платинитового — до 0,8 мм.

**Изготовление вводов мощных ламп.** Для мощных ламп широко применяются стержневые молибденовые и вольфрамовые вводы в виде проволоки (диаметром 0,8—2,0 мм) и прутков (диаметром 2,0—4,0 мм). Эти металлы спаиваются с твердыми стеклами.

Для снятия поверхностных дефектов прутки и проволоку шлифуют на бесцентрово-шлифовальных станках. Перед шлифовкой производят правку. Молибденовую проволоку правят в холодном состоянии, вольфрамовую — с нагревом до температуры 1000 °C.

После шлифовки вольфрамовые или молибденовые прутки режутся на вводы требуемой длины (чаще всего резка производится дисковыми абразивными кругами на станке). Для снятия заусенцев после резки производится галтовка во вращающихся базах с раствором каль-

цинированной соды 100 г на 4000 см<sup>3</sup> воды. Время галтовки 2—3 ч. Затем вводы промывают и сушат при 100—150 °C.

При резке вольфрамовой и молибденовой проволоки диаметром до 2 мм режущей дюзой во избежание расслоения концов необходимо производить предварительный нагрев места резки до слабо-красного каления газовой горелкой, установленной в непосредственной близости от дюзы.

Прогрессивным методом отделения звеньев является фазрыв проволоки, разогретой электрическим током до температуры размягчения.

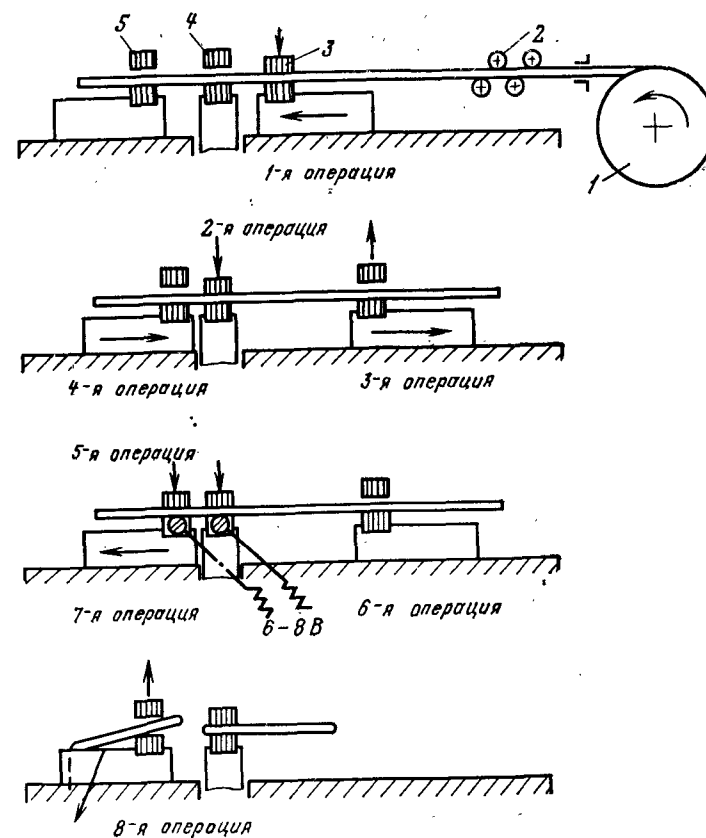


Рис. 7-9. Технологический процесс изготовления однозвенных вводов электроразрывом.

Технологический процесс изготовления однозвенных вводов на автомате электроразрыва приведен на рис. 7-9.

Проволока с катушки 1 проходит через устройство для рихтовки 2. Зажим механизма подачи проволоки 3 захватывает проволоку и подает ее (операция 1) в зажим 4, в котором проволока захватывается (операция 2) и удерживается до конца цикла, после чего зажим 3 раскрывается и возвращается в исходное положение (операция 3). Подводится механизм разрыва (операция 4), и выступающий из механизма зажима конец проволоки захватывается (операция 5) подвижным зажимом механизма разрыва 5. При этом пружина, перемещающая подвижный зажим, находится в сжатом состоянии. После захвата проволоки подвижным зажимом происходит включение тока (операция 6), протекающего по отрезку проволоки, расположенному между подвижным и неподвижным зажимами. Когда середина этого отрезка разогреется до размягчения, происходит разрыв (операция 7) проволоки под действием пружины. Губки подвижного зажима раскрываются, и оторванный отрезок проволоки падает в приемный лоток (операция 8).

Поверхностная обработка вольфрама перед спайиванием предусматривает создание шелковисто-белого, слегка матового покрытия на поверхности. Обработка поверхности производится различными химическими и электролитическими методами. Хорошим способом обработки является травление в щелочном растворе железосинеродистого калия. Рекомендуются следующие составы растворов для химического травления:

Раствор „а“	Едкий натр (20%-ный)
Раствор „б“	Железосинеродистый калий 20% и едкий натр 10%
Раствор „в“	Смесь 50% азотной кислоты, 30% серной кислоты и 20% дистиллированной воды

Вводы 15 мин кипятят в растворе «а», тщательно промывают в дистиллированной воде, кипятят в растворе «б», опять промывают, производят контроль на наличие трещин, несколько минут травят в холодном растворе «в» и в заключение промывают в воде и сушат.

Для обработки больших количеств вольфрамовых вводов рекомендуется комбинированный способ обработки химическим травлением в сочетании с галтовкой. Такая обработка осуществляется в железном барабане при

помощи суспензии тонкого песка в травящей смеси, состоящей из раствора 250 г железосинеродистого калия и 5 г едкого натра на 1000 см<sup>3</sup> дистиллированной воды. На 350 см<sup>3</sup> такого раствора добавляют 350 г тонкого песка и закладывают 1 кг вольфрамовых вводов. Продолжительность галтовки 12 ч.

Молибденовые вводы обрабатываются тем же способом. В отличие от вольфрама для вводов диаметром выше 5 мм желательно провести отжиг их в водородной атмосфере или в вакууме при 1000 °С.

Окисление вольфрамовых вводов производят в газокислородном пламени, нагревом в электрической печи, путем пропускания через обрабатываемую проволоку электрического тока и др.

После окисления вводы остекловываются. Цвет переходного слоя меняется в зависимости от сорта стекла, используемого при остекловывании проволоки.

Окисление молибдена более затруднительно, чем вольфрама, так как молибден обладает большей склонностью к переокислению. Молибденовый ввод должен иметь коричневый цвет, темно-коричневый уже является браком. Следует избегать пятен и полос молочного цвета, которые свидетельствуют об избыточном окислении.

В практике применяется метод получения так называемых безоксидных спаев, которые осуществляются путем применения для остекловывания стекол с высокими температурами спайивания; при этом окислы хорошо испаряются. Основной принцип заключается в поддержании столь высокой температуры, чтобы возникающие окислы быстро испарялись. Цвет переходного слоя у этих спаев металлический, спай обладают большой стойкостью к термоударам и влагостойкостью. Такие вводы имеют диаметр от 1 до 10 мм.

Перед запайкой в ножку или в колбу ввод обычно остекловывается, т. е. покрывается слоем стекла, путем наматывания разогретой стеклянной палочки (штабика) при нагревании в сильном пламени газовой горелки или надеванием на место будущего впая отрезка стеклянной трубки и сплавлением ее с вводом в пламени горелки. Остекловывание с использованием стеклянной трубочки (бусы) в настоящее время производится на специальных автоматических машинах.

Многие вводы мощных ламп изготавливаются сварными из двух или трех звеньев. Наружное звено такого



ввода свивают из медных проволочек заданного диаметра. Для получения канатика требуемое количество жилок медной проволоки натягивается между неподвижно закрепленным крюком и крюком, закрепленным на валу электродвигателя.

Вращением вала электродвигателя производится скручивание этих жилок в канатик длиной 2—3 м, и затем он разрезается на отрезки требуемой длины. Один из концов канатика для хорошей сварки с молибденовым звеном армируется никелевой втулкой, которая обжимается на ротационной ковочной машине с целью более плотного облегания.

Двухзвенные вводы получают электроконтактной сваркой канатиков с молибденовыми или вольфрамовыми стержнями.

Для получения трехзвенных вводов предварительно производят сварку молибденового звена с никелевым внутренним звеном, а затем уже приваривают канатик.

Если изготавливаются вводы с вольфрамовым звеном для впая, то при его сварке с никелевым стержнем и медным канатиком между свариваемыми деталями вставляют соответственно никелевую или медную ленту для предварительного оплавления и получения более плотного шва. Сварные вводы в большинстве случаев перед запайкой их в лампу также предварительно остекловывают.

#### г) СПАИВАНИЕ КВАРЦЕВОГО СТЕКЛА С МЕТАЛЛАМИ

Кварц, как отмечалось выше, имеет самый низкий температурный коэффициент расширения ( $5,6 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ ) и самую высокую температуру размягчения ( $1500^\circ\text{C}$ ). Учитывая, что кварцевое стекло имеет температуру огневой обработки  $1800\text{—}2000^\circ\text{C}$ , для спаивания применяют только тугоплавкие металлы — вольфрам, молибден, сплавы молибдена, вольфрама, тантала и др. Но эти металлы не могут быть герметично впаяны в кварц обычным способом из-за большой разницы ТКЛР. Для получения герметичных вводов в настоящее время применяются следующие способы: вводы с применением переходных стекол; вводы с молибденовой фольгой; колпачковые вводы; разборные вводы.

**Вводы с применением переходных стекол.** В основном применяются в лабораторной практике и при впаивании кварцевых окон в некоторых типах спектральных ламп.

Принципиальная конструкция вводов для кварцевых ламп и ламп сверхвысокого давления с применением переходных стекол с вольфрамовым стержнем показана на рис. 7-10.

В первой конструкции ввода можно применять сравнительно толстую вольфрамовую проволоку, рассчитанную на токи в сотни ампер. Такие вводы могут выдерживать давление газов внутри лампы в десятки атмосфер.

Разность ТКЛР кварцевого стекла и вольфрама, составляющую около  $36 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ , уравнивают двумя переходными стеклами. При вводе диаметром меньше 1 мм достаточно одного переходного стекла.

Для более мощных вводов с жидкостным охлаждением электрода применяется конструкция, изображенная на рис. 7-11.

Технологический процесс изготовления впаев в кварцевое стекло при помощи переходных стекол схематически представлен на рис. 7-12. Кварцевая трубка запаивается, на место запайки штабиком наносится соответствующее переходное стекло, которое разогревается в кислородно-водородном пламени, а затем продвигается до образования купола. На этот купол наносится капля следующего переходного стекла и т. д. Количество переходных стекол достигает 4—6.

В настоящее время применяются следующие переходные серии:

кварц — П5—П7—П2—П3—П15 — вольфрам;  
кварц — П5—П7—П2—П3—П15 № 123 — молибден.

Состав и основные свойства стекол этой серии приведены в табл. 7-3.

Таблица 7-3

Стекло	SiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	ТКЛР, $10^{-7} \text{ K}^{-1}$	Температура размягчения, °C
Кварц	99,8	—	0,1	0,1	—	—	5,8	1500
П5	89,0	8,5	2,0	—	—	0,5	15,1	885
П7	89,5	9,75	0,25	—	—	0,5	18,7	743
П2	88,0	10,0	—	—	—	2,0	24,3	675
П3	83,0	11,0	2,0	—	1,0	2,5	29,1	615
П15	78,5	15,0	2,0	—	1,0	3,0	33,4	575
№ 123	77,5	14,0	1,5	—	1,5	5,5	42,0	598

Некоторые зарубежные фирмы выпускают спаянные переходные стекла в виде трубок диаметром от 5 до 25 мм, при этом длина переходной ступени не должна быть меньше, чем диаметр трубки. Можно предполагать, что спай с переходными стеклами могут быть заменены переходными стеклами без резких переходов, получаемых спеканием порошков из стекол с различными ТКЛР. Например, можно изготовить трубку из спеченного стекла с постепенно уменьшающимся ТКЛР.

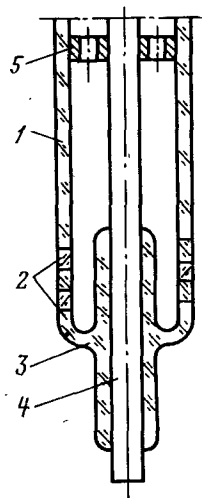


Рис. 7-10.

Рис. 7-10. Ввод с применением переходных стекол.

1 — кварцевая ножка; 2 — переходные стекла; 3 — тугоплавкое стекло; 4 — вольфрамовый стержень; 5 — опора для электрода.

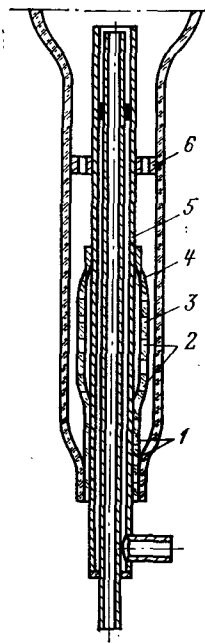


Рис. 7-11.

Рис. 7-11. Водохлаждаемый ввод из молибденовой трубки с приваренным к ней коваровым колпачком и с переходными стеклами.

1 — кварц; 2 — переходные стекла; 3 — тугоплавкое стекло; 4 — колпачок из кобальта, приваренный к молибденовой трубке; 5 — опора для электрода.

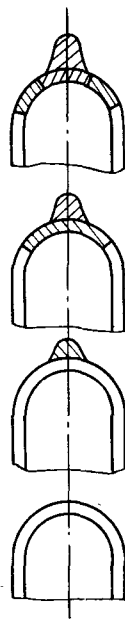


Рис. 7-12.

Рис. 7-12. Изготовление переходного трубчатого спая кварцевого стекла.

В ртутных лампах СВД, где температура холодного места внутри лампы должна быть порядка  $600^{\circ}\text{C}$ , переходные стекла практически не применяют.

Вводы с переходными стеклами дороги и имеют сравнительно большую длину.

**Вводы с молибденовой фольгой.** Такие вводы выполняются в виде одиночного фольгового, многофольгового, цилиндрического (трубчатого) впаев.

Конструкция одиночного фольгового ввода показана на рис. 7-13. Для ввода применяют молибденовую фольгу толщиной 15—25 мкм и несколько миллиметров шириной. В поперечном сечении фольга имеет линзовидную (чечевичную) форму. Через танталовую фольгу молибденовая фольга одним концом приваривается к выводу, другим — к электроду (или электрододержателю).

Заварка ввода производится под вакуумом водородно-кислородным пламенем. Размягченный кварц под действием атмосферного давления плотно отжимает фольгу и хорошо смачивает ее поверхность. Заварка фольги производится либо непосредственно в колбе лампы (для маломощных ламп), либо отдельно в кварцевой трубке (кварцевой ножке) для мощных ламп. Кварцевая ножка приваривается к колбе лампы в защитной атмосфере с целью предохранения ввода от окисления.

Через фольгу можно пропускать ток значительно больший, чем через проволоку, за счет большей поверхности фольги и соответственно большего отвода тепла. На 1 мм ширины фольги можно пропускать ток 3 А.

Для получения надежного впаива применяют фольгу толщиной не более 30—35 мкм. Чем тоньше фольга, тем надежнее она впаивается и тем большие давления внутри лампы она может выдерживать. Например, в лампах ДРТ с давлением паров ртути около 0,1 МПа применяется фольга толщиной 30 мкм, в ДРШ с давлением 2—3 МПа — 20—25 мкм, а в капиллярных с давлением более 10 МПа — не выше 15 мкм.

**Многофольговый ввод** применяют в лампах, где необходимо пропускать через него токи в сотни ампер. Конструкция многофольгового ввода изображена на рис. 7-14. На кварцевом вкладыше монтируются и закрепляются однофольговые вводы. Кварцевый вкладыш делается полым, запаянным с обоих концов с начальным давлением в нем 0,02—0,03 МПа. Вкладыш с вво-

дами помещается в кварцевую трубку и под вакуумом заваривается.

Во время заварки фольга обжимается размягченным кварцем с обеих сторон (снаружи и со стороны вкладыша) за счет возрастания давления внутри вкладыша до атмосферы. Проверенные на герметичность вводы с закрепленным электродом припаиваются к ножке колбы.

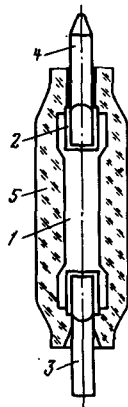


Рис. 7-13.

Рис. 7-13. Ввод с молибденовой фольгой на токи до 15 А.

1 — молибденовая фольга; 2 — танталовая фольга; 3 — ввод; 4 — электрод; 5 — кварц.

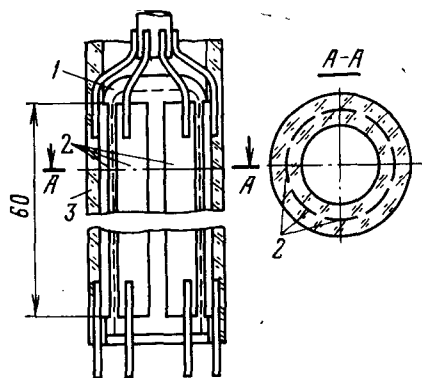


Рис. 7-14.

Рис. 7-14. Многофольговый ввод на токи до 300 А.

1 — кварцевый вкладыш; 2 — молибденовая фольга; 3 — кварцевая ножка.

**Цилиндрический (трубчатый) ввод** широко применяется для изготовления ламп сверхвысокого давления (СВД), мощных шаровых ртутных ламп (ДРШ), ксеноновых трубчатых ламп мощностью до 100 кВт (ДКСТ), в кварцевых импульсных лампах (ИФК, ИФП, ИСП, ИСП и др.).

Конструкция цилиндрического ввода изображена на рис. 7-15. Цилиндр из молибденовой фольги плотно надевается на откалиброванный кварцевый вкладыш. Расстояние между краями цилиндра составляет около 2 мм, края фольги обработаны на острие.

Заготовка ввода с приваренными к фольге электродом и выводом помещается в ножку колбы и под вакуумом заваривается, как и многофольговые вводы. Вкла-

дыши с диаметром до 8 мм можно применять не трубчатые, а в виде штабика.

Цилиндрические вводы для мощных ламп изготавливаются толщиной до 70 мкм и вкладышем диаметром 40 мм. Достигается это тем, что при помощи водной суспензии на поверхность вкладыша и ножки наносится небольшой слой порошка из переходного стекла. При за-

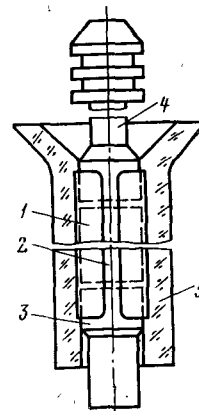


Рис. 7-15.

Рис. 7-15. Ввод с цилиндрической фольгой.

1 — незамкнутый цилиндр из молибденовой фольги; 2 — кварцевый вкладыш; 3 — вывод; 4 — электрод; 5 — кварцевая ножка.

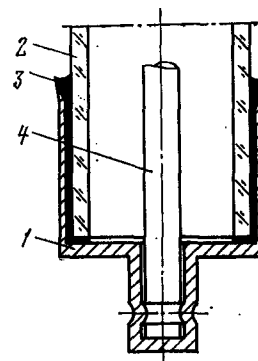


Рис. 7-16.

Рис. 7-16. Колпачковый ввод с пайкой сплавом титан—олово или индий—олово.

1 — колпачок из ковара; 2 — кварцевая трубка; 3 — сплав титан—олово; 4 — электрод.

варке фольги переходное стекло повышает силу сцепления кварца с молибденом.

В целях дальнейшего увеличения пропускаемого по вводу тока были разработаны так называемые дисковые (мембранные) вводы и рантовые вводы. Однако практического применения они не нашли, поскольку трудно подобрать припой, которым можно было бы паять молибденовые детали и который не расплавлялся бы при запайке в кварц (1800—2000 °С).

**Колпачковые вводы.** Принципиальная конструкция колпачкового ввода приведена на рис. 7-16. Коваровый стаканчик со стенками толщиной 0,5 мм имеет на конце конусное расширение, в которое закладывается оловя-

но-титановый сплав (титан 1,5—2,0%). При нагревании в вакууме сплав растекается в конус и хорошо смачивается поверхность кварца и стаканчика. При затвердевании припоя возникающие усилия в кварце частично компенсируются упругой деформацией тонких стенок стаканчика.

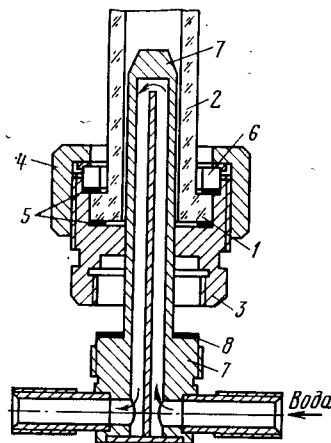


Рис. 7-17.

Рис. 7-17. Разборный ввод.

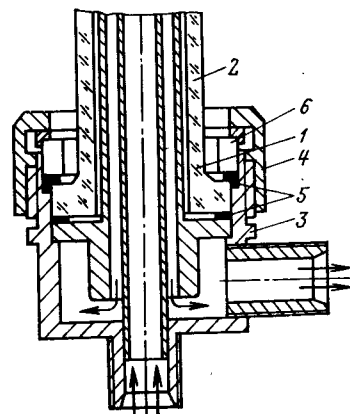


Рис. 7-18.

Рис. 7-18. Разборный ввод.

1 — фланец ножки; 2 — ножка лампы; 3 — корпус ввода; 4 — прижимная гайка; 5 — уплотняющие прокладки; 6 — полукольца.

Титано-оловянный сплав рассчитан на рабочие температуры до 230 °С. В качестве активного вещества вместо титана иногда используют индий. Изготовление спая с индием значительно проще: на нагретую до 200 °С кварцевую ножку наносится индий, который, растекаясь по поверхности тонким слоем, хорошо смачивает кварц, и затем производится пайка стаканчика чистым оловом на воздухе.

Способ крепления электрода к стаканчику может быть разнообразным в зависимости от конструкции лампы.

**Разборные вводы.** На рис. 7-17 показана одна из конструкций разборного ввода. Фланец 1 кварцевой ножки 2 сжимается между корпусом 3 ввода и прижимной гайкой 4 через уплотняющие свинцовые прокладки 5. По-

лукольца 6 играют вспомогательную роль. Кварцевый фланец работает на сжатие (кварц выдерживает давление до 1600 МПа), и в уплотняющих прокладках 5 можно создать усилия, необходимые для терметизации. При навинчивании прижимной гайки 4 на корпус ввода 3 (в специальных тисках) свинец прокладок 5 растекает-

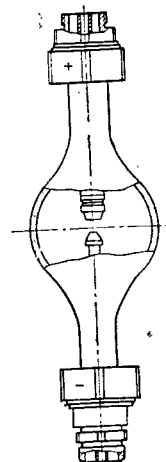


Рис. 7-19.

Рис. 7-19. Кварцевая лампа ДКСР 5000 А с разборными вводами.

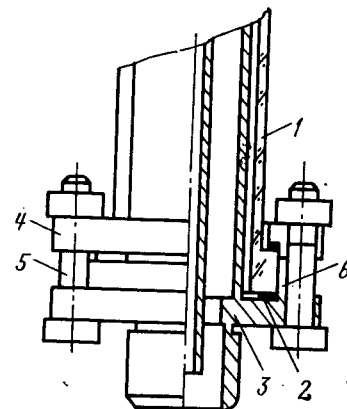


Рис. 7-20.

Рис. 7-20. Разборный ввод с кварцевым фланцем диаметром более 30 мм.

1 — кварцевая ножка; 2 — фланец ножки; 3 — корпус ввода; 4 — разъемная шайба; 5 — стягивающие болты; 6 — свинцовые прокладки.

ся и заполняет микропоры соприкасающихся поверхностей. Герметичность соединения металл—кварц обеспечивается за счет того, что собранный ввод находится в состоянии механического напряжения и в свинцовых прокладках развиваются усилия до 100 МПа.

Герметичность соединения электрода 7 с корпусом ввода 3 достигается ввинчиванием электрода в корпус с уплотняющей прокладкой 8. Конструктивное оформление деталей ввода определяется мощностью лампы, ее назначением и условиями эксплуатации.

Другая конструктивная модификация разборного ввода показана на рис. 7-18. На рис. 7-19 изображена фотография лампы ДКСР мощностью 5 кВт с третьим вариантом ввода. Давление ксенона в лампе 2,45 МПа, ток 15 А. Электроды и ввод охлаждаются проточной водой.

Для пропускания тока до 300 А применяются ножки с внутренним диаметром 16 мм и диаметром фланца 30 мм. Для ножки с внутренним диаметром 20 мм и диаметром фланца 40 мм больше подходит конструкция разборного ввода, изображенная на рис. 7-20.

## 7-2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ НОЖЕК

Ножки предназначены для обеспечения герметичного ввода в лампу, крепления внутренних деталей ламп.

По конструктивному признаку они подразделяются на бусиновые, гребешковые и плоские ножки (рис. 7-21).

Бусиновые ножки применяют для изготовления миниатюрных и микроминиатюрных ламп накаливания.

Бусиновая ножка — это стеклянная буса с впаянными в нее двумя платиновыми электродами и иногда с одной-двумя молибденовыми supports. Внутренние концы платиновых вводов сплющены и загнуты в крючки.

Гребешковые ножки широко применяются для изготовления различных источников света. Ножки собирают из тарелки, штабика, штенгеля и электродов. Иногда применяют один длинный штенгель вместо отдельных штабика и штенгеля. Для люминесцентных и софитных ламп одна

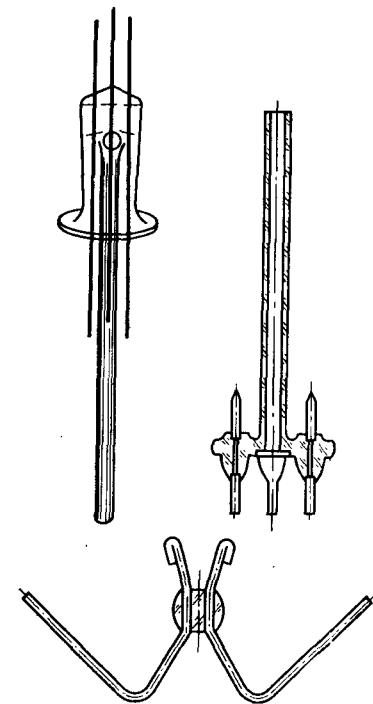


Рис. 7-21. Конструкции ножек.  
а — гребешковые; б — бусиновые;  
в — плоские.

из двух ножек выполняется вовсе без штенгеля.

Ножки могут иметь один ввод (софитные лампы), два — большинство источников света, три и более —

двухсветные лампы и специальные источники света. Кроме электродов, могут впайваться поддержки. При этом необходимо соблюдать условие, чтобы расстояния от впая до края лопатки и до откачного отверстия были не менее 0,5 мм. Диаметр откачного отверстия должен быть приблизительно равным внутреннему диаметру штенгеля.

Плоские ножки применяют для изготовления специальных ламп (кинопроекторных и др.). Вводы ламп с плоской ножкой являются одновременно штырьками для присоединения к панели или патрону. В зависимости от размеров ножки, материала ввода и технологической

целесообразности плоские ножки изготавливаются либо без заштамповки вводов, чашечная заготовка делается из расплавленной стекломассы, с последующим впаиванием вводов, либо с заштамповкой вводов.

Для плоской ножки важными являются форма кромки (ранта) и бусинки (глазка) — рис. 7-22.

Необходимость перехода от относительно толстой центральной части ножки к тонкому ранту объясняется требованиями процесса сварки ножки с колбой. Желательно, чтобы толстая часть ножки была удалена как можно дальше от ранта. Ранты не должны иметь резкого перехода к основанию ножки во избежание концентрации напряжений.

### а) ГРЕБЕШКОВЫЕ НОЖКИ

Процесс сборки ножек заключается в соединении нескольких заготовок (тарелки, штенгеля и штабика) с металлическими электродами, причем между стеклом и металлом должен быть вакуум-плотный спай.

**Изготовление ножек на полуавтомате.** При мелкосерийном производстве ламп ножки разных конструкций и размеров изготавливаются на полуавтоматах, на которых можно производить сборку ножек, выполненных как из легкоплавких, так и из тугоплавких стекол. Как правило, полуавтоматы имеют от 8 до 12 рабочих гнезд.

Полуавтомат сборки ножек (рис. 7-23) представляет собой машину карусельного типа с 12 позициями и со-

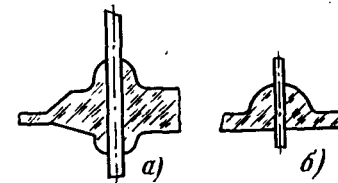


Рис. 7-22. Конструкции ранта и бусинки плоской ножки.  
а — рант; б — бусинка.

стоит из станины, карусели, клещей, передающих механизмов и газового оснащения.

Клещи (рис. 7-24) являются основным рабочим узлом полуавтомата, обеспечивающим фиксацию полуфабрикатов ножики и производящим операцию штамповки.

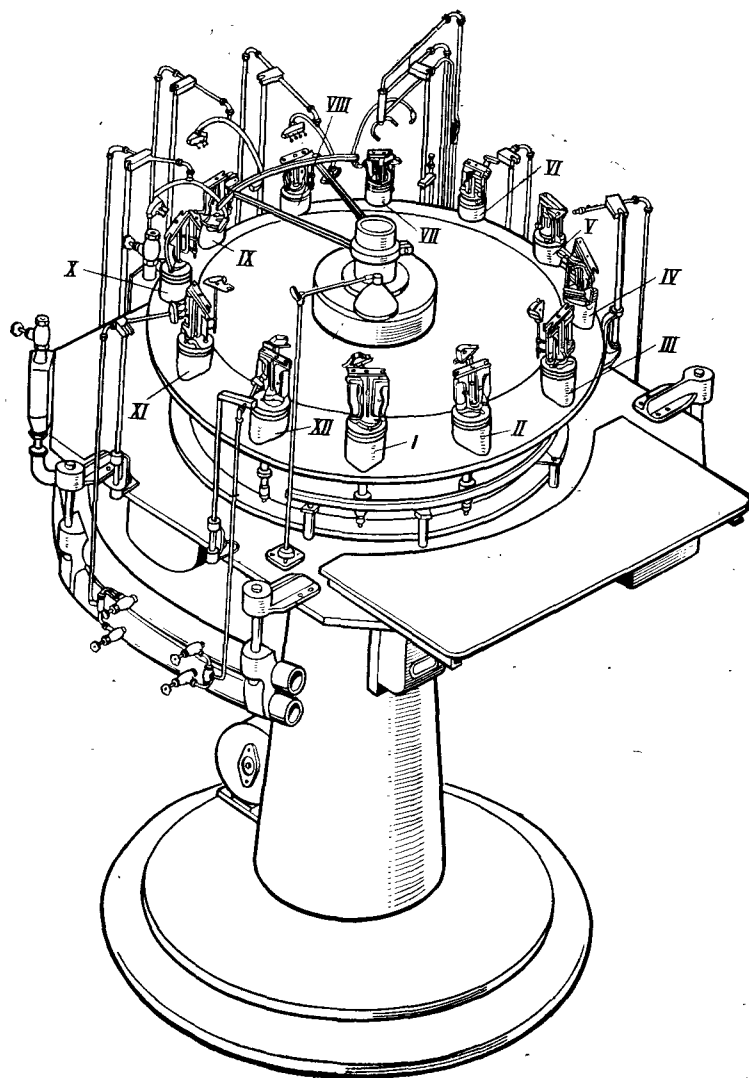
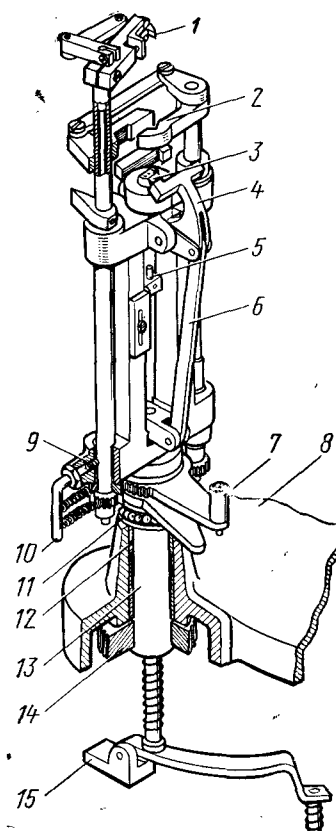


Рис. 7-23. Станок для заштамповки гребешковых ножек.

Рис. 7-24. Клещи полуавтомата сборки ножек.

1 — держатель штенгеля; 2 — держатель тарелки; 3 — держатель электродов и штабика (кубик); 4 — 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 привода вращения клещей; 15 — хвостовик, приводящий в действие расколотки.



В зависимости от конструкции ножек, их габаритов, а также применяемого стекла режимы обработки ножек на позициях полуавтомата могут быть различными.

Позиции I—III (рис. 7-23) являются загрузочными. Штабик вставляют в центральное, а электроды — в боковые отверстия кубика 3 (рис. 7-24). Затем тарелку зажимают тарелкодержателем 2 и устанавливают штенгель в держатель 1.

На позиции IV клещи приводятся во вращение и детали ножки равномерно нагреваются в мягком пламени двух или четырех горелок. На этой же позиции производится окончательная установка штенгеля по высоте специальным механическим уравнивателем.

На позициях V—VIII производится постепенный разогрев стекла (тарелки, штенгеля, штабика) пламенем газовых горелок до размягчения. На этих же позициях в случае поступления неоплавленных штенгелей производится оплавление острых краев штенгеля мягким пламенем специальной горелки.

При переходе с позиции VIII на позицию IX хвостовик 15, находясь на путевой кулаке, поднимается вверх и приводит в движение тяги расколоток 6, которые в свою

очередь передают движение расколоткам 4, которые, сближаясь, штампуют лопатки ножи. Толщину лопатки можно регулировать, меняя длину тяги расколотки 6.

На позиции IX в свободный конец штангеля вдувается подогретый сжатый воздух, который продувает отверстие в размягченном стекле (в месте перехода цилиндрической части тарелки в лопатку), образуя свободный проход через штангель.

На позиции X оплавляются рваные кромки продутого отверстия и подогретым сжатым воздухом раздувается шейка ножи (раздуванием растягивается образовавшийся наплыв стекла в шейке).

На позиции XI происходит постепенное остывание ножи (огни горелок пушистые — нагревают воздух вокруг ножи).

На позиции XII ножку извлекают вручную из клещей и переносят ее в печь отжига. На полуавтоматах при двух операционных работниках можно изготавливать 600—750 ножек в час.

**Изготовление ножек на автомате.** Ножечный автомат представляет собой высокопроизводительную многопозиционную машину карусельного типа (рис. 7-25).

По окружности карусели на одинаковом расстоянии друг от друга размещены 28 невращающихся клещей (рис. 7-26), предназначенных для транспортировки полуфабрикатов ножи от одного исполнительного механизма к другому.

Автомат снабжен механизмами автоматической загрузки в клещи штабиков, тарелок, штангелей и электродов, а также механизмом перегрузки готовых ножек в печь отжига. Все загрузочные механизмы автомата заблокированы между собой при помощи механических и электрических устройств для того, чтобы при пропуске в подаче отдельных деталей приостановить подачу последующих деталей.

Распределительный вал 6 (рис. 7-25) получает вращение от приводного шкива 8 посредством червячной передачи 9. На распределительный вал 6 насажены кулачки, преобразующие вращательное движение в возвратно-поступательное.

Таким образом, распределительный вал управляет в заданной последовательности всеми рабочими механизмами автомата и производимыми на автомате операциями.

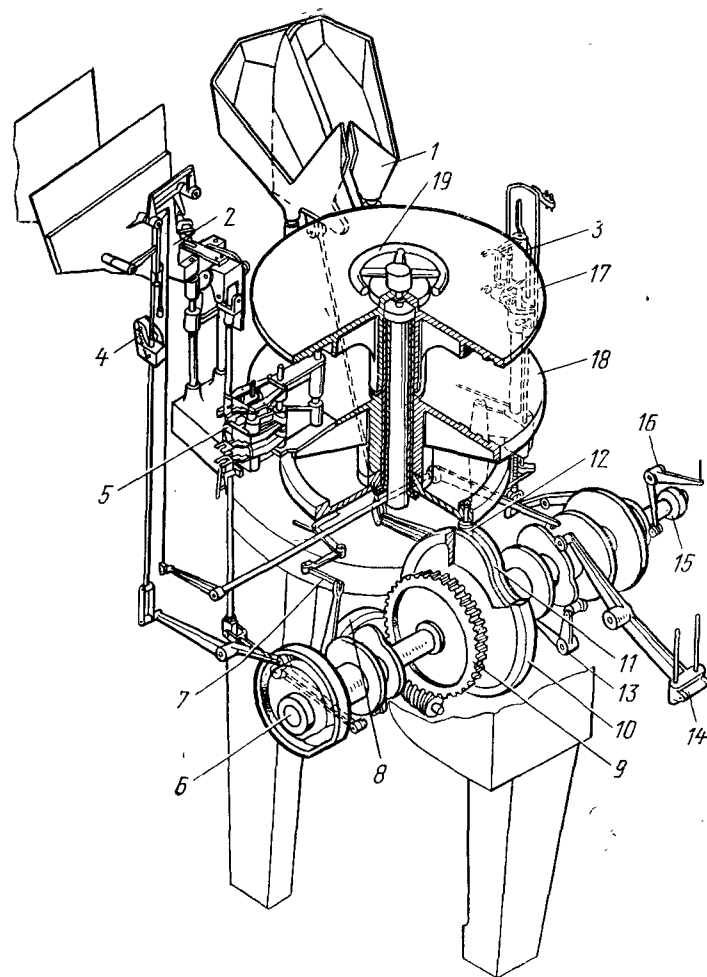


Рис. 7-25. Автомат сборки ножек.

1 — механизм загрузки тарелок; 2 — механизм загрузки штангелей; 3 — механизм съема ножек; 4 — уравниватель тарелок; 5 — клещи; 6 — распределительный вал; 7 — рычаг открывания клещей; 8 — приводной шкив; 9 — червячная передача; 10 — кулак поворота карусели; 11 — улитка; 12 — ролик для поворота карусели; 13 — рычаг отклонения горелок во время поворота карусели; 14 — рычаг привода расколоток; 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.

На ножечном автомате расколоти для штамповки ножек установлены неподвижно на станине и поочередно штампуют все ножки в два приема. Откачное отверстие продувается тоже в два приема.

Горелки во время перемещения карусели отводятся рычагами назад и в момент остановки карусели возвращаются в исходное рабочее положение.

На позиции 1 автомата в губки-держатели клещей автоматически загружается из бункера штабик. В бункер штабики засыпаются в неориентированном положении из расчета работы автомата в течение 1 ч.

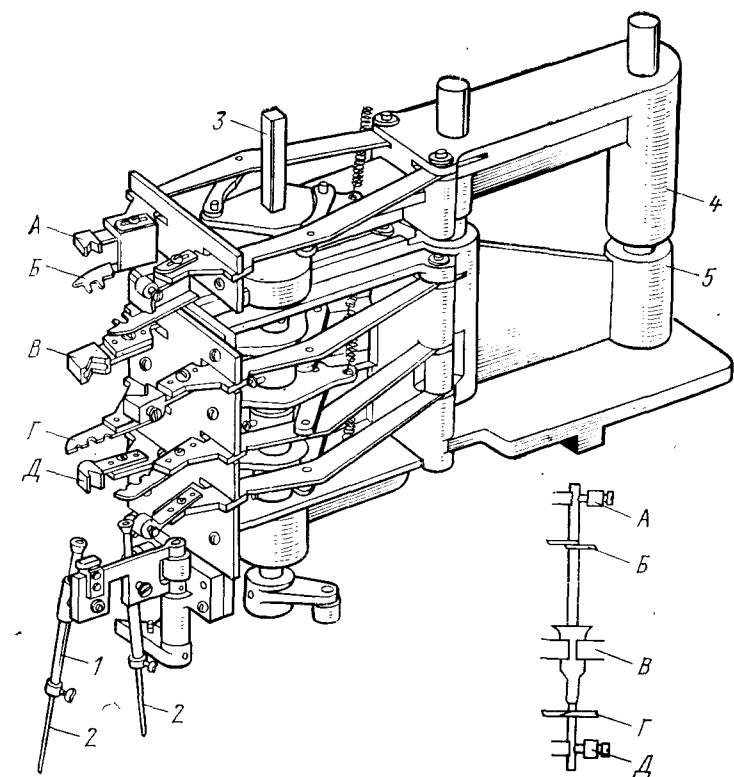


Рис. 7-26. Клещи автомата сборки ножек.

А — губки зажима штангеля; Б — губки развода электрода; В — губки тарелкодержателя; Г — губки зажима электродов; Д — держатель штабика; 1 — воронки держателя 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 позиции 2 в губки-тарелкодержатели загружается автоматически тарелка из бункера. В бункер тарелки засыпаются в неориентированном положении, полностью заполненный тарелками бункер обеспечивает работу автомата в течение 25—30 мин.

На позициях 4 и 5 из электродного магазина через направляющие воронки соскальзывают внутрь тарелки одновременно два электрода. На участке от позиции 4 до позиции 7 укреплен кулиса, не позволяющая электродом занимать произвольное положение до тех пор, пока не закроются губки, фиксирующие положение внешних звеньев электродов.

В каждый бункер одновременно загружаются электроды в количестве, необходимом для обеспечения работы автомата в течение 45 мин.

На позиции 6 тарелка поднимается до требуемой высоты — на 4—5 мм выше верхней плоскости нижних распределителей электродов.

На позиции 7 в губки зажима штангеля автоматически загружается штангель из бункера. В бункер загружаются штангели в количестве, обеспечивающем работу автомата в течение 1 ч. На этой же позиции начинается нагрев тарелки слабым пламенем горелки.

На позиции 8 специальным механизмом осаживаются тарелка и штангель для придания им требуемого положения относительно друг друга. Тарелка в губках-держателях осаживается настолько, чтобы между ее торцом и верхней плоскостью нижних распределителей электродов образовался зазор 0,8—1,0 мм, он обеспечивает хороший разогрев нижнего торца тарелки и в момент штамповки лопатки предотвращает прилипание разогретой стеклянной массы к нижним распределителям электродов. Расстояние между нижним концом штангеля и верхним концом штабика должно быть около 3 мм.

При соблюдении такого расположения стеклянных полуфабрикатов в держателях клещей сварка их пламенем газовых горелок, образование лопатки и впаивание электродов в лопатки будут происходить нормально.

На этой же позиции ножки более энергично подогреваются пламенем горелок.

С позиции 9 до 18 тарелка, штабик и штангель нагреваются огнями откидных парных угловых горелок с соплами, направленными друг против друга.



На позиции 9 пламя горелок обогревает нижнюю часть тарелки, на позиции 10 зона обогрева стекла поднимается несколько вверх, на 11 — пламя обогревает часть тарелки, необходимую для нормального образования лопатки. На позициях 12—14 устанавливаются «средние» огни с постепенно возрастающей интенсивностью пламени. Огни направляются на среднюю часть тарелки. На позиции 14 стекло тарелки приобретает такую степень пластичности, что кромки торца тарелки начинают несколько деформироваться под действием пламени горелок и прогибаются по направлению к телу штабика. На позиции 15 под действием огней горелок стекло тарелки становится еще более пластичным, разогретые стенки тарелок прогибаются в сторону штабика и штенгеля настолько, что уже начинается спай стекла в одну массу. Необходимо следить за расположением и интенсивностью пламени горелок. Нельзя допускать заливания огнями платинита во избежание интенсивного выделения газов, которые могут образовать цепочку пузырьков, ухудшающих газонепроницаемость спая. С позиции 16 до позиции 18 настраиваются «жесткие» огни. На этих позициях сборка тарелки, штабика и штенгеля происходит еще более интенсивно, платинит электродов закрывается стеклянной массой, и происходит окончательный спай стеклянной массы полуфабрикатов. На позиции 16 специальной горелкой производится оплавление стекла торца штенгеля. На позиции 19 автоматически штампуется лопатка (первая штамповка) двумя сходящимися расколотками. Огни настраивают «средние» во избежание прилипания стекла к накладкам губок расколотов в момент штамповки лопатки. Толщина лопатки должна быть равна диаметру штабика, эта толщина регулируется с помощью ввернутых в губки винтов, которые упираются в друг друга и тем самым создают необходимый зазор между расколотками. На позиции 20 настраиваются «жесткие» огни поскольку в момент штамповки лопатки стеклянная масса заметно охлаждается от соприкосновения со стальными накладками губок расколотов. Пламя направляется в верхнюю зону лопатки с целью подготовки для продува откачного отверстия и раздува части тарелки в месте перехода в лопатку.

На позиции 21 огни «жесткие», производятся продувание откачного отверстия и раздув лопатки в месте перехода.

На позиции 22 производится вторичная штамповка лопатки, при этом ее толщина должна быть немного меньше диаметра штабика (0,85—0,9 диаметра). На этой же позиции продолжается раздувание лопатки до придания шейке ножки почти сферической формы, а также контрольное продувание откачного отверстия. Настраивают «жесткие» огни.

На позиции 23 настраивают «мягкие» огни, происходит оплавление неровных краев откачного отверстия. С этой позиции начинается плавное охлаждение лопатки ножки.

На позициях 24—27 огни отсутствуют — ножки остывают.

На позиции 28 готовая ножка съемником передается в печь отжига для снятия внутренних напряжений.

#### б) плоские ножки

Применение плоских ножек при изготовлении специальных источников света находит все более широкое применение. В основном используются плоские ножки со штенгелем.

Изготовление ножек состоит из следующих операций: стеклянные заготовки (кольцо, штенгель) загружаются вместе с выводами в матрицу пресс-формы, разогреваются в пламени горелок до размягчения и затем проштамповываются. Пресс-форма состоит из двух частей: нижней — матрицы и верхней — пуансона, синхронно вращающихся вокруг общей оси. Верхняя часть пресс-формы в нужный момент опускается на разогретую стеклянную массу, производя штамповку. После штамповки ножки подвергаются медленному охлаждению (отжигу) для снятия остаточных напряжений в стекле.

В качестве заготовок используются стеклянные кольца (либо стеклянные бусы), устанавливаемые в пресс-форму так, чтобы выводы ножки находились внутри этого кольца. В ножках большого диаметра верхний конец штенгеля обычно предварительно разворачивается для облегчения штамповки.

Плоские ножки штампуются на 24-шпиндельных карусельных полуавтоматах (рис. 7-27).

На позициях 1 и 2 полуавтомата производится автоматическая загрузка вводов в отверстие матрицы с помощью специального загрузочного устройства. На позициях 3—7 вручную загружаются кольца и штенгели. На

этих же позициях, если по каким-либо причинам автоматическое устройство не загрузило в некоторые гнезда матрицы вводы, последние дополнительно устанавливаются вручную. С позиции 8 по 15 производится разогрев стеклянных заготовок пламенем газовых горелок барбанного типа до температуры размягчения. Настройка

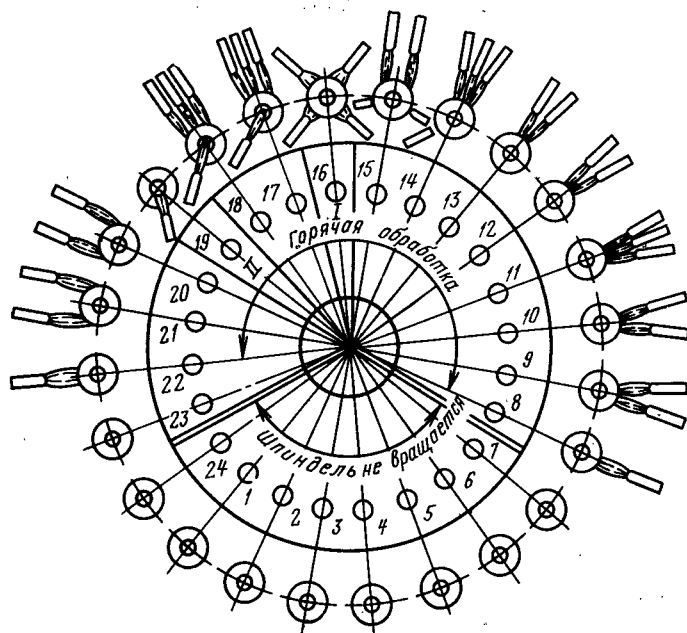


Рис. 7-27. Технологическая схема изготовления плоских ножек на 24-шпиндельном полуавтомате.

Состав горючей смеси в горелках на позициях: 8—11 — газ+воздух; 12—18 — газ+кислород; 19 — газ+воздух; 20 — газ+кислород; 21 — газ+воздух;  
I — первая штамповка; II — вторая штамповка.

горелок должна быть такой, чтобы не происходило растрескивания стекла, обгорания электродов и не образовался заплыв стекла в месте соединения штенгеля с тарелочкой. На позиции 15 степень размягчения стеклянных заготовок должна быть вполне достаточной для первой штамповки. С этой целью на позициях непосредственно перед штамповкой применяется «жесткое» газокислородное пламя. Это пламя направляется так, чтобы стеклянное кольцо разогревалось главным образом снизу.

На позиции 16 осуществляется первая (предварительная) штамповка — происходит соединение штенгеля с кольцом и масса стекла равномерно распределяется по поверхности матрицы, образуя тарелочку. На позициях 17 и 18 тарелочка прогревается для подготовки ножки ко второй штамповке. Для уменьшения теплоотвода и улучшения прогрева нижней части тарелочки ножка на этих позициях несколько приподнимается над матрицей. На позиции 19 производится окончательная штамповка ножки. В этот период для обеспечения качественной проштамповки ножка сначала поднимается, затем в момент штамповки опускается и далее снова поднимается. Во избежание перегрева наружные части пуансонов обдуваются воздухом. На позиции 20 производится оплавление ранга тарелочки. На позициях 21 и 22 производится обгорев ножки «мягким» пламенем, позиция 23 — холостая. На позиции 24 ножка выталкивается из матрицы и по специальному желобу направляется в печь отжига.

### в) БУСИНКОВЫЕ НОЖКИ

Бусиновые ножки изготавливают на специальных автоматах и полуавтоматах карусельного типа, имеющих различную конструкцию. На более простых и менее производительных ножечных машинах загрузка электродов и бус производится вручную. На современных автоматах сборки бусиновых ножек эти процессы автоматизированы и, кроме того, дополнительно выполняются автоматически навивка и монтаж спирали.

На рис. 7-28 дана принципиальная схема расположения позиций и узлов на 32-позиционном автомате карусельного типа.

На автомате производится отжиг платинитовой проволоки, резка ее на отдельные отрезки (вводы) и подача их в клещи гнезда. Бусы подаются из бункера на позицию автоматически. После загрузки электродов и бус в гнездо (рис. 7-29,а) на последующей позиции производятся предварительный развод выводов специальным механизмом (рис. 7-29,б) и далее плющение и загибка расплющенных концов выводов (рис. 7-29,в, г).

На позициях 8—12 установлены по две одноотверстных горелки (рис. 7-29, *д, е*). На первой огневой позиции происходит прогрев бусинки «мягким» пламенем горелок, затем на трех последующих позициях — «жестким» пламенем горелок, затем на трех последующих позици-

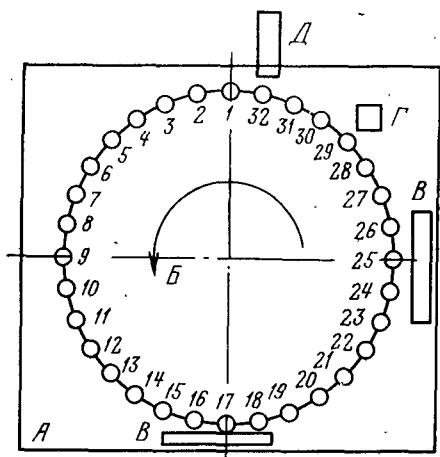


Рис. 7-28. Схема расположения позиций и узлов на автомате изготовления бусиновых ножек.

А — станция автомата; Б — карусель автомата с механизмами; В — механизм навивки спирали; Г — проектор для контроля собранных ножек; Д — конвейер для подачи собранных ножек на заварочно-откачной полуавтомат.

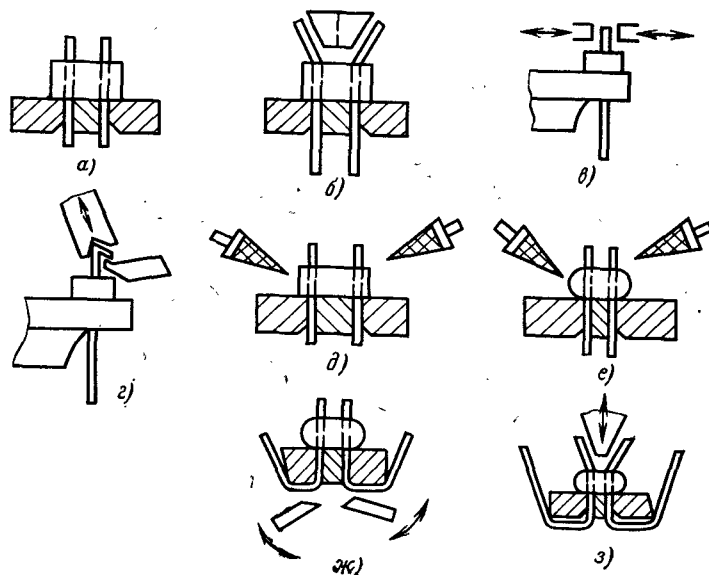


Рис. 7-29. Технологические операции изготовления бусиновых ножек на автомате.

ях — «жестким» пламенем, в результате чего бусинка размягчается и происходит впайка выводов. На последующей огневой позиции (рис. 7-29,е) бусиновая ножка отжигается в «мягком» пламени горелок.

После остывания бусинки производится окончательная формовка внешних и внутренних выводов (рис. 7-29,ж и з).

На последующих позициях производится навивка, обрезка и монтаж спирали в вводы ножки.

Перед съемом ножки с автомата производится контроль качества навивки и монтажа спирали с помощью специального проектора.

Производительность автомата сборки бусиновых ножек составляет 1900—2200 в час.

### 7.3. МОНТАЖ НОЖЕК

Монтаж ножек является одной из самых ответственных операций сборки, от выполнения которой зависят надежность и долговечность источников света.

Основная задача монтажа состоит в прочном закреплении внутренних деталей (спиралей, катодов, анодов и др.) и создании постоянного электрического контакта между вводами и внутренними деталями ламп.

Внутренние вводы ножки некоторых источников света подвергаются перед монтажом очистке (химической или чаще электрохимической).

Поскольку при монтаже применяют уже очищенные и обезгаженные детали и узлы, необходимо остерегаться прикосновения к деталям обнаженными руками. Необходимо поэтому всегда, когда это возможно, пользоваться пинцетами, плоскогубцами или специальными зажимами и работать в резиновых перчатках или напальчниках. Любое, даже кратковременное, прикосновение обнаженных рук к поверхности катода, спирали и другим деталям оставляют невидимые пятна жира и пота на них. Эти пятна при рабочей температуре разлагаются и выделяют газообразные продукты, отравляющие катод или вредно влияющие на раскаленное тело накала. Монтаж спиралей с нарушением требований вакуумной гигиены, как правило, влечет за собой сокращение долговечности и уменьшение надежности ламп.

При монтаже внутренней арматуры многих источников света требуется очень точное соблюдение заданных размеров и расстояний (шаровые ксеноновые лампы,

ртутные лампы СВД, лампы накаливания для оптических приборов и др.), так как от этого зависит эффективность всего светооптического прибора. Выполнение этого требования обеспечивается, с одной стороны, путем соблюдения точных размеров при изготовлении деталей внутренней арматуры ламп и ножек и, с другой стороны, путем применения на монтаже специальных монтажных оправок, шаблонов, приспособлений и т. д. Точный монтаж очень мелких деталей, плохо различимых невооруженным глазом и требующих осторожного обращения, выполняют под увеличительным стеклом или микроскопом.

#### а) РУЧНОЙ МОНТАЖ

Рабочее место монтажницы — монтажный стол — должно быть оснащено и организовано таким образом, чтобы обеспечить наиболее высокую производительность труда, высокое качество сборки и удобство работы монтажницы.

На монтажном столе находится рабочая часть сварочного станка — ключ с электродами (рис. 7-30, а). Управление сваркой осуществляется при помощи ножной педали. Современные сварочные станки — импульсные, с автоматической дозировкой тока, времени и давления.

При монтаже некоторых видов спиралей специальных ламп накаливания, когда необходимо обеспечить повышенную механическую прочность, применяют зажим вместо электроприварки. На таких монтажных столах смонтирован специальный монтажный прессик рис. 7-30, б с педальным управлением. На некоторых монтажных столах педальный привод прессика соединен с электромагнитом, передающим губкам прессика усилие сжатия.

Рабочее место оснащается различными приспособлениями, облегчающими труд монтажницы: монтажными оправками, шаблонами и необходимым инструментом (кусачки, бокорезы, ножницы, тинцеты, плоскогубцы, монтажные иглы и т. п.). Детали и узлы держат на рабочем месте в специальных пластмассовых лотках.

Монтажные столы освещают люминесцентными лампами, освещенность рабочей поверхности стола должна быть не менее 3000 лк.

Монтаж арматуры может производиться индивидуальным методом, когда одна монтажница собирает арматуру ламп от начала до конца, и поточным, когда арматура ламп собирается поэтапно коллективом монтажниц.

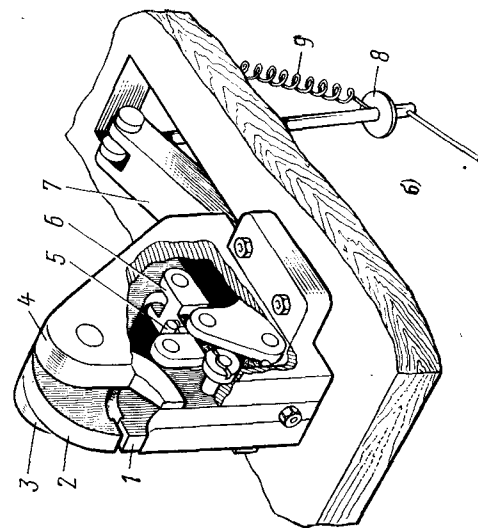
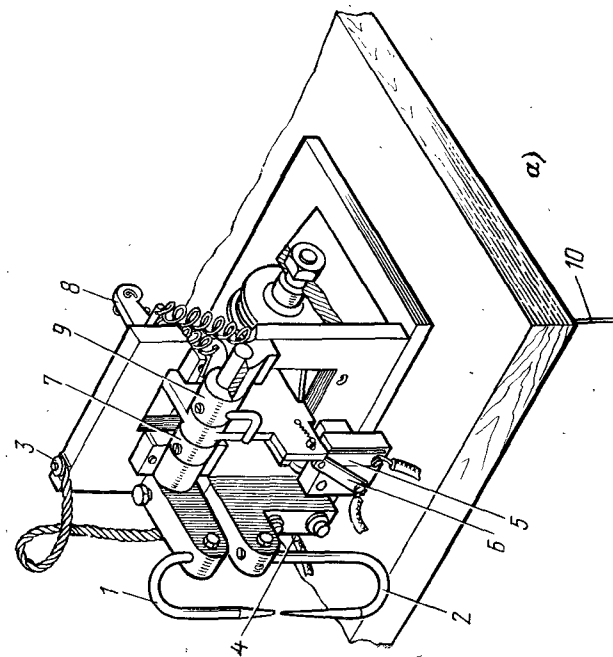


Рис. 7-30. Прессик и сварочная головка монтажного стола.  
а — сварочная головка (1 — подвижный ключ; 2 — неподвижный ключ; 3—4 — зажимы для подключения вторичной обмотки трансформатора к ключам; 5—6 — контакты кратковременного включения первичной обмотки трансформатора; 7 — рычаг привода подвижного ключа; 8 — рычаг замыкания контактов первичной цепи трансформатора; 9 — поводок отвода подвижного ключа в верхнее положение; 10 — гибкая тяга ножной педали); б — прессик (1, 2 — неподвижная и подвижная губки для зажима спирали; 3, 4 — левая и правая щеки корпуса; 5—6 — серыги, передающие движение верхней губке; 7 — рычаг, передающий движение ли; 8, 4 — левая и правая щеки корпуса; 5—6 — серыги, передающие движение верхней губке; 7 — рычаг, передающий движение ли; 8 — тяга на ножную педаль; 9 — пружина, поднимающая верхнюю губку при освобождении педали).

#### 6) МЕХАНИЗИРОВАННЫЙ МОНТАЖ

Механизированный монтаж используется при изготовлении массовых источников света — ламп накаливания, люминесцентных ламп и др.

В современных автоматах монтажа тела накала (рис. 7-31) все операции автоматизированы, однако во многих случаях укладка тела накала в загрузочное приспособление производится вручную.

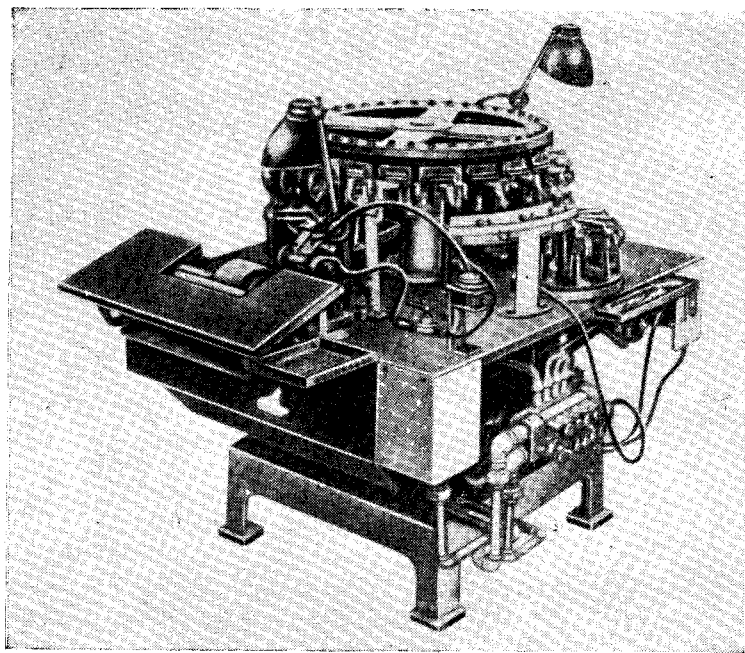


Рис 7-31. Автомат монтажа спирали.

На позицию 1 автомата ножка механизмом загрузки подается в клещи в таком положении, при котором плоскости лопатки ножки располагаются перпендикулярно радиусу карусели. Концы штабиков ножки, закрепленных в клещах, находятся в одной горизонтальной плоскости.

На позиции 2 специальным механизмом электроды разводятся,

Позиция 3 — свободная. При необходимости на ней производят подрезку концов электродов для выравнивания их по длине.

На позиции 4 клещи с зажатой ножкой при помощи подвижной кулисы опускаются вниз, вакуумная часть электродов попадает в ловитель, подводится к плоскостям наковальни и расплющивается в лопатку.

После расплющивания концов электродов они загнутаются в крючки для зажима тела накала. Для этого на позиции 5 предусмотрен механизм загибания концов электродов.

На позиции 6 специальным устройством спираль переносится с поворачивающегося зубчатого барабанного магазина к ножке. Концы спирали присасываются двумя вакуумными присосами, вкладываются в крючки электродов и зажимаются в них с одинаковой силой. Механизм переноса спирали снабжен блокирующим устройством, отключающим вращение зубчатого барабана и приостанавливающим перенос спирали, если гнездо на позиции 6 не загружено ножкой. Механизм должен устанавливать тело накала в крючки электродов так, чтобы выступающие из лопатки электродов концы его после зажатия были одинаковы и, следовательно, рабочая длина тела накала всегда оставалась постоянной. Нормальный зажим характеризуется хорошим контактом между концами тела накала и плоскостями зажатой части электрода. Тело накала в местах зажима должно быть несколько сплюснутым, но не разрушенным. При этом плоскости лопаток на концах электродов должны быть параллельны. В том случае, когда концы крючков будут сбиты по отношению друг к другу, зажиматься будет только часть тела накала и контакт при этом будет плохой.

Обычно зажим тела накала производится так, как показано на рис. 7-32,а. Таким образом монтируются длинные тела накала, располагающиеся в лампах на двух и более молибденовых держателях, впаянных в линзу штабика и требующих соответствующей формовки. Короткие тела накала, монтируемые в лампах в виде прямой линии на одном держателе или же совершенно не требующие молибденовых держателей, должны быть зажаты на концах электродов по схеме рис. 7-32,б. Но так как на монтажном автомате зажим длинных и коротких тел накала в концах электродов производится одним и тем же

механизмом, зажимающим тело накала по схеме рис. 7-32, а, то на позиции 7 автомата электроды с зажатой спиралью поворачиваются вокруг своих осей на 90° в разные стороны.

На позиции 8 электроды с зажатой спиралью отгибаются по направлению к центру карусели для защиты их от окисления на последующих огневых позициях.

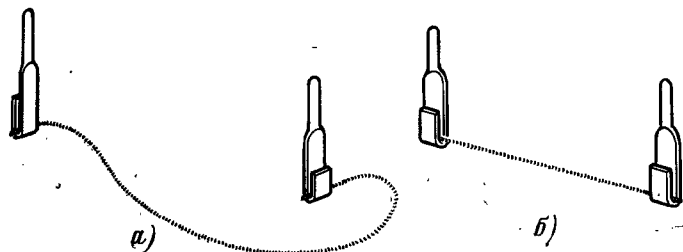


Рис. 7-32. Схемы зажима тела накала.

а — длинных спиралей (свыше 30 мм); б — коротких спиралей.

На позициях 9—11 конец штабика разогревается огнями газовых горелок до размягчения. На каждой из указанных позиций установлено по три односопловых трубчатых горелки, расположенных под углами 75°. Интенсивность газового пламени возрастает от позиции 9 к 11. На позиции 9 производится нагрев стеклянной массы штабика «мягкими» огнями, при этом горелки устанавливаются так, чтобы вершины конусов пламени боковых горелок касались штабика на высоте 4—5 мм от его конца. Вершина конуса пламени средней горелки должна касаться штабика на 1—1,5 мм ниже конусов пламени боковых горелок. На позиции 10 штабик разогревается средними огнями, причем зона разогрева стеклянной массы штабика опускается вниз примерно на 1 мм по отношению зоны разогрева на позиции 9. На позиции 11 огни настраиваются жесткие, зона разогрева стеклянной массы штабика боковыми горелками устанавливается такая же, как и на позиции 10. Пламя средней горелки настраивается так, чтобы вершина его конуса располагалась примерно на 0,5 мм ниже торца штабика. В последнее время в связи с повышением рабочих скоростей автоматов газоздушная смесь, подаваемая к горелкам на позиции 11, обогащается кислородом. Это в свою очередь вызывает необходимость охлаждения

линзы на позиции 12 после заваривания молибденовых держателей. Электроды с зажатой спиралью экранируются металлическим щитком, установленным перед горелками.

На позиции 12 формируется линза с концами молибденовых проволок для держателей. Одновременно проволоки обрезаются ножницами на требуемую длину. Молибденовая проволока для каждого держателя посылается к месту формовки линзы отдельным челноком. Молибденовые держатели завариваются в линзу на глубину 1,5—2 мм радиально. Длина молибденовых держателей для ламп мощностью от 15 до 200 Вт выбирается в пределах от 12 до 25 мм, а диаметры молибденовой проволоки — от 0,1 до 0,16 мм.

Позиция 13 свободная.

Для выполнения технологических операций на последующих позициях электроды должны быть поставлены в такое положение, при котором наиболее удобна наброска тела накала на рычаги расправления при заливании ушек держателей. Поэтому на позиции 14 установлен механизм, возвращающий электроды в первоначальное положение.

На позиции 15 спиралью придается горизонтальное положение. Механизм расставляет ее в форме венчика или многогранника и обвивает свободными концами держателей.

Позиция 16 свободная.

На позиции 17 производится операция отгибания молибденовых держателей и электродов с целью придания телу накала положения, предусмотренного чертежом.

На позиции 18 производится геттерирование спирали.

На позиции 19 спираль сушится подогретым до 60—70°С техническим воздухом.

На позиции 20 смонтированная ножка автоматически извлекается из гнезда и устанавливается на цепной конвейер, идущий к заварочно-откачному автомату.

#### 7-4. ЗАВАРКА ЛАМП

Заварка — это герметическое соединение собранной ножки лампы с колбой. При заварке стеклянная ножка и колба свариваются в одну монолитную деталь — оболочку лампы.

Первый этап заварки состоит в том, что свариваемые части ножки и баллона медленно разогреваются до раз-

мягчения стекла. Необходимая скорость разогрева стекла определяется его толщиной и температурой пламени газовой горелки. Скорость разогрева стекла пламенем газовых горелок должна составлять не больше 200—300 К/мин. Более быстрый разогрев приводит к появлению сильных внутренних напряжений и может вызвать появление трещин.

На втором этапе заварки происходит соединение свариваемых частей ножки и баллона, и образовавшийся шов тщательно проваривается. Стекло при этом разогревают до более высоких температур. Полученный шов не должен иметь втянутых мест, острых углов и утолщений, где могут образовываться местные напряжения, приводящие к растрескиванию стекла.

Третий этап заварки — отжиг — служит для предохранения стекла в месте сварки от возникновения сильных постоянных напряжений в нем. Допустимые скорости охлаждения заваренных ламп в зоне отжига составляют до 50 К/мин. и определяются, как правило, практически. Если первый отжиг заваренной лампы не снял напряжений, лампу подвергают вторичному отжигу.

Время охлаждения ламп с тонкими стенками может быть значительно сокращено, если лампы охлаждать в специальных формах или жидких средах. Для крупных и толстостенных ламп применяют металлические стаканы, обложенные изнутри асбестом. В качестве жидких сред используют расплавленные соли, например селитру. Применяя эти методы, можно уменьшить время охлаждения заваренных ламп в 4—10 раз по сравнению со временем их охлаждения в воздушной среде.

Заварка ламп производится на заварочных машинах, и лишь в лабораторной практике или при изготовлении небольших партий ламп сложной конфигурации специального назначения заварка производится стеклодувом вручную.

Заварочные машины изготавливаются самых разнообразных типов, начиная от универсальных одношпindelных и кончая специализированными высокопроизводительными многошпindelными карусельными машинами.

Использование в производстве оборудования того или иного типа зависит от масштабов производства, требуемой производительности, конструкции ламп, сорта применяемого стекла и т. д.

#### а) ЗАВАРКА ЛАМП НАКАЛИВАНИЯ НА АВТОМАТАХ

Автоматическую заварку ламп накаливания общего назначения в основном производят на заварочно-откачных автоматах с 24—65 гнездами. Заварку зеркальных мощных и других специальных ламп накаливания производят на 8, 10, 12 и 16-гнездных полуавтоматах. В любом случае принципы заварки остаются одними и теми же, с той лишь разницей, что отдельные приемы выполняются вручную, а не автоматически.

В рабочее гнездо заварочной машины помещают колбу и смонтированную ножку. Ножку устанавливают в так называемую свечу, а колбу — поверх ножки в шаблон.

При движении карусели рабочие гнезда приводятся во вращение между газовыми горелками. При этом горловину колбы греют на уровне тарелки, а тарелка нагревается лучистым потоком. Стекло колбы начинает постепенно размягчаться и вытягиваться, образуя все меньший и меньший зазор между колбой и тарелкой. Горловина колбы соприкасается с оплавленной кромкой тарелки, привариваясь к ней, и участок стекла между цилиндрической частью колбы и тарелкой образует горло лампы. Оставшаяся нижняя концевая часть колбы (юбка) удаляется. Стекло колбы и стекло тарелки при заварке взаимно растворяются друг в друге. Месту заварки придают размеры и форму, требуемые для правильной посадки цоколя на лампу. Современные заварочные автоматы имеют узел механической формовки горла.

#### б) ЗАВАРКА МИНИАТЮРНЫХ ЛАМП НАКАЛИВАНИЯ

Конструкция миниатюрных ламп накаливания существенно отличается от конструкций обычных ламп (рис. 7-33). При такой конструкции колба заваривается встык со штенгелем, где и образуется вакуумно-непроницаемый впай электродов.

Заварку миниатюрных ламп производят на заварочный (12-позиционный) карусели заварочно-откачного автомата, производительность которого достигает 2000 ламп в час.

Перед заваркой собранная ножка закладывается в колбу так, чтобы отогнутые (отформованные) электроды опирались на бортик колбы, а центр тела накала совпадал с осью лампы.

На позиции 1 колба с ножкой устанавливается в гнездо заварочной машины куполом вниз и удерживается

при помощи вакуумного присоса. Одновременно из бункера подается штенгель и устанавливается в специальных губках над колбой (рис. 7-34,а).

На позиции 2 колба центруется в гнезде и штенгель опускается вниз до соприкосновения с платиновыми выводами и горлом колбы. Шаблон получает вращательное движение. Одновременно торец штенгеля и шейка баллона разогреваются пламенем трех одноотверстных газовых горелок.

Зона разогрева—3—4 мм (рис. 7-34,б).

На позиции 3 разогреваются торец штенгеля и шейка баллона жестким пламенем двух одноотверстных горелок, зона разогрева 2—3 мм (рис. 7-34,в).

На позициях 4 и 5 продолжается разогрев торца штенгеля и шейки колбы сначала мягким, а затем средним пламенем двух одноотверстных горелок.

На позиции 6 торец штенгеля и шейка баллона разогреваются жестким пла-

менем двух одноотверстных горелок до размягчения, и одновременно происходит автоматически подъем шаблона с колбой на 1—1,5 мм до соприкосновения торца штенгеля с шейкой баллона (рис. 7-34,г).

На позиции 7 производится спайка и проварка места спая штенгеля с колбой жестким пламенем двух одноотверстных горелок (рис. 7-34,д).

На позиции 8 производится разогрев штенгеля на 1—2 мм выше места спая резким пламенем двух одноотверстных горелок и одновременное опускание шаблона с баллоном на 3—4 мм (рис. 7-34,е).

На позиции 9 происходит образование первичной перетяжки и разогрев ее коротким мягким пламенем двух одноотверстных горелок. Перед переходом на следующую позицию шаблон с колбой опускается еще на 9—10 мм (рис. 7-34,ж).

На позиции 10 образуется вторичная перетяжка с наружным диаметром 1,0—1,5 мм, которая охлаждается сжатым воздухом (рис. 7-34,з).

На позиции 11 загибаются выводы в колбе и шаблон автоматически поднимается с заваренной лампой на 12—14 мм (рис. 7-34,и).

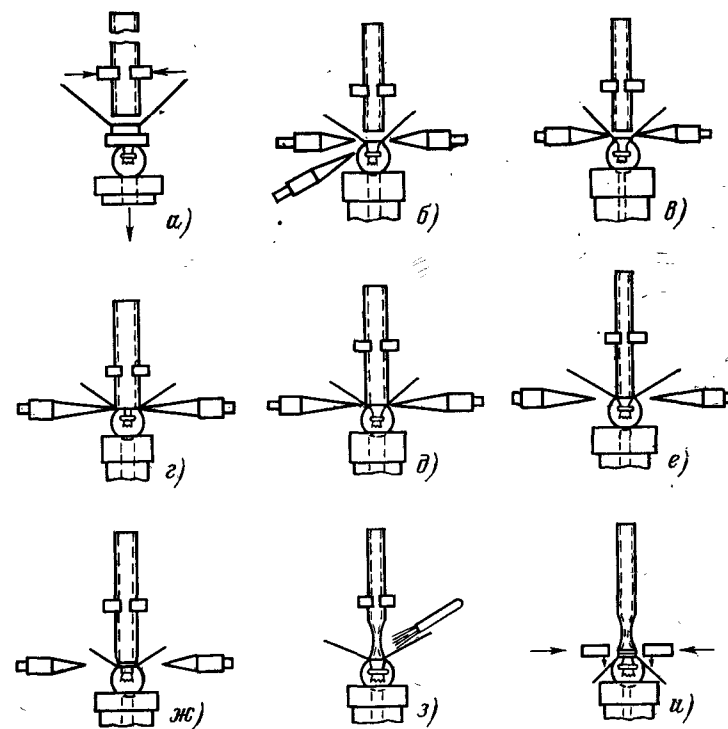


Рис. 7-34. Огневые режимы заварки миниатюрных ламп на автомате.

На позиции 12 отключается заварочная позиция от вакуумной магистрали, штенгель захватывается специальными губками узла переноса и заваренная лампа переносится на позиции откачной карусели.

Доброкачественная заварка миниатюрных ламп получается при условии, если диаметры штенгеля и шейки колбы совпадают и торцевые части их не имеют трещин, выщербин и неровностей.



Заварка люминесцентных ламп отличается от заварки ламп накаливания, так как при этом завариваются две ножки (по одной с каждого конца трубки).

Существует несколько конструкций заварочных машин, различающихся в основном тем, что на одних заваривается сначала один конец трубки, а затем другой, а на другой группе машин заваривают сразу оба конца трубки (двусторонняя заварка).

## ГЛАВА ВОСЬМАЯ

### ВАКУУМНАЯ ОБРАБОТКА ЛАМП



Вакуумная обработка является одной из основных и сложных операций изготовления источников света. Она включает такие важнейшие этапы, как удаление основной массы воздуха из объема ламп, обезгаживание стекла, люминофора и внутренних деталей ламп, активирование катода, введение в лампу паров металлов и разных соединений, наполнение ламп инертными газами, отпайка штенгеля, т. е. получение герметичных приборов, обеспечивающих выполнение своих функций в процессе эксплуатации.

Промышленностью выпускается много различных источников света. Отдельные их группы выпускаются массово, другие — небольшими партиями. Соответственно и вакуумная обработка их производится либо на автоматах, либо на откачных постах.

Для одних групп источников света (например, вакуумных ламп накаливания) вакуумной обработкой предусматриваются только удаление воздуха, обезгаживание стекла и внутренних деталей, для других групп (ртутные дуговые, люминесцентные лампы и др.), кроме откачки, производится активирование катодов, дозирование ртути и наполнение ламп инертными газами.

От правильно выбранного режима вакуумной обработки и от соблюдения технологической дисциплины на этой операции зависят, как отмечалось выше, надежность работы ламп и их долговечность. Так, в лампах нака-

вания недостаточный вакуум (наличие водяного пара, кислорода и других активных газов) при включении их приводит к быстрому потемнению колб или к перегоранию нити накала. В вакуумной лампе накаливания при рабочем напряжении на спирали и при давлениях  $10^{-1}$  Па и выше происходит электрический пробой через остаточные газы, в результате которого концы спирали и токоподводящих электродов могут расплавиться и лампы выходят из строя.

В газоразрядных источниках света наличие химически активных остаточных газов и паров приводит к отравлению катодов, в результате чего теряется эмиссия катода и лампа выходит из строя. Кроме того, наличие малейших посторонних газообразных примесей к основному газу-наполнителю может привести к сокращению продолжительности горения ламп, снижению световой отдачи, нарушению стабильности отдельных параметров ламп и т. д.

Таким образом, можно отметить, что вакуумная обработка ламп является одной из центральных технологических операций, от которой зависят качество, надежность и долговечность ламп.

При разработке технологического процесса вакуумной обработки ламп необходимо обеспечить:

получение требуемого вакуума и требуемой скорости откачки в откачиваемом объекте;

обезгаживание стекла и внутренних деталей ламп;

стабильность дозировки паров металлов и разных соединений;

оптимальный режим активирования катодов;

максимально возможный автоматический контроль процесса вакуумной обработки (измерение вакуума и давления выполняющего газа, соблюдение режима активирования и др.);

максимальную производительность и экономичность вакуумной обработки.

#### 8-1. ПОЛУЧЕНИЕ ВАКУУМА

При изготовлении источников света требуется достижение давления от  $10^4$  до  $10^{-7}$  Па. Такой широкий диапазон давлений не позволяет осуществить получение вакуума по какому-либо единому способу. Для создания вакуума применяются вакуумные насосы различных типов; специальные поглотители, вводимые внутрь откачи-

ваемых ламп; ловушки для паров. В практической работе используются комбинация указанных способов.

В настоящем разделе кратко изложены применяемые вакуумные насосы и ловушки для паров.

Необходимо отметить, что в производстве источников света еще мало используются современные вакуумные насосы — ионно-геттерные, магнитные электроразрядные, адсорбционные и др. Эту группу насосов необходимо рекомендовать к использованию при изготовлении особо надежных специальных источников света, там, где требуется «безмасляная» откачка, а также в лабораторной практике.

#### а) ВАКУУМНЫЕ НАСОСЫ

Современные вакуумные насосы по принципу действия и по диапазонам давлений подразделяются на следующие основные виды:

1) Механические вращательные, в которых откачка осуществляется за счет периодического изменения объема рабочей камеры.

2) Молекулярные, в которых откачка осуществляется путем увлечения молекул газа непрерывно движущимися поверхностями.

3) Пароструйные (диффузионные, бустерные, эжекторные), в которых откачка осуществляется за счет увлечения молекул газа быстрой струей паров ртути или масла.

4) Сорбционные, в которых откачка осуществляется за счет способности ряда материалов поглощать газы и пары.

5) Ионно-геттерные, в которых откачка осуществляется за счет движения ионизированного газа в электрическом поле.

Насосы независимо от принципа действия характеризуются следующими основными параметрами.

*Наибольшее давление запуска  $p_{нач}$*  — это наибольшее давление на входе насоса, при котором насос начинает работать. Механические, сорбционные и другие насосы откачивают пары и газы из объема с первоначальным атмосферным давлением. Пароструйные, молекулярные и другие насосы для своей работы требуют форвакуума.

*Наибольшее выпускное давление  $p_{вып}$*  — это максимальное допустимое давление на выходе насоса, при превышении которого насос прекращает свою работу.

*Предельное остаточное давление  $p_{пр}$*  — это давление, достигаемое насосом при закрытом входном патрубке.

*Быстрота откачки  $S_n$*  — это удаляемый насосом объем газа из разрежаемого сосуда в единицу времени при определенном впускном давлении. Быстрота откачки обычно уменьшается с уменьшением входного давления. Качество насоса тем лучше, чем шире диапазон давлений, в пределах которого быстрота откачки насоса мало изменяется.

*Производительность насоса  $Q$*  — это количество газа, откачиваемое насосом (объемно в  $pv$ -единицах) в единицу времени при определенном впускном давлении. Производительность насоса убывает с уменьшением давления.

**Механические (вращательные насосы).** Вращательные насосы по своей конструкции подразделяются на пластинчато-роторные, пластинчато-статорные, золотниковые и двухроторные.

Принцип действия механических вакуумных насосов понятен из рассмотрения схем их работы, приведенных на рис. 8-1.

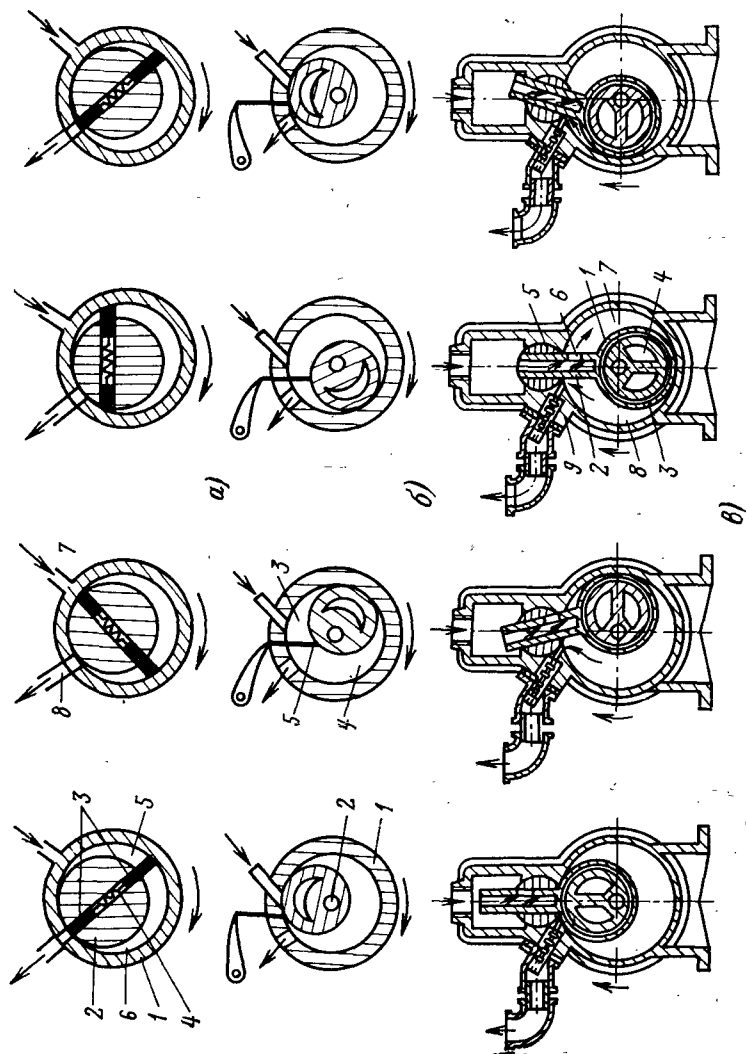
Основная рабочая часть всех насосов — эксцентриковый ротор, разделяющий рабочую камеру насоса. Это достигается либо применением лопастей, которые скользят по эксцентрику, будучи закрепленными на статоре (пластинчато-статорные насосы, рис. 8-1,а), или скользят по внутренней поверхности статора, вращаясь вместе с ротором (пластинчато-роторные насосы, рис. 8-1,б), или, наконец, применением статора, по которому скользит вращающийся эксцентрик (золотниковые насосы, рис. 8-1,в).

Поскольку в пластинчато-роторных насосах имеется большое число мест соприкосновения трущихся поверхностей и сравнительно большое «вредное пространство», предельное давление таких насосов достигает только 1 Па.

В целях снижения предельного давления (до  $10^{-1}$  Па) часто делают двухступенчатые насосы (последовательное соединение двух насосов).

Пластинчато-статорные насосы, имея меньшее число мест скольжения и уменьшенный объем «вредного пространства», дают меньшее предельное давление  $10^{-2}$  Па. Насосы этого типа обычно изготавливают двухступенчатыми.

Рис. 8-1. Схемы устройств механических вакуумных насосов.



а — пластинчато-роторный насос (1 — корпус насоса, 2 — барабан, 3 — поджимные пластины, 4 — пружина, 5 — камера всасывания, 6 — камера сжатия, 7 — выпускной патрубок, 8 — выпускной патрубок); б — пластинчато-статорный насос (1 — корпус, 2 — барабан, 3 — камера всасывания, 4 — камера сжатия, 5 — поджимная пластина, 6 — золотниковый насос (1 — поршень, 2 — патрубок, 3 — обойма, 4 — эксцентрик, 5 — золотник, 6 — боковое отверстие, 7 — камера всасывания, 8 — камера сжатия, 9 — клапан); в — клапан.

Золотниковые насосы, имея предельное давление 0,1 Па, обладают большей производительностью по сравнению с другими типами насосов и применяются в основном на откачных автоматах.

В некоторых технологических процессах большая быстрота откачки в области давлений до 1,0—1,5 Па является решающим обстоятельством при выборе откачных насосов, однако получение больших значений быстроты откачки с помощью механических насосов с масляным уплотнением связано с необходимостью увеличения габаритов или частоты вращения неуравновешенных роторов. Поставленную задачу разрешили появившиеся в последнее время двухроторные вакуумные насосы.

Двухроторные вакуумные насосы состоят из двух фигурных роторов (рис. 8-2), связанных зубчатой передачей и синхронно вращающихся в корпусе навстречу

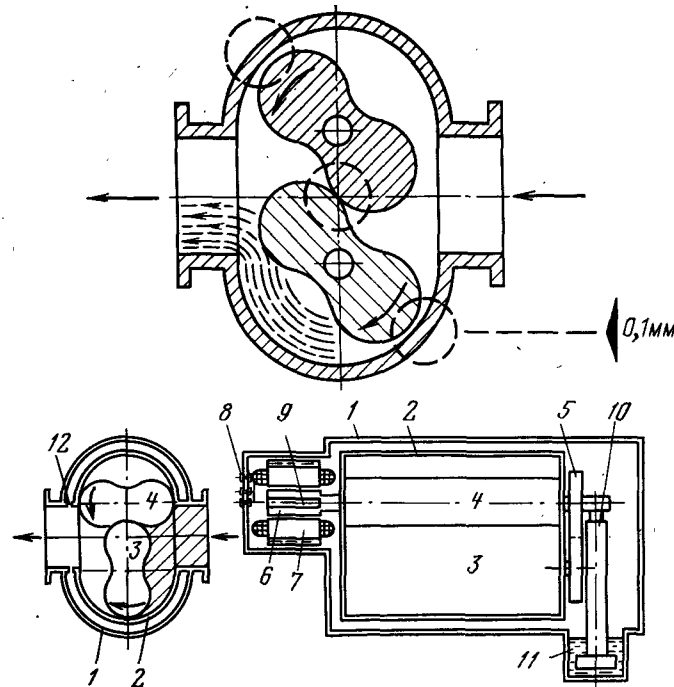


Рис. 8-2. Двухроторный насос.

1 — герметичный корпус; 2 — камера насоса; 3 и 4 — роторы; 5 — шестерня связи ротора; 6 — ротор электродвигателя; 7 — статор электродвигателя; 8 — вводы электроэнергии; 9 — водяное охлаждение ротора электродвигателя; 10 — масляный насос; 11 — резервуар для масла; 12 — отверстие, соединяющее вакуумную рубашку с внутренним объемом.

Параметры механических вакуумных насосов

Тип и марка насоса	Число ступеней	Быстрота откачки, см <sup>3</sup> /с	Предельное остаточное давление, Па	Предельное остаточное давление по воздуху, Па	Частота вращения ротора, об/мин	Количество масла ВМ-4 или ВМ-6, 10 <sup>3</sup> см <sup>3</sup>	Масса, кг	Мощность двигателя, кВт
<i>Плоскостные роторные</i>								
ВН-494	1	220	2,6	0,1	360	1500	34	0,6
ВМ-0,25-2	2	250	0,5	0,003	450	850	16,5	0,18
ВН-0,5-1	1	500	5,7	0,5	450	750	18	0,18
ВН-0,5-2	2	500	0,6	0,003	450	1200	26,5	0,27
ВН-1-1	1	1000	6,7	0,4	450	1200	26	0,27
ВН-1-2	2	1000	0,6	0,003	450	2300	38	0,4
ВН-3-1	1	3000	6,7	0,3	450	2000	37,5	0,4
ВН-3-2	2	3000	0,6	0,003	450	4700	57,5	0,6
ВН-6-2	2	6000	0,6	0,003	450	5300	70	0,6
И 075.003 (12-камерный)	—	2200	2,0	0,6	500	10 000	250	1,2
<i>Плоскостные статорные</i>								
ВН-01	2	100	4,0	0,4	1400	—	6,6	0,08
ВН-0,8Г (ВН-461М)	2	780	3,0	0,1	540	2300	65	0,6
РВН-20	2	2600	4,0	0,6	450	500	110	0,6
<i>Золотниковые</i>								
ВН-2МГ	2	5800	3,0	0,4	525	2000	187	1,7
ВН-1М	2	16 500	3,0	0,4	500	3800	210	2,8
ВН-4Г	—	—	—	—	—	—	—	—
ВН-7Г, ВН-7М	1	45 000	4,0	0,6	500	16 000	690	7,0
ВН-6Г (ВН-6МГ)	1	120 000	6,7	1,3	360	55 000	1557	20,0
ВН-300	1	300 000	6,7	1,3	260	80 000	2607	40,0
ВН-10-2	2	6000	0,6	0,005	540	800	120	1,0
ВН-10-1	1	9000	6,7	0,6	540	1400	110	1,1
ВН-20-2	2	12 000	0,6	0,006	540	1500	165	1,5
ВН-20-1	1	18 000	6,7	0,6	540	2500	170	2,2
ВН-40-2	2	25 000	0,6	0,003	540	2300	210	4,0
ВН-40-1	1	40 000	6,7	0,6	540	3700	285	5,5
ВН-72-2	2	50 000	0,6	0,003	470	9500	765	7,5
ВН-75-1	1	75 000	6,7	0,2	475	14 000	770	9,0
ВН-150-2	2	100 000	0,6	0,003	450	19 000	948	13,0
ВН-150-1	1	150 000	6,7	0,2	450	25 000	948	13,0
<i>Двухроторные</i>								
ДВН-6-1	—	—	—	—	—	—	—	—
(ВН-1-1, ВН-1-2)	—	5000	0,6	0,003	2800	100	17	0,18
ДВН-5-2	—	10 000	0,05	0,004	2400	(ВМ-1) 120	23	—
(ВН-1-2)	—	—	—	—	—	(ВМ-1) 250	53	0,4
ДВН-15-1	—	15 000	0,6	0,004	2800	(ВМ-1) 400	65	0,6
(ВН-3-1, ВН-3-2)	—	15 000	0,06	0,001	2800	(ВМ-1) 220	28	—
ДВН-15-2	—	—	—	—	—	(ВМ-1) 1000	60	1,5
(ВН-3-2)	—	—	—	—	—	(ВМ-1) 220	45	—
ДВН-50-1	—	50 000	0,6	0,003	2860	(ВМ-1) 4500	870	10,5
(ВН-6-2, ВН-10-2)	—	50 000	0,05	0,001	2360	(ВМ-1) 220	—	—
ДВН-50-2	—	—	—	—	—	(ВМ-1) 220	—	—
(ВН-6-2, ВН-10-2)	—	130 000	0,6	0,03	2860	(ВМ-1) 220	—	—
ДВН-150-1	—	—	—	—	—	(ВМ-1) 4500	—	—
(ВН-20-1)	—	1 500 000	0,6	0,06	2900	(ВМ-6)	—	—
ДВН-1500, 2ДВН 1500	—	—	—	—	—	—	—	—
ВН-6Г, ВГ-150-1)	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. В скобках указаны марки требуемых форвакуумных насосов.

друг другу. Во время работы роторы не касаются друг друга и корпуса благодаря специальному профилю их поверхности. Величина зазоров не превышает 0,1 мм. Отсутствие трения и хорошая балансировка роторов позволяют добиться большой быстроты откачки при малых габаритах за счет повышения частоты вращения роторов.

Немаловажным обстоятельством в пользу двухроторных насосов является отсутствие масла в рабочей камере, что гарантирует отсутствие диффузии паров масла в откачиваемые лампы. Двухроторные насосы применяются в современных откачных автоматах для изготовления газонаполненных ламп накаливания и люминесцентных ламп. Двухроторные насосы работают с форвакуумом, получаемым обычно от золотниковых вращательных насосов. Предельное остаточное давление на входе двухроторного насоса обычно в 50—100 раз меньше, чем остаточное давление формакуумного насоса.

Технические характеристики механических насосов, применяемых в производстве источников света, приведены в табл. 8-1.

Специально для многопозиционных откачных автоматов выпускаются многокамерные насосы, которые удобно устанавливаются под автоматом или рядом с ним. Многокамерные насосы представляют собой группу из 12 насосов, заключенных в общий корпус и имеющих привод от одного электродвигателя с помощью цепной передачи. Две камеры не имеют входных штуцеров, а откачивают внутренний объем герметизированного корпуса, являясь насосами предварительного разрежения для остальных.

Герметичные вакуумные насосы предназначены для перекачки газов (особенно дорогостоящих газов — криптона, ксенона) из одного объема в другой.

В основу этих насосов заложена конструкция обычных вращательных насосов, но корпус их герметичен (вал наружу не выведен: ротор электродвигателя находится в вакууме и отделен от статора тонкостенным стаканом из немагнитного материала).

Во избежание загрязнения перекачиваемого газа растворенными в масле и осевшими на внутренних стенках насоса газами насос и заливаемое в него масло подвергаются специальной вакуумной обработке.

Герметичные насосы работают и как компрессоры: сжимают поступающий в них газ и нагнетают его в объем, присоединенный к выпускной стороне.

Многопластинчатые насосы предназначены для грубой откачки (от  $10^3$  до  $10^4$  Па) и широко применяются для поддержания вакуума в центральных форвакуумных системах, а также могут быть использованы в различных технологических процессах, где достаточно грубого разрежения. В отличие от масляных вращательных насосов они работают без заполнения рабочей камеры насоса маслом, поэтому и позволяют получать только низкие значения предельного давления, до  $2 \cdot 10^3$  Па. Ввиду от-

Таблица 8-2

Параметры многопластинчатых насосов

Тип насоса	Номиналь- ная выст- рота отка- ки, м³/с	Предельное остаточное давление, Па	Потребляемая мощ- ность, кВт	
			номиналь- ная	макси- мальная
<i>Одноступенчатые</i>				
РВН-3	0,05	—	5	7
РВН-6	0,10	—	10	12
РВН-12	0,20	2·10³	20	27
РВН-25	0,42	—	33	50
РВН-50	0,84	—	65	100
РВН-75	1,25	—	95	140
<i>Двухступенчатые</i>				
ДРВН-3	0,5	—	8	10
ДРВН-6	0,10	—	14	18
ДРВН-12	0,20	—	26	33
ДРВН-25	0,42	5·10²	45	70
ДРВН-50	0,84	5·10²	90	140
ДРВН-75	1,25		130	190
<i>Водокольцевые</i>				
ВВН-0,75	0,012	1,5·10⁴	1,3	—
ВВН-1,5	0,025	1,5·10⁴	2,1	—
ВВН-3	0,05	1·10⁴	6,5	—
ВВН-6	0,10	5·10³	12,5	14
ВВН-12	0,20	3·10³	20	22
ВВН-25	0,42	2·10³	48	54
ВВН-50	0,84	2·10³	94	110

сутствия масляного трения эти насосы допускают большую частоту вращения и имеют большую производительность при относительно небольших размерах. Технические характеристики многопластинчатых насосов приведены в табл. 8-2.

**Пароструйные насосы.** В пароструйных высоковакуумных насосах непрерывная струя пара рабочей жидкости захватывает подводимый при низком давлении газ и уносит его в область более высокого давления.

После перемещения откачиваемого газа пар конденсируется на охлаждаемой стенке и в виде жидкости стекает в испаритель.

Пароструйные насосы в отличие от вращательных масляных насосов, область действия которых начинается непосредственно от атмосферы, нуждаются для нормальной работы в форвакууме.

Предельное давление, быстрота действия и другие параметры насосов зависят от их конструкции и от свойств рабочей жидкости.

**Парортутные насосы** используют в качестве рабочей жидкости ртуть. Достоинствами ртути как рабочей жидкости является то, что она не портится при перегреве и кратковременном соприкосновении в горячем состоянии с атмосферным воздухом, а также определенное давление насыщенного пара и постоянная температура кипения. Однако ртуть обладает рядом существенных недостатков. Достаточно высокое давление насыщенного пара ртути (около  $10^{-1}$  Па при комнатной температуре) требует обязательного применения охлаждающих ловушек. В результате соприкосновения паров ртути с цветными металлами происходит их амальгамирование. Пары ртути токсичны даже в небольших количествах.

Парортутные металлические насосы до сих пор используются для откачки газоразрядных источников света, имеющих ртутное наполнение. Разработано довольно много конструкций, отличающихся в основном своими размерами, формой диффузионных сопел и наличием или отсутствием эжекторных сопел. В связи с этим металлические парортутные насосы отличаются друг от друга быстротой действия и наибольшим выпускным давлением; что же касается предельного остаточного давления, то оно практически не зависит от конструкции.

**Паромасляные насосы.** Область применения парортутных насосов за последние годы значительно сократилась, и в настоящее время более широкое распространение получили паромасляные насосы, использующие в качестве рабочей жидкости очищенные нефтяные масла марок ВМ-1, ВМ-2 и ВМ-5 (давление насыщенного пара этих масел при  $20^\circ\text{C}$  составляет  $10^{-6}$  Па). Кроме масел неф-

тяного происхождения, в качестве рабочих жидкостей применяются сложные эфиры органических кислот, выпускаемые под марками ОФ и ОС.

Большой термоокислительной устойчивостью обладают кремнийорганическое масло марок ВКЖ-94А, ВКЖ-94Б (вакуумная кремнийорганическая жидкость) и кремнийорганическая «полифенилметилсилоксановая» жидкость марок ПФМС-2, ПФМС-3. Упругость пара их при 20 °С составляет  $5 \cdot 10^{-5}$ — $5 \cdot 10^{-6}$  Па.

Поскольку масло (в отличие от ртути) смачивает металлические поверхности, это обстоятельство не позволяет детали узкие зазоры между соплами и стенками холодильника, что приводит, с одной стороны, к относительно большой скорости действия насоса, а с другой — к снижению наибольшего выпускного давления.

Потребность в снижении наибольшего выпускного давления вызывается также и тем, что из-за опасности перегрева масло нельзя нагревать до высокой температуры и, следовательно, нельзя получить большое динамическое давление струи паров масла, выходящих из сопла.

Наиболее совершенными конструкциями являются так называемые разгонные насосы, в которых в процессе работы происходит автоматическое разделение фракции масла (разгонка).

Типичным разгонным насосом является металлический двухступенчатый насос ММ-40А, изображенный на рис. 8-3.

Насос состоит из стального цилиндрического корпуса, нижняя часть которого служит кипятивником для масла, нагреваемого электронагревателем. Корпус снабжен водяной рубашкой, имеющей патрубки для впуска и выпуска охлаждающей воды.

В верхней части насоса имеются фланцы, осуществляющие соединение с откачиваемым объемом непосредственно или через трубку, вваренную в крышку насоса.

Выпускное отверстие насоса соединяется с форвакуумным насосом.

Пары масла в верхнее сопло подаются по внутреннему паропроводу, в нижнее — по паропроводу, охватывающему внутренний. Таким образом, для каждого из двух сопел создается отдельный цилиндрический паропровод. Внешний (охватывающий) паропровод имеет внизу расширение, в котором имеется разделительный цилиндр,

занимающий примерно среднее положение между стенками расширения и внутреннего паропровода. Оба паропровода и разделительный цилиндр своими нижними концами доходят до дна испарителя, и, таким образом, все налитое в насос масло распределяется по четырем concentрическим камерам.

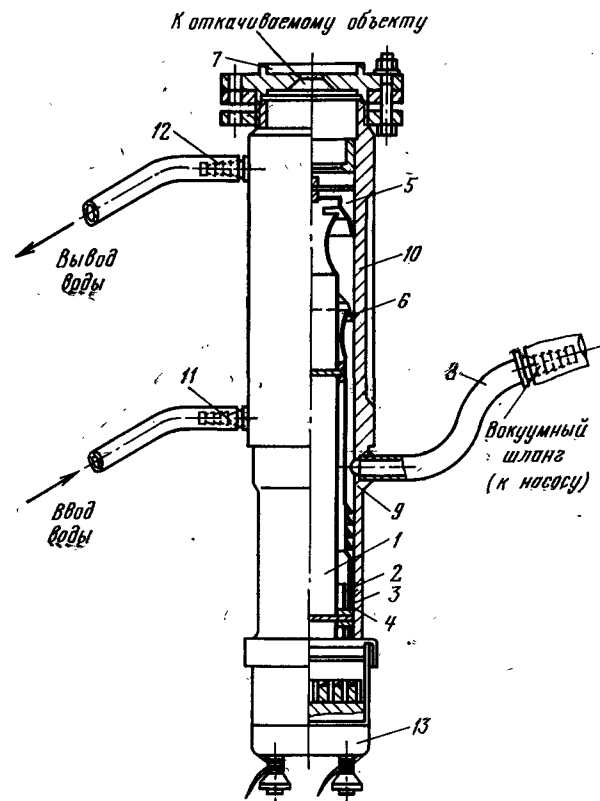


Рис. 8-3. Металлический паромасляный насос ММ-40А.

1 — центральная камера; 2—4 — камеры; 5, 6 — сопло; 7 — впускное отверстие; 8 — выпускной патрубок; 9 — корпус; 10 — водяная рубашка; 11, 12 — патрубки для впуска и выпуска воды; 13 — электронагреватель.

Пока насос еще не начал работу, масло имеет одинаковый состав во всех цилиндрических камерах. В процессе разогрева масла в первую очередь испаряются наиболее легкие его фракции, пары которых поступают одновременно в оба сопла; по выходе из

сопл пары конденсируются на стенках холодильника и стекают попадая в камеру 4. Обратное испарение масла из этой камеры затруднено вследствие непрерывного поступления свежего охлажденного в холодильнике масла; кроме того, молекулы пара, вылетающие из этой камеры вверх, задерживаются козырьками, расположенными на внешнем паропроводе. Попадая в камеру 3 и далее через отверстия разделительного цилиндрика в камеру 2, легкие фракции уже успевают нагреться до температуры, достаточной для их испарения, которое и происходит раньше, чем эти фракции попадают в центральную камеру 1 (внутренний паропровод), связанную с высоковакуумным (верхним) соплом; разделительный цилиндр способствует задерж-

ке легких фракций в камерах 2 и 3. Таким образом, нижнее сопло продолжает работать именно на этих легких фракциях масла. В центральной камере 1 масло постепенно освобождается от легких фракций, и в верхнее, высоковакуумное сопло, попадают только пары тяжелых фракций.

Насос описанной конструкции имеет быстроту откачки около  $0,02 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Промышленностью выпускается большое разнообразие пароструйных насосов, технические характеристики некоторых из них приведены в табл. 8-3. На базе пароструйных насосов выпускаются также комплекты вакуумные агрегаты, куда, кроме насоса, входят охлаждаемая ловушка, вакуумный затвор и вспомогательное оборудование.

Таблица 8-3

Параметры пароструйных вакуумных насосов

Тип насоса	Рабочий диапазон давлений, Па	Быстрота откачки, $\text{м}^3/\text{с}$	Мощность нагревателя, Вт	Количество ртути или масла, $\text{см}^3$	Масса, кг
<b>Парортутные</b>					
H-10P	$2,5 \cdot 10^{-5}$	0,015	200	35	1,9
H-5CP	$1,5 \cdot 10^{-5}$	0,050	350	250	3,1
H-5CP	$0,1 \cdot 10^{-5}$	0,600	1700	500	70
H-1TP	$2 \cdot 10^{-2} - 10^{-5}$	1,500	1300	1000	60
H-6TP	$0,1 \cdot 10^{-5}$	6,000	5000	2500	235
ДРН-50	$100 \cdot 10^{-5}$	0,030	18 000	250	25
ЭН-10CP	$100 \cdot 10^{-4}$	0,100	50 000	1500	96
<b>Паромасляные</b>					
ММ-40А	$3 \cdot 10^{-2} - 6 \cdot 10^{-4}$	0,025	450	40	6,9
ЦВЛ-100С	$4 \cdot 10^{-2} - 4 \cdot 10^{-4}$	0,100	450	75	6,9
ИЮ76.001	$3 \cdot 10^{-2} - 4 \cdot 10^{-4}$	0,006	110	30	0,6
ИЮ76.013	$3 \cdot 10^{-2} - 9 \cdot 10^{-5}$	0,015	400	30	1,6
ИЮ76.017	$3 \cdot 10^{-2} - 9 \cdot 10^{-5}$	0,030	450	40	2,8
ИЮ76.012	$3 \cdot 10^{-2} - 9 \cdot 10^{-5}$	0,060	500	50	5,6
ИЮ76.014	$3 \cdot 10^{-2} - 9 \cdot 10^{-5}$	0,100	1150	150	7,3
ИЮ76.016	$3 \cdot 10^{-2} - 9 \cdot 10^{-5}$	0,500	2000	300	14,0
ИЮ76.0004	$3 \cdot 10^{-2} - 9 \cdot 10^{-5}$	0,180	700	450	12,0
ИЮ76.0005	$3 \cdot 10^{-2} - 9 \cdot 10^{-5}$	0,500	1000	800	20,5
ИЮ76.0006	$3 \cdot 10^{-2} - 9 \cdot 10^{-5}$	0,100	400	225	10,6
НВО-40М	$10^{-1} - 7 \cdot 10^{-4}$	0,040	450	100	8,0
Н-0,15С	$(1,5-3) \cdot 10^{-4}$	0,015	200	35	3,0
Н-1С-Б	$(1,5-3) \cdot 10^{-4}$	0,050	350	100	8,0
Н-5С-М	$6 \cdot 10^{-2} - 1 \cdot 10^{-5}$	0,500	700	500	22,0
Н-2Т-3	$6 \cdot 10^{-2} - 1 \cdot 10^{-4}$	1,500	1700	1100	65,0
Н-5Т-3	$1 \cdot 10^{-1} - 6 \cdot 10^{-5}$	3,000	2200	1500	79,0

#### 6) СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВАКУУМА

В последние годы разработана и получает все большее распространение новая группа насосов, предназначенных для получения очень низких давлений. В связи с созданием новых типов источников света, например натриевых ламп высокого давления, эти насосы могут найти применение и в производстве источников света. Принцип действия этих насосов основан на поглощении откачиваемых газов поверхностью какого-либо поглотителя — сорбента, в качестве которого используется либо напыляемая в процессе работы насоса пленка титана, либо пористые вещества с большой активной поверхностью (активированный уголь, цеолит). Газы, не взаимодействующие с титаном (инертные газы, углеводороды), удаляются путем ионизации и улавливания положительных ионов отрицательно заряженными поверхностями насоса, на которые также напыляется титановая пленка.

**Геттерные насосы.** В геттерных насосах титан испаряется с конца проволоки, нагреваемой электронной бомбардировкой, и осаждается на охлаждаемую поверхность камеры насоса. При охлаждении водой можно достигнуть остаточного давления  $10^{-7}$  Па, при охлаждении жидким азотом  $10^{-10}$  Па. Выпускаемый промышленностью высоковакуумный агрегат АВТО-20М на базе геттерного насоса и включающий, кроме него, паромасляный насос с азотной ловушкой, цельнометаллический вентиль и блок электропитания и управления, имеет быстроту от-

качки (воздуха)  $4,5 \text{ м}^3/\text{с}$  при скорости испарения титана до  $5 \text{ мг}/\text{мин}$ . Агрегат потребляет  $2 \text{ кВт}$  электроэнергии и имеет массу (вместе с блоком питания)  $375 \text{ кг}$ . Схема агрегата представлена на рис. 8-4.

**Ионно-геттерные насосы.** В ионно-геттерных насосах пленка титана образуется либо путем испарения с накаливаемых проволочек из титано-молибденового сплава (насосы серии ГИН), либо путем распыления холодных катодов в результате бомбардировки их положительными ионами газового разряда в магнитном поле (насосы серии НЭМ, НОРД).

Насосы серии ГИН (рис. 8-5) имеют U-образные прямонакальные испарители, работающие поочередно. Испарение происходит в твердой фазе, и пленка титана осаждается на водоохлаждаемую поверхность корпуса насоса. Ионизация осуществляется при соударении молекул инертных газов или углеводородов с электродами, эмиттируемыми накаливаемыми катодами из вольфрама. Длина пробега электронов увеличивается благодаря наличию анодной сетки, находящейся под напряжением около  $+1 \text{ кВ}$ . Насосы серии ГИН имеют быстроту откачки в диапазоне давлений от  $10^{-4}$

Рис. 8-4. Схема агрегата типа АВТО-20М.

1 — сорбционный охлаждаемый насос; 2 — сосуд Дьюара; 3 — испаритель титана в насосе; 4 — азотная ловушка; 5 — паромасляный насос; 6 — охлаждаемый экран насоса.

до  $10^{-6} \text{ Па}$  от  $0,005$  до  $100 \text{ м}^3/\text{с}$  (в зависимости от типа насоса) и предельное остаточное давление порядка  $4 \cdot 10^{-7} \text{ Па}$ .

Продолжительность непрерывной работы испарителей достигает  $3000 \text{ ч}$ . На базе насосов типа ГИН выпускаются сверхвысоковакуумные агрегаты, включающие в себя паромасляные насосы для откачки инертных газов.

Насосы серии НЭМ не имеют накаливаемых элементов, поскольку в них распыление электродов из титана происходит вследствие бомбардировки ионами газового разряда, который не прекращается даже при очень низких давлениях. Пленка титана, осаждающаяся на поверхности анода и стенках насоса, поглощает ионизированные мо-

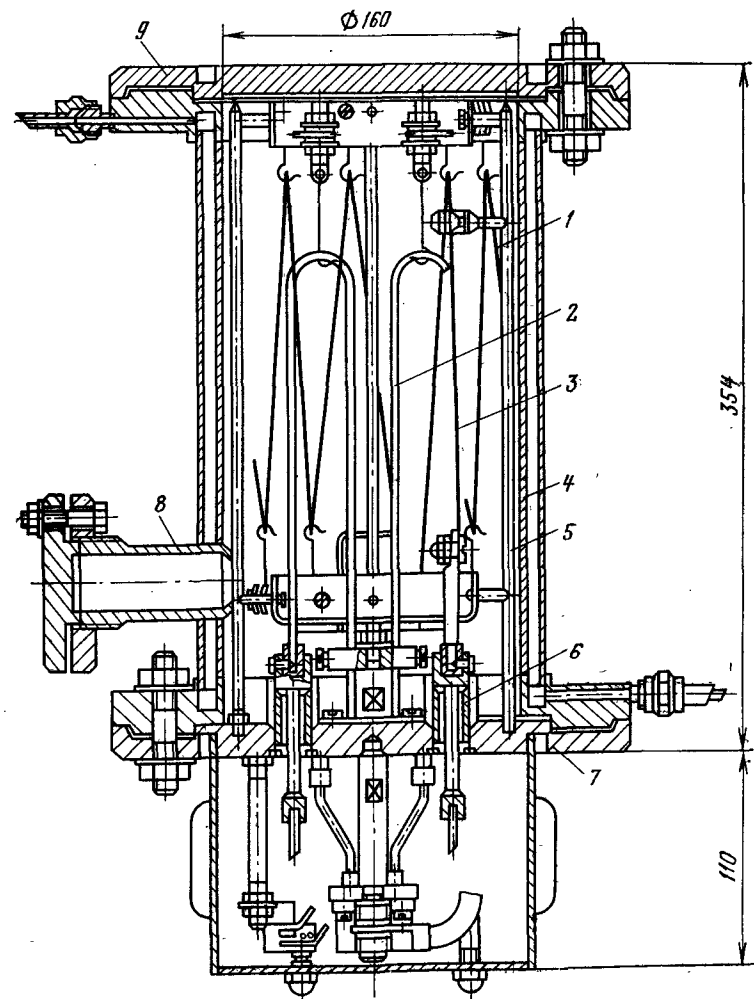


Рис. 8-5. Схема насоса типа ГИН-05М1.

1 — анод; 2 — испарители; 3 — катод; 4 — корпус; 5 — каркас для монтажа электродной системы; 6 — металлокерамический токоввод; 7 — фланец цоколя; 8 — выпускной патрубок; 9 — фланец-заглушка.



лекулы активных газов, а инертные газы и углеводороды поглощаются за счет внедрения ионов в поверхность катодных пластин и сорбции слоями осаждающегося титана. Насосы этого типа имеют большую продолжительность работы (20 тыс. ч), высокую надежность, не выходя из строя при случайном повышении давления до атмосферного, просты в обслуживании. Конструкция насосов серии НЭМ состоит из сварного корпуса из нержавеющей стали, в который помещаются разрядные электродные блоки (количеством от 12 до 112 в зависимости от типа насоса). Магнитные системы крепятся снаружи корпуса. Насосы серии НЭМ имеют предельное остаточное давление порядка  $10^{-8}$  Па и быстроту откачки от 0,03 до 6,5 м<sup>3</sup>/с. Большая поверхность электродной системы насосов НЭМ является источником газовой выделения и повышает предельное давление. Этот недостаток существенно уменьшен в насосах серии НОРД путем охлаждения электродов насоса.

Давление запуска ионно-геттерных распылительных насосов не выше 1 Па, предельное остаточное давление —  $10^{-7}$  Па.

**Цеолитовые насосы.** Принцип действия этого типа сорбционных насосов основан на поглощении газов развитой поверхностью цеолитов — алюмосиликатов натрия, кальция и бария. После прогрева цеолитов из них удаляется кристаллизационная вода без изменения кристаллической структуры цеолита, вследствие чего получается весьма пористый материал с размерами пор от 0,4 до 1 нм. Быстрота откачки цеолитового насоса может достигать 0,1—0,5 м<sup>3</sup>/с и возрастает с ростом давления в откачиваемом объеме. Начальное давление насосов такого типа не ограничено, и откачку в принципе можно было бы начать с атмосферного давления, но для достижения более низкого конечного давления необходима предварительная откачка. После насыщения насос может быть регенерирован путем прокатки цеолита. Обычно пользуются двумя насосами, один из которых проходит регенерацию, а второй откачивает систему.

Основными достоинствами цеолитовых насосов являются их простота и отсутствие загрязнения откачиваемого объема парами рабочей жидкости, однако они требуют непрерывного охлаждения жидким азотом. Промышленностью выпускаются цеолитовые насосы серии ЦВН и вакуумные агрегаты на их основе серии ЦВА.

Каждый агрегат состоит из двух насосов, водоструйного насоса для предварительной откачки и системы трубопроводов с вентилями, смонтированных на сварной раме. Предельное остаточное давление, достигаемое цеолитовыми насосами, от 0,02 до 2 Па.

#### в) ЛОВУШКИ

Ловушки в основном применяются для снижения давления в откачиваемом объеме и для улавливания обратного потока пара рабочей жидкости из пароструйных насосов. Иногда ловушки употребляются для предотвращения выхлопа в атмосферу газов и паров из насоса предварительного разряжения в тех случаях, когда их присутствие в атмосфере недопустимо. Таким образом, ловушки являются вспомогательным средством при получении высокого вакуума.

Существуют самые различные типы ловушек, разделяемые по принципу действия: механические, химические, охлаждаемые, адсорбционные, электрические и т. д.

Выбор того или иного способа в основном зависит от предельно допустимой упругости пара и от количества паров, которое необходимо удалить.

**Механические ловушки.** В качестве первого средства защиты вакуумной системы от паров рабочей жидкости насосов используются механические ловушки.

Обычно работа всякого пароструйного насоса сопровождается непрерывной миграцией рабочей жидкости (масла) из насоса как в разрежаемый объем, так и в форвакуумные насосы. Это нежелательно, поскольку расходуется рабочая жидкость и мигрирующее масло загрязняет рабочие объемы и приборы вакуумной установки.

Так, пары масла могут снизить активность газопоглотителя, ухудшить качество активных катодов и т. д.

Что касается миграции масла из пароструйного насоса в сторону низкого вакуума, то она не имеет существенного значения. От этого почти полностью избавляются за счет придания выпускному трубопроводу специальной формы и охлаждения его проточной водой.

Гораздо труднее избавиться от попадания масла в откачиваемый объем. Проникновение масла в откачиваемый объем связано, во-первых, с непосредственным разлетом масляной струи между соплом и холодильником,

вследствие чего образуется масляный туман, и, во-вторых, с испарением масла в верхних участках насоса.

Обратный поток из современных отечественных паромасляных насосов составляет 1—5 мг/(ч·см<sup>2</sup>).

Наиболее эффективным способом борьбы с проникновением масла в откачиваемый объем является использование специальных механических ловушек (так называемых маслоотражателей), которые позволяют снизить величину обратного потока до 0,1—0,02 мг/(ч·см<sup>2</sup>).

Маслоотражатели бывают самых различных конструкций, но все они обычно рассчитываются так, чтобы закрыть угол прямой видимости откачиваемого объема из первого сопла при минимальном уменьшении пропускной способности участка.

Простейший отражатель, не особенно сильно уменьшающий быстроту откачки, представляет собой колпачок, расположенный немного выше верхнего сопла насоса.

Значительно большей эффективностью обладает механическая ловушка, состоящая из ряда концентрических колец, радиусы которых уменьшаются по мере удаления от сопла насоса.

Помимо маслоотражателей в виде «колпачков», достаточно широкое распространение в системах со значительными быстротами откачки получили также охлаждаемые отражательные щитки типа «жалюзи». Их достоинством является относительно малое дросселирование быстроты откачки (примерно на 40—55%).

**Химические и адсорбционные ловушки.** Действие этих ловушек основано на связывании проходящих через них паров веществом, которым заполнена ловушка. При этом имеет место либо образование химических соединений с низкой упругостью, либо активизированная сорбция. Наиболее активными адсорбентами являются специально обработанные древесный уголь, щелочные металлы, силикагель, алюмогель, фосфорный ангидрид. Для поглощения больших количеств влаги применяют чаще силикагель, его адсорбционная поверхность оценивается в 500—700 м<sup>2</sup> на 1 г. Очень эффективны в качестве адсорбентов цеолит и окись алюминия.

Если откачка вакуумной системы производится паротрутными насосами или же в системе используются ртутные затворы и ртутные компрессионные манометры, то для поглощения паров ртути в высоковакуумный трубо-

провод иногда целесообразно вводить щелочные металлы, связывающие ртуть с образованием амальгам.

В большинстве случаев для этого используют достаточно эффективно действующие калиево-натриевые или кадмиевые ловушки, конструкции которых значительно проще охлаждаемых.

Получение очень низких давлений иногда достигается путем комплексного использования высоковакуумного насоса и ловушек с сильно охлажденным активированным углем.

На рис. 8-6 изображена ловушка, в которой в качестве адсорбента используется активированный древесный уголь марки БАУ. Через верхний фланец 2 ловушка соединяется с вакуумной системой, к нижнему фланцу крепится пароструйный насос. Адсорбент засыпается в промежутке между гофрированными сетками 6. Труба 3 предназначена для нагревателя.

Подготовка ловушки к работе состоит в следующем: первичный прогрев адсорбента до 350—400 °С в течение 8—10 ч, при этом давление в корпусе ловушки должно быть не выше 4·10<sup>-3</sup> Па, затем кратковременный напуск воздуха в ловушку и повторный прогрев адсорбента в течение 1—1,5 ч. Ловушки такой конструкции снижают количество паров рабочей жидкости более чем в 100 раз.

Существенными недостатками большинства химических и адсорбционных ловушек являются:

необходимость периодической смены или регенерации адсорбента;

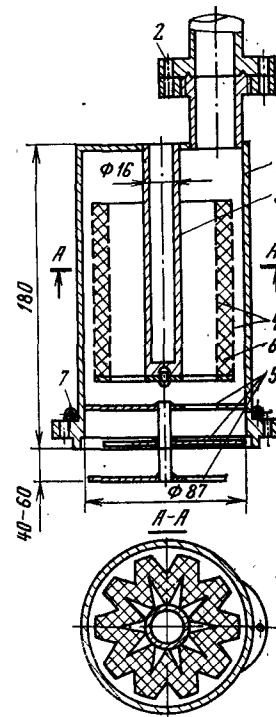


Рис. 8-6. Высоковакуумная неохлаждаемая ловушка.

1 — цилиндр; 2 — фланец; 3 — труба; 4 — адсорбент (активированный уголь БАУ); 5 — маслоотражательная сетка; 6 — сетка; 7 — трубка.

многие из адсорбентов при сообщении ловушки с атмосферой окисляются и теряют свою активность;

для надежного улавливания газов и паров необходимо наличие большой активной поверхности;

большинство химических ловушек обладает избирательностью действия, т. е. улавливает лишь определенные газы и пары.

Вследствие этих причин поглотительные ловушки в высоковакуумных системах широкого распространения не получили.

**Охлаждаемые (вымораживающие) ловушки.** Принцип действия этого типа ловушек основан на конденсации паров жидкостей охлаждаемыми стенками ловушки.

Охлаждаемые ловушки широко используются в лабораторной практике и в производстве, они не только надежно предотвращают проникновение паров рабочей жидкости в откачиваемый объем, но и улавливают пары и газы, имеющиеся в объеме. Для охлаждения ловушек применяют жидкие азот и воздух, твердую углекислоту и др.

Основными техническими характеристиками, определяющими эффективность охлаждаемой ловушки, являются быстрота действия, пропускная способность, стабильность и экономичность эксплуатации. Быстрота действия ловушки  $S_d$  определяется объемом пара, конденсирующегося на холодных стенках в 1 с и измеренного при давлении в ловушке:

$$S_d = 3640A \sqrt{\frac{T}{M}},$$

где  $S_d$  — быстрота действия ловушки, см<sup>3</sup>/с;  $A$  — эффективная площадь холодных стенок ловушки, см<sup>2</sup>;  $T$  — абсолютная температура пара, поступающего в ловушку, К;  $M$  — молекулярная масса пара.

Практически расчетная быстрота действия ловушки никогда не может быть полностью использована как из-за малой пропускной способности вакуум-провода, так и потому, что быстрота откачки паров определяется по сути дела не скоростью их конденсации на холодной поверхности ловушки, а скоростью их десорбции со стенок откачиваемого объема.

Поэтому при конструировании ловушек рассчитывают холодную поверхность не исходя из требуемой от ловушки быстроты действия, а принимают, что на каждый литр откачиваемого объема требуется около 0,3 см<sup>2</sup>

холодной поверхности ловушки. Емкость же резервуара ловушки определяется соотношением заданного периода между двумя заливками охладителя и скоростью его расхода.

Ловушка является участком вакуумного трубопровода и поэтому должна иметь достаточную пропускную способность. Пропускная способность ловушки сильно снизится, если проход через ловушку сделать слишком узким. Проходя через ловушку, газ, во-первых, сильно охлаждается, и, следовательно, уменьшается средняя скорость теплового движения молекул газа; во-вторых, длительность пребывания молекул газа на холодных стенках ловушки значительно больше, чем при комнатной температуре. В результате пропускная способность ловушки в рабочем состоянии по сравнению с пропускной способностью при комнатной температуре снижается.

Ловушка должна иметь такую конструкцию, чтобы откачиваемый из объема газ проходил через ловушку, соприкасаясь с возможно большей частью ее холодной поверхности.

Эти требования, однако, противоречат возможности иметь достаточно большую пропускную способность. Поэтому в зависимости от типа ловушки в каждом отдельном случае приходится создавать конструкцию, в достаточной мере удовлетворяющую предъявляемым к ней требованиям.

Промышленностью выпускаются охлаждаемые ловушки для всех типов пароструйных насосов с диаметром условного прохода от 86 до 500 мм.

## 8-2. ИЗМЕРЕНИЕ НИЗКИХ ДАВЛЕНИЙ

Под измерением низких давлений принято понимать измерение абсолютного давления ниже атмосферного (менее 10<sup>5</sup> Па). Все манометры и вакуумметры подразделяются на две группы.

К первой группе относятся приборы, основанные на непосредственных методах измерения давления. К таким приборам относятся, например, жидкостные, компрессионные, деформационные манометры, нижний предел измеряемых ими давлений ограничивается 10<sup>-2</sup> Па; точность измерения 1—3%.

Ко второй группе относятся приборы, основанные на косвенных методах измерения, когда используется зави-

симость того или иного физического свойства газа (теплопроводности, силы трения и др.) от давления. К таким приборам относятся тепловые, ионизационные, радиометрические и другие вакуумметры. В них давление преобразуется в электрический сигнал, который затем усиливается в измерительной схеме.

При изготовлении источников света приходится иметь дело с измерением давления газа, лежащего в широком диапазоне: от атмосферного до  $10^{-7}$  Па. Для измерения такого широкого диапазона давлений приходится использовать несколько видов манометров.

#### а) МАНОМЕТРЫ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Ртутные манометры относятся к группе жидкостных манометров и измеряют непосредственно статистическое давление газа по разности уровней жидкости в сообщающихся сосудах. Существуют два вида U-образных манометров — открытый и закрытый.

Такие манометры представляют собой изогнутую стеклянную трубку, заполненную ртутью. Один конец трубки присоединяется к вакуумной системе, где измеряется давление, другой — у открытого манометра сообщается с атмосферой, а у закрытого запаивается.

Давление в вакуумной системе при измерении закрытым манометром определяется из условия равновесия столба ртути в обоих коленах манометра:

$$p = g\gamma h,$$

где  $p$  — измеряемое давление, Па;  $\gamma$  — плотность ртути, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  — ускорение свободного падения, 9,807 м/с<sup>2</sup>;  $h$  — разность уровней ртути в коленах манометра, м.

Обычно разность уровней измеряется в миллиметрах, тогда  $p = 133,32 h$ .

При измерении открытым манометром необходимо учитывать атмосферное давление в момент измерения:  $p = p_{\text{ат}} - 133 h$ .

Открытые ртутные манометры применяются крайне редко для измерения давления наполняющего и промышленного газа, закрытые — в качестве индикаторов в магистрях предварительного разрежения.

Ввиду того, что разность уровней в закрытом манометре при давлениях ниже 400 Па менее 3 мм и точный отсчет затруднен, а при меньших давлениях — невозможен, прибегают к предварительному сжатию известного

объема газа, отъединяемого в момент измерения от вакуумной магистрали. На этом принципе устроен компрессионный манометр, представленный на рис. 8-7. При подъеме уровня ртути она в какой-то момент отсекает от вакуумной магистрали 4 объем 2, соединенный с капилляром 3, а при дальнейшем подъеме сжимает находящийся в нем газ и одновременно проходит в трубку 4, соединенную со сравнительным капилляром 5, который имеет диаметр, равный диаметру капилляра 3 (для исключения эффекта так называемой капиллярной депрессии). Существует несколько способов градуировки компрессионных манометров, простейший из которых состоит в том, что ртуть поднимают до тех пор, пока ее уровень в капилляре 5 не остановится на уровне конца капилляра 3. Если в это время уровень ртути в капилляре 3 находится на расстоянии  $h$ , мм, от конца, то давление в нем в этот момент равно  $g\gamma h$ . Поскольку в момент начала измерения, до сжатия, давление в объеме 2 было равно измеряемому, то по закону Бойля — Мариотта получаем:

$$pV = g\gamma h \frac{\pi d^2}{4} h, \text{ откуда } p = g\gamma \frac{\pi d^2}{4V} h^2,$$

где  $V$  — первоначальный объем;  $d$  — диаметр капилляра,

Можно обозначить  $g\gamma \pi d^2 / 4V = c$  — постоянная для данного образца манометра. Входящие в нее величины могут быть найдены экспериментально. Тогда  $p = ch^2$ .

В прошлом компрессионные манометры применялись довольно широко, однако в настоящее время они вытеснены вакуумметрами промышленного производства.

Деформационные манометры — единственные применяемые в промышленности манометры для измерения низких давлений, на чувствительный элемент которых непосредственно воздействует давление разреженного газа. Они имеют наиболее высокую точность измерения, но могут измерять давление не ниже  $10^3$  Па. В качестве чувствительного элемента в деформационных манометрах используются серпообразная трубка (трубка Бурдона), мембраны и сильфоны. В трубчатых манометрах используется эффект изменения радиуса кривизны трубки в результате изменения давления в ее полости (рис. 8-8, а), в мембранном и сильфонном — деформация перегородки или трубчатой пружины-сильфона под действием избыточного давления, приложенного к одной из сторон (рис. 8-8, б). Ввиду того, что деформации чувствительных

элементов невелики, для отсчета их применяются трансформирующие системы: механические (зубчатая передача на стрелку) и электрические (индукционные, емкостные), сигнал которых может быть легко усилен измери-

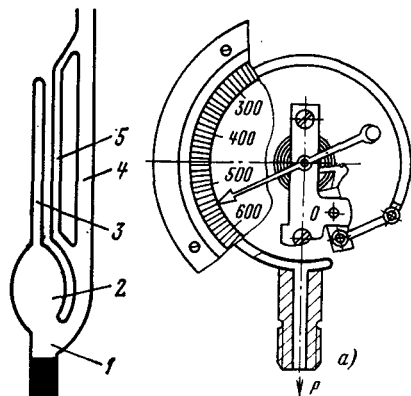


Рис. 8-7.

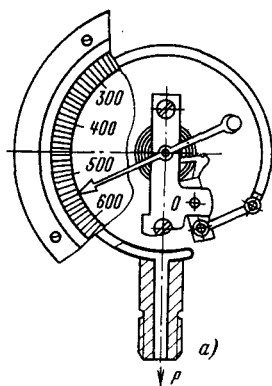


Рис. 8-8.

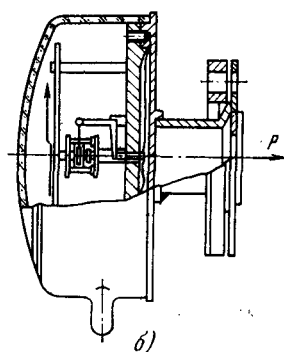


Рис. 8-7. Компрессионный манометр.

1 — трубка; 2 — шарик; 3 — измерительный капилляр; 4 — трубка; 5 — сравнительный капилляр.

Рис. 8-8. Деформационные манометры.

а — пружинный стрелочный манометр; б — мембранный стрелочный манометр.

тельной схемой. Основные технические характеристики промышленных деформационных манометров приведены в табл. 8-4.

Таблица 8-4

Параметры деформационных манометров

Тип манометра	Тип датчика	Пределы измерения, Па	Чувствительность, Па на 1 деление шкалы
Вакуумметр	Полая трубка, стрелочный	0—10 <sup>5</sup>	667
Вакуумметр МЭД2303, МЭД2306	Индукционный	0—10 <sup>5</sup>	1333
Мановакуумметр электроконтактный ЭКМ1401	Мембрана, стрелочный	0—10 <sup>5</sup>	2666
Деформационный манометр ДММ-40 ДММ-1000	Индукционный	0—5·10 <sup>3</sup> 0—1,3·10 <sup>5</sup>	0,13 мВ/Па 0,0053 мВ/Па

К деформационным манометрам следует отнести также сильфонные и мембранные вакуумные реле, используемые в откачных автоматах для запираания гнезд, в которых отсутствует откачиваемая лампа или имеется натекание через оболочку лампы в результате дефекта заварки или из-за трещины. В таких реле деформация чувствительности элемента преобразуется в электрический сигнал с помощью микропереключателя, регулируемого контакта, а в последнее время — замыканием цепи тиристора или транзистора.

**Манометрические преобразователи.** Датчики вакуумметров, основанных на косвенном измерении давления разреженного газа, называются манометрическими преобразователями — они преобразуют давление или плотность газа в электрический сигнал, который затем усиливается измерительной схемой вакуумметра и отсчитывается по стрелочному прибору. Промышленностью выпускаются термоэлектрические, термопарные, магнитные, электроразрядные, ионизационные, инверсионно-магнетронные и другие преобразователи. Их технические характеристики приведены в табл. 8-5.

Следует отметить, что манометрические преобразователи имеют невысокую точность, погрешность измерения с их помощью достигает 50% измеряемой величины. Однако и требования, предъявляемые к точности промышленных измерений, не бывают слишком высокими, обычно достаточно знать лишь порядок значений давления.

**Термопарные преобразователи** нашли наибольшее применение в электроламповой промышленности. Их действие основано на линейной зависимости теплопроводности газа от давления при низких давлениях. Преобразователь представляет собой оболочку 1 из стекла (ЛТ-2) или низкоуглеродистой стали (ЛТ-4М), внутри которой на вводах смонтированы (рис. 8-9) нить накала 2 и хромель-копелевая термопара 3. Если реостатом 5 установить ток подогрева, то при понижении давления температура спая термопары будет возрастать и по термо-э. д. с., измеряемой милливольтметром 4, можно судить о давлении. Этим методом измеряются давления от 10<sup>2</sup> до 10<sup>-1</sup> Па. Для измерения больших давлений в современных вакуумметрах имеется специальный поддиапазон, где измерение производится обратным методом: поддерживается автоматически постоянство термо-э. д. с.,

а о давлении судят по току подогрева, который необходим при данном давлении для поддержания заданной э. д. с.

Таблица 8-5

Параметры манометрических преобразователей

Тип преобразователя	Применяемый прибор	Диапазон измерений, Па	Габариты, мм		Масса, кг
			Диаметр	Высота	
Термопарный:					
ЛТ-2	ВТ-3, ВТ-2А, ВИТ-1А, ВИТ-2	$6 \cdot 10^4 - 10^{-1}$	32	280	0,05
ЛТ-4М	ВТ-2А, ВИТ-1А, ВИТ-2	$25 - 10^{-1}$	32	108	0,04
Теплоэлектрический:					
МТ-6	ВСБ-1, ВИС-1-3	$4 \cdot 10^5 - 1$	20	175	0,025
МТ-8	ВТ-2А	$65 - 10^{-1}$	78	66	0,43
Ионизационный:					
ЛМ-2	ВИТ-2, ВИТ-1А	$10^{-1} - 10^{-5}$	32	280	0,05
ЛМ-3	ВИТ-2, ВИТ-1А	$1 - 10^{-5}$	32	280	0,05
ЛМ-3-2	ВИТ-2, ВИТ-1А	$1 - 10^{-5}$	90	130	0,5
ИМ-12	ВИ-12	$10^{-3} - 10^{-8}$	90	100	0,6
МИ-12-8	ВИ-12	$10^{-3} - 10^{-8}$	90	—	—
Магнитный электроразрядный:					
ММ-13М-4	ВМБ-3А	$2,5 - 10^{-5}$	80	205	2,3
ММ-13-4А	ВМБ-3А	$2,5 - 10^{-5}$	100	205	2,3
ММ-15С	ВМ-5, ВМБ-4, ВМБ-5	$10 - 10^{-3}$	70	157	1,4
Инверсионно-магнетронный:					
ММ-14М	ВИМ-2	$10^{-2} - 10^{-11}$	90	142	2,3
ММ-22	ВИМС-1-3	$1 - 10^{-4}$	90	70	0,9
Радиоизотопный:					
МР-8	ВР-4	$10^5 - 10^{-2}$	60	200	0,9

Термопарные преобразователи обладают значительной инерционностью (15—20 с), поэтому быстро протекающие процессы ими не могут регистрироваться.

**Теплоэлектрические преобразователи** также основаны на зависимости теплопроводности от плотности газа, в них измеряется сопротивление нити накала, изменяющееся в зависимости от температуры нити. Теплоэлектрические преобразователи выпускаются либо в металлической трубчатой оболочке (МТ-6), либо открытые на

фланце для монтажа в металлические вакуумные установки (МТ-8). Преобразователь (рис. 8-10) присоединяется к вакуумной системе и включается в измерительную схему.

Измерительная схема представляет собой обычный мост для измерения сопротивления, в одно из плеч которого включена нить накала манометрической лампы.

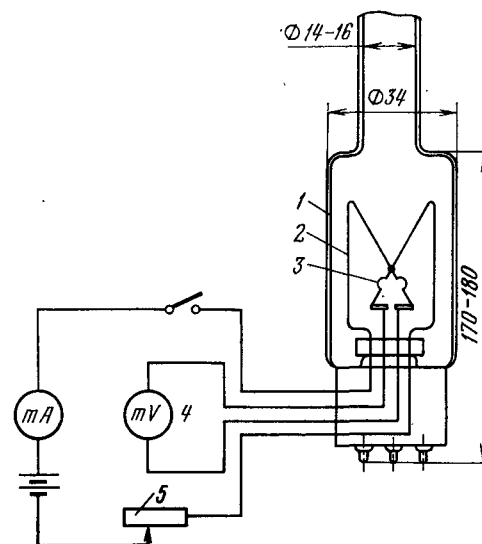


Рис. 8-9. Схема термопарного манометра.

При включении цепи моста устанавливается с помощью реостата ток накала нити преобразователя по миллиамперметру 1, указываемый в ее паспорте, и в дальнейшем поддерживается постоянным при всех измерениях. Затем до начала откачки устанавливают равновесие моста ( $r_1 = r_2$ ) за счет изменения сопротивления  $r_2$ , продолжая поддерживать при этом установленный ток накала.

При достижении достаточно низкого давления в вакуумной системе теплопроводность газа начинает заметно уменьшаться, температура нити и сопротивление  $r_1$  повышаются и тем самым равновесие моста нарушается (стрелка миллиамперметра 2 перемещается вправо от нулевого положения). По положению стрелки на шкале миллиамперметра 2 судят о давлении в вакуумной системе, проградуировав заранее манометр.

Манометром сопротивления возможен непрерывный контроль за состоянием вакуума, он прост в изготовлении и имеет простую измерительную схему. Однако манометр имеет большую инерционность (20 с), и показания манометра зависят от рода газа.

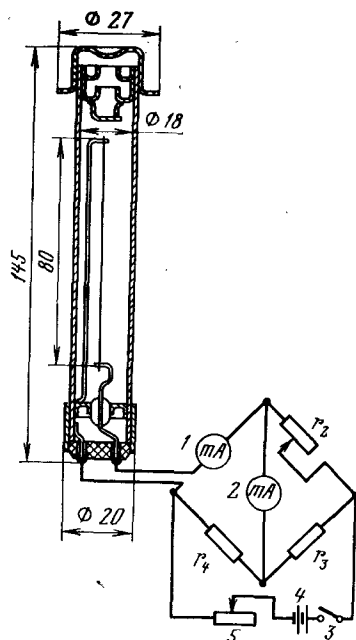


Рис. 8-10.

Рис. 8-10. Схема манометра сопротивления.

$r_1$  — сопротивление нити манометрической лампы;  $r_2$  — резистор с переменным сопротивлением;  $r_3$  и  $r_4$  — резисторы с постоянным сопротивлением; 1, 2 — миллиамперметры; 3 — выключатель; 4 — батарея; 5 — реостат.

Рис. 8-11. Ионизационный преобразователь.

1 — катод; 2 — анод; 3 — коллектор ионов; 4—6 — выводы соответственно катода, анода и коллектора; 7 — стеклянная колба; 8 — трубка.

**Ионизационные преобразователи** основаны на измерении ионного тока при ионизации молекул остаточных газов электронами, эмиттируемыми накалившимся катодом при постоянстве тока эмиссии.

Ионизационный преобразователь (рис. 8-11) представляет собой стеклянную колбу 7, внутри которой размещены катод 1, анод 2 и коллектор ионов 3. К вакуумной системе лампа напаяется отростком 8. Эмиттиру-

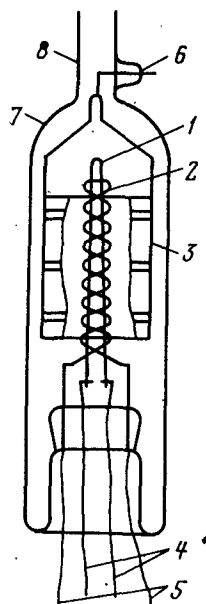


Рис. 8-11.

мые катодом электроны под действием ускоряющего электрического поля устремляются по направлению к сетке, и ввиду большого шага сетки значительная часть их пролетает в пространство сетка — коллектор; попадая в тормозящее поле и не дойдя до коллектора, электроны начинают движение обратно к сетке; значительная часть электронов опять пролетает сетку и, попадая в тормозящее поле катода, не долетев до него, поворачивает снова к сетке и т. д.; такие колебания электронов повышают вероятность столкновения их с молекулами, и тем самым увеличивается степень ионизации их. Основная ионизация газа происходит на участке сетка — коллектор.

Положительные ионы под действием ускоряющего поля коллектора, устремляются к нему, отдавая ему свой положительный заряд, и тем самым создают в его цепи ионный ток  $I_i$ .

Отношение ионного тока к электронному прямо пропорционально давлению газа в манометрической лампе:

$$I_i/I_e = kp,$$

где  $k$  — чувствительность манометра,  $\text{Па}^{-1}$ ;  $p$  — давление, Па.

Поскольку при измерении давления электронный ток  $I_e$  поддерживают неизменным, то

$$I_i = Cp,$$

где  $C = I_e k$  — постоянная ионизационного манометра.

Итак, давление определяется соотношением  $p = I_i/C$ .

Таким образом, для измерения давления, достаточно при заданном электронном токе измерить ионный ток и разделить его значение на постоянную манометра.

Ионизационными манометрами можно измерять давления от  $10^{-1}$  до  $10^{-8}$  Па.

**Магнитные электроразрядные преобразователи** основаны на ионизации молекул остаточного газа разрядом между помещенными в магнитное поле электродами. Мерой давления служит сила разрядного тока. Преобразователи присоединяются к вакуумной системе фланцем (ММ-13-4А) или напаяются на стеклянную трубку (ММ-15С).

**Радиоизотопный преобразователь МР-8** основан на свойстве альфа-частиц, образующихся в результате распада

атомов плутония, помещенного в преобразователь ионизировать остаточный газ, в результате чего образуется ионный ток, пропорциональный плотности газа.

#### 6) МЕТОД ГРУБОЙ ОЦЕНКИ ВАКУУМА

Грубую оценку степени разрежения газа в вакуумной системе или в лампе можно производить по свечению газа в электрическом разряде. Характер свечения, его форма и окраска меняются с изменением давления.

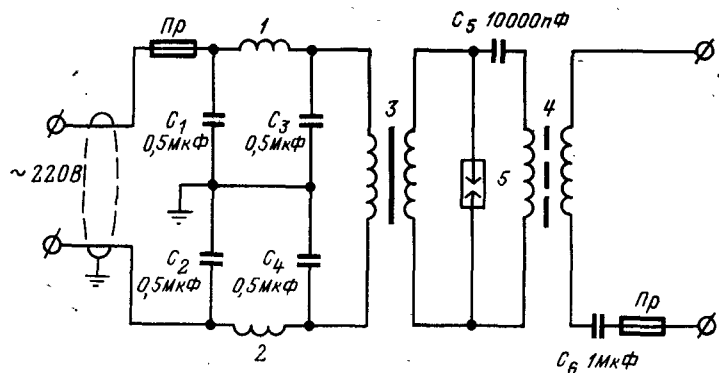


Рис. 8-12. Электрическая схема искрового течеискателя.

Однако затруднения при использовании этого метода заключаются в том, что характер свечения газа зависит также от рода газа, наличия в нем посторонних примесей, формы и материала сосуда и параметров источника напряжения. Установив же экспериментально связь между давлением и характером свечения, а также имея некоторый практический опыт, можно быстро и правильно оценивать давление газа.

Для возбуждения разряда используется искровой течеискатель (аппарат Тесла, рис. 8-12). Он состоит из колебательного контура, образованного реакторами 1 и 2 и конденсаторами  $C_1$ — $C_4$ , повышающего трансформатора 3 и высоковольтного резонансного (без сердечника) трансформатора Тесла 4, параллельно первичной катушке которого включен разрядный промежуток 5 с вольфрамовыми контактами.

Первичный колебательный контур через повышающий трансформатор 3 питает вторичный контур, образован-

ный первичной катушкой высокочастотного трансформатора 4, разрядным промежутком 5 и конденсатором  $C_5$ . В этом контуре возникают вследствие периодического заряда и разряда конденсатора  $C_5$  высокочастотные колебания с частотой более 300 кГц, индуктирующие во вторичной обмотке трансформатора 4 ток высокого напряжения. Один контакт вторичной обмотки трансформатора заземлен, а ко второму присоединен электрод, с помощью которого высокочастотное напряжение подается на испытуемый объект. При приближении электрода к металлическим предметам между ними и электродом проскакивают искры.

В качестве грубого индикатора вакуума в вакуумной системе используется припаянная к ней разрядная трубка. Для возбуждения разряда в трубке к одному из ее электродов прикладывается электрод искрового течеискателя, другой электрод трубки можно оставить свободным или заземлить для облегчения возбуждения электрического разряда. Возникающий электрический разряд сопровождается свечением, по характеру которого можно оценивать степень разрежения в вакуумной системе.

В зависимости от давления в разрядной трубке свечение изменяется как по своей форме, так и по цвету. Характер свечения (в случае воздуха) может быть описан следующим образом:

при высоких давлениях не наблюдается никакого свечения, и лишь в случае мощной искры на электродах разрядной трубки можно обнаружить едва заметную корону;

при давлении в несколько тысяч паскалей возникает видимый разряд в форме тонкой фиолетовой нити между электродами, постепенно расширяющийся по мере дальнейшей откачки;

при давлении в несколько сотен паскалей разряд между электродами принимает форму широкой светящейся полосы с голубовато-розовой окраской;

с дальнейшим уменьшением давления разряд принимает все более и более розовую окраску, выходит из разрядной трубки и постепенно распространяется по трубкам вакуумной системы;

при давлении в несколько десятков паскалей и ниже свечение начинает оттягиваться к электродам трубки;

при давлении в несколько паскалей и ниже свечение разряда наблюдается только у электродов; начинается



свечение стенок стекла (зеленое, синее или иного оттенка в зависимости от состава стекла);

при давлении порядка десятых долей паскаля свечение разряда в газе прекращается, свечение стенок трубки ослабевает;

при давлении  $10^{-2}$  Па и ниже исчезает всякое свечение (эту область давления иногда называют «черным» или «темным» вакуумом).

Для определения давления в отпаянных газонаполненных лампах изготавливают специальные эталонные лампы с разными давлениями газа и по ним сравнивают испытываемые лампы.

Часто в производстве не прибегают к напайке разрядной трубки, а просто подносят электрод теческатель к одной из стеклянных трубок вакуумной системы и наблюдают в ней свечение газа.

Описанный метод грубой оценки вакуума имеет широкое распространение, он дает удобную возможность наблюдать за ходом откачки и вовремя сигнализировать о наличии грубой негерметичности в вакуумной системе.

### 8.3. ТЕЧЕИСКАНИЕ

Натекание является одним из самых распространенных и в то же время трудноуловимых видов брака источников света. Борьба с ним представляет большие трудности ввиду необходимости прежде всего обнаружить место течи.

На поиски течи часто приходится тратить очень много времени и средств. Поэтому при конструировании вакуумной схемы необходимо помнить о будущих поисках течи. Для этой цели, пользуясь кранами или вентилями, необходимо вакуумную систему делить на изолированные участки и предусматривать достаточное число мест для установки датчиков для теческания.

Единицей натекания в системе СИ является  $\text{Па} \cdot \text{м}^3/\text{с}$ , т. е. поток газа через течь, при котором в объеме, равном  $1 \text{ м}^3$ , давление возрастает на  $1 \text{ Па}$  в  $1 \text{ с}$ .

При низких давлениях в вакуумной системе, когда движущаяся разность атмосферного давления и давления в системе, несмотря на натекание, остается постоянной, натекание постоянно.

Наиболее простым методом обнаружения течи является компрессионный метод, основанный на создании в испытываемом объеме избыточного давления (порядка

$0,1\text{--}0,5 \text{ МПа}$ ). Этот метод очень удобен для предварительного испытания на герметичность металлических приборов и деталей (насосов, трубопроводов, резервуаров и т. п.).

Для обнаружения больших течей давление внутри испытываемого объема можно создать при помощи сжатого воздуха или других газов, при этом внешними указателями места течи могут служить задувание или колыбание пламени поднесенной горелки, звук (шипение) выходящего газа и др.

Для отыскания более тонких течей применяют в качестве указателя мыльную пленку, которая, попав на место течи, образует пузырьки. Хороший результат дает метод, при котором избыточное давление внутри испытываемого объема создается двуокисью углерода  $\text{CO}_2$ , а указателем течи служит аммиак  $\text{NH}_3$  — место течи обнаруживается по образованию вблизи него дыма. Чувствительность этих методов составляет  $(5\text{--}10) \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ .

Еще более тонкие течи (до  $0,1 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{см}^3/\text{с}$ ) можно обнаружить, если для создания избыточного давления используется аммиак; при этом подозрительные места покрывают влажной светокопировальной бумагой, которая под действием проходящего через течь аммиака чернеет и тем самым точно обнаруживает места течи.

Течи в стеклянной вакуумной системе при пониженном давлении быстро обнаруживаются искровым теческателем. Если в стеклянных трубках имеются незаметные для газа трещины, то при приближении к ним электрода искрового теческателя в этих местах возникают ярко светящиеся искорки и достигается точная фиксация места течи. При пользовании этим методом необходимо помнить, что мощный высокочастотный разряд или слишком длительное удерживание электрода теческателя на одном месте может привести к пробоем стеклянной стенки.

Как известно, форма и цвет электрического разряда в газах в большой степени зависят от давления и состава газа. Если напаять на участке вакуумной системы разрядную трубку и обдувать испытываемые места газом ( $\text{CO}_2$ , фреоном, светильным и т. п.) или смачивать растворителями (бензин, эфир, спирт), то при проникновении газа или паров пробного вещества через течь в вакуумную систему изменится цвет разряда. Таким образом можно обнаружить течи порядка  $10^{-8} \text{ Па} \cdot \text{м}^3/\text{с}$ .

Другая группа методов течеискания при пониженном давлении основывается на том, что показания некоторых вакуумметров зависят от рода газа.

С помощью ионизационного манометра можно обнаруживать течи при давлении в вакуумной системе не менее  $10^{-1}$  Па. Для обнаружения места течи испытываемые участки обдуваются пробным газом. При его проникновении в вакуумную систему состав газа в манометриче-

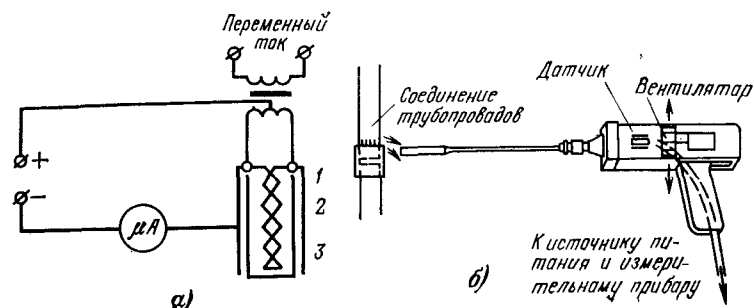


Рис. 8-13. Галоидный течеискатель.  
а — схема устройства датчика; б — щуп.

ской лампе меняется, меняется потенциал ионизации, а следовательно, и ионизационный ток. Отклонение стрелки прибора указывает, что течь обнаружена. Этот способ применим ко всем манометрам для низкого давления, показания которых зависят от рода газа. При использовании тепловых манометров (термопарного или сопротивления) подбирают такие пробные пары или газы, которые по сравнению с воздухом обладают или значительно большей или значительно меньшей теплопроводностью.

Галоидный течеискатель, обладая чувствительностью  $(0,3-0,9) \cdot 10^{-6}$  Па·м<sup>3</sup>/с, позволяет работать при больших давлениях в испытываемой вакуумной системе. Как известно, накаливаемая платина даже на воздухе эмиттирует положительные ионы, особенно резко возрастает ионный ток с платины в присутствии паров галоидов.

В галоидном течеискателе (рис. 8-13,а) в качестве датчика применяется специальный диод, одним из электродов которого является платиновый цилиндр (анод) 1, нагреваемый подогревателем 2 до температуры 800—900 °С. На него подается положительный потенциал. Другой цилиндр (катод) 3, изготовленный из нержавеющей

стали, соединен с отрицательным полюсом. Ионный ток анода регистрируется микроамперметром. Напряжение между нагретым анодом и катодом должно быть таким, чтобы улавливались все образующиеся ионы.

Датчик галоидного течеискателя помещается в специальный прибор-щуп (рис. 8-13,б).

В качестве пробного газа применяются в основном фреон, четыреххлористый углерод, трихлорэтилен и т. п. При испытании в испытываемую систему вводят пробный газ под давлением выше атмосферного. Газ выходит из течи и попадает при помощи подведенного к течи щупа в датчик, вызывая резкое отклонение показаний микроамперметра.

Данные выпускаемых промышленностью переносных галоидных течеискателей приведены в табл. 8-6.

Таблица 8-6

Параметры галоидных и масс-спектрометрических течеискателей

Тип течеискателя	Чувствительность, $10^{-6}$ Па·м <sup>3</sup> /с	Габариты, мм	Масса, кг
Галоидный, атмосферный (для компрессионного метода) ГТИ-3 . . . . .	0,32	312×230×210	10,6
Галоидный, вакуумно-атмосферный (для наружного обдува) ВАГТИ-4	0,30	388×245×300	18,0
Галоидный, батарейный (для длинных трубопроводов) БГТИ . . . . .	0,93	286×293×136	6,0
Масс-спектрометрический ПТИ-6 . . . . .	$6,7 \cdot 10^{-5}$	780×600×1250	250,0
Масс-спектрометрический ПТИ-7 . . . . .	$6,7 \cdot 10^{-6}$	780×600×1250	250,0

Наиболее чувствительными течеискателями, предназначенными для испытания на герметичность высоковакуумных систем под вакуумом, являются течеискатели типов ПТИ-6, ПТИ-7 и более старый типа ПТИ-4А. Они представляют собой специальный тип масс-спектрометра, настроенный на измерение парциального давления гелия. Масс-спектрометрические течеискатели снабжены собственной откачной системой с паромасляным насосом и подключаются к испытываемой системе, элементы которой

обдуваются снаружи гелием. При проникновении гелия в систему через течь он засасывается теческателью в масс-спектрограф. При этом подается звуковой сигнал, а величину течи можно оценить по стрелочному прибору. Технические характеристики масс-спектрометрических теческательей приведены в табл. 8-6.

За последние годы разработан и внедрен в практику люминесцентный метод определения натекания без откачки испытываемого объекта.

Испытываемый на натекание объект (целиком или какая-то его часть) помещается на некоторое время в раствор люминофора. Если в погруженном объекте имеется течь, раствор люминофора, просачиваясь под действием капиллярных сил через трещину, накапливается на противоположной стенке, где по мере испарения растворителя накапливается подсохший люминофор. Если затем испытываемый объект облучить ультрафиолетовыми лучами (ртутно-кварцевой лампой с «черным» фильтром), то светящийся люминофор укажет на место нахождения течи. Для лучшего наблюдения за светящейся точкой удобно пользоваться лупой для увеличения видимой поверхности светящейся точки. Если выдерживать обследуемый объект в люминофорном растворе несколько часов, то люминесцентным методом можно достичь чувствительности  $10^{-8}$ — $10^{-9}$  Па·м<sup>3</sup>/с, а при выдержке в несколько суток чувствительность увеличивается еще на порядок.

Ценность люминесцентного метода заключается в том, что с помощью его можно выявить открытую, неуловимую для других методов, причину натекания (в спаях, незаваренных ножках и др.).

#### 8-4. ЭЛЕМЕНТЫ ВАКУУМНЫХ СИСТЕМ

**Вакуум-проводы** предназначены для соединения отдельных элементов вакуумных установок. Они изготавливаются главным образом из стекла, металла и синтетических материалов. К ним предъявляются такие требования, как отсутствие пор и раковин, малая газоотдача и малая газопроницаемость, возможность легкого обезгаживания, низкое давление пара и др.

Вакуумные установки, предназначенные для изготовления небольших партий специальных источников света, а также для проведения исследовательских работ, изгото-

тавливают целиком из стекла. Обычно для этих целей применяются тугоплавкие стекла, которые выдерживают более высокую температуру обработки.

Для жестко спаянных стеклянных вакуумных систем все детали должны изготавливаться из стекла одного и того же состава. Если это невозможно, то между стеклами с большой разницей в температурных коэффициентах расширения впаиваются переходы.

Металлические вакуум-проводы (в основном из меди) применяются для соединения штуцеров золотника автомата откачки с вакуумными насосами, магистралями промывочного и наполняющего газов. Для подсоединения гнезд к магистралям откачки и промывочного газа на откачных автоматах применяют коллекторы-гребенки из бесшовных стальных и латунных труб.

Соединения металлических вакуум-проводов производят с помощью вакуумных шлангов, обладающих устойчивостью против минеральных масел. За последнее время вместо резиновых шлангов используются шланги из синтетического материала — поливинилхлорида, которые имеют значительно меньшую газоотдачу и обладают прозрачностью, благодаря чему легко обнаруживаются появившиеся внутри них загрязнения.

**Разъемные соединения.** Стеклянные трубопроводы вакуумных установок соединяются (при отсутствии возможности использования спая стекла друг с другом) посредством шлифов. Шлифы в основном применяют конические (рис. 8-14) и реже шаровые.

Пришлифованные соединения уплотняются вакуумными апиэзоновыми (лучше кремнийорганическими) смазками, наносимыми между внутренним и наружным конусами.

Смазка наносится только на половину зоны шлифовки (верхнюю ее часть) внутреннего кожуха. Между непромасленными поверхностями остается, следовательно, узкая щель, представляющая собой большое сопротив-

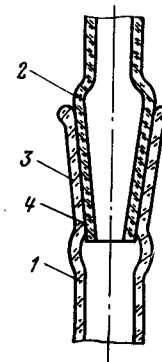


Рис. 8-14. Конический шлиф.

1 — наружный конус;  
2 — внутренний конус;  
3 — часть притертой поверхности со слоем смазки между ними;  
4 — непромазанная часть шлифа.

ление для газов и паров, которые еще могут выделяться из смазки.

Шаровые шлифы придают соединению некоторую подвижность, но они менее надежны.

Примером разъемного соединения стекла с металлом является соединение стеклянного колпака, под которым обезгаживаются детали токами высокой частоты, и металлического диска.

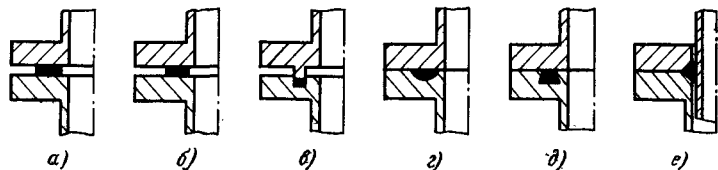


Рис 8-15. Различные формы фланцев.

а, б — гладкие фланцы; в—е — фланцы с канавками прямоугольного, полукруглого, трапециевидного и треугольного сечения.

Диск имеет канавку с гладкой поверхностью, в которую плотно вставляется кольцевая прокладка из резины или фторопласта. При таком соединении достигается остаточное давление порядка  $10^{-3}$  Па.

Металлические разъемные соединения большей частью выполняются в виде фланцев. Фланцы уплотняются при помощи кольцевых упругих прокладок, например из резины, фторопласта, при этом стремятся иметь как можно меньшую открытую поверхность прокладок в сторону откачиваемого объема. Примеры наиболее распространенных способов уплотнения фланцев упругими прокладками изображены на рис. 8-15. Размеры поперечных сечений канавок рассчитаны на то, чтобы при соприкосновении затянутых фланцев уплотняющее кольцо прокладки заполняло по меньшей мере 95% канавки.

Фланцевые уплотнения применяют, как правило, в тех случаях, когда диаметры соединяемых труб превышают 30 мм. Для присоединения металлических и стеклянных труб, диаметры которых меньше 30 мм, широко используют так называемые грибовые уплотнения, изображенные на рис. 8-16. Этот вид уплотнения обеспечивает надежное и легко разборное вакуумное соединение труб небольшого диаметра, выполненных из самых различных материалов.

Уплотнение вставляемой в «грибок» 1 трубы осуществляется за счет плотного прилегания к ней кольцевой

резиновой прокладки 2, сжатой до известного предела гайкой 4 через шайбу 3. Зазоры между уплотняемой трубой и стенкой, а также между трубой и шайбой должны быть достаточно малы, так как иначе при сильном нажиме резина может выдавливаться в эти зазоры.

Грибовые уплотнения, в частности, успешно применяются для присоединения к вакуумной системе патрубков термпарных, ионизационных и магнитоэлектроразрядных манометров и др.

Значительное выделение газов, ранее поглощенных резиной, не дает возможности применять ее на стороне высокого вакуума в установках, предназначенных для получения динамического предельного давления ниже  $10^{-4}$  Па, и почти полностью исключает ее использование в высоковакуумных коммуникациях установок, предназначенных для получения стационарного предельного вакуума.

Уменьшение количества газов, выделяемых резиной в вакуумную систему, достигается ограничением поверхности ее сопротивления с вакуумом.

При температурах, превышающих  $100-120^{\circ}\text{C}$ , вместо резиновых прокладок следует применять фторопластовые. Фторопласт обладает высокой нагревостойкостью (выше  $250^{\circ}\text{C}$ ) и исключительной стойкостью к действию химических реагентов; не горюч, не растворяется ни в одном растворителе, практически абсолютно не гигроскопичен.

В отличие от соединений с резиновыми прокладками герметичность соединения с уплотнителем из фторопласта определяется практически только натеканием через контакт между фторопластом и металлом.

Помимо фторопласта, в тех случаях, когда температура в процессе эксплуатации может превышать предельно допустимую для резины, применяют кремнийорганическую резину, которая отличается высокой нагревостойкостью, низкой температурой замерзания и малым изменением физико-химических характеристик в широком интервале рабочих температур (от  $-60$  до  $+200^{\circ}\text{C}$ ).

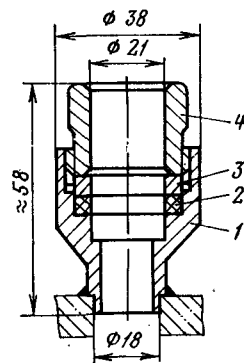


Рис. 8-16. Грибовое уплотнение.

При более высоких температурах в качестве уплотняющих материалов применяются металлические кольцевые прокладки, обладающие хорошей пластичностью, высокой температурой плавления и низким давлением насыщенного пара. Такие прокладки изготавливают из алюминия, серебра, меди, нержавеющей стали и никеля. У металлической прокладки создание замкнутой сплошной зоны контакта с уплотняемыми поверхностями осуществляется за счет ее пластической деформации. Поэтому необходимо обеспечить такие контактные напряжения, при которых прокладка течет, и, кроме того, создать на поверхности контакта упругие силы, за счет которых поддерживается плотность контакта. Наличие этих упругих сил должно обеспечиваться, с одной стороны, постоянно действующим давлением упругодеформированных болтов и фланцев, с другой стороны — упругими напряжениями материала прокладки.

**Краны и затворы.** В стеклянных вакуумных системах широко используются стеклянные краны разных конструкций, которые применяются для разобщения отдельных участков вакуумной системы и для дозирования газа при наполнении ламп (порционный или дозировочный кран).

Краны состоят из гнезда и притертой к нему полый пробки с гребешком (ручкой). Краны присоединяются так, чтобы полость пробки была направлена к участку вакуумной системы с меньшим давлением. Под действием атмосферного давления поверхность пробки прижимается к поверхности гнезда. Если давление в вакуумной системе превысит атмосферное, то пробка крана может быть выброшена из муфты.

В зависимости от числа трубопроводов, присоединяемых к гнезду, краны бывают двухходовыми и трехходовыми.

Краны смазываются так же, как и конические шлифы. Нельзя допускать лишней смазки и ее сосредоточения в районе отверстия пробки (оставляется несмазанным небольшой поясик на уровне отверстия).

Когда в вакуумной системе краны со смазкой использовать нельзя (растворение смазки протекающим через кран газом или их химическое взаимодействие), для разобщения отдельных участков вакуумной системы при условии небольшой разницы давлений в них пользуются ртутными затворами.

**Вакуумные клапаны** применяются для соединения и перекрытия отдельных частей вакуумных систем.

Конструкция вакуумных клапанов, используемых в форвакуумных трубопроводах, во многом напоминает вентили, применяемые в водопроводных и газовых системах, но они обладают характерными особенностями, связанными с повышенными требованиями к герметичности.

Герметичность клапана по отношению к атмосферному давлению (возможное натекание по резьбе) созда-

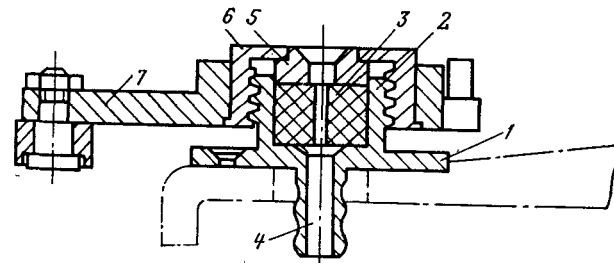


Рис. 8-17. Откачное гнездо.

ется за счет применения специального уплотнения (резинового, сильфонного или мембранного) между крышкой и штоком.

Мембранные клапаны применяются в вакуумных системах с относительно небольшой быстротой откачки, так как мембрана допускает лишь небольшую величину хода штока и клапан поэтому имеет большое сопротивление.

**Откачные гнезда.** Назначение откачных гнезд заключается в создании вакуум-плотного соединения лампы с откачной системой (в основном через штенгель).

Существует много конструкций зажимных гнезд, рассмотрим некоторые из них.

На рис. 8-17 представлена одна из конструкций откачного гнезда автомата. Откачное гнездо состоит из корпуса 1, в верхней части которого имеется гнездо 2 с наружной резьбой, а в нижней — штуцер 4, соединяющий гнездо с вакуумной системой. Корпус закреплен на карусели откачного автомата. Вложенный в гнездо резиновый вкладыш 3 своим основанием упирается в дно гнезда, а сверху прижат металлическим прижимом 5 с надетым на него резьбовым кольцом 6. Лампу вставляют штенгелем в отверстие резинового вкладыша. При

завертывании или отвертывании резьбового кольца рычагом 7 происходит изменение давления на вкладыш в осевом направлении и соответственно автоматическое обжатие или освобождение штенгеля.

На позициях загрузки ламп в гнезда и вытаскивания остатков штенгелей штенгели освобождаются, на позициях же, где должна быть обеспечена непроницаемость, штенгели плотно обжимаются.

Конструкция более современного гнезда откачного автомата представлена на рис. 8-18. В корпусе 1 выполнен зажим 2, снабженный вкладышем из кремнийорганической резины. Под гнездом расположен стек-

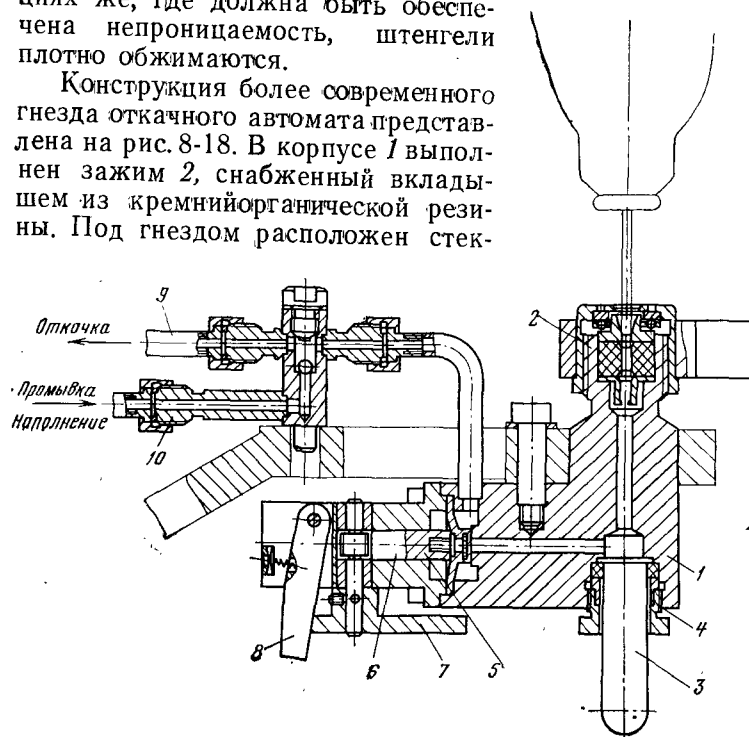


Рис. 8-18. Откачное гнездо автомата непрерывного действия.

лянный сборник для осколков стекла 3, укрепленный грибовым зажимом 4. Откачное гнездо снабжено быстродействующим клапаном 5, резиновый уплотнитель которого поджимается к торцу корпуса пружиной, а отводится вместе со штоком-рейкой 6 с помощью рычага 7, сидящего на одной оси с шестерней, зацепляющейся с рейкой 6. В открытом положении клапан удерживается защелкой 8. В случае необходимости, например при обнаружении натекания в гнездо, достаточно легкого нажима на защелку 8, и клапан гнезда захлопывается, отъединив гнездо

от вакуумной системы. Откачка и наполнение ламп производятся по различным трубопроводам 9 и 10 соответственно, чтобы избежать обратного заноса в лампы загрязнений, удаленных при откачке и частично осевших на стенках трубопровода.

**Вакуумные реле** используются для сигнализации о натекании в откачных автоматах, для чего используются стеклянные или металлические контактные манометры.

В стеклянном контактном манометре при повышении давления в вакуумной системе ртуть в закрытом его колене поднимается и замыкает контакты электрической цепи. Однако ввиду недостаточной прочности стекла возможны его поломки и разлив ртути.

Металлический манометр может быть подключен или к глухой позиции (после первой откачиваемой позиции), и течь обнаруживается по повышению давления в гнез-

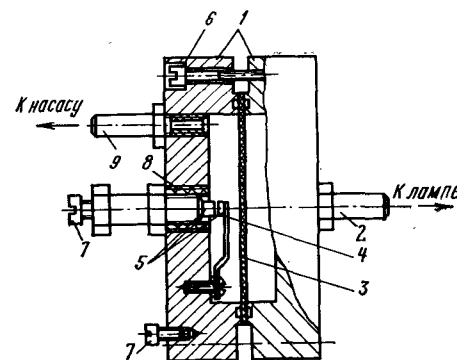


Рис. 8-19. Вакуумное реле.

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.

де, или к откачиваемой позиции, при этом уменьшают быстроту откачки в месте подключения манометра путем уменьшения проводимости вакуум-проводов между манометром и насосом.

Вакуумное реле с мембраной представлено на рис. 8-19.

Резиновая мембрана 3 разделяет внутреннюю полость реле на две камеры А и Б, одна из которых соединена с патрубком откачного гнезда, другая — с патрубком предварительного вакуума. При внезапном повышении

давления в гнезде нарушается равновесие разрежения камер *A* и *B*, мембрана изгибается, нажимает на латунную пружину *4* и замыкает через другой контакт электрическую цепь реле, чем производится автоматическое отключение откачного гнезда от вакуумной системы. На некоторых автоматах по сигналу вакуумного реле (загорание лампы или звонок) гнездо отключается вручную.

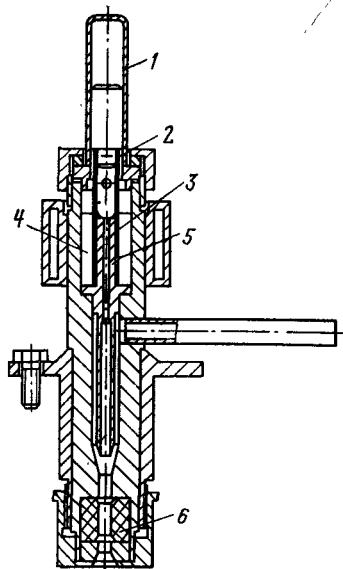


Рис. 8-20. Головка для дозирования ртути.

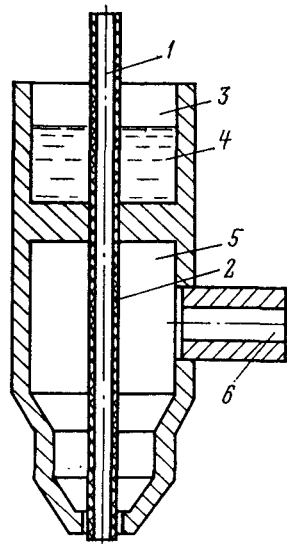


Рис. 8-21. Схема дозировочной головки.

Кроме мембранных реле, применяются сильфонные, причем для повышения чувствительности используются рычажные системы, а для обеспечения надежности вместо контактов иногда применяется индукционный датчик.

**Дозатор ртути.** Дозатор ртути применяется для введения в лампу капли ртути.

Дозатор, применяемый на откачных автоматах для люминесцентных ламп, изображен на рис. 8-20. Такие дозаторы устанавливаются на каждой позиции автомата и представляют собой единое устройство с откачным гнездом.

Ртуть *4* вводится в лампу через штенгель, который укреплен в резиновом уплотняющем вкладыше *6*.

Установленный на позиции дозировки ртути электромагнит создает магнитное поле, проникающее сквозь немагнитный колпачок *1*. В результате воздействия магнитного поля подвижная труба *2* поднимается вверх и капля ртути, находящаяся в косом пазу *5*, попадает в отверстие неподвижной трубки *3* и далее вниз в лампу. После выключения электромагнита подвижная трубка занимает первоначальное положение. Масса дозируемой капли ртути составляет 30—50 мг.

В некоторых дозаторах на каждом колпачке *1* установлен свой электромагнит (см. рис. 8-35), который включается на позиции дозировки неподвижными пружинными контактами.

Конструктивная схема дозатора поршневого типа изображена на рис. 8-21. При включении электромагнита трубка *1* поднимается в крайнее верхнее положение и дунка *2* заливается ртутью *4* из резервуара *3*. При отключении электромагнита трубка *1* опускается в первоначальное положение и капля ртути через отсек *5* попадает в лампу. Откачка отсека *5* ведется через патрубок *6*.

**Соединители.** Стеклянными соединителями соединяют патрубки откачного гнезда с патрубками верхнего золотника откачного автомата. В соединителях предусмотрена ловушка (поз. 36 на рис. 8-30) для сбора масла, осколков штенгелей и других загрязнений. Края патрубков соединителей оплавляют, чтобы они не повреждали надеваемую на них резину.

Соединители рекомендуется периодически продувать сжатым воздухом или азотом, грязные же соединители немедленно заменяются и используются повторно только после их промывки.

## 8-5. ОБЕЗГАЖИВАНИЕ ЛАМП

Для получения в лампе хорошего и устойчивого вакуума необходимо подвергнуть тщательному обезгаживанию колбу и все внутренние детали лампы. Обезгаживание необходимо не только для получения заданного разрежения в лампе, но и для создания условий, исключающих повышение давления выше допустимого при ее эксплуатации и хранении. Выделяющиеся газы особенно активные, и пары воды приводят к преждевременному выходу из строя ламп или в лучшем случае к их нестабильной работе. Внутривлампные детали (электроды, экраны, поддержки и др.), имеющие при работе ламп

высокую температуру, при плохом вакууме окисляются, что приводит к выходу ламп из строя. Остаточные газы в лампе подвергаются ионизации потоком электронов. При плохом вакууме в лампе ионизация может привести даже к возникновению дугового разряда (вакуумные лампы накаливания) или к разрушению катода разрядом (газоразрядные лампы).

Все внутренние детали ламп (стеклянные, металлические, слюдяные и др.) содержат растворенные в их структуре и адсорбированные на поверхности газы. Если их предварительно не удалить, то они будут выделяться в объем работающей лампы, ухудшат в ней вакуум и выведут лампу из строя. Удаление из материала деталей лампы растворенных и адсорбированных газов производится главным образом во время откачки.

При температурах, близких к комнатной, скорость диффузии атомов газа сквозь металл чрезвычайно мала, и поэтому удалить растворенные газы невозможно. Кроме того, растворенные и адсорбированные газы образуют с металлом деталей более или менее устойчивые соединения (окислы, нитриды, гидриды и др.). Поэтому, чтобы удалить из деталей растворенные и адсорбированные газы, детали следует прогреть. После высокотемпературного обезгаживания газоотделение деталей при низкой температуре практически отсутствует. Поэтому температура деталей при обезгаживании должна быть выше, чем в работающей лампе. На практике обезгаживание ведут при таких температурах, которые выдерживают материалы деталей (до начала распыления металла, деформации, разложения химических соединений и др.).

Ответственные и трудно обезгаживаемые детали обезгаживаются в два приема — предварительно (до сборки ламп) и окончательно (при вакуумной обработке).

Обезгаживание металлических деталей во время вакуумной обработки ламп производят следующими основными методами: прокаливанием при пропускании тока через деталь; нагревом токами высокой частоты; электронной бомбардировкой; ионной бомбардировкой.

Методом прокалывания током обезгаживают такие детали, как катоды, спирали и т. п.

Обезгаживанию токами высокой частоты подвергают наиболее ответственные металлические детали ламп — катоды и аноды газоразрядных ламп.

Электронной бомбардировкой в основном обезгаживают аноды газоразрядных ламп или же электроды газоразрядных ламп, работающих на переменном токе. При электронной бомбардировке используется кинетическая энергия электронов, эмиттируемых накалившимся катодом и устремляющихся под действием электрического поля к положительно заряженному (по отношению к катоду) электроду. При достижении электронами поверхности положительного электрода их кинетическая энергия превращается в теплоту, которая и повышает температуру электрода.

При ионной бомбардировке в откачанную до высокого вакуума лампу впускается некоторое количество газа, не действующего химически на накаливаемый катод. Ионы газа, ударяющиеся под действием электрического поля об электроды ламп, доводят последние до высокой температуры.

Ударами ионов выбиваются также молекулы других газов, адсорбированных на поверхности бомбардируемых электродов и со стенок стекла. После этого использованные для ионной бомбардировки газы удаляются насосом. Если для ионной бомбардировки были использованы не инертные газы, а водород, то после ионной бомбардировки необходимо подвергнуть электроды ламп дополнительной прокалке в вакууме.

Обезгаживание колб и стеклянных деталей производят нагреванием их в электрических или газовых печах в процессе вакуумной обработки ламп.

Газоотделение стекла зависит от его состава и состояния его поверхности.

При повышении температуры прежде всего выделяют водяной пар и углекислый газ, адсорбированные на поверхности. С дальнейшим повышением температуры газоотдача вначале растет, проходит максимум, после которого, несмотря на дальнейший рост температуры, газоотдача уменьшается. Это объясняется постепенным истощением адсорбированной пленки газов, что при некоторой температуре (около  $300^{\circ}\text{C}$  для легкоплавких стекол и около  $400^{\circ}\text{C}$  — для тугоплавких) приводит кривую газоотдачи к минимуму. С дальнейшим повышением температуры происходит новое нарастание газоотделения за счет химического разложения стекла с образованием паров воды и углекислого газа. Этот вид газоотделения практически никогда не прекращается. Применение



слишком высоких температур обезгаживания часто может принести больше вреда, чем пользы.

При обезгаживании кварцевого стекла необходимо учитывать, что оно пористо и поглощает большое количество различных газов, поэтому для более быстрого обезгаживания кварц предварительно оплавливают с поверхности (для закрытия пор).

При определенных температурах кварц может пропускать различные газы: гелий — при температуре выше  $180^{\circ}\text{C}$ , водород — выше  $300^{\circ}\text{C}$  и кислород, азот, неон и аргон — выше  $900\text{--}1000^{\circ}\text{C}$ . Обезгаживать кварц нагреванием газовой горелкой нельзя, так как через стенки кварцевой колбы будет проходить водород. Обычно обезгаживание производят в электрической печи, а отпайку ламп с вакуумной установки рекомендуется производить при помощи угольной дуги (но не газовым пламенем).

Обезгаживание слюды производят до вакуумной обработки, поскольку адсорбированный водяной пар на поверхности отдельных слоев удаляется при очень высокой температуре (до  $900\text{--}950^{\circ}\text{C}$ ).

#### 8-6. НАПОЛНЕНИЕ И ПРОМЫВКА ЛАМП

В производстве источников света наполнение ламп является распространенной технологической операцией. Все источники света, за исключением отдельных групп ламп накаливания, наполняются инертными газами или их смесями.

Пределы давления наполнения ламп составляют от  $10^6$  до  $1,5$  Па.

##### а) СПОСОБЫ НАПОЛНЕНИЯ

**Способ «шлюзования».** Дозировка заданного количества газа в вакуумный объем осуществляется с помощью шлюзового устройства, состоящего из небольшой перепускной трубки 7 (известного объема) с кранами на концах (рис. 8-22).

После подготовки вакуумной системы к напуску газа хвостовик 2 баллона 1 разбивается металлическим бойком 9 с помощью магнита 3 и газ поступает в перепускной объем 7 и далее по трубопроводу 6 к лампе. Такое устройство просто в изготовлении и эксплуатации, позволяет вводить газ малыми порциями.

При меньших количествах дозируемого газа вместо перепускного объема применяют специальный порцион-

ный (капиллярный) стеклянный кран. При повороте крана капилляром в сторону баллона с газом капилляр наполняется газом, при дальнейшем повороте крана (на  $180^{\circ}$ ) газ распространяется по всему объему вакуумной системы, давление газа при этом устанавливается во столько раз меньшим, во сколько раз увеличивается его объем. Давление напускаемого газа можно регулировать как давлением в баллоне, так и размерами капилляра.

Этот способ в основном применяется в лабораторной практике и мелкосерийном производстве.

**Способ напуска через зазор.** Этот способ широко распространен в производстве источников света.

Схема газонаполнения состоит из источника газа, понижающего редуктора, натекателя и потребляющей системы. В автоматических системах натекаТЕЛЬ управляется сигналами манометрического датчика, что позволяет получить заданное давление наполнения.

Существует большое число различных конструкций дозирующих устройств (дрессели-клапаны, детандер, натекатели игольчатого типа и т. п.), общим у них является наличие постоянного или временного зазора между уплотняющими элементами. За счет изменения зазора регулируется быстрота натекания газа в откачиваемый объем.

На откачных автоматах газополных ламп накаливания для наполнения ламп аргоно-азотной смесью применяется так называемый детандер — устройство, автоматически преобразующее переменное повышенное давление газа в постоянное пониженное. Устройство детандера изображено на рис. 8-23.

Между эбонитовой вставкой 4 и кромкой отверстия 10 образуется щель,

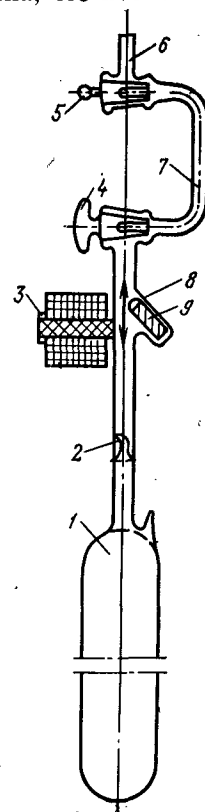


Рис. 8-22. Способ шлюзования.

1 — стеклянный баллон с газом; 2 — вытянутый хвостовик; 3 — внешний магнит; 4, 5 — шлюзовые краны; 6 — трубопровод к наполняемому прибору; 7 — перепускной объем; 8 — боковой карман; 9 — боек.

через которую газ проходит из входного патрубка 1 в полость А корпуса 3. Зазор щели регулируется положением резиновой мембраны 5, зажатой между диском 9, и связанного с ней клапана 2 за счет регулировки усилия пружин 6 и 7 гайками.

При превышении давления газа в полости А мембрана 5 прогибается, сжимая пружину 7, эбонитовая вставка 4 приближается к кромке отверстия, щель между ними уменьшается и подача газа через выходное отверстие 8 тоже уменьшается.

При пониженном давлении мембрана под действием пружины 7 выгибается в обратную сторону, щель увеличивается и соответственно увеличивается подача газа.

Детандер соединяется с двумя манометрами: одним для измерения давления газа на входе, другим — на выходе.

Одновременно с детандером на откачных автоматах применяют ограничители (дрессели), которые вставляются в патрубки нижнего золотника. Дрессель представляет собой стальной цилиндр, имеющий вдоль оси узкий и короткий канал, создающий требуемое сопротивление газовому потоку. Размер канала ограничителя подбирается таким, чтобы за время остановки гнезда на позиции он пропускал через себя заданную массу газа. Требуемое количество поступающего в лампу газа обеспечивается при условии строгой увязки между собой диаметра отверстия ограничителя, времени остановки карусели автомата, объема наполняемых ламп, размера проходного сечения детандера, рода газа и температуры газа в ограничителе.

Между детандером и ограничителем наполняющий газ находится под давлением выше атмосферного, что препятствует, с одной стороны, натеканию атмосферного воздуха и с другой — проникновению воздуха из негерметичной или случайно разбитой лампы в газовые подводы. Ограничители иногда применяют на позициях промывки ламп.

При использовании натекателей игольчатого типа (рис. 8-24) дресселирование потока газа производится кольцевым зазором между перемещающейся иглой и седлом.

Для хорошей работы натекателя большое значение имеет тщательная обработка поверхностей иглы и седла.

Игла конической формы (угол заточки  $6^\circ$ ) изготовлена из нержавеющей стали 1Х18Н9Т, седло — из мягкого материала (свинец, мягкая медь и др.).

В последние годы для наполнения люминесцентных ламп ( $400 \pm 0,2$  Па) применяют кран-натекаль совместно с безынерционным радиоизотопным манометром. При достижении в лампе заданного давления газа кран-натекаль автоматически закрывается.

Этот метод может быть также использован, если наполнение ламп производить на переходе между позициями до некоторого избыточного давления с последующей

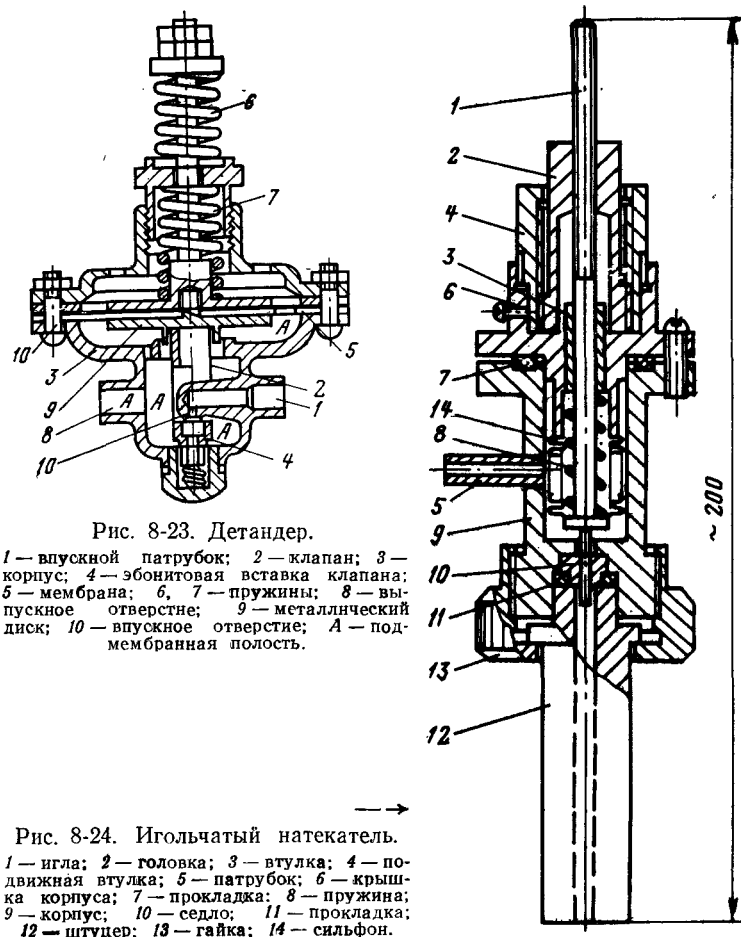


Рис. 8-23. Детандер.

1 — впускной патрубок; 2 — клапан; 3 — корпус; 4 — эбонитовая вставка клапана; 5 — мембрана; 6, 7 — пружины; 8 — выпускное отверстие; 9 — металлический диск; 10 — впускное отверстие; А — подмембранная полость.

Рис. 8-24. Игольчатый натекаль.

1 — игла; 2 — головка; 3 — втулка; 4 — подвижная втулка; 5 — патрубок; 6 — крышка корпуса; 7 — прокладка; 8 — пружина; 9 — корпус; 10 — седло; 11 — прокладка; 12 — штуцер; 13 — гайка; 14 — сильфон.

откачкой излишнего газа под контролем безынерционного радиоизотопного манометра. По достижении заданного давления откачка прекращается.

В некоторых случаях требуется особо постоянная и строго воспроизводимая величина напуска. Использование для этой цели игольчатых натекателей из-за недо-

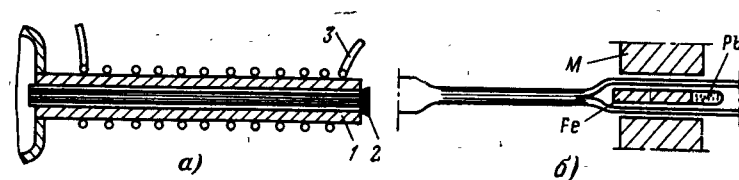


Рис. 8-25. Регулируемые натекатели.

а — регулировка нагревом; б — регулировка перемещением нити.

статочно точной воспроизводимости напуска не представляется возможным.

Для таких случаев наиболее пригоден метод напуска через тонкую диафрагму с отверстием диаметром несколько микрометров постоянной площади, причем регулировка потока осуществляется изменением входного давления. Вместо диафрагмы иногда используется пористый штабик из спеченного стеклянного порошка.

Впуск в вакуумную систему весьма малых количеств газа можно получить регулируемыми натекателями, изображенными на рис. 8-25.

Принцип действия первого натекателя основан на использовании разницы температурных коэффициентов расширения двух металлов. При включении подогревателя 3 между капилляром 1 и стальной проволокой 2 образуется зазор, через который проходит поток газа в вакуумную систему. Принцип второго основан на перемещении (при помощи электромагнита М) тонкой нити в капилляре.

**Способ ступенчатого наполнения.** Этот способ (рис. 8-26) нашел применение для наполнения ламп на откачных автоматах при давлениях от  $10^4$  до  $10$  Па.

Буферную емкость 7 заполняют инертным газом из металлического баллона 9 через редуктор 8 до давления несколько выше атмосферного ( $1,13$ — $1,20$ )  $\cdot 10^5$  Па.

При остановке карусели откачного автомата, когда отверстия золотников 2 и 3 совпадают, клапан 6 откры-

вается (клапан 4 при этом закрыт) и газ попадает в объем  $V_1$  камеры дозатора 5 под давлением  $p_1$ .

После того, как клапан 6 закроется, открывается клапан 4 и газ поступает через трубопровод 10 в наполняемую лампу 1. По закону Бойля — Мариотта давление  $p_2$  при этом уменьшается во столько же раз, во сколько

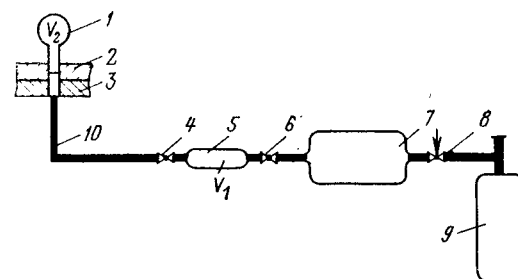


Рис. 8-26. Принципиальная схема ступенчатого наполнения ламп инертными газами.

1 — наполняемая лампа; 2 — верхний золотник; 3 — нижний золотник; 4, 6 — клапаны дозатора; 5 — камера дозатора; 7 — буферная емкость; 8 — редуктор; 9 — металлический баллон; 10 — трубопровод.

возрастет объем  $V_2$  (в  $V_2$  входят объем самой лампы и трубопровода, т. е. объем до камеры дозатора, так же как и объем самой камеры дозатора):

$$p_2 = p_1 V_1 / (V_1 + V_2).$$

Подобрав объем дозатора и давление наполняющего газа, можно установить любое давление в лампе. Давление наполнения ламп можно регулировать и объемами подводящих трубопроводов от дозатора до нижнего диска золотника, обычно практически дозатор стараются настолько возможно приблизить к золотнику.

#### б) ПРОМЫВКА ЛАМП

Промывкой достигается уменьшение парциального давления вредных газов в лампе. Сущность этого процесса состоит в том, что после достижения необходимого давления в лампе ( $1$ — $10$  Па) ее наполняют промывочным (инертным) газом (азот, аргон и др.), а затем снова откачивают. Такой цикл может повторяться несколько раз.

При каждом наполнении ламп остаточные вредные газы смешиваются (разбавляются) с промывочным га-

зом и вместе с ним откачиваются. Тем самым уменьшается парциальное давление вредных газов в лампе.

Парциальное давление вредных газов в лампе определяется по уравнению

$$p = p_0 \left( \frac{p_1}{p_2} \right)^n,$$

где  $p$  — парциальное давление вредных газов в лампе после последней промывки, Па;  $p_0$  — давление в лампе перед первой промывкой, Па;  $p_1$  — давление в лампе после откачки промывочного газа, Па;  $p_2$  — давление в лампе после наполнения промывочным газом, Па;  $n$  — число промывок.

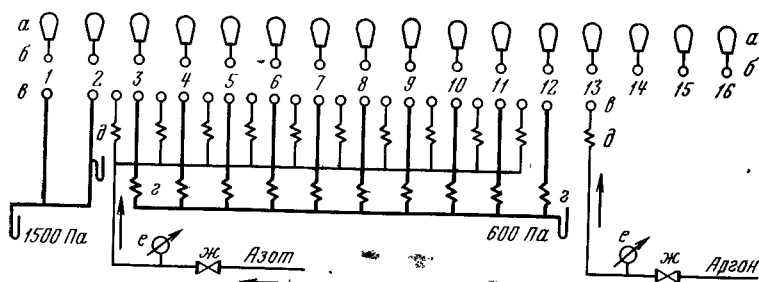


Рис. 8-27. Распределение позиций автомата для откачки газонаполненных ламп накаливания с использованием только центральной вакуумной системы (без насосов).

а — откачиваемые лампы; б, в — отверстия подвижного и неподвижного золотников; г, д — ограничители откачки и наполнения; е — деформационные манометры; ж — регулятор давления.

Многократной промывкой достигается значительно более низкое давление вредных газов, чем откачкой насосами.

При вакуумной обработке некоторых типов ламп выгодно вводить промывочный газ на переходах между позициями откачного автомата.

Необходимо отметить, что на некоторых этапах обработки газоразрядных (люминесцентных) ламп выделяющиеся из катода и люминесцентного покрытия газы должны немедленно удаляться. Поэтому при разработке схемы вакуумной обработки ламп на откачных автоматах следует правильно сочетать промывки с непрерывной откачкой.

Интерес представляет схема откачки газонаполненных ламп накаливания с использованием только цен-

тральной форвакуумной магистрали (без насосов), рис. 8-27.

Такая система откачки возможна только с применением ограничителей (дресселей) в вакуумных магистралях. Они создают сопротивление для промывочного газа, и к моменту перехода лампы на следующую позицию давление в лампах всегда несколько больше, чем давление в вакуумной подводке, тем самым исключается опасность загрязнения ламп при случайном колебании давления в вакуумной подводке.

Как видно из рис. 8-27, на позициях 1 и 2 производится откачка ламп, на переходах между позициями осуществляется наполнение ламп промывочным газом, на позициях с 3 по 12 производится откачка промывочного газа форвакуумной магистралью, на позиции 13 лампы наполняют и на позиции 14 отпайвают. На позиции 15 удаляют остаток штенгеля, а на позиции 16 вставляется очередная лампа.

## 8-7. ВАКУУМНАЯ ОБРАБОТКА ЛАМП НАКАЛИВАНИЯ

Лампы накаливания в подавляющем большинстве подвергаются автоматической или полуавтоматической откачке. Исключение составляют лишь некоторые типы специальных ламп, которые обрабатываются на специальных откачных постах. На откачных постах производится обработка и галогенных ламп накаливания.

Вакуумной обработкой ламп накаливания обеспечивается удаление атмосферного воздуха, обезгаживание стекла и внутренних деталей ламп, наполнение инертными газами (для специальных ламп — кислородом), дозирование галогенов и обеспечение герметичности оболочки.

### а) ОБРАБОТКА НА ОТКАЧНЫХ ПОСТАХ

Откачный пост для обработки галогенных ламп (КИ220-1000) изображен на рис. 8-28. Заваренные (заштампованные) лампы 12 вставляются штенгелем в откачное гнездо 5 поста, и производится откачка в течение 40—70 с до давления 1 Па. Затем производят промывку аргоном при давлении  $(0,4—1,3) \cdot 10^4$  Па и откачку до 6 Па. Обезгаживание колбы лампы производится газокислородной горелкой при температуре  $900 \pm 50^\circ\text{C}$  с одновременной откачкой до 1 Па. Обезгаживание производят

в течение 45—70 с, температура устанавливается по цвету каления — от светло-желтого до бледно-лилового. Обезгаживание тела накала производят пропусканием электрического тока в течение 15—30 с при напряжении, равном 40% номинального (температура накала 1000°C), с одновременной откачкой. После этого производят опять

промывку ламп аргоном при давлении  $(0,4—1,3) \cdot 10^4$  Па и откачку до давления 1 Па.

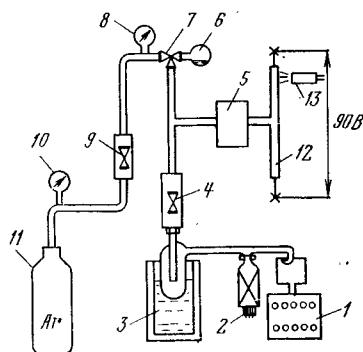


Рис. 8-28.

Рис. 8-28. Технологическая схема откачки галогенных ламп.

1 — механический насос; 2 — манометрическая лампа; 3 — ловушка; 4, 9 — зажимы; 5 — позиция откачная; 6 — баллон с галогеном; 7 — край трехходовой; 8 — мановакуумметр; 10 — манометр; 11 — баллон; 12 — лампа; 13 — горелка.

Рис. 8-29. Принципиальная схема откачного поста для прожекторных ламп.

1 — вилка; 2 — вакуумметр; 3, 5, 6 — края; 4 — манометр; 7 — редуктор; 8 — металлический баллон; 9 — вращательный насос.

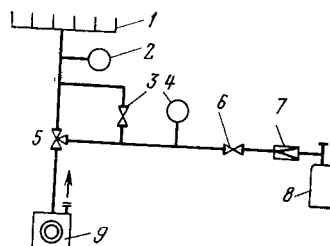


Рис. 8-29.

Перед наполнением ламп галогенной смесью производят их охлаждение ватой, смоченной в дистиллированной воде. Затем соединяют баллон с галогенной смесью 6 с вакуумным насосом 1. В целях ускоренного наполнения охлаждают жидким азотом участки лампы длиной 30—40 мм на расстоянии 60—70 мм от «лопатки» до начала появления налета галогена и сразу отсоединяют вакуумный насос от позиции поста. Наполнение лампы галогеном производят до давления  $(8 \pm 0,5) \cdot 10^4$  Па при содержании паров галогена 0,1 мг/см<sup>3</sup>. И, наконец, лампа наполняется аргоном до давления  $(8 \pm 0,5) \cdot 10^4$  Па и отпайвается с позиции откачного поста газокислородной горелкой.

**Обработка прожекторных ламп мощностью 3—10 кВт.** Мощные прожекторные лампы обрабатываются на откачных постах, схема которого изображена на рис. 8-29.

Вакуумная обработка прожекторных ламп состоит из следующих операций:

откачка атмосферного воздуха вращательным насосом;

обезгаживание колбы в течение 10 мин при температуре 475°C;

промывка (10—12-кратная) азотом при давлении  $8 \times 10^4$  Па;

откачка до предельного вакуума;

наполнение ламп чистым азотом до  $(6,5—8,5) \cdot 10^4$  Па в зависимости от типа ламп;

отпайка ламп с откачного поста.

Перед установкой ламп мощностью свыше 2 кВт в их колбы через штенгель засыпается вольфрамовый порошок в количестве от 30 до 150 г в зависимости от типа лампы. Вольфрамовый порошок вводится внутрь лампы с целью механического снятия со стекла распыленного во время горения лампы вольфрама с внутренней поверхности колбы ламп.

#### 6) ОБРАБОТКА НА ОТКАЧНЫХ АВТОМАТАХ

Откачные автоматы предназначены для вакуумной обработки массовых и серийно выпускаемых ламп. По сравнению с откачными постами они имеют значительно большую производительность. На автоматах отпадают такие ручные операции, как напайка ламп, обезгаживание стекла и внутренних деталей ламп, промывка вакуумной системы и наполнение ламп газами и, наконец, отпайка ламп. И самое главное, если на откачных постах обрабатывается одновременно группа (партия) ламп, то на откачных автоматах происходит непрерывный поточный процесс обработки ламп. При таком построении технологического процесса легче воздействовать на режимы обработки ламп, и тем самым создаются условия для автоматизации различных операций.

Откачные автоматы для ламп накаливания общего назначения (вакуумных и газополных) представляют собой машины карусельного типа, имеющие неподвижную часть — станину и вращающуюся — карусель. На горизонтальной карусели по ее окружности расположены на определенном расстоянии друг от друга откачные гнезда 2 для установки и герметизации ламп (рис. 8-30).

Уплотнение между станиной и каруселью производит с помощью золотника, состоящего из двух массивных

стальных дисков: неподвижного 6, установленного на станине автомата, и прилегающего к нему подвижного диска 5, связанных с периодически поворачивающейся каруселью. Прилегающие друг к другу плоскости золотников пришлифованы, и между ними по кольцевым канавкам 10 (одна или две) для уплотнения вводится касторовое масло или вязкое масло «вапор» (ГОСТ 6411-52).

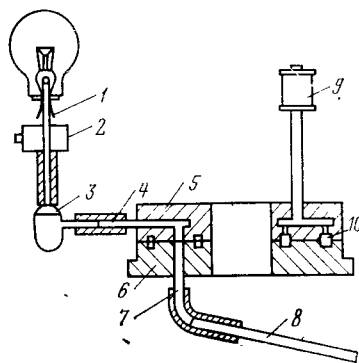


Рис. 8-30. Вакуумная система откачного автомата.

1 — штенгель; 2 — откачное гнездо; 3 — стеклянный соединитель; 4, 7 — патрубки подвижного и неподвижного золотников; 5, 6 — подвижный и неподвижный золотники; 8 — трубка для присоединения к насосу (или к магистрали промывочного газа); 9 — масленка; 10 — канавка для масла.

подсоединены к вакуумным насосам или к магистралям промывочного и наполняющего газов.

С патрубками верхнего золотника соединены зажимные гнезда 2 через стеклянные соединители 3.

Кроме того, откачной автомат имеет неподвижную дугообразную туннельную печь с газовым или электрическим нагревом и отпаечные горелки.

Наиболее распространенным автоматом для откачки ламп накаливания общего назначения является заварочно-откачной автомат Б.332.03. Он имеет общую станину с раздельными каруселями заварки и откачки.

Автоматы Б.332.03 применяются для откачки как вакуумных, так и газополных ламп.

Золотники автомата, предназначенного для газополных ламп, имеют дополнительные промежуточные кана-

Масло образует тонкую пленку между золотниками, предохраняющую их от непосредственного соприкосновения и сухого трения между собой.

По боковой цилиндрической поверхности подвижного золотника и с торца неподвижного золотника по окружности вставлены стальные штуцера 4 и 7.

Во время остановок карусели каналы верхнего и нижнего золотников точно совмещаются. Число отверстий в неподвижном золотнике на два—четыре меньше (на этих позициях происходят загрузка и съем ламп).

Штуцера нижнего золотника через трубопроводы 8

для подачи в гнездо промывочного газа по отдельному трубопроводу, что предохраняет промывочный газ от загрязнений в соединителях. Кроме того, на автоматах для газополных ламп некоторые отверстия в нижнем золотнике заглушают с целью лучшего перемешивания промывочных газов в лампе. Вакуумные схемы откачного автомата Б.332.03 для вакуумных и газополных ламп приведены на рис. 8-31, а и б.

Как более сложную рассмотрим обработку газополных ламп.

На позиции 1 автоматическим захватом лампы загружаются в откачное гнездо.

На позиции 2 из ламп откачивают атмосферный воздух до давления в несколько сотен паскалей центральным вакуум-проводом.

На позиции 3 производится откачка ламп вращательным насосом до более высокого вакуума перед первыми промывками. При обработке газополных ламп всегда стремятся перед первой промывкой откачивать лампы до возможно низкого давления, а для откачки промывочного газа применяют насосы с большой быстротой действия.

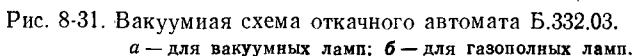
На позициях 4—7 и далее на 9, 10, 12, 13, 15, 17 и 18 отверстия заглушены. На позиции 4 откачное гнездо через диски золотников соединено с вакуумным реле, которое при наличии в гнезде натекающей лампы включает электромагнитное реле, и откачное гнездо отключается от вакуумной системы.

В дальнейшем при поворотах карусели между позициями 7 и 8, 9 и 10 и т. д. (рис. 8-31, б) отверстия верхнего золотника быстро проходят над дополнительными отверстиями нижнего, и в лампы поступает промывочный газ азот под давлением  $(1,5—2,5) \cdot 10^4$  Па.

Позиции 8 и 11, 14 и 16 попарно соединены с одной камерой десятикамерного вращательного насоса, а позиции 19—26 соединены раздельно каждая со своей камерой. В результате перед наполнением ламп создается вакуум порядка 0,4 Па с очень низким парциальным давлением вредных газов.

На позициях, предшествующих наполнению аргоном, внешнюю поверхность колб интенсивно охлаждают техническим сжатым воздухом из сети.

На позиции 27 производится наполнение ламп смесью 86% аргона и 14% азота до абсолютного давления, близкого к атмосферному, но не менее  $8 \cdot 10^4$  Па.



При наполнении ламп криптоном или ксеноном, учитывая дороговизну этих газов, стремятся, насколько возможно, сокращать объем подводящих каналов к гнезду и производить отбор отходящего криптона или ксенона отдельным вакуумным насосом в газосборник для дальнейшего использования его.

Кроме того, поскольку газоразрядные лампы имеют активные катоды, давление в лампе при откачке должно быть значительно ниже и требования к чистоте внутренних деталей ламп и газового наполнения повышены.

Учитывая вышеизложенное, механизировать технологические процессы вакуумной обработки газоразрядных ламп значительно сложнее, нежели ламп накаливания.

Относительно низкий выход годных газоразрядных ламп (по сравнению с лампами накаливания) говорит о том, что обеспечить стабильность технологических режимов вакуумной обработки газоразрядных ламп трудно.

#### а) ОБРАБОТКА НА ОТКАЧНЫХ ПОСТАХ

Вакуумная обработка ламп на откачных постах применяется в основном в лабораторной практике и для выпуска ламп небольшими партиями, где экономически нецелесообразно автоматизировать процессы, а также в случаях, когда полностью режимы вакуумной обработки пока не поддаются автоматизации.

**Обработка ксеноновых шаровых ламп.** Вакуумная схема откачного поста для ламп ДКСШ-1000 изображена на рис. 8-32.

Перед пуском откачного поста проверяют искровым течейскалем все элементы вакуумной системы на натекание и в случае обнаружения течи ее устраняют.

При включении откачного поста сначала открывают воду для охлаждения паромасляного насоса и генератора высокой частоты, затем краны 15 и 14 на откачку паромасляного насоса 13 и, наконец, включают подогрев паромасляного насоса.

Лампы, предназначенные для откачки, проверяют на натекание течейскалем, вскрывают штенгели по перетяжке и измеряют внутренний объем каждой лампы.

Ручной газокислородной горелкой производят напайку ламп на гребенку откачного поста с дозировочными баллонами и открывают кран 12 для откачки ламп вращательным насосом 16. Проверив герметичность мест припайки, переключают кран 12 на откачку паромасляным насосом, производя откачку ламп до давления ниже 0,1 Па.

Обезгаживание электродов (вводов) производят сначала мягким, а затем жестким пламенем газокислородной горелки до слабого покраснения электродов. С помощью индуктора высокочастотного генератора прогревают до светло-красного каления катоды и аноды всех ламп, не допуская при этом длительного свечения газа внутри лампы.

После остывания ламп на них одевают специальные чашечки с жидким азотом.

Наполнение ламп ксеноном до давления выше атмосферного ( $7,8 \cdot 10^5$  Па) производится следующим образом. Краном 12 отключают вакуумную систему. С помощью жидкого азота вымораживают в ловушке 5 ксенол из стеклянного баллона 8, открыв перед этим кран 6. За-

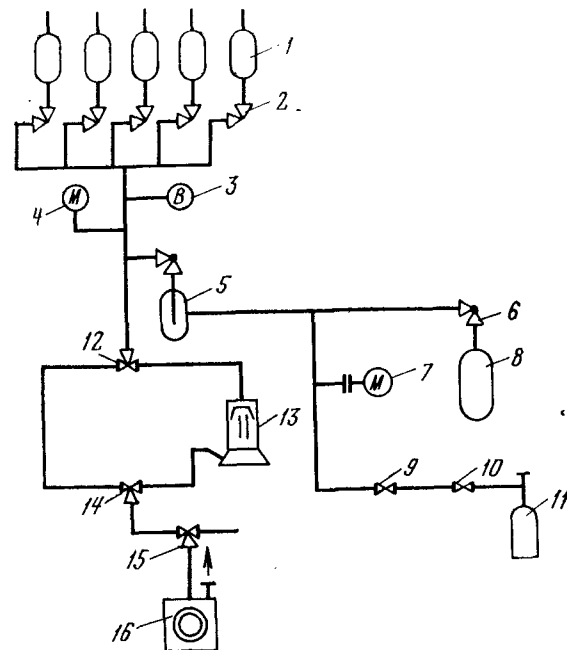


Рис. 8-32. Принципиальная схема откачного поста для ксеноновых шаровых ламп.

1 — дозировочные объемы; 2, 6, 9, 12, 14, 15 — краны; 3 — вакуумметр; 4 и 7 — деформационные манометры; 5 — ловушка; 8 — стеклянный баллон; 10 — клапан вакуумный; 11 — металлический баллон; 13 — паромасляный насос; 16 — вращательный насос.

метив, на каком делении остановилась стрелка термопарного вакуумметра 3, краном 12 открывают откачку и откачивают невымороженный остаток газа до тех пор, пока стрелка термопарного вакуумметра 3 не остановится. После этого краном 12 закрывают откачку, снимают сосуд Дьюара с жидким азотом с ловушки и следят за увеличением давления газа в вилке по вакуум-



метру 3. При достижении в вилке давления газа, соответствующего значению, необходимому для дозирования, определяемому по таблице в зависимости от внутренних объемов ламп, перекрывают дозировочные краны 2. Сразу же после этого быстро отделяют вилку от ловушки, закрыв кран 12; для того чтобы газ при размораживании ловушки поступал в стеклянный баллон 8, открывают кран 6. Далее заливают в чашечки на лампах жидкий азот и вымораживают ксенон в лампах до тех пор, пока в лампе при поднесении течеискателя не появится однотонное голубоватое свечение. Затем лампы поочередно отпаивают и укладывают в защитный футляр. В целях экономии дорогостоящего ксенона его остатки в вилке вымораживают в ловушке и направляют, как было описано выше, в стеклянный баллон 8.

Объем всех дозировочных баллонов 2 должен быть одинаковым ( $260 \text{ см}^3$ ), что достигается подгонкой специальных регулировочных отростков.

Давление газа, до которого необходимо наполнить дозировочные объемы с напаянными лампами, определяется по формуле

$$p_d = p_n \frac{V_n}{V_d + V_n},$$

где  $p_d$  — давление в дозировочном объеме, Па;  $p_n$  — давление, которое необходимо получить в готовой лампе, Па ( $p_n = 7,8 \cdot 10^5 \text{ Па}$ );  $V_d$  — объем дозировочного баллона,  $\text{см}^3$  ( $V_d = 260 \text{ см}^3$ );  $V_n$  — объем наполняемой лампы,  $\text{см}^3$ .

Вакуумная обработка ксеноновых шаровых разборных ламп (ДКСР) производится аналогично обработке ламп ДКСШ. Разница состоит в том, что лампы не напаяются на вилку откачного поста, а ввертываются штенгелем в специальное откачное гнездо.

**Обработка ксеноновых трубчатых ламп (ДКСТ).** Принципиальная вакуумная схема откачного поста для ламп ДКСТ-10 000 изображена на рис. 8-33.

Подготовка откачного поста к работе и откачка ламп аналогичны обработке ксеноновых шаровых ламп, с той лишь разницей, что на откачной пост напаяется только одна лампа.

Обезгаживание стекла производится прогревом колбы пламенем газовой горелки; прогрев ведется в направлении от вводов лампы к штенгелю в течение 7 мин.

Обезгаживание электродов ламп производится нагревом их токами высокой частоты до белого каления.

На откачном посту производят тренировку ламп газовым разрядом. Для этого подсоединяют электроды лампы к тренировочному стенду, наполняют лампу ксеноном до давления  $(1,2-1,3) \cdot 10^4 \text{ Па}$  и включают электрическую схему и вентиляторы.

Лампа тренируется при напряжении 220 В в течение 5 мин, после чего из нее в ловушку 12 вымораживается ксенон, затем снова вводят в лампу ксенон с таким же

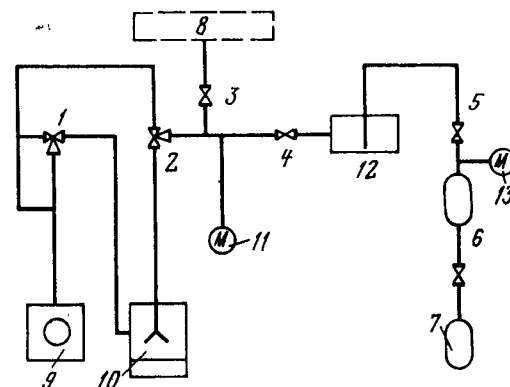


Рис. 8-33. Принципиальная схема откачного поста для ксеноновых трубчатых ламп.

1—5 — краны; 6 — буферный (балластный) баллон; 7 — баллон с газом; 8 — откачиваемая лампа; 9 — вращательный насос; 10 — диффузионный насос; 11 — манометр; 12 — ловушка; 13 — деформационный манометр.

давлением и производят повторную тренировку при напряжении 200 В (42—50 А) в течение 5 мин, записывая в журнал давление и силу тока. Отработанный ксенон снова вымораживается в ловушку. И, наконец, наполняют лампу новой порцией ксенона до давления, записанного в журнале при второй тренировке, и отпаивают лампу с откачного поста.

Лампа после вакуумной обработки подвергается 3-й тренировке на специальном отдельном испытательном стенде, но иногда 3-ю тренировку производят на откачном посту.

Во время вакуумной обработки ксеноновых трубчатых ламп производятся одновременно цоколевание ламп горячей мастикой и маркировка.

## 6) ОБРАБОТКА НА ОТКАЧНЫХ АВТОМАТАХ

На автоматах производится вакуумная обработка наиболее массовых типов газоразрядных источников света: люминесцентных (прямых, U-образных, кольцевых, малогабаритных и др.), дуговых ртутных ламп с исправ-

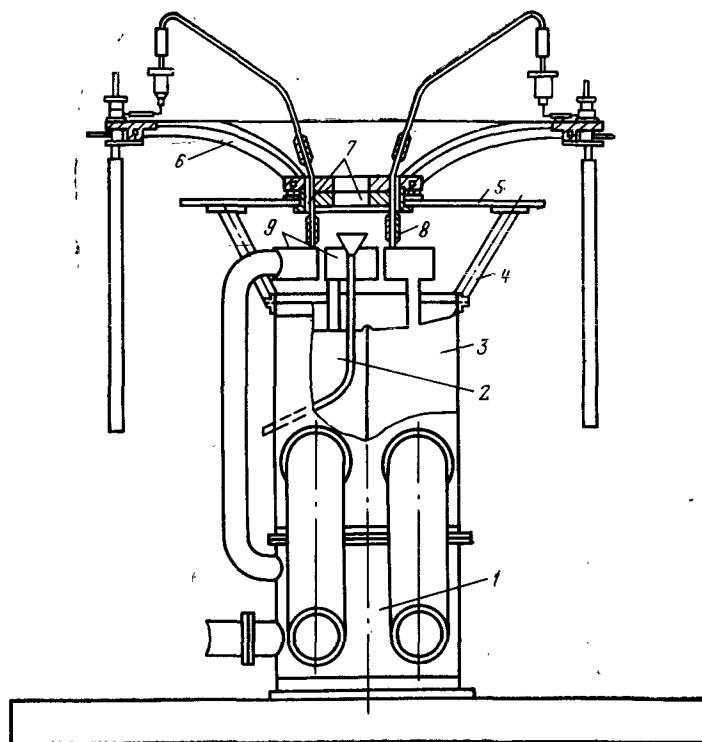


Рис. 8-34. Схема откачного автомата для люминесцентных ламп.

ленной цветностью (ДРЛ), ртутных трубчатых типа ДРТ, бактерицидных, эритемных и др.

**Обработка люминесцентных ламп.** Люминесцентные лампы являются основными массовыми газоразрядными лампами.

Поскольку в отечественной промышленности для производства этих ламп в основном эксплуатируется оборудование венгерского производства (фирмы «Тунгс-рам»), то мы рассмотрим вакуумную обработку люми-

несцентных ламп на 60-позиционном венгерском автомате откачки.

На литой фундаментной плите (рис. 8-34) расположен вакуумный уравнильный баллон 1, над которым находится разделенный на два отсека второй баллон 2, 3. На второй баллон (верхний) опирается с помощью стоек 4 стол 5, в центральном вырезе которого находится нижний золотник 7. Нижний золотник соединяется с баллонами через вакуумные муфты 8 и коллекторы 9. По окружности карусели 6 крепятся корпуса дозаторов ртути (рис. 8-35). В нижней части корпуса 2 дозатора расположено зажимное гнездо.

В отличие от ламп накаливания люминесцентные лампы вставляются в откачное гнездо штангелем вверх для обеспечения возможности дозирования ртути в лампу.

С верхним золотником отключенные гнезда соединяются через пылеуловитель с клапаном, стеклянные трубопроводы и штуцера.

Схема вакуумной обработки люминесцентных ламп изображена на рис. 8-36.

На позиции 1 производится автоматическое удаление сжатым воздухом остатков штангелей.

Позиция 2 — загрузка ламп, одновременно пробником проверяется целостность катода.

Позиция 3 — откачка центральным форвакуумом (давление 700 Па).

Позиции 4 и 5 — откачки нет; производится проверка натекания контактным ртутным U-образным маномет-

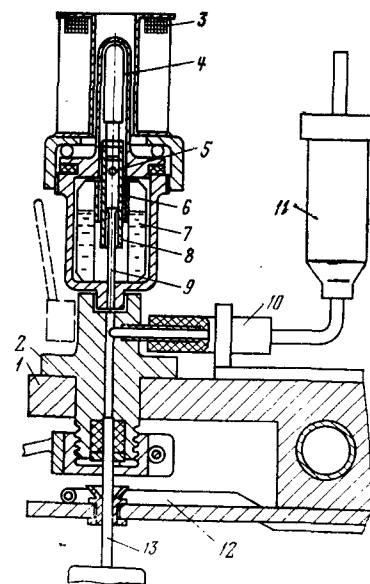


Рис. 8-35. Откачное гнездо.

1 — карусель; 2 — корпус дозатора ртути; 3 — катушка соленоида; 4 — сердечник; 5 — отверстие для отсасывания воздуха; 6 — отверстие для подачи ртути в лампу; 7 — поплавок; 8 — дозирующая трубка; 9 — подающая трубка; 10 — резиновая вакуумная муфта; 11 — пылеуловитель с клапанами; 12 — штангелем; 13 — штуцер.

ром. При натекании манометр замыкает цепь звонка и работница заменяет лампу, одновременно манометр автоматически переключается на откачку от центрального форвакуума для подготовки его к контролю следующей лампы. Позиция 6—откачка центральной форвакуумной подводкой.

Позиции 7—25—обезгаживание ламп в электрической печи. В этот период на первых двух позициях 7 и 8 откачка ведется вращательными пластинчато-роторными насосами, а на позициях 9—27—золотниковым насосом (баллон I). На позициях с 27 по 39 производится прокалка катодов для разложения карбонатов с одновременной откачкой двухроторными насосами и последовательно включенными золотниковыми насосами через баллоны II, III по очереди. На переходе между позициями 35 и 36 производится промывка аргоном. Ток накала катодов устанавливается при помощи ступенчатого переключения напряжения в диапазоне 50—130 В ступенями в 1В.

На позиции 40 в лампы вводится ртуть, и продолжается до позиции 48 разложение карбонатов (разложение на концах спирали и активирование катода малым разрядным током между концами спирали). Одновременно ведется откачка ламп через баллоны II и III.

Промывка аргоном производится на переходах между позициями 41 и 42, 44 и 45.

На позиции 43 в случае надобности производится дополнительная ручная дозировка ртути.

Между позициями 48 и 49 производится промывка аргоном особой чистоты.

На позициях с 49 по 52 производится обработка катодов высоковольтным разрядом (1200—1500 В) в парах ртути (ток катода 0,6 А) при одновременной откачке через баллоны II и III.

Между позициями 55 и 56 производится промывка ламп аргоном особой чистоты.

На позициях 55 и 56 лампы откачиваются через баллон II, а на позициях 57 и 58—через баллон III.

Между позициями 58 и 59 в лампы через дозатор вводят аргон особой чистоты (наполнение ламп до давления  $400 \pm 26,6$  Па).

На позиции 60 лампа отпаивается.

**Обработка ртутно-кварцевых ламп (ДРТ и ДРЛ).** Вакуумная обработка горелок дуговых ртутных ламп

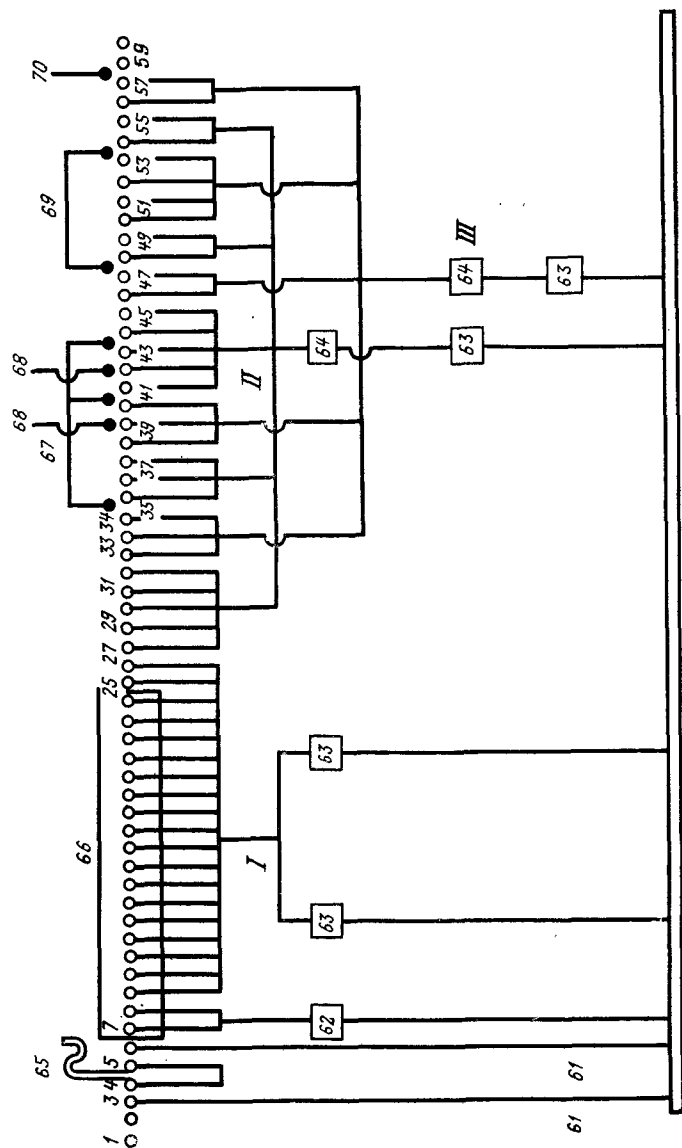


Рис. 8-36. Вакуумная схема откачного автомата для люминесцентных ламп.

1—60 — номера подвижных позиций; 61, 62 — пластинчато-роторный насос; 63 — золотниковый насос; 64 — двухроторный насос; 65 — проверка натекания; 66 — электропечь; 67 — промывка аргоном; 68 — дозировка ртути; 69 — промывка аргоном особой чистоты; 70 — наполнение лампы аргоном; I — первый баллон; II — второй баллон; III — третий баллон.

производится последовательно на двух полуавтоматах (36- и 24-гнездных). На 36-гнездном полуавтомате из лампы удаляется атмосферный воздух, производится обезгаживание колбы и катодов, активирование катодов.

На 24-гнездном полуавтомате — дозировка ртути, откачка, наполнение аргоном и отпайка ламп.

На 36-гнездном откачном полуавтомате технологические операции выполняются в следующей последовательности.

На позиции 1 производится откачка ламп вращательным насосом РВН-20 или другими.

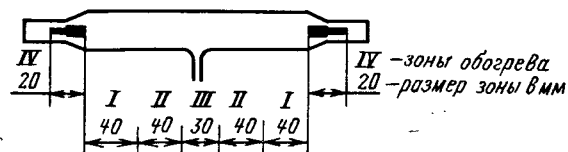
На позиции 2 производится отбраковка натекающих ламп с помощью течеиспытателя или контактного манометра (позиция заглушена).

На позициях 3 и 4 откачка вращательным насосом.

На позициях 5—9 производится откачка вращательными насосами и прогрев колб газокислородными горелками для обезгаживания (табл. 8-7).

Таблица 8-7

Зоны расположения факелов пламени горелок — обогрева



№ позиций	Зона обогрева	Примерная температура нагрева, °С
5	II	600±75
6	I и II	600±65
7	II	750±75
8	I и II	750±75
9	II	900±75
10	I и II	900±75
11	II	950±75
12	I и II	950±75
13	II	950±75
14	I и II	950±75
15	II и III	950±75
16	II и III	950±75
18	III	950±75
19	IV	950±75
20	IV	1000±75
21	IV	1050±75
22	V	950±75

На позиции 10 — наполнение аргоном для промывки (250—500 Па) и обезгаживание колб.

На позициях 11—16 — откачка вращательными насосами и обезгаживание колб.

На позициях 17—18 — откачка вращательными насосами (на позиции 18 производится обезгаживание штенгелей газовыми горелками).

На позициях 19—22 откачка вращательными насосами, обезгаживание катодов газокислородными горелками и обезгаживание штенгелей (на позиции 22).

На позиции 23 — откачка паромасляными насосами.

На позиции 24 — наполнение аргоном (250—350 Па), зажигание ламп (активировка катодов) при силе тока 3,3—3,6 А. Цвет каления катодов — оранжевый или оранжево-желтый.

На позиции 25 — откачка вращательным насосом.

На позиции 26 — откачка паромасляным насосом (250—350 Па).

На позиции 27 — наполнение ламп аргоном, зажигание ламп (активирование катодов) при силе тока 9—15 А. Цвет каления катодов — желтый или светло-желтый.

На позиции 28 — откачка вращательным насосом.

На позиции 29 — наполнение аргоном для промывки (250—550 Па).

На позициях 30—32 — откачка вращательными насосами.

На позиции 33 — откачка вращательным насосом.

На позиции 34 — наполнение ламп аргоном при давлении выше атмосферного ( $1,2 \cdot 10^5$ — $1,4 \cdot 10^5$  Па).

На позиции 35 — съем лампы.

На позиции 36 — загрузка гнезда новой лампой.

Лампа, снятая с позиции 35, тотчас же наполняется ртутью (от 15 до 78 мг для ДРТ и до 137 мг для ДРЛ-1000) механическим дозатором и передается на 24-позиционный полуавтомат откачки для дальнейшей обработки — откачки вращательным и паромасляным насосами, промывки, наполнения аргоном до давления 200—270 Па и отпайки.

## ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ



## 9-1. ЦОКОЛЕВАНИЕ

Все источники света, за исключением некоторых типов специальных ламп, имеют цоколь (или цоколи), с помощью которого лампы крепятся к осветительной арматуре и подключаются к источникам питания.

Крепление цоколей к лампам производится с помощью специальных мастик и цементов (см. § 5-3) или же механическим способом.

Перед цоколеванием ламп горячими мастиками производят намазку цоколей на специальных автоматах или вручную. Намазка цоколей состоит в том, чтобы на край внутренней поверхности цоколя нанести кольцевой поясик мастики толщиной 2—3 мм.

Из вибрационного питателя автомата (рис. 9-1) цоколь в ориентированном положении поступает в рабочее гнездо.

Из наконечника 1, закрытого снизу подпружиненным коническим отсекателем 2, выдавливается колечко мастики. Давление, необходимое для открытия отсекателя, создается поршнем 3, ход которого определяет количество выдавливаемой мастики.

На последующих позициях намазанные мастикой цоколи автоматически выгружаются с укладкой их в специальные кассеты. В зависимости от вида выпускаемых источников света намазку цоколей производят либо в заготовительном цехе, либо непосредственно на линии сборки ламп (ламп накаливания общего назначения).

Намазанные цоколи перед цоколеванием могут выдерживаться некоторое время, но не более 16 ч во избежание порчи мастики.

Цоколевание ламп производится на специальных цоколевочных машинах карусельного типа. Для различных источников света применяются разнообразные машины, отличающиеся конструктивным исполнением, габаритами, количеством рабочих гнезд, выполнением дополнительных технологических операций в процессе цоколевания ламп и т. д. Но все они выполняют одну и ту же

задачу — обеспечение полимеризации мастики и надежного скрепления цоколя с лампой.

Цоколевание ламп накаливания производят на специальных цоколевочных автоматах карусельного типа, имеющих производительность более 2000 шт/ч. В рабочем гнезде цоколевочного автомата (рис. 9-2) вставляется лампа с надетым цоколем (в последних конструкциях цоколевочных машин одевание цоколя на лампу производится автоматически). Колба лампы удерживается специальным шаблоном 3, цоколь вставляется в патрон 2. Под действием пружины шток 6 поджимает лампу к цоколю, а цоколь к патрону. Цоколи ламп нагреваются через стенки патронов огнями газовых горелок.

В начальной стадии нагрева мастика стекает вниз и равномерно заполняет промежуток между цоколем и горлом. При дальнейшем нагреве идитол вступает в соединение с уротропином, полимеризуется и связывает цоколь со стеклом.

Температура цоколевания ламп зависит от рода мастики, типа цоколей и количества мастики. При низкой температуре цоколевания мастика не успевает полностью полимеризоваться и цоколь закрепляется не прочно, при очень высокой температуре — мастика сильно расширяется, увеличивается давление на горло лампы, в результате чего может происходить растрескивание горла.

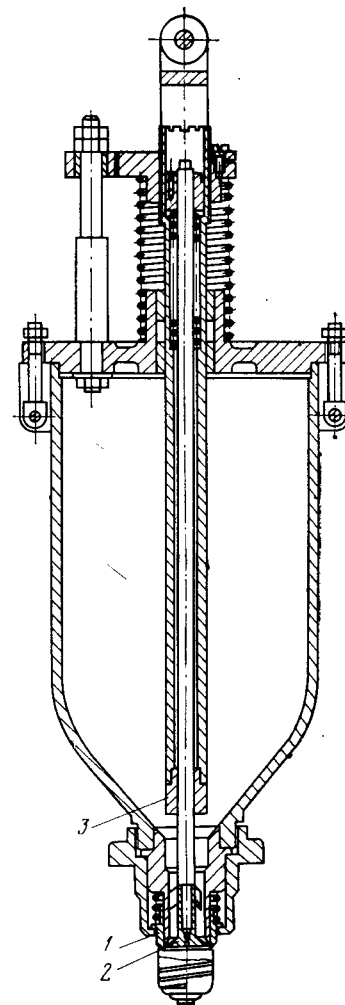


Рис. 9-1. Схема нанесения мастики на цоколь.

Добавленный в мастику зеленый краситель (малахитовая зелень) при 160—185°С разлагается и обесцвечивается. Зеленый цвет мастики после цоколевания указывает на недогрев, светло-коричневый на нормальный нагрев, темно-коричневый — на перегрев.

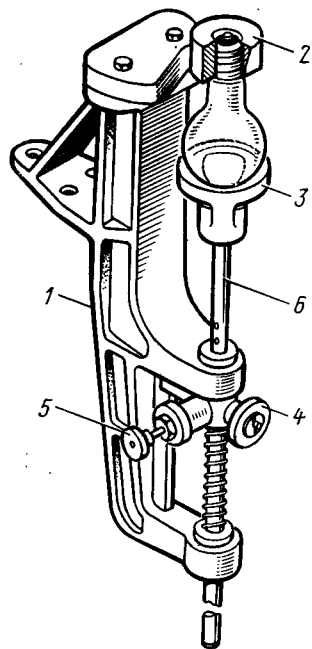


Рис. 9-2.

Рис. 9-2. Рабочее гнездо цоколевочного автомата.  
1 — корпус; 2 — патрон; 3 — шаблон держателя лампы; 4 — ролик автоматического опускания шаблона на позиции разгрузки; 5 — фиксатор уровня шаблона при незагруженном гнезде; 6 — шток.

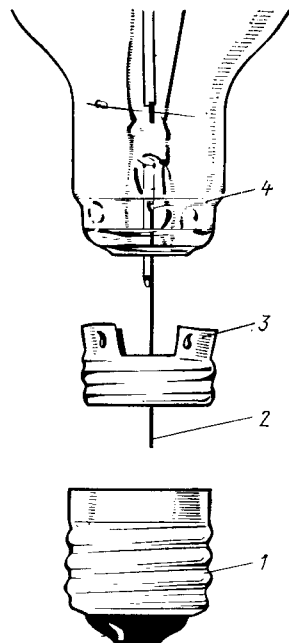


Рис. 9-3.

Рис. 9-3. Цоклевание без мастики.  
1 — латунный резьбовой цоколь; 2 — центральный вывод лампы; 3 — выступы на гильзе; 4 — углубления в колбе лампы.

Холодные цементы готовят перед употреблением непосредственно на рабочем месте, так как они быстро затвердевают при комнатной температуре и теряют клеящие свойства.

Намазка цоколей холодными цементами производится, как правило, вручную. При цоколевании лампы

устанавливаются в специальные стойки (или шаблоны), в которых цоколи закрепляются неподвижно, и выдерживаются в таком положении необходимое время.

Для мощных ламп накаливания, имеющих высокую температуру цоколя, применяется или специальная нагревостойкая цоколевочная мастика или же соединение механическим способом без использования мастики (рис. 9-3).

Нижняя часть горла лампы имеет цилиндрический пояс с четырьмя круглыми углублениями (пуклями).

На этот пояс лампы надевают гильзу 3 так, чтобы ее выступы на внутренней стороне плотно вошли в углубления горла. Затем на гильзу навинчивают до отказа цоколь 1 с кольцевой накаткой в ранте, которая плотно прижимает гильзу к горлу лампы. Для предотвращения отвинчивания цоколя с гильзы их прокалывают в трех точках, в результате чего заусенцы цоколя входят в отверстия гильзы.

При другом способе механического крепления цоколя производят формование горла лампы в виде резьбы, повторяющей форму резьбы цоколя, и затем производят навинчивание на формованное горло резьбового цоколя.

## 9-2. ФОКУСИРОВАНИЕ ЛАМП

Фокусирование ламп предназначено для точного фиксирования заданного положения тела накала по отношению к цоколю, благодаря чему при установке лампы в осветительный прибор их световые центры совмещаются.

Благодаря фокусированию обеспечивается взаимозаменяемость ламп по отношению к осветительному прибору, а также обеспечивается требуемое светораспределение прибора.

Для установки заданного положения тела накала применяются специальные фокусирующие цоколи, состоящие из двух деталей: внутренней, которая прикрепляется мастикой к колбе лампы, и наружной — припаиваемой к первой.

Сочленение наружной детали с патроном может быть дисковым, штифтовым и секторным. Наружная деталь имеет один или несколько фиксирующих выступов или высеков, позволяющих без регулировки точно устанавливать лампу в патрон оптического прибора.

Крепление наружной детали цоколя к внутренней производится на специальном аппарате фокусирования (рис. 9-4).

При фокусировании сначала устанавливают наружную деталь в патрон 1 и закрепляют ее нажатием рычага. Затем вставляют лампу в тот же патрон так, чтобы внутренняя деталь вошла в наружную.

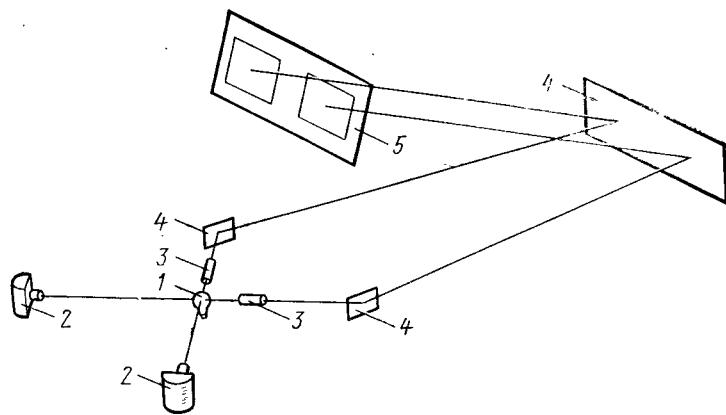


Рис. 9-4. Аппарат фокусирования лампы.

1 — патрон для наружной детали цоколя фокусируемой лампы; 2 — фонари с проекционными лампами; 3 — объективы; 4 — зеркала; 5 — белый экран.

Перемещением лампы в горизонтальной и вертикальной плоскостях добиваются совмещения геометрического центра тела накала с точкой пересечения осевых линий обоих экранов, при этом изображения тела накала на экранах не должны выходить за пределы прямоугольных габаритов рамок, вычерченных на экранах с учетом коэффициента увеличения аппарата.

Нажатием педали направляют острое пламя горелок в зазор между внутренней и наружной деталями цоколя и производят соединение их с помощью припоя.

### 9-3. ТРЕНИРОВКА И ОБЖИГ ЛАМП

Тренировка и обжиг ламп предназначены для стабилизации параметров.

**Тренировка.** Тренировку производят для газоразрядных источников света, имеющих активированные катоды.

Этой операцией преследуются следующие цели:

- окончательное активирование катодов в целях получения высокой и стабильной эмиссии;
- окончательная очистка электродов;
- стабилизация давления наполняющего лампы газа.

Тренировка производится после того, как лампа обезгажена, откачана и ее катоду сообщена эмиссионная способность. Принципиально процесс тренировки можно производить как во время вакуумной обработки ламп, так и после. В большинстве случаев лампы подвергают тренировке после их вакуумной обработки.

Во время вакуумной обработки обезгаживаются электроды лампы, подвергается тепловой обработке и приобретает эмиссионные свойства катод.

Однако твердо установлено, что сразу после вакуумной обработки пераметры ламп находятся ниже номинала и нестабильны. Причиной этого является то, что во время вакуумной обработки в большинстве случаев катод не получает полной активировки и его эмиссионная способность еще недостаточна. Кроме того, после вакуумной обработки электроды ламп содержат на своей поверхности газы, адсорбированные во время оттайки, окислы и другие соединения, на поверхности электродов остаются неровности, микроскопические посторонние частицы и включения, комочки распыленного оксида и т. п., вызывающие в высоковольтных лампах искрения и пробой, разрушающие катод.

Некоторые импульсные кварцевые лампы целесообразно подвергать тренировке во время их вакуумной обработки. Так, ввиду большой чувствительности напряжения зажигания импульсных ламп к незначительным газовым примесям, выделяемым из внутренних деталей ламп при первых вспышках, импульсные лампы в ходе вакуумной обработки на откачном посту подвергают нескольким сериям импульсных разрядов в форсированном режиме. После каждой тренировочной серии загрязнения удаляются путем вымораживания газа в ловушке с последующей откачкой вымороженного остатка и повторным наполнением ламп чистым газом до тех пор, пока напряжение зажигания практически перестает увеличиваться.

Поскольку промышленностью выпускается большое количество различных типов газоразрядных источников света, то разнообразны и режимы тренировки ламп.

**Обжиг ламп.** Обжиг ламп накаливания производится с целью улучшения вакуума, при котором устанавливается подвижное равновесие между выделяющимися и поглощаемыми газами. Кроме того, при отжиге происходит формирование надлежащей кристаллической структуры тела накала.

До обжига вакуумных ламп производят их аблиц, т. е. улучшение вакуума при первом зажигании ламп с помощью газопоглотителей, сопровождающееся появлением тлеющего электрического разряда в газе.

При первом зажигании ламп происходит выделение газов из нагретых деталей и быстрое испарение газопоглотителя, вызывающее повышение давления в лампе. Выделенные газы и пары под действием испускаемых вольфрамовой нитью электронов и ускоряющего действия электрического поля ионизируются и становятся токопроводящими. Ток в цепи лампы начинает проходить не только через тело накала, но и через газы и пары, вызывая их свечение. Когда газопоглотитель свяжет значительную часть газов, давление в лампе понизится и свечение быстро исчезнет.

При обжиге вакуумных ламп нагретые лучистым теплом стенки колбы и внутренние детали лампы выделяют еще некоторое количество газа, которое поглощается отложившимся на стенках колбы активным слоем фосфора; вакуум в лампе улучшается (лампа жестится) и устанавливается подвижное равновесие между выделяющимися и поглощаемыми газами.

Обжиг вакуумных ламп производится в течение нескольких минут при напряжении на 15% выше номинального при условии, что температура колбы при горении лампы не превышает 80—100°C. В лампах на напряжение ниже 40 В остаточные газы не ионизируются, давление понижается главным образом за счет химического поглощения фосфором кислорода и паров воды.

При обжиге газополных ламп (напряжение превышает номинальное) происходит активное выделение газов и паров воды из внутренних деталей и поглощение их введенным в лампу газопоглотителем. При эксплуатации ламп при номинальном напряжении внутренние детали нагреваются значительно ниже, чем при обжиге, и газоотделение из деталей практически больше не происходит.

Обжиг газополных ламп продолжается 20—30 с. Начальные ступени обжига производятся при напряжении, равном 85—90% номинального, а последние — равном 115—120% номинального. На первых ступенях обжига спираль освобождается от внутренних напряжений, поскольку происходит первичная рекристаллизация. На последних позициях формируется окончательная кристаллическая структура вольфрама — завершается вторичная рекристаллизация. При этом кристаллическая структура сначала превращается из волокнистой в мелкозернистую, а затем в крупнозернистую и проволока превращается в соединенные между собой отдельные крупные кристаллы.

Как аблиц, так и обжиг ламп накаливания производят на специальных автоматах обжига или комбинированных автоматах цоколевания, припайки электродов и обжига. При изготовлении небольших партий ламп обжиг производится на специальных столах.

#### 9-4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ВЫДЕРЖКА И УПАКОВКА ЛАМП

В процессе изготовления ламп могут возникать внутренние напряжения в стекле. Эти напряжения в любой момент могут привести к растрескиванию стекла и натеканию ламп.

Как показал опыт, наибольшее число натекших ламп обнаруживается в первые дни после их изготовления. В дальнейшем количество натекших ламп уменьшается.

Для того чтобы оградить потребителя от скрытых видов брака, все лампы подвергаются выдержке на промежуточном складе. Срок выдержки устанавливается в зависимости от назначения ламп и предъявляемых к ним требований. В основном лампы выдерживаются от 3 до 5 суток, специальные лампы (лампы особой надежности) выдерживаются 2 недели и больше.

Кроме того, при повышенном браке, выявляемом при проверке среднесуточного процента брака, может устанавливаться для отдельных партий ламп более длительный срок технологической выдержки. Выявленный после технологической выдержки брак (в зависимости от типа ламп) составляет от 0,2 до 1,5%.

После истечения установленного срока технологической выдержки лампы проверяют на зажигание или на натекание и передают на упаковку.



Упаковка ламп является конечной операцией в технологическом цикле производства ламп, от качества которой зависит защита их при хранении и транспортировке от механических повреждений, загрязнений и атмосферных осадков. Сохранность ламп достигается применением тары из гофрированного картона, которая имеет ряд преимуществ перед деревянной тарой.

Многие электроламповые заводы имеют свои картонные участки, оборудованные современным высокопроизводительным оборудованием по изготовлению картонной тары.

Массовые типы выпускаемых ламп (лампы накаливания, люминесцентные и др.) упаковываются сначала в первичную тару (трубки, чехлы, манжеты), а затем — в групповую — наружную (вторичную).

Лампы диаметром менее 35 мм упаковывают в коробки из гофрированного картона, снабженные решетками из гладкого картона.

Для ламп, предназначенных к отгрузке в местности с тропическим климатом, наружную тару завертывают в плотную бумагу и попружают в парафино-резиновый состав.

При перевозке ламп морем групповые коробки упаковывают в фанерные или тесовые ящики.

Крупные лампы (прожекторные и др.) подвешивают в деревянных ящиках на амортизаторах.

За последние годы в связи с развитием химической промышленности представляет интерес использование для некоторых источников света современных вспениваемых синтетических материалов.

#### 9-5. МЕХАНИЗИРОВАННЫЕ ЛИНИИ СБОРКИ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Изложенные выше технологические операции сборки источников света, начиная от сборки ножек и кончая цоколеванием, при производстве источников света массового применения выполняются на поточных сборочных линиях, где автоматизирована большая часть технологических и загрузочно-транспортных операций. В зависимости от объема выпуска источников света производительность сборочных линий колеблется от 1000 до 2000 шт/ч, причем все линии узко специализированы.

Основу линий сборки составляют автоматические карусельные машины с периодическим перемещением

карусели, а в последнее время появились линии с непрерывным движением конвейеров и каруселей автоматов, например описанная ниже сборочная линия «Тиса». Эти линии являются принципиально новым видом технологического оборудования, позволяющим существенно повысить как производительность машин, так и производительность труда на линии.

Основным видом оборудования для производства ламп накаливания, составляющим большую часть парка специального технологического оборудования, являются линии сборки ламп накаливания общего назначения мощностью 15—200 Вт. В электроламповой промышленности СССР эксплуатируются как отечественные линии, так и изготовленные в ВНР (фирма «Тунгсрам») и ПНР. Линии практически однотипные и имеют кинематическую производительность 2000 шт/ч, для ламп в колбах диаметром до 65 мм и 1500 шт/ч для ламп в колбах диаметром 80 мм.

На этих линиях вручную выполняются следующие операции:

укладка спиралей на барабан монтажного автомата; перегрузка смонтированных ножек с конвейера в диск-питатель заварочно-откачного автомата, поштучная загрузка колб в конвейер;

одевание цоколей и установка ламп в гнезде цоколевочного автомата;

контроль готовых ламп.

Кроме того, необходима периодическая укладка деталей в бункера автомата штамповки ножек.

Схема планировки линии представлена на рис. 9-5. Линия занимает площадь 60 м<sup>2</sup> и обслуживается бригадой, состоящей из восьми работников и четырех наладчиков.

На рис. 9-6 представлена схема планировки автоматической высокопроизводительной (3600 шт/ч) сборочной линии «Тиса», предназначенной для производства газонаполненных ламп мощностью 40—100 Вт (в колбе диаметром 60 мм). Линия занимает площадь 90 м<sup>2</sup>.

Такие линии начали внедряться в производство с 1973 г., и поскольку описание их работы практически не изложено в литературе, то остановимся на этом.

Главнейшие особенности линии, позволившие автоматизировать все технологические операции и достичь высокой производительности: непрерывное движение

конвейеров и каруселей машин линии, несущих рабочие позиции; наличие системы автоматического контроля качества полуфабрикатов и исправности механизмов машин линии, включающей в себя электромеханические запоминающие устройства и электронные блоки управления.

Автоматы линии, за исключением автомата монтажа спирали, являются машинами конвейерного типа с непрерывным движением конвейеров.

Автомат сборки ножек 1 имеет конвейер с 71 позицией, в которые на ходу загружаются специальными конвейерными механизмами детали ножки. Огневая обработка осуществляется сопровождающими горелками. Автомат снабжен автоматической блокировкой подачи деталей, устройством для контроля и разбраковки готовых ножек и запоминающим устройством, обеспечивающим сигнализацию на диспетчерский пульт о состоянии технологического процесса на машине и исправности ее исполнительных механизмов.

Отштампованные ножки направляются в печи отжига 2 для снятия внутренних напряжений, а из них — на двухкарусельный автомат монтажа спирали 4. Автомат монтажа принципиально не отличается от известных машин, однако снабжен автоматическими спиралеукладчиками с вибробункерами, рассчитанными на поштучную подачу биспиралей, устройствами для контроля качества монтажа спирали и держателей, запоминающим устрой-

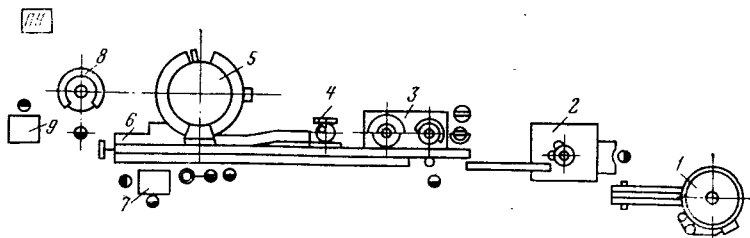


Рис. 9-5. Схема планировки оборудования линии сборки нормальных осветительных ламп мощностью от 15 до 200 Вт.

1 — автомат штамповки ножек, модель СЖ2.112.003; 2 — автомат монтажный, модель СЖ2.204.002; 3 — автомат заварочно-откачной, модель СЖ2.308.001; 4 — автомат намазки цоколей, модель Б 344.02; 5 — полуавтомат цоколевки, модель СЖ2.220.002; ПУ — пульт управления к полуавтомату цоколевки, модель СЖ3.624.026; 6 — трансформатор аблнца и обжига к полуавтомату цоколевки; 7 — стол монтажный с газовым паяльником, модель ИО20.603.000; 8 — полуавтомат контроля лампы, модель СЖ2.603.000; ПУ — пульт управления к полуавтомату контроля, модель СЖ3.624.025; 9 — стол монтажный для упаковки, модель ИО20.0015.

ройством и фотоэлектрическим датчиком, обеспечивающим загрузку годных смонтированных ножек в каждое гнездо конвейера-накопителя 5. Конвейер-накопитель обеспечивает синхронизацию монтажного автомата периодического действия с заварочно-откачным автоматом непрерывного действия, компенсирует разницу в кинематической производительности этих автоматов, вызванную необходимостью пропускать на заварку только годные ножки, а также обеспечивает бесперебойную работу линии при кратковременных остановках машин для подналадки. Заварочно-откачной автомат 6 имеет 65-позиционный заварочный конвейер и 60-позиционную откачную карусель, а также загрузочные и перегрузочные конвейеры, механизмы формовки горла заваренных ламп (установленные на звездочке заварочного конвейера) и устройства контроля и блокировки, работающие совместно с запоминающим устройством. Подача колб в автомат осуществляется транспортером от машины подачи колб 3, куда колбы засыпаются из ящиков, ориентируются и поштучно загружаются в гнезда транспортера, откуда присосами переносятся в заварочные позиции. Заварка осуществляется неподвиж-

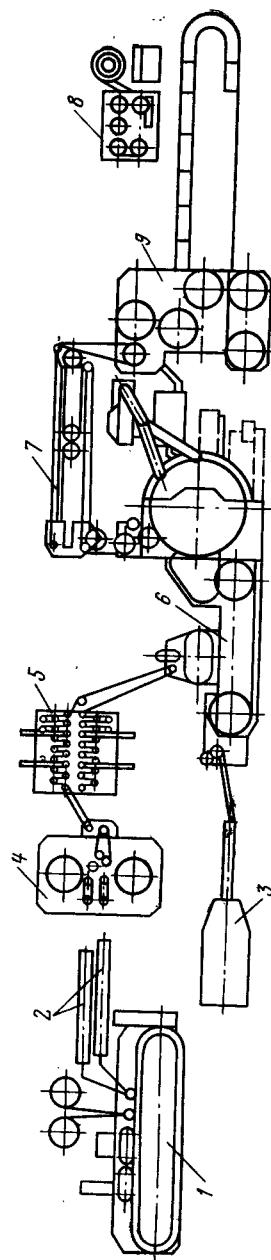


Рис. 9-6. Схема планировки оборудования автоматической линии сборки нормальных осветительных ламп «Гиса» мощностью от 15 до 100 Вт.

ными горелками, после чего следуют формовка горла лампы и их перенос в откачную карусель. Во время переноса производится разведение электродов. Откаченные и отпаянные лампы переносятся конвейером 7 в автомат цоколевки 9, где осуществляются одевание цоколей, полимеризация мастики в электрических печах, обрезки и пайка электродов, а также предварительный обжиг лампы на отдельном конвейере, где лампы контролируются на зажигание и разбраковываются. Автомат снабжен блокирующими устройствами, предотвращающими одевание цоколя на лампу с обрывом спирали или скрепленными электродами, запоминающим устройством и

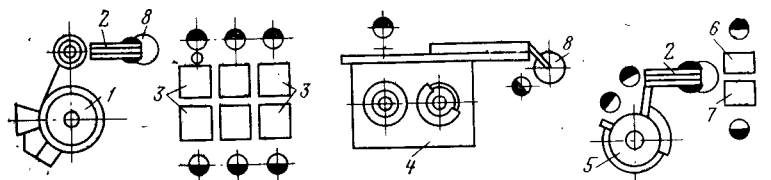


Рис. 9-7. Схема планировки оборудования линии сборки односветных (нефокусируемых) автомобильных ламп.

1 — автомат штамповки ножек, модель СЖ2.112.002; 2 — транспортер межоперационный, модель Н.094.001; 3 — стол монтажно-сварочный, модель Н.020.0002; 4 — автомат заварочно-откачной, модель Е332.01; 5 — полуавтомат цоколевки, обжига и пайки электродов, модель СЖ2.221.000; 6 — стол для контроля ламп, модель ИО20.0015; 7 — стол для упаковки ламп, модель ИО20.0015; 8 — стол-подставка для изделий, модель Е903.02.

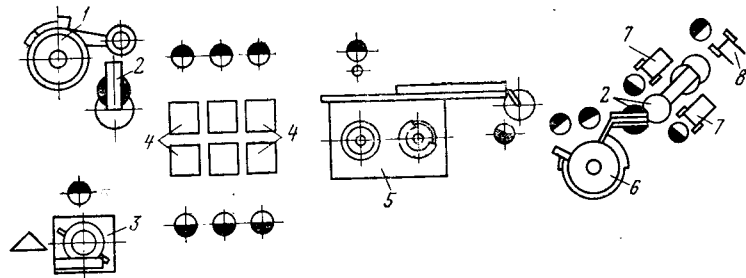


Рис. 9-8. Схема планировки оборудования линий сборки двухсветных (фокусируемых) автомобильных ламп.

1 — автомат штамповки ножек, модель СЖ2.112.002; 2 — транспортер межоперационный, модель Н.094.001; 3 — полуавтомат формовки электродов и приварки крючка, модель Е390.01; 4 — стол монтажно-сварочный, модель ИО20.0002; 5 — автомат заварочно-откачной, модель Е332.01; 6 — полуавтомат цоколевки, обжига и пайки электродов, модель СЖ2.221.000; 7 — аппарат фокусировки автоламп с цоколем 2ФД42-1, модель Е348.02.47; 8 — контрольный фокусирующий аппарат (без огневой оснастки), модель Е348.02.47.

сигнализацией на диспетчерский пульт, где, кроме сигнализации о возникающих последовательных и периодических неисправностях всех машин линии, имеются счетчики загруженных полуфабрикатов и изготовленных ламп. Намазанные цоколи подаются в автомат цоколевки из автомата намазки цоколей 8, имеющего непрерывно движущийся конвейер с гнездами, несущими цоколи, и две карусели с бункерами мастики, работающими попеременно (бункера, таким образом, можно заполнять мастикой, не останавливая автомат).

Полная автоматизация загрузочных и контрольных операций позволила сократить обслуживающий персонал:

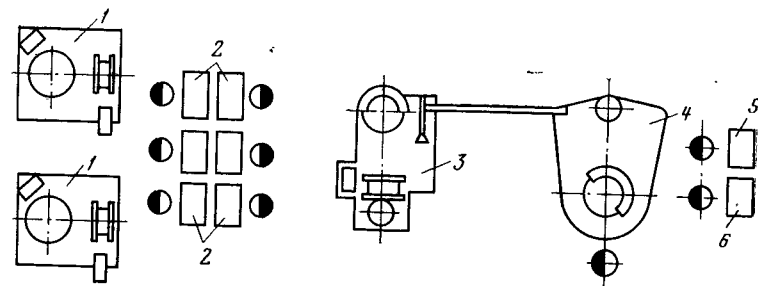


Рис. 9-9. Схема планировки оборудования линии сборки минитюрных ламп с немеханизированным монтажом тела накала.

1 — автомат изготовления бусиновых ножек и монтажа поддержек, модель ИО26.011; 2 — стол монтажный с ножным прессом для монтажа спиралей на ножках, модель ИО20.0015; 3 — автомат заварки и откачки, модель ИО22.009; 4 — полуавтомат цоколевки ламп, модель ИО24.006; 5 — стол для контроля ламп; 6 — стол для упаковки ламп.

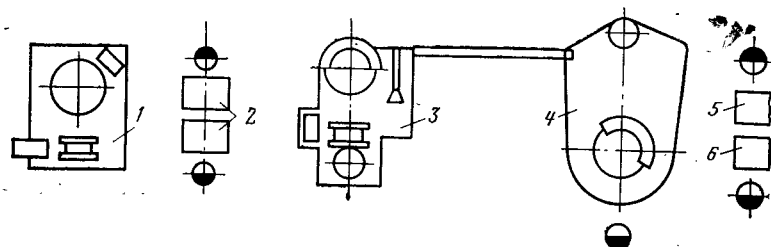


Рис. 9-10. Схема планировки оборудования линии сборки минитюрных ламп с механизированным монтажом тела накала.

1 — автомат изготовления бусиновых ножек и монтажа спиралей, модель ИО26.011; 2 — стол монтажный с ножным прессом для монтажа спиралей на ножках, модель ИО20.0015; 3 — автомат заварки и откачки, модель ИО22.009; 4 — полуавтомат цоколевки ламп, модель ИО24.006; 5 — стол монтажный для контроля ламп, модель ИО20.0015; 6 — стол монтажный для упаковки ламп, модель ИО20.0015.

линии до 6 человек в смену, включая четырех наладчиков и диспетчера.

Вторым массовым типом ламп накаливания являются автомобильные лампы, среди которых различают нефокусируемые (односпиральные) и фокусируемые (двухспиральные для фар головного света).

Планировки этих линий представлены на рис. 9-7 и 9-8; линии отличаются друг от друга лишь наличием или отсутствием фокусировочных аппаратов. Производительность линии односпиральных ламп (в колбе диаметром до 25 мм) — 1500 шт/ч, двухспиральных (в колбе

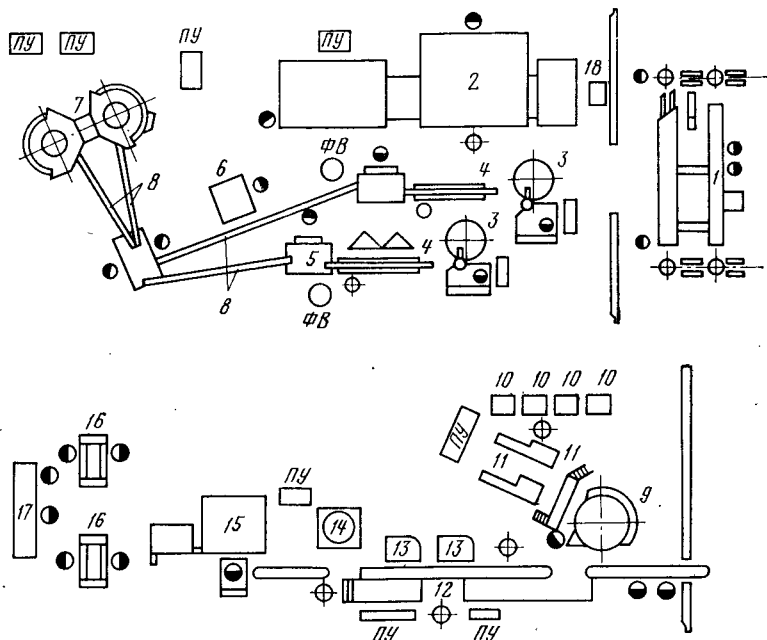


Рис. 9-11. Схема планировки оборудования линии сборки люминесцентных ламп мощностью 20—80 Вт (изготовления ВНР, фирма «Тунгсрам»).

1 — установка мойки, сушки колб и нанесения люминофора, модель MFL.18; 2 — машина выжигания биндера, модель ZFL.18; 3 — автомат штамповки ножек, модель CFL.4; 4 — печь отжига ножек, модель 30; 5 — автомат монтажный, модель LFL.3; 6 — стол монтажный, модель И020.0002; 7 — автомат заварки ламп, модель DFL.13; 8 — транспортер, модель LP.39; 9 — автомат откачки ламп, модель BFL.8; 10 — вакуумный насос, модель В.28; 11 — высокопроизводительный насос, модель Ruvac; 12 — транспортер одевания цоколей, модель LP.58; 13 — автомат намазки цоколей, модель VFL.14; 14 — автомат цоколевки, модель VFL.13; 15 — установка тренировки ламп, модель EBD.15; 16 — установка испытаний, модель EBD.6; 17 — стол для упаковки ламп, модель BT.94; 18 — стол с приборами для определения толщины слоя люминофора, модель LVI.55.

диаметром 36 мм) — 1000 шт/ч. Ввиду сложности монтажа тела накала эта операция выполняется вручную, на монтажных столах.

Еще одним массовым типом ламп накаливания являются миниатюрные лампы, среди которых различают лампы с прямым телом накала и с угловым телом накала, монтируемые на поддержке, впаянной в бусинку ножки. При монтаже тела накала с поддержкой производительность автомата монтажа снижается, и поэтому в линии применяются два автомата. Производительность линии сборки миниатюрных ламп составляет 2000 шт/ч.

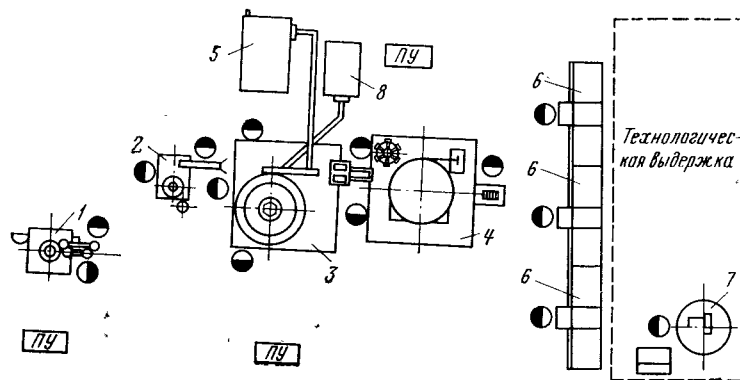


Рис. 9-12. Схема планировки оборудования линии сборки кварцевых горелок ламп ДРЛ мощностью 80, 125, 250 и 400 Вт.

1 — автомат сварки электродов, модель IR-51; 2 — автомат для приварки штенгеля, модель IR-35; 3 — заварочный автомат, модель IR-52; 4 — откатный автомат, модель IR-53; 5 — генератор высокой частоты, модель IR-56; 6 — устройство для обжига горелок, модель IR-54; 7 — устройство для измерения напряжения зажигания, модель IR-55; 8 — холодильный агрегат; ПУ — пульт управления.

Ввиду малых размеров полуфабрикаты передаются с операции на операцию вручную в специальной таре. Схемы планировки линий сборки миниатюрных ламп приведены на рис. 9-9 и 9-10.

Наиболее массовыми газоразрядными лампами являются люминесцентные лампы. В отечественной электроламповой промышленности эксплуатируются в основном сборочные линии венгерского производства. Схема планировки таких линий приведена на рис. 9-11. Производительность линии 1000 шт/ч. Линия состоит из трех участков: участок мойки стеклянных трубок и нанесения на них люминофора; участок огневых операций (выжи-

# КОНТРОЛЬ И ИСПЫТАНИЯ ЛАМП

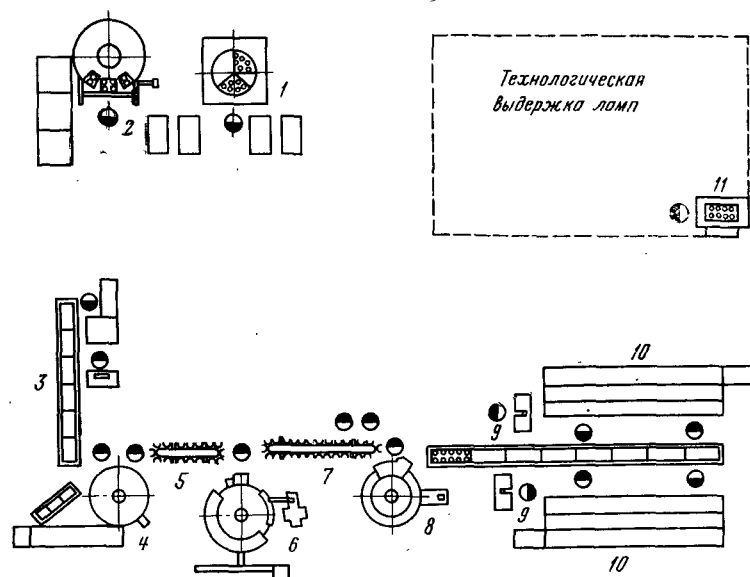


Рис. 9-13. Схема планировки линии сборки ламп ДРЛ мощностью 80, 125, 250 и 400 Вт.

1 — полуавтомат для покрытия колб люминофором, модель LR-62; 2 — печь для выжигания биндера, модель LR-63A; 3 — устройство для зачистки горла колб, модель LR-64; 4 — заварочный полуавтомат, модель LR-71; 5 — транспортер для заваренных ламп, модель LR-73; 6 — полуавтомат откачки, модель LR-74; 7 — транспортер для откаченных ламп, модель LR-75; 8 — полуавтомат покоевания ламп, модель LR-77; 9 — установка ручной пайки, модель LR-78; 10 — устройство для обжига ламп, модель LR-79; 11 — стенд для проверки напряжения зажигания, модель LR-711.

гание биндера, сборка и монтаж ножки и заварка); участок откачки и заключительных операций.

Другим массовым типом газоразрядных ламп являются дуговые ртутные лампы с исправной цветностью типа ДРЛ.

Линия сборки ламп ДРЛ состоит из двух участков: участок изготовления кварцевых горелок; участок сборки ламп в наружной колбе.

Планировки участков линии сборки ламп ДРЛ приведены на рис. 9-12 и 9-13. На такой линии выпускаются лампы мощностью 80, 125, 250 и 400 Вт. Производительность линии 500 шт/ч.

Конструкция тех или иных источников света и применяемая технология должна обеспечивать стабильность световых и электрических параметров и механическую прочность ламп в течение всего срока службы, при транспортировке и хранении ламп — в пределах норм, установленных стандартами или техническими условиями.

Однако не может быть гарантии, что все 100% изготавливаемых ламп обладают всеми параметрами и свойствами для нормальной работы в заданных режимах.

Как показала практика, часть ламп в зависимости от технического уровня производства имеет отклонения от заданных параметров. Такие лампы должны быть обнаружены и не выпущены с завода.

Правильно организованный систематический контроль производства позволяет оперативно не только ликвидировать возникший брак, но вовремя предупредить его.

Основным методом контроля производства является испытание ламп. Испытанием ламп преследуют две цели:

Первая — определение способности ламп нормально работать в режимах (электрических, механических, тепловых, климатических и др.), оговоренных в стандартах и технических условиях.

Вторая — определение измеряемых параметров ламп, их средних значений и распределения параметров у партий ламп, продукции за день, декаду, месяц и т. д.; на основании полученных данных определяется технологический запас по тем или иным параметрам и задаются новые технические нормы на контроль материалов и деталей, на допуски при изготовлении технологического инструмента, на технологические процессы и т. д.

Для контроля производства часто применяют специальные методы испытаний, не предусмотренные стандартами и техническими условиями. Изучение статистического разброса параметров ламп и увязка этого

разброса с технологическими факторами имеют решающее значение в деле повышения качества и надежности работы ламп.

#### 10-1. ВИЗУАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ

Наружным осмотром определяют внешний вид ламп — пятна на колбе, пороки в стекле колбы, нечеткую маркировку, окисленную или грязную поверхность цоколя, обильный налет газопоглотителя, неудовлетворительную припайку или приварку выводов и т. д. — и выявляют недостатки (брак) сборки — обрыв или выпадание спирали из держателей, наличие посторонних частиц в лампе, перегрев или недогрев цоколевочной мастики, осыпание люминофора, трещины (или микротрещины) в стекле и др.

Габаритные размеры ламп или отдельных ее частей проверяют мерительным инструментом или с помощью специальных шаблонов и калибров.

Размеры тела накала ламп (прожекторных, кинопроекторных, оптических, автомобильных и др.) измеряют с помощью оптического прибора путем проецирования изображения тела накала на экран в увеличенном масштабе (проекция тела накала должна вписываться в установленные габариты).

Расположение тела накала для этих групп ламп проверяется при помощи проекционного прибора, дающего увеличенное изображение тела накала на две взаимно перпендикулярные плоскости, на которых в соответствующем масштабе нанесены прямоугольники; при этом испытываемая лампа должна быть установлена вертикально цоколем вниз в патрон, соответствующий данному типу цоколя. Вертикальные оси прямоугольников должны совпадать или быть параллельными оси наружной части цоколя. Центры всех прямоугольников должны быть расположены в соответствии с номинальной высотой светового центра.

Контроль размеров отдельных деталей ламп и расстояний между ними производят измерительным проектором, показывающим на большом экране изображение контуров деталей в увеличенном масштабе.

Соосность цоколя и колбы проверяют проворачиванием лампы в патроне специального прибора и определением по шкале, отградуированной в миллиметрах, наибольшего и наименьшего отклонений колбы от оси.

#### 10-2. СВЕТОВЫЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Световые параметры источников света измеряют с помощью специальных приборов — фотометров.

При фотометрировании ламп накаливания определяют световой поток, силу света, яркость, цветовую температуру, а также ток лампы, световую отдачу и мощность.

Ток лампы определяется при напряжении, равном номинальному или расчетному.

Мощность вычисляют как произведение тока на подведенное напряжение, световую отдачу — как отношение светового потока к мощности.

Лампы фотометрируют субъективным (зрительным) или объективным (физическим) методом. При субъективном методе приемником световых лучей служит человеческий глаз, а при объективном методе — физические приемники лучистого потока (фотоэлементы, фотоэлектронные умножители, фотографическая пленка и др.).

##### а) ИЗМЕРЕНИЕ СВЕТОВОГО ПОТОКА

Объективные и субъективные измерения светового потока ламп производят с помощью фотометрического шара (рис. 10-1). Фотометрический шар, или шаровой фотометр, представляет собой полый шар, внутренняя поверхность которого выкрашена белой рассеянно отражающей свет краской. Шар имеет отверстие *O*, в которое помещено молочное стекло, служащее одним из полей сравнения или присоединения тубусфотометра *ТФ*. Испытываемый источник света *И* помещают внутри шара через открывающуюся дверку, составляющую часть поверхности шара (у шаров малого диаметра, шары большого диаметра делаются из двух половин — подвижной и неподвижной). Экран *Э* защищает от прямого освещения участок сферической поверхности, который служит полем сравнения.

При измерении светового потока лампы ее включают на точно заданное напряжение. Световой поток, излучаемый лампой, претерпевает от внутренней поверхности шара многократное диффузное отражение.

При использовании зрительного фотометра для определения светового потока ламп устанавливают равенство яркостей двух смежных полей, из которых одно освещается измеряемой лампой, находящейся в фотометрическом шаре, а другое — лампой с известным световым

потоком. После визуального установления равенства яркостей обоих полей (фотометрические равенства) определяют световой поток измеряемой лампы. При субъективном методе точность оценки световых параметров зависит от индивидуальных особенностей глаза и степени утомления наблюдателя.

При использовании физического фотометра (с помощью фотоэлемента) световые параметры ламп оцениваются объективно, количественно, независимо от особенностей глаза наблюдателя.

Измерение светового потока физическим фотометром производится по схеме, приведенной на рис. 10-2.

Отверстие фотометрического шара 1 перекрывается молочным стеклом 2 и экранируется от источника света 3 экраном 4. За молочным стеклом 2 располагается селеновый фотоэлемент 5. В цепь фотоэлемента включен гальванометр 6.

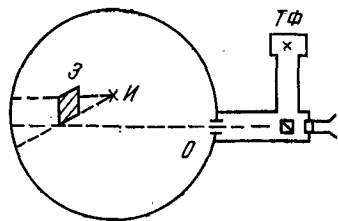


Рис. 10-1. Схема фотометрического шара.

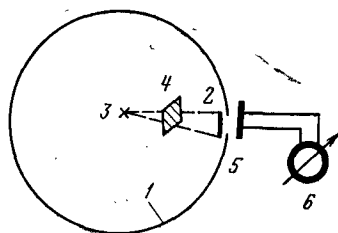


Рис. 10-2. Схема измерения светового потока физическим фотометром.

Определив показание гальванометра испытуемого источника света и эталонного источника света, определяют поток испытуемого источника по формуле

$$F_x = F_0 \frac{n_x}{n_0},$$

где  $F_x$  и  $F_0$  — соответственно световые потоки испытуемого и эталонного источника света, лм;  $n_x$  и  $n_0$  — показания гальванометра при измерении потоков испытуемого и эталонного источников света.

Если спектральный состав испытуемого источника резко отличается от спектрального состава эталонного источника света, то при измерениях необходимо пользоваться фотоэлементом с корректирующим светофильтром.

При измерении светового потока люминесцентных ламп в электрическую схему включаются вольтметр, амперметр и ваттметр с максимально большим сопротивлением, стартер и дроссель. Питание ламп осуществляется через стабилизатор. С помощью автотрансформатора устанавливается постоянная, заданная стандартом мощность ламп, после чего измеряются напряжение сети, ток, напряжение и световой поток лампы (при измерении светового потока ваттметр и вольтметр выключаются).

## 6) ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ СВЕТА

Измерение силы света ламп производят на линейном или распределительном фотометрах. При измерении силы света на линейном фотометре (фотометрической скамье) фотоэлемент используется как нуль-индикатор (компенсационная схема включения фотоэлемента),

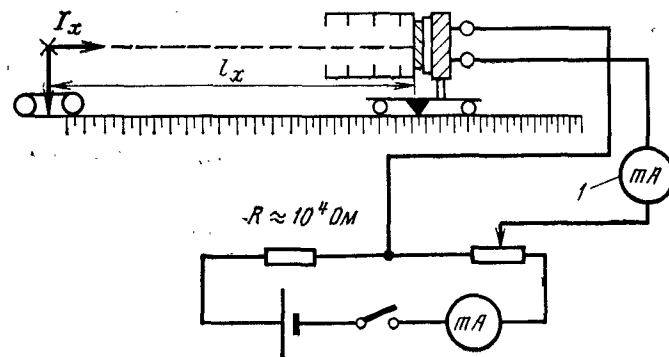


Рис. 10-3. Компенсационная схема измерения силы света на линейном фотометре.

рис. 10-3. При использовании такой схемы получают большую точность измерения силы света.

На неподвижной каретке установлена испытуемая лампа на расстоянии  $l_x$  от фотоэлемента, который включен параллельно внешнему источнику тока, цепь которого замкнута через резистор  $R$  и реостат — делитель напряжения, к движку которого подключен фотоэлемент. Установив делителем напряжения ток в цепи фотоэлемента на нуль, заменяют измеряемый источник света эталонным и, перемещая фотоэлемент, находят такое расстояние от эталонного источника света, при котором

ток в цепи фотоэлемента снова будет равен нулю. Поскольку освещенность фотоэлемента пропорциональна квадрату расстояния от источника света, то

$$I_x = I_0 \left( \frac{l_x}{l_0} \right)^2,$$

где  $I_0$  и  $I_x$  — силы света эталонного и измеряемого источников света, кд;  $l_0$  и  $l_x$  — расстояние от фотоэлемента до эталонного и измеряемого источников света, мм.

#### в) ЦВЕТОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Цветовые измерения производят субъективным и объективным методами.

При субъективном методе цветовых измерений (колориметр Демкиной) добиваются равенства по яркости и цветности двух полей сравнения. Одно поле сравнения освещается измеряемым источником света, а второе — смесью трех излучений с известными цветностями. Эти три излучения можно смешать в различных пропорциях.

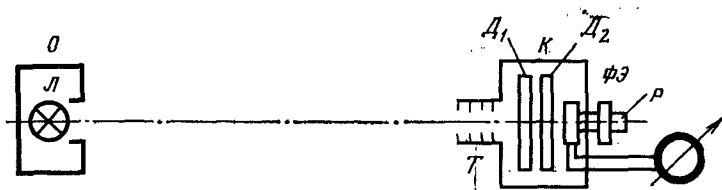


Рис. 10-4. Схема фотоэлектрического колориметра.

В объективных колориметрах приемниками служат селеновые фотоэлементы. Схема такого колориметра изображена на рис. 10-4.

На фотометрической скамье расположен осветитель О с лампой накаливания Л. В передней части кожуха К расположен тубус Т, исключающий попадание отраженных излучений на фотоэлемент. Напротив тубуса размещены два диска  $D_1$  и  $D_2$  с отверстиями (рис. 10-5) и селеновый фотоэлемент ФЭ. Кожух свободно перемещается по скамье.

Поворот дисков производится ручкой Р, каждый из дисков имеет по пять фиксированных положений. При трех фиксированных положениях первого диска перед

фотоэлементом располагаются соответственно светофильтры красный, зеленый или синий; при четвертом положении — отверстие в диске, при пятом — непрозрачный диск. Каждое фиксированное положение первого диска отмечается появлением в специальном окошечке одного из индексов: К, З, С, О, 1. Этот диск служит для периодической градуировки колориметра и измерения цветовой температуры.

Второй диск имеет также пять фиксированных положений. Каждое фиксированное положение второго диска отмечается появлением рядом с индексом первого диска одного из индексов Х, У, Z, О, 1.

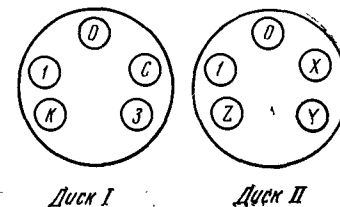


Рис. 10-5. Диски колориметра.

Положение Х соответствует размещению перед фотоэлементом специального светофильтра: ток гальванометра при этом положении пропорционален части координаты цвета  $x'$ . При положениях У и Z перед фотоэлементом располагаются соответствующие светофильтры, а ток гальванометра пропорционален координатам цвета  $y'$  и  $z'$ .

При положении О перед фотоэлементом располагается отверстие; при положении 1 фотоэлемент перекрывается непрозрачным диском. Положение О, О позволяет периодически проверять нулевой отсчет гальванометра. Эталонным источником служит источник с известными координатами цветности.

#### 10-3. МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ

Надежность и долговечность — это свойства источников света, предусматривающие стабильность их электрических и световых параметров в различных условиях механических воздействий.

Эксплуатация специальных ламп в автомобилях, железнодорожном и водном транспорте, на самолетах, космических кораблях и т. п., а также транспортировка их предъявляют к ним жесткие требования по устойчивости против механических воздействий с ускорениями различного рода.

В результате воздействия ударов и длительной вибрации лампы могут преждевременно выходить из строя



(обрыв спирали, появление микротрещин в стекле, короткое замыкание, изменение межэлектродных расстояний и др.) или изменять электрические и световые параметры.

Режимы механических испытаний задают по возможности близкими к условиям эксплуатации.

Для придания испытуемым лампам вибрации с определенным ускорением используют механические и электродинамические стенды, создающие синусоидальные колебания в одной плоскости. Ускорение, создаваемое стендом, определяется соотношением

$$a = 0,4f^2H,$$

где  $a$  — ускорение,  $\text{м/с}^2$ ;  $f$  — частота колебаний, Гц;  $H$  — амплитуда колебаний, см.

Испытание прочности лампы в условиях ударных нагрузок, тряски и вибраций называется испытанием на вибропрочность. Цель такого испытания — обнаружить ослабление прочности конструктивных элементов лампы и наличие в ней посторонних частиц.

Испытание вибропрочности ламп производят на механических 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 электродинамическим 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.

При испытании ламп на длительную вибрацию (вибропрочность) их подвергают продолжительному воздействию колебаний с перегрузкой от 20 до 50—70  $\text{м/с}^2$ , режим задают в виде нескольких определенных значений частоты от 15 до 200 Гц и амплитуды от 2 до 0,02 мм.

Вибростойкость ламп оценивают, как и вибропрочность, на механических и электродинамических вибрационных стендах. При этом плавно наращивается частота вибрации платформы стенда в диапазоне от 20 до 2500 Гц при произвольном или заданном значении уско-

рения (30—50  $\text{м/с}^2$ ) и с выдержкой по 1—2 мин через каждые 10—20 Гц. С наступлением собственной (резонансной) частоты элементы лампы или вся лампа приходят в колебательное движение. Такие испытания проводятся для выявления опасных механических резонансов и проверки прочности и жесткости внутренней арматуры ламп.

Ударопрочность ламп проверяется на специальных ударных испытательных стендах. Рабочая платформа стенда с лампами поднимается до заданной высоты и затем свободно падает на амортизирующие подушки, испытывая при этом удар.

Для различных ламп число ударов колеблется от нескольких единиц до нескольких тысяч, частота ударов составляет от 40 до 80 раз в минуту, а ударная перегрузка от нескольких десятков при многократных ударах до нескольких тысяч метров на секунду в квадрате — при одиночных ударах.

Некоторые лампы (автомобильные, тракторные и др.) испытывают на сотрясение, имитирующее транспортную тряску.

Испытание прочности крепления цоколя с лампой производят на специальном приборе (рис. 10-6). Испытуемую лампу вставляют до отказа в патрон, расположенный на переднем конце вала. Плавно поворачивают лампу рукой до тех пор, пока укрепленный на другом конце вала груз своей тяжестью не оторвет цоколь от лампы. Стрелка шкалы покажет значение момента.

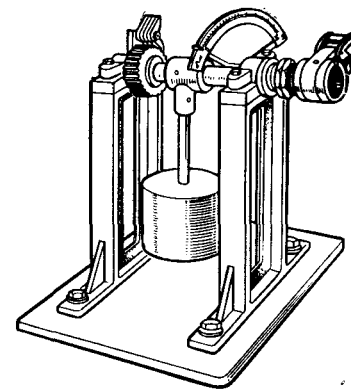


Рис. 10-6. Прибор для испытания ламп на прочность крепления цоколя.

#### 10-4. КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ

Источники света в реальных условиях работы подвергаются воздействию климатических факторов: температуры, давления, влажности и др. Надежность их работы зависит от того, насколько они способны противостоять неблагоприятным климатическим воздействиям, сохраняя заданные значения параметров.

В наиболее полном объеме климатическим испытаниям подвергаются лампы повышенной надежности. В комплекс климатических испытаний входят испытание на стойкость к термоударам колбы, влагустойчивость, стойкость к пониженному и повышенному давлению, стойкость к тропическим условиям работы и др.

Режимы климатических испытаний в зависимости от назначения ламп и предъявляемых к ним требований могут между собой отличаться.

Влияние повышенного и пониженного давления окружающей среды проверяется путем закладки в барокамеру ламп, где создают перепад давлений от долей мегапаскаля до 0,1—0,01 Па.

Нагревостойкость оболочки и спаев проверяется путем циклического воздействия резких изменений температуры. Лампы, разогретые в камере тепла до предельно допустимой температуры, быстро переносятся в камеру холода с температурой ниже нуля. После отстывания в течение 10—30 мин они вновь помещаются в камеру тепла и т. д. несколько раз. Температура в камерах тепла и холода задается ТУ (от  $+150 \div 200$  до  $-60^\circ\text{C}$ ). При таком температурном воздействии возможны трещины стекла, нарушение герметичности спаев и газоотделение внутри ламп. Облегченный вариант этих испытаний проводится в двух резервуарах с водой, нагретой до кипения и охлажденной до  $0^\circ\text{C}$ .

Повышенная влажность воздуха, действуя на лампы в течение длительного времени, приводит к окислению металлических частей ламп, ослаблению прочности крепления цоколя, вызывает электрические утечки, пробой по изоляции и незаметно разрушает спай стекла с металлом. Испытание на влагостойкость проводится в камере влажности при температуре  $20\text{—}55^\circ\text{C}$  и относительной влажности до 98%. Длительность испытания—до 30 суток.

Более жесткое испытание ламп на устойчивость против коррозии производится в атмосфере «морского тумана». Морской туман создается в камере при температуре  $27^\circ\text{C}$  путем распыления раствора хлорных солей натрия, калия, магния и кальция. Лампы выдерживаются в этой атмосфере до 7 суток, после чего на них проверяется отсутствие коррозии.

Климатические испытания проводятся, как правило, выборочно и в течение времени, более короткого, чем

продолжительность горения ламп. По результатам испытания небольшого количества ламп из партии делается заключение о климатической стойкости всей партии в течение всего срока службы.

#### 10.5. ИСПЫТАНИЯ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

Основным показателем долговечности является продолжительность горения—одно из наиболее важных свойств ламп. Лампы, изготовленные по установленной технологии, испытанные и удовлетворяющие требованиям ТУ на световые и электрические параметры, механическую и климатическую стойкость, должны быть испытаны на продолжительность горения. Их параметры и свойства в продолжение работы должны оставаться в пределах, допустимых в условиях нормальной их работы.

Современные источники света изготавливаются на продолжительность горения от нескольких часов до 12—16 тыс. ч.

Среди большого числа параметров ламп некоторые являются для своих классов ламп основными, определяющими работоспособность в течение всей продолжительности горения. Эти параметры выбираются критериями годности ламп, и предельные их значения устанавливаются соответствующими стандартами и техническими условиями.

При фиксированных условиях эксплуатации или испытаний исчерпывающей характеристикой надежности долговечности партии однотипных источников света является статистическое распределение продолжительности горения, которая при этих условиях—случайная величина. Зная распределение продолжительности горения или плотность распределения, можно выразить через нее все показатели надежности и долговечности.

Продолжительность горения отдельного источника света—это время (обычно в часах) от начала эксплуатации (испытаний) до отказа. Отказ применительно к источникам света—это снижение светового потока ниже установленного уровня, который почти всегда нормируется. На практике при эксплуатации отказом считают только снижение светового потока до нуля—перегорание или незажигание (для газоразрядных источников света). Соответственно рассматривают полезную или полную продолжительность горения. Для индивидуальных потребителей важна только полная продолжитель-

ность горения, для крупных осветительных установок с большим числом ламп — полезная.

С этой точки зрения источники света делятся на две группы: осветительные лампы, эксплуатируемые в стационарных условиях и выходящие из строя из-за постепенного износа тела накала или катодов, и специальные лампы, эксплуатируемые часто в условиях повышенных динамических нагрузок и выходящие из строя из-за случайных причин. Распределение продолжительности горения ламп первой группы обычно близко к нормальному, второй — обычно принимается экспоненциальным, когда влияние отказов из-за износа пренебрежимо мало.

Среди нормируемых показателей надежности важнейшим является вероятность безотказной работы за заданное время. Во многих случаях регламентируется гарантийная продолжительность горения, в течение которой вероятность безотказной работы не снижается до установленного предельного значения.

Установление показателей надежности и долговечности источников света возможно только выборочным методом — на основании испытаний сравнительно небольшой выборки ламп, взятой из текущей продукции или отдельной партии ламп. Результаты испытаний распространяются на всю совокупность ламп, из которой была взята выборка. Поскольку распределение продолжительности горения в выборке и партии могут отличаться из-за неизбежных случайностей при отборе, приходится определять доверительные интервалы, в которых лежат с заданной доверительной вероятностью значения показателей надежности и долговечности партии ламп, из которой была взята прошедшая испытания выборка.

Испытания ламп на продолжительность горения бывают эксплуатационные и стендовые. Эксплуатационные проводят в условиях разнообразных механических и климатических воздействий, колебаний подводимого напряжения и пр., а стендовые — в условиях строго устанавливаемых и контролируемых режимов.

При испытании на долговечность рабочее положение ламп задают в зависимости от конструкции ламп — вертикальное цоколем вниз, горизонтальное, наклонное под заданным углом или любое. Нарушение положения ламп при испытании (при эксплуатации то же) меняет характер конвекционных потоков в наполняющем газе и может вывести лампы из строя (вспучивание колбы, раз-

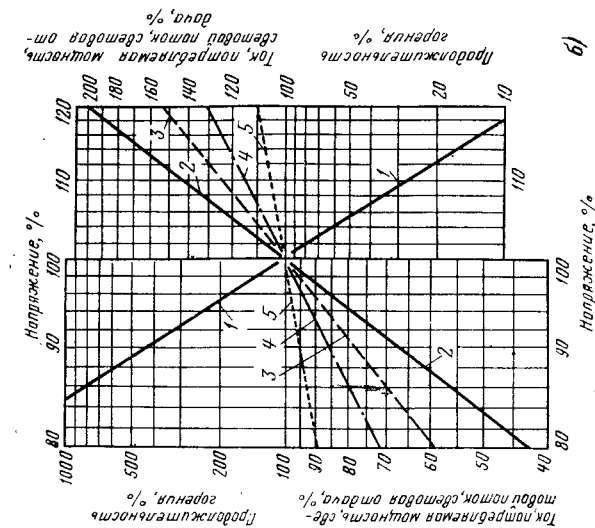
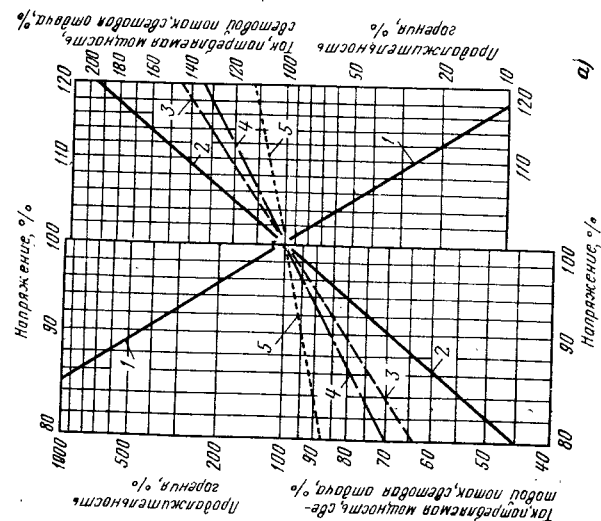


Рис. 10-7. Графики зависимости параметров ламп накаливания от напряжения питания.

а — вакуумные лампы; б — газополные лампы; 1 — продолжительность горения; 2 — световая отдача; 3 — световой поток; 4 — потребляемая мощность; 5 — ток лампы.

рушение ножки, припекание цоколя к патрону, отделение цоколя, возникновение электрической дуги и пр.).

Как уже было сказано выше, многие источники света имеют продолжительность горения 1000 ч и более. Для испытания люминесцентных ламп на долговечность требуется время более года. Поэтому в целях сокращения времени испытания на долговечность для ламп с большой продолжительностью горения допускается наряду с испытаниями ламп при номинальных режимах проводить испытания при форсированных режимах (для ламп накаливания общего назначения напряжение повышают на 10% номинального). При таком режиме ускоряется распыление вольфрама и продолжительность горения ламп соответственно сокращается. Зависимость световых и электрических параметров и продолжительности горения ламп накаливания от изменения питающего напряжения изображена графиками на рис. 10-7.

Как видно из графика, повышение напряжения питающей сети всего лишь на 1% сокращает продолжительность горения ламп на 13—14%, повышает световой поток на 3,5% и увеличивает потребляемую мощность на 1,5%.

## ГЛАВА ОДИННАДЦАТАЯ

# ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ИСТОЧНИКОВ СВЕТА



## 11-1. ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Основным требованием, предъявляемым к производству источников света, является обеспечение высокого качества и стабильности параметров изделий. Диктуется это условиями эксплуатации источников света:

индивидуальным, обычно не дублированным включением ламп в схему;

необходимостью быстрой и удобной замены ламп без изменения или регулировки элементов схемы включения.

Особо высокая надежность и устойчивость рабочих характеристик требуются от ламп, предназначенных для специальных целей (сигнализации и индикации), от источников видимого, ультрафиолетового и инфракрасного излучения, применяемых в научных исследованиях.

Методы и процессы изготовления источников света чрезвычайно сложны и разнообразны. Все они должны осуществляться с соблюдением жестких допусков на режимы и требований вакуумной гигиены.

Электроламповое производство, в особенности производство ламп накаливания общего назначения, являясь одним из самых массовых, требует поточного, высокомеханизированного производства. Рост объема производства, уменьшение трудоемкости и снижение себестоимости источников света достигаются высоким уровнем механизации и автоматизации.

В настоящее время электроламповая промышленность накопила немалый опыт в механизации технологических процессов и создании автоматизированного оборудования, особенно сборочного. Ручной труд операторов заменяется автоматами, полуавтоматами, установками карусельного и конвейерного типа, объединенными в поточные линии, которые выпускают определенный тип (или несколько типов) источников света. Они производят операции, начиная от изготовления ножек и подготовки колб до окончательного контроля параметров годных ламп и их упаковки.

В настоящее время на наших электроламповых заводах наибольшей производительностью (1800—2000 шт/ч) обладают линии сборки ламп накаливания местного и общего освещения мощностью 15—200 Вт.

У линий сборки люминесцентных ламп производительность 1000—1200 шт/ч, у автомобильных — 1000—1400 шт/ч. Другие специальные источники света изготавливаются на оборудовании, имеющем производительность не более 600 шт/ч.

Новые источники света (в процессе освоения) и лампы ограниченного применения изготавливаются обычно на маломеханизированном оборудовании, оснащенном соответствующими приспособлениями.

Каждая машина, автомат или полуавтомат сборочной линии представляют собой сложный комплекс синхронно связанных элементов: устройств загрузки, привода, исполнительных механизмов, разгрузочно-перегрузочных приспособлений, контрольных датчиков, реле и приборов. Например, на откачном полуавтомате последовательно осуществляются автоматическая подача, надежная фиксация в держателях и присоединение заваренных ламп к вакуумной системе, откачка, обезгаживание колб и внутренних деталей, многократная промывка нейтральными газами, наполнение газом и отпайка лампы. Кроме того, на таком же полуавтомате для газоразрядных ламп проводится обработка оксидного катода токами высокой частоты или включением в импульсный режим на высоких и сверхвысоких напряжениях. Затем в лампу автоматически вводятся строго определенные дозы ртути и инертного газа, после чего следуют механизированная отпайка и перегрузка лампы на межоперационный конвейер.

Экономическая эффективность массового автоматизированного производства требует осуществления максимально возможной специализации отдельных машин, линий, участков и целых заводов на выпуске продукции определенного вида.

Необходимо подчеркнуть, что массовое поточное производство источников света требует отличной организации труда и четкого взаимодействия основных сборочных, заготовительных и ремонтных подразделений, централизованной связи и максимальной оперативности.

Весь рабочий, обслуживающий и руководящий персонал должен точно знать свои обязанности, содержание и значение выполняемой работы, возможные причины и виды брака и способы их устранения.

Электроламповое производство коренным образом отличается от приборостроения и машиностроения, где сборочные операции по изготовлению отдельных узлов и приборов в целом, как правило, обратимы (возможна разборка изделия, замена недоброкачественных деталей новыми и даже подгонка их по месту).

Иначе обстоит дело в производстве электрических источников света. Технологические операции сборки узлов и приборов в целом необратимы. Нельзя «пересобрать» лампу, заменить плохие детали хорошими. Так, случайная деформация витков спирали, нахлест электродов при сборке и т. п. делают лампу полностью непригодной; микротрещины в паях приводят к постепенному натеканию воздуха и выходу лампы из строя; повышение тока на катоде или в теле накала приводят к потере эмиссии катода или перегоранию. Даже частичная утилизация деталей и материалов забракованных узлов в большинстве случаев невозможна. Все это повышает процент брака, а следовательно, удорожает производство электрических источников света.

Дело осложняется большой разветвленностью и многочисленностью операций в технологическом процессе производства источников света. Например, технологический цикл изготовления тела накала состоит из 175 производственных и более 60 контрольных операций.

В производстве электрических ламп часто возникают «вспышки» массового брака, причины которых на первый взгляд необъяснимы. Затем брак часто исчезает сам собой, прежде чем технологи успевают обнаружить его причины. Как правило, это объясняется тем, что в сложном технологическом процессе на некоторых операциях были допущены нарушения, суммарное влияние которых на лампу привело к браку.

Известны случаи возникновения брака, обусловленного очень тонкими и, казалось бы, далекими от электровакуумного производства факторами. Например, среди газонаполненных ламп накаливания иногда появляются «черные» лампы (при первом их включении на колбе возникает темный налет — следствие химической реакции попавших в лампу примесей с раскаленным телом накала). Многочисленны причины, вызывающие появление «черных» ламп:

- спирали плохо очищены при травлении и препарировании или загрязнены при монтаже;

- держатели или электроды изготовлены из окисленной молибденовой или никелевой проволоки;

- колбы не чисто вымыты, недостаточно высушены или загрязнены при длительном хранении;

- в лампы попали посторонние предметы, выделяющие газы при нагреве;

- лампы плохо прогреты при заварке или долго не откачивались после нее;

- промывочный или наполняющий газ плохо очищен от паров воды и кислорода;

- участки никелевых звеньев электродов вблизи спиралей окислены при отжиге ножек или электросварке спиралей;

- газопоглотитель приготовлен из недостаточно измельченных или плохо очищенных материалов, введен в лампу в малом количестве,

плохо просушен после нанесения на спираль, впитал влагу из атмосферного воздуха или осыпался вследствие нанесения на окисленную поверхность электродов;

- керамические мостики в специальных лампах приготовлены из недостаточно чистых материалов или плохо препарированы.

Другим примером может служить появление в люминесцентных лампах «желтых» или «черных» концов (на внутренней поверхности трубки-колбы на одном или обоих концах появляются кольцевые налеты желто-зеленого или серого цвета, хорошо различимые при рассмотрении лампы на просвет на свеченном матовом стекле). Причинами могут быть:

- загрязнение суспензии карбонатов посторонними веществами, выделяющимися из катода при его прокаливании во время вакуумной обработки и оседающими на внутренней стенке колбы. Это загрязнение может быть следствием недостаточной очистки воздуха, применяемого для сушки катода после нанесения суспензии;

- нарушение режима нанесения оксидной суспензии на катод;

- недостаточная или чрезмерная вязкость оксидной суспензии;

- попадание суспензии на тире катода или даже на электроды;

- загрязнение катодов на смонтированных ножках вследствие прикосновения к ним недостаточно чистыми руками;

- попадание в лампу продуктов сгорания газа на операции заварки вследствие нарушения огневого режима на заварочной машине;

- нарушение режима прокаливания катодов при вакуумной обработке;

- загрязнение ртути в откачных головках.

Приведенные примеры характеризуют тонкую физико-химическую сущность технологических процессов производства электрических ламп. Нарушение режимов какой-либо операции или изменение химического состава используемых материалов могут вызвать брак.

Многочисленность и сложная взаимосвязь факторов, влияющих на надежность источников света, а также сложность протекающих в них физико-химических процессов не позволяют по выходным параметрам предсказать надежность и продолжительность горения каждой лампы.

В результате испытаний на долговечность и надежность мы получаем данные об источнике света, который уже вышел из строя. Эти данные можно распространить на другие лампы того же типа только в том случае, если эти лампы изготавливались из точно таких же материалов по точно такой же технологии.

При нестабильном технологическом процессе источники света имеют большой разброс параметров, в том числе и по продолжительности горения. Опыт работы электроламповых заводов учит, что без строгой стабильности технологического процесса невозможно получить источник света высокого качества и надежности.

Детали электрических источников света иногда настолько малы, что плохо различаются невооруженным глазом, и допуски на эти детали трудно контролировать даже с помощью самых точных оптических приборов.

Постоянство температуры вдоль тела накала, от которого сильно зависит продолжительность горения ламп, нарушается от незначительных изменений диаметра проволоки или мельчайших нарушений геометрии спиралей или биспиралей, т. е. постоянства диаметра спиралей и ее шага. Биспираль для ламп накаливания напряжением 220 В, мощностью 40 Вт изготавливается из вольфрамовой проволоки

диаметром 25 мкм (диаметр человеческого волоса 20—22 мкм), свитой в спираль диаметром 60 мкм с 12 витками на каждый миллиметр длины, свернутую в свою очередь во вторичную спираль диаметром 0,2 мм. В некоторых специальных лампах тело накала изготавливается из вольфрамовой проволоки диаметром менее 10 мкм, свитой в спираль диаметром 25—30 мкм с числом витков на 1 мм, превышающим 100. Заметить нарушение таких малых размеров даже с помощью оптических приборов непросто.

Качество катода люминесцентной лампы зависит, кроме того, и от качества нанесенного слоя суспензии карбонатов, определяемого чистотой, плотностью нанесения и прочностью сцепления с вольфрамовой проволокой.

Детали источников света требуют чрезвычайно осторожного обращения. Монтаж ножек многих ламп ведется вручную, иногда даже с использованием микроскопа. Незаметные на глаз нарушения геометрии или повреждения поверхности детали при недостаточно аккуратной сборке могут привести к выходу из строя готовых ламп. Сборка ламп, а в особенности ручной монтаж ножек, требует большой сноровки, сборку ответственных узлов источников света ведут монтажники, имеющие стаж работы обычно не менее 5—8 лет.

Изготовление тела накала связано с рядом механических термических и химических операций, каждая из которых в значительной степени влияет на конечный результат. Здесь нет основных и второстепенных операций. Начальная форма тела накала, о значении которой уже говорилось, определяется качеством применяемых вольфрамовых, молибденовых и стальных (для керны) проволок, качеством спирализационного станка и умелой его наладкой. Автоматизировать регулировку натяжения вольфрамовой и молибденовой проволоки пока не удалось. Поэтому начальная геометрия в большой мере зависит от квалификации работника, обслуживающей машину. Не надо думать, что ее роль сводится только к заправке станка и ликвидации обрывов.

Правильное проведение термических операций обеспечивает закрепление первоначальной формы. Неточное их выполнение может, кроме того, привести к загрязнению вольфрама углеродными соединениями и окислению, вызывающими хрупкость. Это не только испортит геометрию спирали, но может привести к браку («черные» лампы) или к сокращению их продолжительности горения.

Нарушение технологии вытравливания керны также приводит к нарушению формы и размеров за счет большой потери массы или механического повреждения спирали.

Изготовление катодов для газоразрядных ламп осложняется тем, что, помимо соблюдения формы и размеров, здесь еще важно правильно и крайне аккуратно нанести активатор на металлическое основание катода.

Чтобы обеспечить стабильность параметров и долговечность ламп, необходимо поручать эти операции наиболее квалифицированным работникам: тщательно соблюдать в помещениях, где выполняются эти операции, строгую вакуумную гигиену, обеспечить отсутствие в воздухе пыли, органических веществ, паров масла и воды.

Монтаж ножек у значительной части специальных типов источников света выполняется вручную. Механизирован лишь монтаж ламп накаливания общего назначения мощностью до 500 Вт, а также некоторых типов автомобильных и миниатюрных ламп накаливания, люминесцентных ламп и др.

При малейших нарушениях правил проведения этой операции хорошо очищенные детали лампы могут быть загрязнены пылью воздуха или потом рук, деформированы или окислены.

Опытом установлено, что хорошо очищенные и отожженные в водородной среде детали могут сохраняться в герметической или даже плотно закрытой таре, не теряя своих вакуумных свойств в течение длительного времени. Однако кратковременное прикосновение к деталям незащищенными пальцами рук увеличивает выделение из деталей газов при откачке лампы в 20 раз и более. Даже прикосновение к деталям чистыми перчатками или резиновыми напальчниками увеличивает газовыделение деталей приблизительно в 3—4 раза.

В результате небрежности или неопытности монтажников и наладчиков монтажных машин в лампу могут быть «запрыганы» многие дефекты, которые часто невозможно обнаружить даже при контрольных испытаниях готовых ламп. К числу таких дефектов относятся:

для ламп накаливания — деформация тела накала, пережог или окисление места приварки его к электродам, плохой зажим тела накала в электродах, неполное или плохое нанесение газопоглотителя;

для люминесцентных ламп — дополнительно к вышеуказанному плохое нанесение оксидного слоя, загрязнение его потом рук;

для других газоразрядных ламп — любые повреждения катода или других внутренних деталей лампы, незаметные невооруженному глазу.

Не следует производить уборку сжатым воздухом (из заводских сетей), так как это ведет только к перемещению пыли и распространению ее по всему помещению. Пользование сжатым воздухом допускается только для выдувания остатков стекла, что недоступно другим методам уборки.

В отличие от сборочных операций, на которых принято поддерживать повышенную степень чистоты окружающего воздуха, тщательности выполнения операции заварки, к сожалению, уделяют мало внимания. Однако именно заварка часто сводит к нулю все ранее принятые меры.

В связи с низкой теплопроводностью стекла (в 500 раз меньше теплопроводности меди) во избежание растрескивания колбы и ножек нагрев их необходимо вести достаточно медленно. При этом внутренние детали лампы могут нагреться до опасных температур и окислиться. Кроме того, в процессе заварки неизбежны и другие загрязнения. Так, горючий газ, используемый для разогрева стекла, часто содержит вредные газообразные продукты — сероводород и сернистый газ, пыль и различные смолистые продукты; при сгорании газа образуются пары воды, которые могут попасть внутрь изделия. Это способствует отслаиванию оксидного покрытия катода и резко ухудшает вакуум. Серосодержащие газы резко уменьшают эмиссию катода. Смолистые соединения приводят к образованию внутри лампы пленок углеводородов, которые служат источником длительного и обильного газовыделения в процессе работы лампы, обуславливают отложения углерода на оксидном слое.

Не менее вредны и пары летучих компонентов стекла: шов на стыке колбы с ножкой разогревается до температуры, при которой внутри лампы выделяются пары окислов щелочных металлов и многих других неконтролируемых примесей, включая и газообразные — хлор, фтор. Снижение температуры шва создает «непровар» сварив-

ваемых стекол, в результате возникают натяжения в стекле, которые служат причиной трещин.

Правильно заваренная лампа не должна иметь окислений (окисные цвета побежалости) внутренних частей электродов.

Вакуумная обработка ламп представляет собой для большинства источников света (за исключением вакуумных ламп накаливания) сложный комплекс операций, которые после собственно откачки и обезгаживания внутренних деталей лампы должны обеспечить наполнение колбы соответствующим инертным газом или смесью газов и дополнительную обработку тела накала, катода и других элементов.

Например, если у миниатюрной лампы накаливания не обезгазить только стекло и заставить эту лампу работать при температуре колбы около 200 °С, то количество газа, выделяющегося из стекла колбы в течение первого часа работы, ухудшит вакуум в лампе; давление увеличится с 0,01 до 100—400 Па. Продолжительность горения лампы при этом сократится в несколько десятков раз.

Для полного удаления содержащегося в лампе воздуха и газов, растворенных в деталях (металлических, стеклянных, слое люминофора и т. д.), применяется прогрев ламп в газовой или электрической печи. Кроме того, через металлические детали пропускается переменный ток или индуктированный ток высокой частоты от специального генератора.

В производстве газоразрядных ламп катодный слой карбонатов в большинстве случаев должен быть превращен в оксидный слой, состоящий из твердого раствора окислов этих металлов, в котором уже при откачке должна быть получена некоторая начальная концентрация свободного бария, т. е. катод должен быть частично активирован. Для осуществления этой операции к катоду подводят электрический ток и накаляют катод до заданной температуры (конечная температура полного разложения карбонатов примерно 1050 °С). При этом происходит бурное выделение газов, главным образом углекислого газа и окиси углерода — продуктов разложения карбонатов и нитрокарбидов, входящих в состав покрытия катода.

В других газоразрядных лампах прогрев осуществляется токами высокой частоты или другими способами.

Ускорение выделения газов при откачке может быть достигнуто повышением температуры. Однако оно ограничено температурой размягчения стекла, предельно допустимым нагревом катода (во избежание распыления оксидного покрытия) и ускоренным испарением самих металлических деталей при перегреве. С другой стороны, заниженная температура приводит к неполному разложению карбонатов и к появлению внутри лампы в процессе ее эксплуатации углекислого газа и окиси углерода, резко сокращая продолжительность горения.

Усиление прогрева приводит к более интенсивному выделению из катода газов, которые не смогут своевременно откачиваться вакуумной системой. Повышение давления этих газов в лампе даже на короткий срок приводит к отравлению деталей лампы, в частности самого оксидного катода.

В большинство газоразрядных ламп вводятся инертный газ или пары металла. Давление их должно строго соответствовать определенным нормам.

Для некоторых видов газоразрядных ламп вакуумная обработка включает также частичную или первичную их тренировку.

Все эти функции выполняются на автомате откачки или рабочей на специальной откачной установке. Автомат откачки является весьма сложным сооружением, требующим от обслуживающего персонала высоких технических знаний, тщательного ухода и соблюдения всех указаний, имеющих в инструкциях по эксплуатации.

При откачке ламп, наполняемых ртутью, необходимо помнить об опасности заражения ею людей. Содержание в воздухе паров ртути в количестве более 0,01 мг на 1 м<sup>3</sup> воздуха опасно для здоровья. Свободно разлитая ртуть в процессе испарения при температуре 25—30 °С создает концентрацию паров в спокойном воздухе, превышающую 0,5 мг на 1 м<sup>3</sup>, что в 50 раз превышает норму.

Операция обжига, которой подвергаются лампы накаливания сразу же по окончании сборки, состоит в кратковременном включении их на повышенное напряжение. Это позволяет проверить отсутствие обрывов или других дефектов, а также придать необходимую кристаллическую структуру вольфрамовой проволоке, чтобы обеспечить непровисаемость тела накала.

Большинство газоразрядных ламп после окончания сборки также требует соответствующей тренировки. Последнюю можно сравнить с обкаткой механизма в машиностроении, во время которой прирабатываются отдельные его части.

При тренировке газоразрядных ламп должны быть решены три задачи:

завершить начатые при откачке процессы активировки катодов;

стабилизировать газовую среду в лампе за счет поглощения или связывания остатков активных газов;

отбраковать лампы, имеющие грубые дефекты в результате предварительных технологических операций (например, при сборке — катодные замыкания, обрывы, некачественная газовая среда; при изготовлении катодов — недостаточная эмиссия, отравление; при заварке или штамповке ножек — трещины в стекле, натекания и т. д.).

При повторной тренировке некоторая доля плохих ламп «вылечивается» (не считая ламп, имеющих трещины в стекле и натекания). В производстве этим обстоятельством часто пользуются для того, чтобы «покрыть» некоторые недостатки технологического процесса, например загрязнение и окисление деталей ножек, плохую работу автомата откачки, нарушения вакуумной гигиены и т. д. За счет форсированных режимов зажигания или горения в процессе тренировки иногда удается «выпарить» попавшие в катод вредные примеси, связать излишки активных газов, попавших в лампу. Однако форсированные многократные тренировки истощают катод, сокращая продолжительность горения лампы. Образующийся при тренировке в оксидном слое металлический барий интенсивно испаряется при высоких температурах и, конденсируясь на стенках и деталях лампы, поглощает активные газы. Образующиеся при этом на внутренней поверхности лампы полупроводниковые пленки могут привести к изменению условий газового разряда.

Поэтому доля брака по эмиссии и газовой среде, исправляемого при тренировке ламп на форсированных режимах, может служить мерой отбраковки технологического процесса и наблюдения вакуумной гигиены.

Следовательно, первым и основным правилом производства электрических источников света должно быть строгое и точное соблюдение всех технологических режимов на каждой операции.



Несмотря на кажущуюся простоту конструкции большинства источников света, в их производстве применяется более 150 различных материалов.

В электроламповом производстве должны использоваться материалы, соответствующие техническим условиям и, что особенно важно, поставляемые одним и тем же заводом, при неизменном технологическом процессе их производства. Последнее обуславливается тем, что данные о качестве многих исходных материалов, полученные при их контроле, лишь косвенным образом характеризуют пригодность этих материалов для источников света. При разработке методики и осуществлении самого контроля предполагается, что существует строго определенная и неизменная взаимосвязь между свойствами материалов в нормальных условиях и в условиях работающего источника света, чего на самом деле нет. В работающей лампе высокая температура электродов, наличие ионизированных газов и паров летучих материалов, интенсивные процессы диффузии и миграции ускоряют старение металлов, происходит рекристаллизация, повышается хрупкость и снижается прочность материалов. Влияние этих факторов трудно поддается учету.

В технические условия на материалы невозможно записать все особые физико-химические свойства, играющие важную роль в производстве источников света. Эти свойства зависят главным образом от ничтожных примесей многих химических элементов, включая растворенные газы, методики обнаружения которых материаловедение еще не знает.

Стабильность свойств материалов до некоторой степени обеспечивается стабильностью технологического процесса и состава сырья на заводах-поставщиках. Поэтому зарубежные вакуумные предприятия строго придерживаются своих поставщиков и, кроме того, создают необходимые запасы проверенных в производстве главных материалов.

*Следовательно, вторым основным правилом производства электрических источников света должны быть высокие качества и стабильность свойств исходных материалов, а также бесценность их поставщиков.*

Надежность источников света зависит от условий, в которых они изготавливались, и, в первую очередь, от вакуумной гигиены. На протяжении длительного периода развития производства источников света понятие о вакуумной гигиене непрерывно расширялось.

Первоначально (в 1930 г.) этим термином охватывалась лишь защита деталей и ламп в целом от пота рук. Органические (25%) и неорганические (75%) вещества, входящие в состав пота, очень сильно ухудшают вакуумные свойства деталей.

Позже (в 50-е годы) к вакуумной гигиене стали относить также защиту деталей от пыли, так как было установлено вредное влияние ворсинок и других свободных частиц, попадающих внутрь ламп, на надежность источников света.

В электровакуумном производстве норма содержания пыли — не более одной пылинки размером более 5 мкм в 1 см<sup>3</sup> воздуха. К этому следует стремиться и в производстве источников света.

Для оценки запыленности помещений и рабочих мест имеются приборы, учитывающие витающую пыль размером более 1 мкм. Они имеют высокую скорость измерения и хорошую воспроизводимость результатов измерений.

В настоящее время к вакуумной гигиене относят также влажную и воздухозащитность. Сейчас установлено, что в состав аэрозолей, кроме неорганических частиц, которые можно удалить с поверхности деталей специальными приемами очистки (например, ультразвуковой), входят также и различные органические частицы (флора воздуха), пары органических веществ, частицы асфальта, пылевидные частицы автомобильных шин и т. п.

Органические частицы образуют на поверхности деталей пленку, которая не отмывается в растворителях и даже не удаляется при отжиге в вакууме и водороде.

Громадную роль играет рациональная тара для деталей. К сожалению, многие руководители заводов считают это второстепенным и трудновыполнимым делом, поскольку производство деталей для источников света является массовым. Однако в таком массовом производстве, как кондитерское, каждая конфета стоимостью около 1 коп. за штуку упаковывается с учетом пищевой гигиены и эстетики. В то же время многие детали ламп, например колбы, тарелочки и другие детали стоимостью до 10 коп., транспортируются часто «навалом» в грязных деревянных ящиках или картонных коробках, в результате чего деформируются, покрываются царапинами и загрязняются. А дефекты деталей, вызванные небрежной транспортировкой и упаковкой, в свою очередь вызывают брак готовых ламп стоимостью до нескольких рублей.

Ускорение ритма технологического процесса, поточность и непрерывность операций, ликвидация межоперационных заделов, простое и задержек деталей и узлов при монтаже, заварке и откатке существенно увеличивают выход годных ламп.

На некоторых операциях, как заготовительных, так и сборочных, в цехах, где пыль, пары кислот, масел, продукты сгорания горючих газов и другие аэрозоли могут оказать вредное воздействие на детали, рекомендуется применять пылезащитные камеры. К таким операциям относятся процессы изготовления тела накала и катодов, приготовления газопоглотителей, оксидных и люминофорных суспензий, включая контроль и упаковку этих деталей, операции по сборке ножек, промывке колб, выжиганию биндеров и др.

Пылезащитные камеры уменьшают запыленность в 50—80 раз. Опыт использования таких камер широко известен в производстве полупроводниковых приборов.

*Следовательно, третьим основным правилом производства источников света является строгое соблюдение требований вакуумной гигиены.*

Трудность осуществления надежного контроля над всеми технологическими операциями делает фактор личной сознательности, технической грамотности, натренированности производственного персонала решающим.

*Поэтому постоянная забота о технической подготовке кадров, повышение мастерства, борьба с текучестью рабочей силы являются важными задачами, стоящими перед руководителями предприятий электроламповой промышленности.*

Ниже кратко сформулированы основные организационные и технологические требования, выполнение которых обязательно для правильной и рациональной организации производства источников света.



## 11.2. ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ И ПЕРВООЧЕРЕДНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА И ВЫХОДА ГОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

### а) ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К МАТЕРИАЛАМ

**Платинит.** Грубые дефекты платинита повышают брак по натеканию. Более мелкие, иногда трудно контролируемые дефекты платинита проявляются в условиях эксплуатации или при длительном хранении на складе: лампы медленно натекают и в результате перегорают. Натекание по платиниту обусловлено, как правило, плохим спаиванием покрытия с сердечником. Контроль таких дефектов очень труден: он должен осуществляться путем изготовления поперечных шлифов и изучения их под микроскопом, при этом можно обнаружить каналы между покрытием и сердечником.

Поверхность платинита должна быть гладкой, с равномерным, прозрачным слоем буры.

Хранить платинит на заводе необходимо в сухой атмосфере в герметичной упаковке; в противном случае при хранении бура выветривается, а при изготовлении ножек возникает брак — пузыри по впамям.

**Стекланные трубки и колбы.** Все стекланные детали должны контролироваться по диаметру, толщине стенки, овальности и кризизне. Они не должны иметь потертостей, посечек, свилей, вплавленных «камней» и газовых капилляров. Следует избегать длительного хранения, так как при этом на стекле образуются мономолекулярные пленки из органических соединений, попадание которых в лампы приводит к браку последних.

**Люминофоры** чувствительны к ничтожным количествам посторонних примесей. Они должны храниться в герметически закупоренной таре, изготовленной из химически стойкого стекла. Расфасовка люминофора должна производиться в помещении с кондиционированным воздухом, свободным от паров воды, кислот, щелочей и от пыли.

На электроламповых заводах следует иметь большие (трехмесячные) запасы люминофоров хорошего качества, изготовленных при одних и тех же условиях на основе одних и тех же исходных материалов.

При получении новых партий люминофоров необходимо до их применения в производстве провести тщательную технологическую пробу с полным испытанием изготовленных с применением этого люминофора ламп.

**Инертные газы** аргон технический, аргон особой чистоты, азот очищенный, неон чистый, гелий, криптон и ксенон должны быть свободны от примесей химических активных газов.

Аргон всех видов, азот и криптон поставляются под давлением до  $1,5 \cdot 10^8$  Па в специальных металлических баллонах. Аргон особой чистоты и другие газы поставляются в стеклянных баллонах, требующих особо тщательного обращения.

Перед использованием следует проверить чистоту газов, так как при появлении микротрещин в стекле баллона газ может оказаться загрязненным атмосферным воздухом.

**Тугоплавкие металлы** — вольфрам и молибден — чаще всего применяются в виде проволок.

Проволока вольфрамовая диаметром 355 мкм и молибденовая диаметром 400 мкм и менее должна быть намотана ровными рядами (без узлов и петель) на катушки. Проволока больших диаметров — в бухты.

Цвет проволок может меняться от черного до темно-серого. Поверхность проволок должна быть свободна от заусенцев, расслоя, трещин и штрихов.

Диаметр тонких проволок проверяется путем взвешивания отрезка проволоки длиной 200 мм на торсионных весах. Диаметр толстых проволок определяется микрометром.

Для проверки проволок на содержание примесей завод-изготовитель производит количественный анализ исходного сырья каждой производственной партии.

Одним из видов испытания проволоки является проверка условного предела прочности при растяжении двукратным испытанием образца длиной 200 мм на разрывных машинах.

Транспортирование проволок следует производить в упаковке, предохраняющей ее от атмосферных осадков, влаги и повреждений.

Качество готовой спирали зависит от кристаллической структуры, обусловленной термической обработкой в процессе изготовления спирали.

Рекристаллизационные свойства вольфрамовых проволок зависят от содержания примесей, не поддающихся определению обычными методами анализа. Поэтому, помимо постоянства процесса термической обработки тела накала, необходимо придерживаться одного и того же завода-поставщика. Запас вольфрамовой проволоки должен обеспечить возможность отработки нового режима термической обработки в случае замены поставщика.

### б) ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ДИСЦИПЛИНА

Основой правильно организованного производства является отработанная технологическая документация.

В каждом отделении, участке, мастерской, цехе завода должен иметься необходимый комплект документации (конструкторской и технологической), доступной в любое время для инженерно-технических работников. Нельзя полагаться только на память и автоматическую привычку, а следует систематически сверяться с документацией.

На всех рабочих местах следует иметь необходимые чертежи, производственные инструкции, карты режимов и другую технологическую документацию. Так как последняя вследствие частого употребления быстро изнашивается, она должна систематически обновляться и все время иметь удобочитаемый вид.

Требования и режимы, записанные в технологической документации, должны выполняться неукоснительно, а всякое нарушение — наказываться. Особенно следует избегать использования некондиционных материалов и всяких заменителей без соответствующей проверки. Следует помнить, что иногда целесообразнее и выгоднее пойти на неизбежные простои, но твердо сохранить установленный порядок. Некоторые потери от этого немедленно компенсируются более производительной работой и меньшим браком.

На откачных установках нельзя допускать значительного превышения установленных норм выработки, так как это может привести к нарушению установленных технологических режимов, а значит, и к скрытому браку.

Всякое отступление от установленного режима должно производиться только в случаях крайней необходимости по специальному документу, предусмотренному системой технологической документации. Оформляться этот документ должен в строго определенном порядке. Особенно следует избегать разрешений на замену материалов, прикрывающих плохую работу отдела снабжения завода.

На каждом производственном участке в сроки, предусмотренные инструкцией, должен быть организован систематический контроль за правильностью соблюдения технологического процесса. Обязательно следует вести журнал проверки технологической дисциплины. Проверка должна осуществляться силами технологов цеха (участка), технического отдела или аппарата ОТК.

В журнале должны быть обязательно записаны все замеченные нарушения и указаны конкретные виновники их (а ими не всегда бывают только работающие на проверяемых операциях), отметки о принятых мерах, а также отметки об исправлении нарушений (повторные проверки).

Все документы технологической документации должны быть на строгом учете в техническом (технологическом) отделе. Все изменения и уточнения документации должны немедленно вноситься в комплекты документации, имеющиеся в производственных участках. Этот фактор также является одним из элементов соблюдения технологической дисциплины.

Ответственность за нарушения технической дисциплины несут (кроме самого нарушителя) мастер (начальник) данного участка и начальник цеха. Ответственность за организацию проверки соблюдения технологической дисциплины и ее систематическое проведение несет начальник технического (технологического) отдела завода.

#### **в) ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ**

Ритмичность и непрерывность работы машин, линий, участков — основа производительной, высококачественной работы, особенно в электроламповом производстве.

Всякая остановка машин и автоматов, кроме уменьшения выпуска, ведет к увеличению производственного брака и неизбежным отходам при наладке оборудования после каждой остановки.

Многие узлы и механизмы машин работают в тяжелых условиях, но особенно губительны эти условия при остановке и запуске оборудования (большие перепады температур, механические перегрузки и т. д.).

Успех применения полуавтоматических поточных линий во многом зависит от продуманной расстановки оборудования и планировки производственных участков. Должна быть обеспечена наилучшая поточность; изоляция участков с вредными условиями труда; выделение участков, требующих особо строгой вакуумной гигиены.

В ряде случаев нецелесообразно останавливать оборудование и отключать его на время обеденного перерыва (например, вакуумные насосы, печи обезгаживания на откатных автоматах), так как остановки сильно тормозят получение оптимальных режимов, предусмотренных для этих операций. Следует обеспечить непрерывность работы машин хотя бы в течение двух смен.

Необходимо следить за тем, чтобы производственная мощность заготовительных участков соответствовала мощности сборочных цехов. Часто в первую очередь развивают мощность сборочных опера-

ций, что приводит к диспропорции производства, и заготовительные участки становятся «узким местом».

Основной фигурой в электроламповом производстве, а особенно на сборочных линиях, является наладчик, от опыта, знания дела и умения которого больше всего зависят технико-экономические показатели работы участка и всего завода в целом. Хорошим наладчиком способен стать не каждый человек из числа принятых на завод — для этого нужна достаточно высокая общая культура, грамотность, некоторое знание слесарного дела (в объеме 2-го, 3-го разрядов) и необходимые физические и психологические данные — нормальная быстрота реакции, сообразительность, умение разбираться в технике.

От всего персонала, связанного с обслуживанием и работой автоматического и полуавтоматического оборудования, нужно требовать точного знания инструкций.

Правильной и экономичной эксплуатации оборудования невозможно добиться без хорошо действующей системы ремонта оборудования. Текущий ремонт должен производиться силами ремонтной службы цеха, капитальный ремонт целесообразнее производить силами отдела главного механика завода, централизованно.

В обязательном порядке должны систематически проводиться профилактический осмотр и ремонт оборудования, осуществляемые в ночные часы или в воскресные дни по разработанному графику.

Работа откатного автомата в сильной степени зависит от качества применяемых масел для механических и диффузионных насосов и своевременной их замены. Не следует допускать применения масел без тщательной их проверки на соответствие требованиям, указанным в паспортах насосов.

Основой хорошего и быстрого ремонта оборудования является наличие запасных частей. На любом участке в ремонтных службах должен всегда быть в запасе необходимый задел запасных частей как по номенклатуре, так и по количеству.

Давление пара, воздуха, воды, степень разреженности в центральной системе форвакуума имеют очень большие колебания и значительно отклоняются от установленных значений. Это неизбежно ведет к браку, ухудшению качества продукции, уменьшению выпуска и ухудшению технико-экономических показателей.

Состояние энергетического оборудования и его эксплуатация должны обеспечивать все параметры по энергетике, указанные в технологической документации, необходимые для правильного ведения производства источников света.

#### **г) АНАЛИЗ И УЧЕТ БРАКА**

На всех сборочных операциях должна быть организована система оперативного учета брака для немедленного анализа его наладчиком, мастером, технологом участка (смены). На заготовительных участках должна также действовать система предупреждения производственного брака, обеспечивающая высокое качество деталей, подаваемых на сборочные операции.

Данные о производственном браке на следующий день должны анализироваться начальником цеха, а сводные данные — представляться для сведения главному технологу (начальнику технического отдела) и главному инженеру завода.

Оперативный учет брака должен производиться контрольным аппаратом цеха или силами ОТК.

При значительном увеличении какого-либо вида брака работа на этом участке должна быть остановлена и может быть возобновлена только после того, как будет найдена и ликвидирована причина брака.

Следует помнить, что работа с повышенным браком влечет за собой, кроме снижения качества выпускаемых изделий, еще и большие материальные потери (уменьшение выпуска, перерасход материалов и полуфабрикатов, увеличение себестоимости и т. п.).

При несоответствии изготовляемых в течение смены ламп установленным параметрам (световые и электрические параметры, степень давления наполняющего газа, прочность крепления цоколя, внешний вид и т. д.) работники ОТК обязаны немедленно сообщить об этом под расписку начальнику (мастеру) или технологу участка.

Руководящий состав участка (смены) — мастер, технолог или начальник смены обязаны по сигналу ОТК немедленно принимать нужные меры для предотвращения массового брака, вплоть до остановки линий на время выявления и ликвидации причины повышенного или массового брака.

Детали и полуфабрикаты, забракованные цехом (участком), особенно в вечерние смены, должны проверяться работниками ОТК и в случае несогласия с заключением цеховых работников сдаваться в изолятор брака для последующей проверки и решения вопроса возможности их дальнейшего использования.

На каждом участке (цехе) завода и на предприятии в целом не реже 1 раза в неделю должны проводиться «дни качества» с анализом данных о производственном браке, случаев нарушения технологической дисциплины, рекламаций по качеству продукции, данных по испытанию ламп на срок службы, проводимому в ускоренном режиме аппаратом ОТК, и других, связанных с этим вопросов.

Все поступающие на завод материалы и полуфабрикаты должны обязательно проходить через входной контроль, осуществляемый аппаратом ОТК.

Все лица, допустившие брак или бой продукции, вплоть до мастера и технолога участка (смены), должны нести материальную ответственность. Должна строго применяться система извещений о материальных удержаниях за произведенный брак (бой) продукции.

Все изготовленные источники света должны выдерживаться на промежуточном складе не менее 2 суток (если документально не оговорен другой срок) с последующей 100%-ной проверкой по установленному режиму и только после этого сдаваться на склад. Экспортная продукция должна выдерживаться не менее 7 суток с последующей перепроверкой.

В случае наличия повышенного брака при проверке на промежуточном складе (больше 2—3%) данная партия должна возвращаться в цех для тщательной перепроверки и анализа.

Следует помнить, что партии ламп, отправленные на склад без надлежащей выдержки, содержат много ламп со скрытыми производственными дефектами (натекание, трещины в стекле, обрыв спирали и т. д.) и этот брак неизбежно выявится у потребителя.

Тара, в которую упаковываются готовые лампы, должна строго соответствовать образцам, установленным технической документацией. Нарушения должны рассматриваться как грубейшие нарушения технологической дисциплины, приводящие к большому браку продукции, выявляемому у потребителя.

Значительное сокращение производственного брака и улучшение качества продукции обеспечиваются применением системы сдачи готовой продукции с первого предъявления. Эта система позволяет заметно улучшить качество продукции, а также способствует лучшей организации производства, так как оперативно выявляет недостатки, обычно малозамечаемые.

#### д) ВАКУУМНАЯ ГИГИЕНА

На всех предприятиях должна быть организована служба вакуумной гигиены, подчиненная главному инженеру, из состава лиц, работающих в каждом подразделении. Она осуществляет постоянный контроль за соблюдением норм и требований инструкции по вакуумной гигиене.

К выполнению операций, связанных с прикосновением работающих к очищенным деталям (проверка спирали, монтаж, контроль и т. п.), должны допускаться только лица, прошедшие специальный медицинский отбор на отсутствие кожных заболеваний, повышенной потливости, склонности к воспалительным процессам кожи и т. д.

При сборке ламп нельзя допускать прикосновения незащищенными руками к любым деталям, включая ножку и колбу, а там, где это возможно, нужно брать детали пинцетом, сделанным из нержавеющей стали. Пинцеты необходимо тщательно очищать 3—4 раза в смену. Перчатки и резиновые напальчники также должны подвергаться систематической очистке: перчатки — 2—3 раза в смену, а напальчники — каждый час работы.

Для монтажниц обязательно опрятное содержание рук, головы и лица. Не разрешается пользоваться на работе косметическими средствами — губной помадой, пудрой и т. п., а также причесываться на рабочих местах. Перед началом работы и после перерыва в работе по любой причине, а также периодически в течение рабочего дня монтажницы должны мыть руки, используя при этом мыло марки «Детское». После мытья рук недопустимо прикасаться ими к неочищенным предметам, а также к волосам, лицу и т. п. В монтажном помещении не разрешается курить, хранить посторонние предметы (сумочки, одежду, различного рода свертки), принимать пищу, выполнять гимнастические упражнения и ходить без необходимости.

В качестве спецодежды монтажницам необходимо применять безворсовые (из моноволокна) халаты и кожаные тапочки, которые должны храниться в тамбурах перед монтажными помещениями. Хождение в халатах и тапочках по территории предприятия или цеха недопустимо. Спецодежда монтажниц должна подвергаться периодической очистке: халаты должны проходить централизованную стирку 1 раз в неделю.

Все производственные помещения должны регулярно очищаться от пыли. Влажная уборка должна производиться безворсовыми тканями. На операциях изготовления спиралей, сборки ламп и химических операциях уборка полов должна производиться ежедневно за 30 мин до начала работы и в начале обеденного перерыва, влажная протирка стен 1 раз в неделю, влажная протирка потолков, вентиляционных труб, магистральных труб — 2 раза в месяц.

Запасы и остатки полуфабрикатов должны храниться в закрытых шкафах. Условия хранения деталей и полуфабрикатов, а также допустимые сроки хранения их после окончательной очистки и изготовления должны указываться в технологической документации.

Для ответственных помещений содержание нетоксичной пыли не должно превышать 0,1 мг на 1 м<sup>3</sup> воздуха.

#### е) ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Помещения производственных цехов и участков, их устройство, отделка, габариты и т. д. должны строго соответствовать проектным данным и установленным нормам и должны быть легко очищаемыми. Особое значение устройству и отделке полов и стен следует придавать при производстве источников света с применением ртути (люминесцентные лампы, лампы ДРЛ, ртутные трубчатые и т. п.). В этих случаях полы должны быть легко смываемыми и иметь стоки, а стены должны окрашиваться специальными красками и легко мыться.

На участках огневых операций кубатура помещений должна быть достаточно большой с тем, чтобы в летнее время температура в них не превышала 35—37 °С. На участках с применением ртути кубатура помещений должна соответствовать специальным требованиям. Так, при производстве люминесцентных ламп рабочие помещения, начиная с откатки ламп и кончая их упаковкой, должны изолироваться от остальных и при двухсменной работе иметь кубатуру 2600—2700 м<sup>3</sup> при объеме месячного выпуска в 200 тыс. ламп мощностью 40 Вт. При выпуске большего числа ламп размеры помещений должны пропорционально увеличиваться. Для ламп другой мощности или других типов (ДРЛ, ДРТ и др.) кубатура помещений должна изменяться пропорционально количеству потребляемой ртути.

Следует помнить, что все помещения должны быть оборудованы приточно-вытяжной вентиляцией, допускающей регулировку мощности соответственно времени года. Вентиляция должна быть обязательно действующей, а не только «имеющейся», как это нередко бывает на электроламповых заводах. Участки ртутных операций должны быть обязательно снабжены установками кондиционирования воздуха.

В помещениях, где работают с ртутью, ежемесячная уборка полов должна производиться с помощью специальных препаратов (четырёххлористое железо и др.).

Весь персонал должен работать в специальной одежде, выдаваемой в соответствии с установленными нормами. В ртутных помещениях и на участках, где работают с ртутью, работа без спецодежды запрещается.

У входа в помещения должны находиться необходимые средства для вытирания подошв обуви.

Категорически запрещается курение и принятие пищи на рабочих местах и в производственных помещениях.

Все работающие должны обязательно соблюдать правила личной гигиены — мытьё рук не менее 2 раз в смену.

#### ж) ПОДГОТОВКА И ОБУЧЕНИЕ РАБОЧЕГО ПЕРСОНАЛА

Все рабочие, поступающие на завод, должны обязательно предварительно ознакомиться с производством на данном участке, пройти инструктаж по технике безопасности (с записью об этом в особом журнале).

По истечении 1—2 месяцев с момента поступления для новых рабочих силами цехового технического персонала должно быть орга-

низовано групповое начальное теоретическое обучение (техминимум). По окончании занятий должен производиться зачет с оценкой.

Повышение разрядов рабочих (в том числе и наладчикам) без прохождения необходимого техминимума производить не следует.

Следует периодически повторять техминимум для рабочих ответственных операций (настройка всех автоматов, заварка, откатка) с учетом всех изменений, происшедших в технологическом процессе.

Прекрасной базой для организации техучебы для всех категорий работников может служить систематический и живой анализ производственного брака.

Для повышения квалификации ИТР, наладчиков и квалифицированных рабочих основных профессий нужно организовывать заводские курсы с обязательной сдачей экзаменов. Кроме того, следует практиковать комплексные командировки на другие заводы по заранее составленному плану. Результаты командировки следует обсуждать на технических совещаниях.

На каждом заводе должна быть правильно поставлена техническая информация, достаточно полно и оперативно освещающая опыт передовых заводов и знакомящая с достижениями зарубежной техники. Информация должна полностью отвечать на запросы работников предприятия.

Необходимо на каждом предприятии иметь техническую библиотеку, хорошо оснащенную специальной литературой и периодически издаваемыми по всем вопросам техники отрасли и смежных производств.

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ



1. Абалдуев Б. В. Физико-химические методы в электровакуумной технологии, кандидатская диссертация. Саратов, 1963, 192 с. с ил.
2. Агранат Б. А., Башкиров В. И., Китайгородский Ю. И. Способ повышения эффективности воздействия ультразвука на процессы, протекающие в жидкостях.— «Ультразвуковая техника», 1964, № 3, с. 28—35.
3. Айбииндер С. Б. Новые способы сварки давлением. Рига, Изд-во АН Латв. ССР, 1960, 114 с. с ил.
4. Аксельрод Ф. А. и др. Контактная сварка, Профтехиздат, 1962, 464 с. с ил.
5. Александрова А. Т. Оборудование электровакуумного производства. М., «Энергия», 1974, 384 с.
6. Александров Л. Н., Вугман С. М. Улучшение параметров ламп накаливания при очистке вольфрама от углеродистых загрязнений.— «Светотехника», 1968, № 7, с. 6—8 с ил.
7. Александров Л. Н. Исследование физических свойств вольфрамовой проволоки, применяемой для производства тела накала.— «Источники света», 1964, вып. 2, с. 22—35 с ил.
8. Александров Л. Н., Ларионова Ф. Е. Изменение электросопротивления проволоочного вольфрама и молибдена после отжига.— «Источники света», 1964, вып. 3, с. 3—15 с ил.
9. Александров Л. Н., Миронов Б. Н., Зверева Т. М. Влияние скорости нагрева на рекристаллизацию вольфрама.— Ученые записки Мордовского госуд. ун-та, вып. 36, Мордовиздат, 1964, с. 53—57 с ил.
10. Александров Л. Н. Применение радиометрического анализа торированного вольфрама и молибдена в производстве источников света.— «Источники света», 1964, вып. 2, с. 36—40 с ил.
11. Александрова Ю. М., Александров Л. Н. Установление режимов термической обработки для вольфрама разных заводов.— Ученые записки Мордовского госуд. ун-та, вып. 36, Мордовиздат, 1964, с. 41—52 с ил.
12. Амосов В. М., Павлова Е. И. Специальные марки тугоплавких металлов и сплавов для электровакуумных приборов.— «Электровакуумная техника», 1967, вып. 43, с. 38—54 с ил.
13. Алексеев А. А., Ахун А. И. Электрическая контактная сварка. М., ОНТИ, 1935, 300 с. с ил.
14. Ареиков А. Б. Основы электрофизических методов обработки материалов. Под ред. А. В. Донского. Л., «Машиностроение», 1967, 372 с. с ил.
15. Арияина Т. Г. Влияние технологии изготовления оксидного катода на качество люминесцентных ламп.— «Светотехника», 1970, № 9, с. 11—12 с ил.
16. Бабинов О. И. Оборудование для ультразвуковой очистки. М., ВНИИЭМ, 1964, 60 с. с ил.

17. Бабинов О. И. Ультразвук и его применение в промышленности. М., Физматгиз, 1958, 260 с. с ил.
18. Балакирев А. И., Скворцова Л. И., Акимов Л. В. Очистка спиралей люминесцентных ламп.— «Светотехника», № 4, 1971, с. 19—20.
19. Бараиновский В. И. Электронно-лучевые трубки. М.—Л., Госэнергоиздат, 1961, 224 с. с ил.
20. Бешагин С. П. Огневое оснащение в электровакуумном производстве. Изд. 2-е, переработанное и дополненное. М.—Л., «Энергия», 1967, 344 с. с ил.
21. Блискунов Н. А., Каменецкий И. Я. Технология производства электровакуумных приборов. Ч. I. М.—Л., Госэнергоиздат, 1959, 220 с. с ил.
22. Блискунов Н. А., Каменецкий И. Я. Технология производства электровакуумных приборов. Ч. II. М.—Л., Госэнергоиздат, 1961, 528 с. с ил.
23. Бреховских С. М. Стекло за рубежом. Производство и применение. М., Госстрой 1960, 288 с. с ил.
24. Бродский С. И. и др. К вопросу об унификации оборудования для навивания спиралей на вытравливаемое керне.— «Электровакуумная техника», 1967, вып. 43, с. 84—95 с ил.
25. Бродский С. И., Зайдель И. Н., Хаскович Л. Л. Промышленная схема группового включения вакуумных установок в систему централизованного форвакуума.— «Электровакуумная техника», вып. 34, 1964, с. 35—48 с ил.
26. Бродянский В. М., Меерзон Ф. И. Производство кислорода. М., Металлургиздат, 1960, 469 с. с ил.
27. Веклич П. М., Ощипков Ф. П., Фролов В. К. Технология электровакуумного стекла. Под общей ред. Р. А. Нилендера. М.—Л., Госэнергоиздат, 1961, 264 с. с ил.
28. Волкова З. П., Хотин В. П. Технология электровакуумных материалов. Л., «Энергия», 1972, 216 с. с ил.
29. Вороничев Т. А., Соболев В. Д. Физические основы электровакуумной техники. М., «Высшая школа», 1967, 352 с. с ил.
30. Гельман А. С. Технология контактной электросварки. М., Машгиз, 1952, 324 с. с ил.
31. Герш С. Я. Глубокое охлаждение. Т. 2. Изд. 3-е. М.—Л., Госэнергоиздат, 1960, 436 с. с ил.
32. Гергшал Д. А., Фридман В. М. Ультразвуковая аппаратура. М.—Л., Госэнергоиздат, 1961, 248 с. с ил.
33. Гинберг А. Н. Гальванотехника. Л., Судпромгиз, 1956, 188 с. с ил.
34. Гладков А. С., Подвикина О. П., Чернов О. В. Пайка деталей электровакуумных приборов. М., «Энергия», 1967, 288 с. с ил.
35. Глазков А. А., Милованова Р. А. Учебная лаборатория вакуумной техники. М., Атомиздат, 1971, 280 с. с ил.
36. Грачев А. А., Антонов В. А. К вопросу повышения качества соединений при ультразвуковой сварке.— «Электронная техника», серия 10, Технология и организация производства, 1967, вып. 4, с. 20—27 с ил.
37. Гугель Б. М. Люминофоры для электровакуумной промышленности. М., «Энергия». 1967, 344 с. с ил.

38. Гуляев М. А., Ерюхин А. В. Измерение вакуума. М., Изд-во стандартов, 1967, 148 с. с ил.
39. Гусев Г. А. Система газонаполнения и их элементы (обзор).— «Электронная техника», серия 10. Технология и организация производства, 1970, вып. 8(40), с. 23—42 с ил.
40. Гуревич М. М. Цвет и его измерение. М., Изд-во АН СССР, 1950, 268 с. с ил.
41. Гуроров М. М. Основы светотехники и источников света. М., «Энергия», 1968, 492 с. с ил.
42. Гутри А., Уокерлинг Р. Вакуумное оборудование и вакуумная техника. М., Изд-во иностр. лит., 1951, 280 с. с ил.
43. Даниилин Б. С. Конструирование вакуумных систем. М.—Л., Госэнергоиздат, 1959, 272 с. с ил.
44. Денисов В. П. Газы, применяемые в производстве источников света. М., «Информэлектро», 1970, 104 с. с ил.
45. Денисов В. П. Металлы, применяемые в производстве источников света. М., «Информэлектро», 1971, 116 с. с ил.
46. Денисов В. П. и Пляский П. В. Перспективы развития источников света.— «Светотехника», 1969, № 12, с. 1—5.
47. Денисов В. П. О задачах развития отрасли в 1971—1975 гг.— «Электротехническая промышленность. Светотехнические изделия» 1971, вып. 1 (19), с. 3—5.
48. Демшай С. Научные основы вакуумной техники. Пер. с англ. Под ред. М. И. Меншикова. М., «Мир», 1964, 715 с. с ил.
49. Добрынин И. А. Новые технологические разработки.— «Сборник материалов по вакуумной технике», 1952, вып. 1, М.—Л., Госэнергоиздат, с. 67—80.
50. Зайцев М. П. и др. Некоторые особенности оборудования для ультразвуковой сварки. 1965, 8 с.
51. Зуева Э. Н. и др. Органосиликатные покрытия колб ламп накаливания.— «Светотехника», 1973, № 6, с. 21.
52. Иориш А. Е., Кацман Я. А., Птицын С. В., Шейнгауз А. А. Основы технологии производства электровакуумных приборов. Изд. 2-е, перераб. М., «Энергия», 1971, 312 с. с ил.
53. Ипатова С. И., Павлова Е. И. Выяснение возможности повышения температуры рекристаллизации сплавов вольфрама с рением путем введения кремнещелочной и алюминиевой присадок.— «Электровакуумная техника», 1965, вып. 38, 6—10 с ил.
54. Ипатова С. И., Павлова Е. И. Получение проволоки из рения, сплавов его с вольфрамом и определение некоторых физико-механических свойств их.— «Сборник материалов по вакуумной технике», 1960, вып. XXIII, М.—Л., Госэнергоиздат, с. 74—80 с ил.
55. Ипатова С. И., Павлова Е. И. Получение сплавов молибдена с рением и определение некоторых физико-механических свойств.— «Электровакуумная техника», 1965, вып. 38, с. 21—25 с ил.
56. Иоффе В. Б. Основы производства водорода. М., Гостоптехиздат, 1962, 430 с. с ил.
57. Капцов Н. А. Электрические явления в газах и вакууме. М., Гостехиздат, 1947, 808 с. с ил.
58. Кауфман М. С., Кузнецова А. А., Хруничев Ю. А. Производство спиралей, сеток и вводов электровакуумных приборов. М.—Л., Госэнергоиздат, 1962, с. с ил.

59. Клименко А. П. Сжиженные углеводородные газы. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., Гостоптехиздат, 1962, 420 с. с ил.
60. Клугман И. Ю. Особенности технологии изготовления тончайшей вольфрамовой проволоки.— «Цветные металлы», 1960, № 9, с. 69—74.
61. Коль В. Технология материалов для электровакуумных приборов. Пер. с англ. М.—Л., Госэнергоиздат, 1952, 448 с. с ил.
62. Корнилов И. И. Никель и его сплавы. М., Изд-во АН СССР, 1958, 337 с. с ил.
63. Королев Б. И. и Быстров А. А. Люминесцентный метод обнаружения места течи в электровакуумных приборах и их деталях.— «Сборник материалов по вакуумной технике», вып. XVI, М.—Л., Госэнергоиздат, 1958, с. 23—33 с ил.
64. Королев Б. И. Основы вакуумной техники. М., «Энергия», 1964, 464 с. с ил.
65. Королев Б. И. Практические вопросы изготовления и применения манометрических ламп для тепловых манометров.— «Электровакуумная техника», 1962, вып. 31, с. 27—32 с ил.
66. Корякин И. В., Бобкова Н. Н. Влияние окислов некоторых лантанидов, титана и циркония на свойства металлокерамического молибдена.— «Электровакуумная техника», 1965, № 38, с. 14—21 с ил.
67. Котлик Л. Л. Спектральный анализ газов с помощью фотоэлектрической регистрации спектров.— «Сборник материалов по вакуумной технике», 1960, вып. XXIV, с. 86—90 с ил.
68. Котляр А. А., Ланис В. А. Изучение процессов вакуумной обработки оксидных катодов люминесцентных ламп.— «Электровакуумная техника», 1962, вып. 29, с. 37—45 с ил.
69. Кристовска С. А. О некоторых причинах хрупкости тела накала.— «Светотехника», 1971, № 2, с. 15—17 с ил.
70. Кузнецов В. И. Механические вакуумные насосы. М., «Энергия», 1965, 280 с. с ил.
71. Куц Д. Е., Томас К. О., Крафт В. Г., Эмрон И. Получение ультрачистых деталей электронных ламп химическим травлением.— В кн.: Очистка деталей электронных приборов. Пер. с англ. Под ред. Б. Д. Луфт и А. А. Шустинной. М., «Энергия», 1964, с. 135—143.
72. Курзанов В. В. и др. Совершенствование производства люминесцентных ламп путем ультразвуковой очистки катодов.— «Светотехника», 1969, № 12, с. 19—20.
73. Куркин В. И. Устройство и наладка оборудования электровакуумного производства. М., «Высшая школа», 1970, 368 с. с ил.
74. Ланис В. А., Левина Л. Е. Практические основы техники вакуумных испытаний. Под ред. М. И. Меншикова. М.—Л., Госэнергоиздат, 1955, 120 с. с ил.
75. Ланис В. А., Муляров М. Я. Техника получения высокого вакуума.— «Электровакуумная техника», 1962, вып. 31, с. 11—14 с ил.
76. Ларшин А. Автоматическая система напуска газа для откачных устройств, МЭП СССР, Информационно-справочный листок № 000629, серия «Газоразрядные приборы».
77. Лебединский М. Я. Технология электровакуумного производства. М.—Л., Госэнергоиздат, 1961, 480 с. с ил.
78. Левин Г. Основы вакуумной техники. М., «Энергия», 1969, 272 с. с ил.

79. Левин И. А. Новый способ наполнения ионных приборов высокого давления газовой смесью.—«Сборник материалов по вакуумной технике», 1955, вып. VII, Госэнергоиздат, с. 31—36 с ил.
80. Лайнер В. И., Кудрявцев Л. П. Основы гальваностегии. М., Металлургиздат, 1975, 624 с. с ил.
81. Лилов В. В. Устройство и обслуживание венгерского автомата типа BFL для откачки люминесцентных ламп.—«Источники света», 1964, вып. 2, с. 73—88 с ил.
82. Лиссер С. X. Полуавтоматическая линия обработки колб зеркальных ламп накаливания.—«Электровакуумная техника», 1962, вып. 31, с. 44—54 с ил.
83. Лонг Б. Физические свойства и варка стекла. М., Гизлегпром, 1938, 428 с. с ил.
84. Луфт Б. Д., Шустина А. Л. Очистка электронных приборов. М., «Энергия», 1968, 320 с. с ил.
85. Любимов М. Л. Спаи металла со стеклом. Изд. 2-е, доп. М., «Энергия», 1968, 280 с. с ил.
86. Малов А. Н. Технология холодной штамповки. М., «Машиностроение», 1969, 568 с. с ил.
87. Марковский Л. Я., Пекерман Ф. М., Петошина Л. Н. Люминофоры. М., «Химия», 1966, 232 с. с ил.
88. Меих Г. X. Техника высокого вакуума. Пер. с немец. М., «Энергия», 1965, 560 с. с ил.
89. Мешков В. В., Епанешников М. М. Осветительные установки. М., «Энергия», 1972, 360 с. с ил.
90. Металлы и сплавы для электровакуумных приборов. Под Р. А. Ниландера. М., «Энергия», 1965.
91. Мешков В. В., Соколов И. И. Курс осветительной техники. М.—Л., Госэнергоиздат, 1960, 264 с. с ил.
92. Молибдеи. Сборник. Пер. с англ. М. А. Маураха, Изд-во иностр. лит., 1959.
93. Молчанова Г. В., Антонов В. А. Исследование обратного потока из паромасляных диффузионных насосов.—«Электронная техника», серия 10, Технология и организация производства, 1970, № 2 (34), с. 17—21 с ил.
94. Моравский В. Э. и др. Дуговая конденсаторная приварка бокового вывода к цоколям осветительных ламп накаливания.—«Светотехника», 1972, № 8, с. 19—20 с ил.
95. Маршак И. С. Импульсные источники света. М., «Энергия», 1966, 336 с. с ил.
96. Мордюк В. С. Развитие и становление новых физических методов исследования материалов для источников света. Научно-технический сборник, 1968, вып. 3, Моргиз, с. 41—67 с ил.
97. Мордюк В. С., Черкашин В. И. Проблемы газового наполнения ламп накаливания.—«Электротехническая промышленность. Светотехнические изделия», 1970, вып. 4, с. 4—5 с ил.
98. Натапова Р. И., Маликова Л. П., Волкова В. Ф. Электролитическое хромирование вольфрамовых и молибденовых вводов.—«Электровакуумная техника», 1965, вып. 38, с. 40—44 с ил.
99. Николаев Г. А., Ольшанский Н. А. Новые методы сварки металлов и пластмасс. М., «Машиностроение», 1966, 180 с. с ил.
100. Николаев Г. А., Ольшанский Н. А. Применение ультразвука при сварке.—«Вестник машиностроения», 1959, № 4, с. 24—26.
101. Ольшанский Н. А. Метод сварки электронным лучом в вакууме.—«Автоматическая сварка», 1959, № 8, с. 3—11 с ил.
102. Ольшанский Н. А. Сварка ультразвуком. М., ЦБТИ электропромышленности, вып. 23, 1958.
103. Орлов Н. Н. Автоматизированная линия сборки электрических ламп накаливания. Ч. 1, Рига, «Звайгзие», 1965, 206 с. с ил.
104. Парусников В. Н. и др. Электрохимическая обработка проволоки из тугоплавких металлов.—«Электровакуумная техника», 1967, вып. 43, с. 60—67 с ил.
105. Парусников В. Н. Конструктивные и технологические особенности процесса получения микропроволоки методом электролитического травления.—«Электровакуумная техника», 1965, вып. 37, с. 32—41 с ил.
106. Парусников В. Н. и др. Электролитическая очистка горячегнутых вольфрамовой и молибденовой проволоки диаметром 0,02—0,3 мм от графитовой смазки и окислов.—«Электровакуумная техника», 1964, вып. 35, с. 3—13 с ил.
107. Парусников В. Н., Степапов А. В., Рыбинкина Т. И. Изготовление микропроволоки методом электролитического травления.—«Электровакуумная техника», 1965, № 36, с. 35—40 с ил.
108. Пивоваров Г. Я. Технохимические процессы электровакуумного производства. М., «Энергия», 1964, 304 с. с ил.
109. Пипко А. И., Плисковский В. Я., Пенчко Е. А. Конструирование и расчет вакуумных систем. Изд. 2-е, доп. и перераб. М., «Энергия», 1970, 504 с. с ил.
110. Пипко А. И., Плисковский В. Я., Пенчко Е. А. Оборудование для откачки вакуумных приборов. М., «Энергия», 1965, 463 с. с ил.
111. Попилов Л. Я. Справочник по электрическим и ультразвуковым методам обработки материалов. Изд. 2-е, доп. и перераб. М., «Машиностроение», 1971, 544 с. с ил.
112. Пузырский Ю. Я. Защита централизованной форвакуумной магистрали от паров масла «механических насосов».—«Электронная техника», серия 10, Технология и организация производства, 1968, вып. 1, с. 69—70 с ил.
113. Радченко Л. А., Дворкин И. И., Кошкин Ю. И. Ультразвуковые методы в технологии производства электронных приборов. Л., ЛДНТП, 1965, 69 с. с ил.
114. Роус Б. Стекло в электронике. Пер. с чешск. М., «Советское радио», 1969, 356 с. с ил.
115. Рохлин Г. Н. Газоразрядные источники света. М., «Энергия», 1966, 560 с. с ил.
116. Сааев Ю. И. Испытания автомобильных ламп накаливания на динамическую долговечность.—«Электротехническая промышленность. Светотехнические изделия», 1972, вып. 3 (11), с. 6—7 с ил.
117. Сасаров В. П. Герметичные вводы в кварцевые лампы.—«Электровакуумная техника», 1967, № 43, с. 12—22 с ил.
118. Свердлов М. И., Дагелайская Н. А. Штамповка на пресс-автоматах. М., Машгиз, 1955, 67 с. с ил.
119. Сергеев Н. П., Фейгенсон М. С. Электрическая контактная сварка. М., Машгиз, 1952, 260 с. с ил.
120. Силин Л. Л., Балаиди Г. Ф., Коган М. Г. Ультразвуковая сварка. М., Машгиз, 1962, 252 с. с ил.

121. Скобелев В. М., Афанасьева Е. И. Источники света и пуско-регулирующая аппаратура. М., «Энергия», 1973, 368 с. с ил.
122. Смирнов-Аляев Г. А., Вайнтриб Д. А. Холодная штамповка в приборостроении. М., Машгиз, 1950, 407 с. с ил.
123. Соловьева Н. А., Юдкевич М. И. Сплавы для спайки со стеклом. Прецизионные сплавы.— Сборник трудов ЦНИИЧМ, вып. 15, М., Металлургиздат, 1956, 424 с. с ил.
124. Стерн Г. А. Применение радиоактивных изотопов для решения проблем электровакуумной техники.— В кн. Очистка деталей электронных приборов. Пер. с англ. Под ред. Б. Д. Луфт и А. Л. Шустиной. М., «Энергия», 1964, с. 281—293.
125. Талалаевский М. Б. Вытравливание молибденовых кернов из вольфрамовых спиралей и очистка последних.— «Научно-технический сборник, ВНИИС», 1965, вып. 1, Мордгиз, с. 34—46 с ил.
126. Талалаевский М. Б. Совершенствование процесса вытравливания молибденовых кернов из вольфрамовых спиралей.— «Электро-техническая промышленность. Светотехнические изделия», 1970, вып. 4, с. 8—9.
127. Титов И. М., Янтовский С. А. Установка для получения химически чистого аргона с разливом в металлические баллоны.— «Сборник материалов по вакуумной технике», 1955, вып. VII, М.—Л., Госэнергоиздат, с. 37—45 с ил.
128. Ульмишек Л. Г. Производство электрических ламп накаливания. М., «Энергия», 1966, 640 с. с ил.
129. Установки разделения воздуха и очистки редких газов. Каталог. ЦИНТИХимнефтемаш, 1965, 74 с. с ил.
130. Фастовский В. Г., Ровинский А. Е., Петровский Ю. В. Инертные газы, М., Атомиздат, 1964, 303 с. с ил.
131. Фастовский В. Г., Ровинский А. Е. Фракционирование аргоно-азотной смеси и анализ аргона.— «Кислород», 1952, № 1, с. 36—44 с ил.
132. Федоров В. В., Варламов Л. И. Автомат откачки люминесцентных ламп.— «Сборник материалов по вакуумной технике», 1953, вып. IV, М.—Л., Госэнергоиздат, с. 17—26 с ил.
133. Федоров В. В. Производство люминесцентных ламп. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Энергия», 1969, 244 с. с ил.
134. Цадинович Ф. М. Автоматическое регулирование давления при наполнении газоразрядных приборов.— «Электронная техника», серия 3, 1968, № 1(9), с. 46—49 с ил.
135. Цейтлин А. Б. Пароструйные вакуумные насосы. М., «Энергия», 1965, 399 с. с ил.
136. Чекрыжевский Л. С. Новое ультразвуковое оборудование для очистки изделий.— «Ультразвуковая техника», 1966, № 2, с. 31—37 с ил.
137. Черепнин Н. В. Вакуумные свойства материалов, применяемых в электронной технике. М., «Советское радио», 1966, 351 с. с ил.
138. Черепнин Н. В. Основы очистки, обезгаживания и откачки в вакуумной технике. М., «Советское радио», 1967, 408 с. с ил.
139. Шатинская Л. С. Зеркальные лампы накаливания с фильтрующими пленками.— «Светотехника», 1970, № 12, с. 21—22 с ил.
140. Шехмейстер Е. И., Вассерман Р. Н., Майзель Л. С. Технохимические работы в электровакуумном производстве. М., «Высшая школа», 1967, 352 с. с ил.

141. Штампе Р. Физика и техника электровакуумных приборов. Т. 1. М.—Л., Госэнергоиздат, 1963, 256 с. с ил.
142. Электрические источники света. Вып. 3. Лампы накаливания. Информэлектро, 1970, 79 с. ил.
143. Эспе В. Технология электровакуумных материалов. Т. I. М., «Энергия», 1962, 632 с. с ил.
144. Эспе В. Технология электровакуумных материалов. Т. II. М., «Энергия», 1968, 448 с. с ил.
145. Эспе В. Технология электровакуумных материалов, т. III. М., «Энергия», 1969, 368 с. с ил.
146. Эшбах Г. Л. Практические сведения по вакуумной технике. Пер. с нем. Под ред. Р. А. Нилендера. М., «Энергия», 1966, 296 с. с ил.
147. Яккель Р. Получение и измерение вакуума. Пер. с нем. Под ред. М. И. Меншикова. М., Изд-во иностр. лит., 1952, 343 с. с ил.





**Аблиц** 432  
**Азот** 129, 130, 164  
 — определение содержания 152  
 — очистка 142  
 — производство 134  
**Аквадаг** 186, 197  
**Алюминий** 67, 269  
 — пайка 234  
 — свойства 68  
 — пудры 67  
 — химические 69  
**Алюминирование** 247  
 — отражателей ламп-фар 248  
**Амальгамы** 84, 89  
**Амиллацетат** 269  
**Аммиак** 131, 141  
**Анализ газов** 160  
 — масс-спектрометрический 156  
 — спектральный 158  
 — термокондуктометрический 161  
**Анодно-механическая обработка** 174  
**Аргон** 129, 131  
 — очистка 142  
 — производство 136

**Барий** 86  
 — углекислый 269  
**Биметаллы** 78  
**Биндер** 261, 269  
 — выжигание 263

**Вакуум, получение** 355  
**Вакуумная обработка газоразрядных ламп** 415  
 — ксеноновых шаровых ламп 416  
 — ламп накаливания 409  
 — проекторных 410  
 — люминесцентных ламп 420

**Варор** 412  
**Вводы** 312  
 — изготовление 313, 318  
 — колпачковые 327  
 — многофольговые 325  
 — разборные 328  
 — сварка 314  
 — с молибденовой фольгой 325  
 — с переходными стеклами 322  
 — травление 320  
 — цилиндрические 326  
**Весы газовые** 160  
**Викор** 419  
**Водород** 129, 130  
 — определение содержания 152  
 — очистка 134  
 — производство 131  
**Водородная болезнь** 71, 197  
**Воздух, ректификация** 135  
 — сжижение 134  
**Вольфрам** 29, 167  
 — присадки 34  
**Вольфрам свойства** 30

— зависимость от температуры 32  
 — химические 36  
 — сплавы с молибденом 54  
 — с ниобием 60  
 — с рением 54  
 — температура рекристаллизации 33  
**Выдержка ламп технологическая** 432  
**Вырубка** 167  
**Вытяжка** 170  
 — коэффициенты 171  
**Вязкость стекол** 107  
 — измерение 108

**Газ препарировочный** 139  
**Газоанализатор** 151  
**Газопоглотитель** 267  
 — алюминисевый 270  
 — бариевый 271  
 — фосфорный 269  
 — циркониевый 270  
**Газопоглощение стекол** 112  
**Газы** 129  
 — анализ 160  
 — очистка 144  
 — расход 150  
 — технологические 130  
 — топливные 161  
 — термические свойства 162  
**Галлий** 93  
**Галофосфаты** 126  
**Гелий** 131  
 — анализ 158  
 — получение 139  
**Гибка** 169  
**Гнезда откачные** 395, 421

**Детандер** 403  
**Дозатор ртути** 398

**Железо** 64, 167  
 — алюминированное 81  
 — армо 181  
 — свойства 65  
 — химические 66  
 — сплав с никелем 72

**Заварка** 349  
 — ламп накаливания 351  
 — миниатюрных 351  
 — люминесцентных ламп 354  
**Зазоры при вырубка** 168  
**Затворы вакуумные** 394

**Идитол** 265  
**Индий** 91  
**Испытания климатические** 451  
 — механические 449  
 — на долговечность 453

**Кавитация** 176  
**Кадмий** 92

**Калий** 82, 84  
**Кальций** 86  
**Камни** 236  
**Карбонаты** 260  
 — получение 260  
**Катоды** 291  
 — газоразрядных ламп 299  
 — дуговых ламп низкого давления 294  
 — импульсных ламп 299  
 — ламп тлеющего разряда 292  
 — полые высокочастотные 158  
 — ртутных ламп 296  
 — холодные 292  
**Кислород** 129, 130  
 — определение содержания 151  
 — производство 134  
**Ковар** 75  
 — травление 187, 188  
**Колбы, алюминирование** 247  
 — дефекты 237  
 — матирование 239  
 — кремнеземом 240  
 — химическое 239  
 — меднение 250  
 — металлизация 243  
 — окраска 250  
 — серебрение 249  
**Коллоксин** 261  
**Константан** 78  
**Контроль качества ламп** 442  
 — визуальный 444  
**Коэффициент температурный расширения стекла** 103  
**Краны вакуумные** 394  
**Красители для колб** 251  
 — эмалей 265  
**Кролит** 268  
**Криптон** 129, 131, 136  
 — очистка 146  
 — производство 136  
**Ксенон** 129, 137, 418  
 — очистка 146  
 — получение 137

**Лампы газоразрядные** 13  
 — газосветные 19  
 — дуговые ксеноновые 24  
 — натриевые 28  
 — низкого давления 17  
 — паросветные 17  
 — ртутные 20, 118, 125  
 — с йодидами металлов 23  
 — импульсные 26, 118  
 — люминесцентные 14, 126, 354  
 — общего назначения 15  
 — — цветность 16, 127  
 — накаливания 8, 349  
 — автомобильные 10  
 — фарные 10  
 — галогенные 11, 118  
 — зеркальные 9  
 — кинопроекционные 11  
 — криптоновые 9  
 — местного освещения 9  
 — миниатюрные 11, 351  
 — проекторные 11  
 — самолетные 10  
 — светозмерительные 11  
 — специального назначения 10

**Лампы-светильники** 9  
**Линии сборки автомобильных ламп** 438  
**Линии сборки ламп накаливания общего назначения** 434  
 — «Тиса» 435  
 — люминесцентных ламп 439  
 — миниатюрных ламп 439  
**Литий** 85  
**Ловушки** 371  
 — быстрота действия 379  
 — механические 371  
 — охлаждаемые 374  
 — сорбционные 372  
 — химические 372  
**Люминесценция** 124  
**Люминофоры** 124  
 — галофосфатные 126  
 — нанесение 263  
 — ортофосфатные 126, 127  
 — фторогерманатные 127

**Матный** 87  
**Манометры** 376  
 — деформационные 377  
 — параметры 378  
 — ртутные 376  
 — компрессионные 378  
**Масс-спектрометр** 157  
**Мастики маркировочные** 273  
 — цоколевочные 264  
 — горячие 264  
 — холодные 266  
**Матирование** 239, 246  
**Машины спирализации** 279, 280  
 — с постоянным керном 282  
**Медь** 69, 144  
 — сплав с никелем 78  
**Металлы** 28  
 — свариваемость 222  
 — спаян со стеклом 300  
 — тугоплавкие 28  
 — цветные 60  
 — щелочноземельные 86  
 — щелочные 82  
**Металлизация** 243  
 — режимы 245  
 — химическая 249  
**Молибден** 38, 167  
 — сплавы с вольфрамом 54  
 — с лантаном 59  
 — с рением 57  
**Мостик фарфоровый** 271

**Наполнение ламп** 402  
 — криптоном 146  
**Напряжения внутренние в стекле** 112  
 — измерение 116  
 — снятие 114  
**Насосы вакуумные** 356  
 — герметичные 361  
 — двухроторные 359  
 — золотниковые 359  
 — ионно-getterные 201, 368  
 — механические 357  
 — многокамерные 360  
 — многослойчатые 362  
 — параметры 362  
 — паромасляные 363  
 — парортутные 363  
 — цеолитовые 370  
**Натрий** 83  
**Неон** 129  
 — производство 137  
**Никель** 61, 177

Никель сплавы с железом 72  
 Никелирование 201  
 Ниобий 45  
 — сплав с вольфрамом 60  
 — с танталом 60  
 Ножки 330  
 — бусиновые 341  
 — гребешковые 331  
 — изготовление 331  
 — монтаж 343  
 — плоские 339  
 Обезжиривание 181  
 — в органических растворителях 181  
 — в щелочных растворах 183  
 — ламп 399  
 — спиралей 283  
 — электрохимическое 184  
 Обжиг ламп 432  
 Окрашивание стекол 111  
 Ортованадат иттрия 128  
 Ортофосфаты 126, 127  
 Осушители твердые 143  
 Отжиг металлических деталей 196  
 — спиралей 283, 289  
 — стекла 114  
 Очистка азота и аргона 142  
 — инертных газов 141  
 — криптоно-азотной смеси 148  
 — металлических деталей 179  
 — проволоки 190, 277  
 — ртути 89  
 — стекла 236  
 — фуоридита 74  
 Пайка алюминия 234  
 — металлов 232  
 Палладий 132, 136, 145  
 Пластификаторы 262  
 Платинид 78  
 — коэффициент расширения 79  
 — свойства 80  
 Покрытия стекла графитовые 258  
 — защитные 258  
 — проводящие 257  
 Полирование 193  
 — химическое 193  
 — электрохимическое 45, 194  
 — режимы 195  
 Преобразователи манометрические 379  
 — ионизационные 382  
 — магнитные электроразрядные 383  
 — теплоэлектрические 380  
 — терморезные 379  
 Припой оловянно-свинцовые 233  
 — стеклянные 123  
 — твердые 236  
 Пробивка 167  
 Промывка ламп 407  
 Пузыри 236, 301  
 Расстекловывание 109  
 Резка спиралей 284  
 Реле вакуумное 397  
 Рений 47  
 — сплавы с вольфрамом 64  
 — с молибденом 67  
 Ртуть 87  
 — дозирование 398  
 — меры предосторожности 90  
 — очистка 89  
 Рубидий 85

Сажка газовая 268  
 Свариваемость металлов 222  
 Сварка аргонодуговая 225  
 — атомо-водородная 227  
 — диффузионная 229  
 — дуговая конденсаторная 224  
 — лазерная 231  
 — ультразвуковая 227  
 — холодная 230  
 — электродов 314  
 — электроконтактная 218  
 — — точечная 220  
 — электронно-лучевая 230  
 Световой поток, измерение 445  
 Свили 236  
 Серебрение химическое 249  
 Сила света, измерение 447  
 Смазка при вытяжке 172  
 — — штамповке 168  
 Смеси тройные 189, 190  
 Смоли 265  
 — эпосидные 267, 273  
 Соединения вакуумные 391  
 Соляризация стекла 122  
 Спаи металлов со стеклом 301  
 — — — согласованные 304  
 — — — несогласованные 305  
 — сжатые 307  
 Спайивание кварца с металлами 322  
 — — стекол 309  
 — — с медью 310  
 — — со сплавами железа 311  
 Спираль 275  
 — виды брака 290  
 — навивка 278, 282  
 — отжиг 283  
 — — режимы 284  
 — резка 284  
 Сплавы алюминийно-магниевого 67  
 — вольфрамо-молибденовые 54  
 — вольфрамо-ренийные 64  
 — вольфрамо-танталовые 60  
 — железо-никелевые 72  
 — молибдено-кобальтовые 58  
 — молибдено-ренийные 57  
 — тантало-ниобиевые 60  
 Сталь хромистая 65, 77  
 Стекло 96  
 — внутренние напряжения 112  
 — кварцевое 117  
 — обозначения 97  
 — переходное 323  
 — порошковое 122  
 — свойства 98  
 — — механические 101  
 — — оптические 110  
 — — химические 100  
 — соляризация 122  
 — состав 99  
 — стойкость к термоударам 105  
 — температура размягчения 106  
 — увиолевое 121  
 — электролиз 302  
 Стеклоэмали 122  
 Стронций 86  
 Суспензия люминофорная 263  
 — оксидная 260, 262  
 Таллий 94  
 Тантал 41, 167  
 — свойства 42  
 — — химические 44  
 — сплав с ниобием 50

Температура воспламенения газа 166  
 — горения газа 162  
 — размягчения стекла 106  
 — — вольфрама 33  
 — — молибдена 39  
 — — никеля 64  
 Термическая обработка спиралей 283, 289  
 Техника безопасности 472  
 — — при работе со ртутью 90  
 Теченскатели 384  
 — галлоидные 388  
 — искровые 384  
 — масс-спектрометрические 389  
 Титан 49, 269, 367  
 — свойства 49  
 — — химические 60  
 Топливные газы 163  
 — — скорость распространения пламени 166  
 — — температура воспламенения 166  
 — — теплоемкость 162  
 Торий 62  
 — свойства 53  
 Травление 186  
 — вводов 320  
 — спиралей 285  
 — — режимы 286  
 — химическое 186  
 — цоколей 214  
 — электрохимическое 189  
 — — проволоки 192  
 — — режимы 187, 191  
 Тренировка ламп 430  
 Трубки стеклянные, дефекты 237  
 Углеводороды 136  
 — определение содержания 153  
 Углекислота, определение содержания 152  
 Ультразвуковая обработка 175  
 Упаковка ламп 433

Фарфоровая масса 271  
 Ферроникель 72  
 Флюсы для пайки 234  
 Фокусирование ламп 429  
 Формовка спиралей 289  
 Фосфор красный 268  
 Фторогерманаты 127  
 Фторопласт 393  
 Фуоридит 73, 309  
 — очистка 74  
 Хромирование 205  
 Цезий 84  
 — свойства 73  
 Цеолит 370, 372  
 Церий 95  
 Цинкование цоколей 215  
 Цирконий 61, 269  
 Цоколевание 426  
 Цоколи 207  
 — заливка 212  
 — люминесцентных ламп 218  
 — накатка резьбы 211  
 — травление 214  
 — штамповка 208  
 Шлифы 391  
 Штамповка холодная 167  
 — цоколей 208  
 Электролиз 132  
 — стекла 302  
 Электролиты для никелирования 202  
 — — полирования 45  
 — — травления 187  
 — — хромирования 206  
 — — цинкования 215, 217  
 Электроэрозионная обработка 172  
 Эмали 254  
 Этилсиликат 241

# ОГЛАВЛЕНИЕ



Предисловие . . . . .	3
Глава первая. Источники света . . . . .	5
1-1. Область применения . . . . .	5
1-2. Классификация и принцип работы . . . . .	8
а) Лампы накаливания . . . . .	8
б) Газоразрядные лампы . . . . .	13
Глава вторая. Применяемые материалы . . . . .	28
2-1. Металлы . . . . .	28
а) Тугоплавкие металлы и сплавы . . . . .	28
б) Черные и цветные металлы . . . . .	60
в) Прочие металлы и сплавы специального назначения . . . . .	82
2-2. Стекло . . . . .	96
а) Классификация и химический состав . . . . .	96
б) Свойства стекол . . . . .	100
в) Внутренние напряжения в стекле . . . . .	112
г) Кварцевое стекло . . . . .	117
д) Специальные стекла . . . . .	119
2-3. Люминофоры . . . . .	124
а) Люминофоры для люминесцентных ламп низкого давления . . . . .	126
б) Люминофоры для ртутных ламп высокого давления . . . . .	127
2-4. Газы . . . . .	129
а) Технологические газы . . . . .	130
б) Топливные газы . . . . .	161
Глава третья. Металлические детали и их обработка . . . . .	167
3-1. Изготовление деталей . . . . .	167
а) Холодная штамповка . . . . .	167
б) Электроэрозионная обработка . . . . .	172
в) Ультразвуковая обработка . . . . .	175
3-2. Очистка и термическая обработка . . . . .	179
а) Обезжиривание . . . . .	181
б) Промывка в воде . . . . .	186
в) Травление . . . . .	186
г) Полирование . . . . .	196
д) Термическая обработка . . . . .	193
3-3. Гальванические покрытия металлов . . . . .	206
3-4. Изготовление цоколей . . . . .	201
3-5. Соединение металлических деталей . . . . .	217
а) Сварка . . . . .	218
б) Пайка . . . . .	232
Глава четвертая. Обработка стеклоизделий . . . . .	236
4-1. Очистка поверхности . . . . .	236
4-2. Матирование . . . . .	239

а) Химическое матирование . . . . .	239
б) Матирование коллоидным кремнеземом . . . . .	240
в) Органосиликатные покрытия . . . . .	242
4-3. Металлизация . . . . .	243
а) Распыление металла в высоком вакууме . . . . .	243
б) Металлизация химическим способом . . . . .	249
4-4. Окраска колб . . . . .	250
4-5. Прочие покрытия . . . . .	257
Глава пятая. Технохимические операции . . . . .	260
5-1. Приготовление оксидных суспензий . . . . .	260
5-2. Приготовление люминофорных суспензий и нанесение люминофорного слоя . . . . .	263
5-3. Приготовление цоколевочных мастик (цементов) . . . . .	264
а) Горячие мастики . . . . .	264
б) Холодные цоколевочные цементы . . . . .	266
5-4. Приготовление газопоглотителей . . . . .	267
а) Материалы газопоглотителей . . . . .	268
б) Приготовление газопоглотителей . . . . .	269
5-5. Прочие операции . . . . .	271
а) Изготовление фарфоровых мостиков . . . . .	271
б) Маркировочные составы . . . . .	272
Глава шестая. Производство спиралей и катодов . . . . .	274
6-1. Изготовление спиралей . . . . .	274
а) Очистка вольфрамовой проволоки . . . . .	277
б) Спирализация . . . . .	278
в) Обезжиривание и термическая обработка . . . . .	283
г) Резка . . . . .	284
д) Травление . . . . .	285
е) Отжиг . . . . .	289
ж) Формовка . . . . .	289
6-2. Изготовление катодов . . . . .	291
а) Общие сведения . . . . .	291
б) Холодные катоды ламп тлеющего разряда . . . . .	292
в) Катоды дуговых ламп низкого давления . . . . .	294
г) Катоды ртутных ламп высокой интенсивности . . . . .	296
д) Катоды газовых ламп высокой интенсивности . . . . .	299
е) Катоды импульсных ламп . . . . .	299
Глава седьмая. Сборка ламп . . . . .	300
7-1. Спаи металла со стеклом . . . . .	300
а) Виды спаев . . . . .	303
б) Спаивание металла со стеклом . . . . .	309
в) Вводы . . . . .	312
г) Спаивание кварцевого стекла с металлами . . . . .	322
7-2. Изготовление ножек . . . . .	330
а) Гребешковые ножки . . . . .	331
б) Плоские ножки . . . . .	339
в) Бусиновые ножки . . . . .	341
7-3. Монтаж ножек . . . . .	343
а) Ручной монтаж . . . . .	344
б) Механизированный монтаж . . . . .	346
7-4. Заварка ламп . . . . .	349
а) Заварка ламп накаливания на автоматах . . . . .	351
б) Заварка миниатюрных ламп накаливания . . . . .	351
в) Заварка люминесцентных ламп . . . . .	354

<b>Глава восьмая. Вакуумная обработка ламп</b>	<b>354</b>
8-1. Получение вакуума	355
а) Вакуумные насосы	356
б) Современные методы получения вакуума	367
в) Ловушки	371
8-2. Измерение низких давлений	376
а) Манометры и преобразователи	376
б) Метод грубой оценки вакуума	384
8-3. Теченскание	386
8-4. Элементы вакуумных систем	390
8-5. Обезгаживание ламп	399
8-6. Наполнение и промывка ламп	402
а) Способы наполнения	402
б) Промывка ламп	407
8-7. Вакуумная обработка ламп накаливания	409
а) Обработка на откачных постах	409
б) Обработка на откачных автоматах	411
8-8. Вакуумная обработка газоразрядных ламп	415
а) Обработка на откачных постах	416
б) Обработка на откачных автоматах	420
<b>Глава девятая. Заключительные операции</b>	<b>426</b>
9-1. Цоколевание	426
9-2. Фокусирование ламп	429
9-3. Тренировка и обжиг ламп	430
9-4. Технологическая выдержка и упаковка ламп	433
9-5. Механизированные линии сборки источников света	434
<b>Глава десятая. Контроль и испытания ламп</b>	<b>443</b>
10-1. Визуальный контроль	444
10-2. Световые и электрические измерения	445
а) Измерение светового потока	445
б) Измерение силы света	447
в) Цветовые измерения	448
10-3. Механические испытания	449
10-4. Климатические испытания	451
10-5. Испытания на долговечность	453
<b>Глава одиннадцатая. Организация технологического процесса производства источников света</b>	<b>456</b>
11-1. Особенности производства источников света	456
11-2. Основные технологические требования и первоочередные мероприятия, обеспечивающие повышение качества и выхода годных источников света	466
а) Основные требования к материалам	466
б) Технологическая дисциплина	467
в) Организация производства и эксплуатация оборудования	468
г) Анализ и учет брака	469
д) Вакуумная гигиена	471
е) Техника безопасности	472
ж) Подготовка и обучение рабочего персонала	472
<b>Список литературы</b>	<b>474</b>
<b>Алфавитный указатель</b>	<b>482</b>