

32.85

А 46

А.Т. АЛЕКСАНДРОВА

Г.А. ПОЛОТАЙ

# Заготовка деталей электро- вакуумных приборов



ПРОФЕССИОНАЛЬНО-  
ТЕХНИЧЕСКОЕ  
ОБРАЗОВАНИЕ



А.Т. АЛЕКСАНДРОВА, Г.А. ПОЛОТАЙ

А.Т. АЛЕКСАНДРОВА  
Г.А. ПОЛОТАЙ

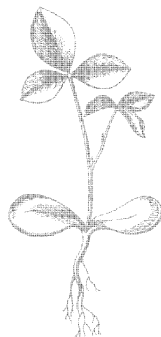
# Заготовка деталей электро- вакуумных приборов

Издание второе,  
переработанное и дополненное

Одобрено Ученым советом  
Государственного комитета СССР  
по профессионально-техническому  
образованию в качестве учебника  
для средних профессионально-  
технических училищ



Москва "Высшая школа" 1986



Scan AAW

ББК 31.77  
А46  
УДК 621.385.032

Рецензент — д-р техн. наук В.Е.Минайчев

Александрова А.Т., Полотай Г.А.

А46 Заготовка деталей электровакуумных приборов: Учеб. для сред. ПТУ. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1986. — 223 с.: ил.

В книге приведены сведения о заготовительных процессах производства электровакуумных приборов, описано применяемое технологическое и контрольно-измерительное оборудование. Уделено внимание физическим основам технологических процессов обработки и сборки изделий.

Второе издание (1-е — 1980 г.) переработано и дополнено сведениями о производстве изделий из стекла, теххимических процессах и гибких производственных системах.

А 2403000000— 325  
052 (01) — 86 КБ—28—28—86

ББК 31.77  
6Ф0.3

© Издательство "Высшая школа", 1980  
© Издательство "Высшая школа", 1986, с изменениями

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986—1990 гг. и на период до 2000 г. говорится о необходимости всемерной интенсификации и повышения эффективности производства на базе научно-технического прогресса, а следовательно, — создания, освоения и внедрения в производство новой высокоэффективной техники, повышения производительности труда и улучшения качества выпускаемой продукции.

Поэтому насущным вопросом становится уровень подготовки молодых рабочих в средних профессионально-технических училищах и на производстве, в том числе и тех учащихся, которым предстоит пополнить трудовые коллективы предприятий электронной промышленности — одной из приоритетных отраслей народного хозяйства, которую по праву можно считать фундаментом научно-технического прогресса. Это связано с тем, что успехи технологии производства электровакуумных приборов (от массовых типов электронно-лучевых приборов до мощных генераторных ламп и СВЧ приборов) во многом определяют прогресс электроники.

Кроме того, уровень развития технологии определяет организационное построение электровакуумного производства, перспективы и темпы его развития, качество выпускаемых приборов.

В технологическом цикле производства электровакуумных приборов на заготовительные процессы и операции приходится до 70% общих трудозатрат. При этом от качества выполнения заготовительных операций зависят электрические параметры, быстродействие, надежность и срок службы электровакуумных приборов.

Современный уровень развития электронной техники требует подготовки специалистов нового типа, обладающих достаточными теоретическими знаниями и практическими навыками, хорошо разбирающихся в физико-химических основах электронной технологии в целом и технологии заготовительного производства электровакуумных приборов, в частности.

Настоящее издание учебника переработано и дополнено новыми разделами по стеклозаготовительному, технохимическому производству и автоматизации. В книге рассмотрены только наиболее характерные и важные заготовительные процессы электровакуумного производства, на

примере которых можно достаточно полно представить себе современный уровень выпуска приборов в промышленных условиях. При этом материал книги представлен так, чтобы учащиеся могли получить необходимые знания о технологических процессах и оборудовании заготовительного производства электровакуумных приборов, о тенденциях его дальнейшего развития в направлении совершенствования технологии и комплексной автоматизации.

Авторы выражают благодарность д-ру техн. наук В.Е. Минайчеву за полезные рекомендации, высказанные им при рецензировании учебника, а также предприятиям электронной промышленности, предоставившим материал для работы над книгой.

Все замечания и пожелания просим направлять по адресу: 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., д. 29/14, издательство "Высшая школа".

*Авторы*

## ВВЕДЕНИЕ

Успехи, достигнутые электронной промышленностью, определяются прежде всего возможностями и уровнем развития технологии на всех этапах изготовления электронных приборов, начиная от заготовительного производства до финишных (заключительных) операций и сложных сборочных работ.

Электровакuumное производство является одним из направлений электронной промышленности. Современные электровакuumные приборы — приемно-усилительные лампы, магнетроны, клистроны, лампы бегущей волны, электронно-лучевые трубки, электронно-оптические преобразователи и др. — широко используются в радиотехнике, радиолокации, связи, атомной физике, ракетостроении, медицине, космических исследованиях, радиоастрономии, искусстве и в быту.

Электровакuumные приборы способны генерировать, усиливать и преобразовывать электрические колебания в области частот, длина волны которых соизмерима с длиной волны инфракрасного излучения, и в этом отношении не имеют конкурентов.

Условия эксплуатации электровакuumных приборов весьма разнообразны. В ряде случаев они подвергаются одновременному воздействию низких и высоких температур, тропической жары и 100%-ной влажности, вибраций, испытывают ударные нагрузки, ускорения при которых превосходят гравитационные в 500 раз и более.

К надежности электровакuumных приборов предъявляют высокие требования, поскольку они должны обеспечивать работоспособность радиоэлектронной аппаратуры.

Электровакuumное производство отличается большим разнообразием выпускаемых приборов, используемых материалов, оборудования и технологических процессов, включающих сотни, а иногда и тысячи точных и ответственных операций. Так, технологический процесс изготовления широкополосной приемно-усилительной лампы содержит более 250 операций, магнетрона — более 450, а современного цветного кинескопа — более 6000.

Особенностью электровакuumной технологии является необратимость большинства процессов промежуточной и окончательной сборки, при которых пооперационный брак неисправим. Технологические дефекты в катодно-подогревательных элементах, электронно-лучевых пушках,

металлокерамических и металlostеклянных соединениях нельзя устранить разборкой и заменой дефектной детали.

Так как в собранном электровакуумном приборе выявляются погрешности отдельных технологических операций, это предъявляет особые требования к точности их выполнения на всех этапах производства. Нарушение технологических режимов резко снижает процент выхода годных приборов и их надежность. Рассчитано, что срок службы электровакуумных приборов, определяемый временем испарения активного вещества катода, равен  $10^6$  ч. Фактически он составляет  $10^3 - 10^5$  ч, что объясняется в первую очередь нарушениями технологии, трудностями управления многими сложными физико-химическими процессами и их контроля.

Заготовительное электровакуумное производство определяется комплексом технологических процессов, связанных с формообразованием элементов приборов, формированием физико-химических и электрофизических свойств монокристаллических материалов и поверхностных слоев, получением прочных, плотных и герметичных межсоединений, термическим и вакуумно-термическим воздействием на материалы и элементы. Решающим фактором в осуществлении сложных заготовительных процессов в производстве электровакуумных приборов является комплексная автоматизация в условиях как массового и крупносерийного, так и мелкосерийного их выпуска.

Современный этап автоматизации технологических процессов в электронике связан с широким использованием достижений вычислительной техники, электронного машиностроения и робототехники, являющихся основой для организации гибких автоматизированных систем. Внедрение в производство гибких автоматизированных систем повышает производительность, снижает долю ручного труда, а также улучшает качество выпускаемых приборов в результате исключения субъективных факторов и получения оперативной информации о параметрах быстро протекающих и трудно контролируемых процессов.

## **ГЛАВА ПЕРВАЯ. ЗАГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ**

### **§ 1. Классификация заготовительных процессов**

Основным требованием, предъявляемым к электровакуумным приборам, является наличие и возможность поддержания в них высокого вакуума в течение длительного срока службы, измеряемого в ряде случаев сотнями и тысячами часов работы. Это предопределяет требования к построению технологических операций на всех этапах производства приборов. Катоды, подогреватели, сетки, аноды, управляющие электроды и вводы (ножки) электровакуумных приборов изготавливают в виде отдельных деталей и сборочных единиц, а затем собирают в единую конструкцию в герметичный баллон (корпус), в объеме которого формируют вакуумную среду необходимого состава и разрежения. Формирование вакуумной среды является заключительной операцией, а все предшествующие ей — заготовительными.

Классификация типовых заготовительных процессов по видам обработки приведена на рис. 1.

Как видно из схемы, наряду с такими традиционными, давно известными и изученными методами, как пластическое деформирование и прессование, химическая, термическая, механическая и термомеханическая обработка, широкое применение находят процессы, в основе которых лежат сложные физические явления, связанные с воздействием на обрабатываемые изделия низких и высоких температур и давлений, звуковых и ультразвуковых колебаний, электрического разряда, потока плазмы, электронной бомбардировки, мощного светового излучения.

Пластическое деформирование широко используется в производстве исходных материалов — прутков, проволоки, ленты и трубок из таких тугоплавких материалов, как вольфрам, молибден, тантал, титан, ниобий, а также нержавеющей сталь и никель.

Прутки получают ковкой на ротационно-ковочных машинах. Степень деформирования материала зависит от требуемого диаметра прутков. Волочением из прутков получают тонкую диаметром до сотен микрометров и тончайшую диаметром до нескольких микрометров проволоку, а прокаткой — ленту толщиной от 5 до 50 мкм. Холодной вытяжкой или сваркой из листового материала получают трубки диаметром от 1 до



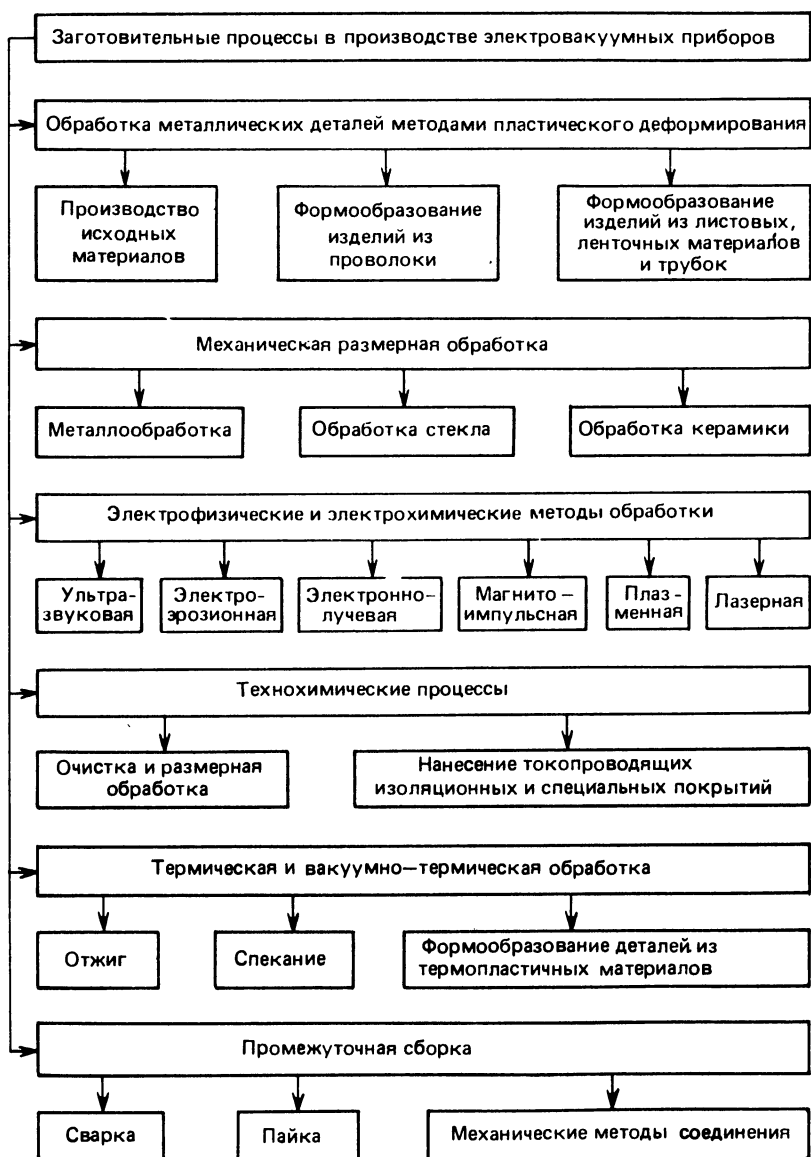


Рис. 1. Классификация заготовительных операций

20 мм с толщиной стенок от 0,1 до 4 мм. На специальном автоматизированном оборудовании различными методами пластического деформирования (штамповкой, гибкой, вытяжкой) из проволоки получают сетки, подогреватели, замедляющие системы, а также внутривольфрамовые крепежные детали и электроды, а из листовых ленточных и трубчатых материалов — керны катодов, аноды, корпуса газопоглотителей, экраны, вспомогательные внутривольфрамовые детали.

Методы пластического деформирования составляют около 80% всех металлозаготовительных операций, являются сравнительно дешевыми и высокопроизводительными и позволяют получить высокую точность и воспроизводимость геометрических размеров изготавливаемых деталей.

Механическая размерная обработка находит применение при изготовлении металлических, стеклянных и керамических деталей. Так, для формообразования некоторых металлических деталей используются все известные методы обработки на металлорежущем оборудовании: точение, фрезерование, сверление, шлифование, полирование. Шлифование и полирование, кроме того, широко применяют для размерной обработки деталей из стекла и керамики.

Электрофизические методы обработки — ультразвуковая, электроэрозионная, плазменная, электронно-лучевая и лазерная — в последние годы все более широко внедряются в технологию производства электровакуумных приборов, так как обладают исключительной технологической гибкостью, легко поддаются механизации и автоматизации, управлению электронными вычислительными машинами.

Ультразвук успешно применяется в процессах размерной обработки, прежде всего твердых и хрупких материалов, а также для сварки, пайки и очистки. Электроэрозионная обработка незаменима в производстве ажурных (сеток) и прецизионных — точных (замедляющих систем, анодных блоков) деталей.

Применение ионизированного газа — плазмы, развивающей в месте соприкосновения с обрабатываемой поверхностью от 4000 до 16 000°С и выше, позволяет выполнять размерную обработку, резку, сварку, нанесение покрытий. Аналогичные операции, а также зонную очистку и плавку выполняют электронным пучком, а заварочные работы, тонкие сварочные процессы, резку, сверление отверстий в труднообрабатываемых материалах (вольфраме, алмазе, стекле, керамике) — лучом лазера.

Перспективным электрофизическим методом обработки является магнитоимпульсное деформирование, основанное на взаимодействии вихревых токов, индуцируемых в заготовке, с пересекающим их импульсным магнитным полем индуктора. Импульсные магнитные поля создаются специальными установками при разряде энергии, накопленной в конденсаторной батарее.

Технохимические процессы позволяют не только соблюдать требования электронно-вакуумной гигиены путем многократ-

ной очистки, обезжиривания и промывки деталей в процессе их изготовления, но и обеспечивают проведение таких ответственных операций, как размерная обработка травлением, электрополированием, нанесение изоляционных, проводящих, газопоглощающих, люминофорных и других покрытий, необходимых для формирования определенных свойств приборов.

Электрохимическая обработка используется для формирования поверхностных слоев деталей, электрополирования и размерной обработки.

Термическая и вакуумно-термическая обработка находит применение на всех этапах технологического процесса изготовления деталей и сборочных единиц электровакуумных приборов. Отжиг, спекание и обжиг осуществляют в большинстве случаев в специальных технологических средах (вакууме, восстановительных, нейтральных или в атмосфере реактивных газов). Некоторые термические процессы, например выплавка стекла, формообразование керамических деталей методом шликерного литья, выдувание стеклянных колб, могут выполняться в условиях атмосферы.

Промежуточная сборка элементов электровакуумных приборов — газопоглотителей, катодов и катодноподогревательных элементов, корпусов приборов, выводов энергии, резонаторных блоков — также относится к заготовительным операциям. При сборке используют специальные сборочные приспособления, позволяющие обеспечить необходимую точность ориентации и последующее соединение деталей сваркой, пайкой, а также различными механическими методами (клепкой, навинчиванием, накруткой, отгибанием лепестков и др.).

## § 2. Виды и назначение деталей и сборочных единиц электровакуумных приборов

Рассмотрим, из каких деталей и сборочных единиц состоят электровакуумные приборы и какие функции они выполняют.

Оболочка представляет собой герметичную изолированную емкость, в которой в зависимости от типа электровакуумного прибора расположены катоды, аноды, сетки, вводы, газопоглотители, экраны, изоляторы и др. Внутри оболочки поддерживается необходимая для работы электровакуумного прибора среда — вакуум порядка  $10^{-3} - 10^{-6}$  Па или определенное давление газа (в газонаполненных приборах). Изготавливают оболочки из различных сортов стекла, металлов или вакуумноплотных керамических материалов.

Катоды, имитирующие электроны в условиях высокого вакуума, являются основой электровакуумных приборов. В качестве исходных материалов для производства катодов используют вольфрам, молибден, никель, рений, платину, тантал, барий, стронций, оксиды тория и натрия.

В зависимости от способа активизации электронной эмиссии различают термоэмиссионные, автоэмиссионные и фотоэмиссионные катоды, а также катоды вторичной электронной эмиссии — диноды. Наибольшее распространение получили термоэмиссионные катоды. Эффективность термоэлектронной эмиссии зависит от работы выхода электронов с поверхности катода, его рабочей температуры и материала. Рабочая температура катода создается прямым или косвенным накалом. Катоды косвенного накала имеют специальные подогревательные элементы из вольфрама или сплава вольфрама с молибденом.

**А н о д ы** являются приемниками электронов и изготавливаются в виде пластин, цилиндров или прямоугольных коробчатых деталей из никеля, молибдена, тантала, титана, железа, графита. Поверхность некоторых анодов для повышения излучательной способности подвергают технологической обработке — электрополированию.

**С е т к и** представляют собой электроды, расположенные в пространстве между катодом и анодом, отличаются большим разнообразием и изготавливаются из вольфрама, молибдена, сплавов никеля.

**В о д ы** предназначены для монтажа электровакуумных приборов в схемы электронной аппаратуры и должны быть герметично и электрически изолированно соединены с оболочкой. В соответствии с этим к материалам вводов предъявляют требования высокой электропроводности и способности образовывать с материалом оболочки вакуумно-плотное неразъемное соединение.

**Г а з о п о г л о т и т е л и** предназначены для поддержания в приборе определенного разрежения, которое устанавливается в зависимости от вида прибора, и изготавливаются из циркония, титана, бария и других газопоглощающих материалов или их сочетаний.

**В с п о м о г а т е л ь н ы м и д е т а л я м и** электровакуумных приборов являются внутренние изоляторы из слюды, керамики или стекла, внутренние крепежные детали и экраны из различных сортов стали, никеля и тугоплавких металлов, а также наружные элементы (цоколь, охлаждающие трубки, защитные колпачки и др.) из стали, керамики, стекла.

### **§ 3. Требования, предъявляемые к материалам электровакуумных приборов**

При производстве электровакуумных приборов используется около 400 различных металлических, проводниковых, диэлектрических и композиционных материалов.

Физико-химические и электрофизические свойства этих материалов, а также их состав и структура определяют важнейшие технические характеристики приборов: срок службы, стабильность параметров, надежность.

Материалы, применяемые для изготовления деталей и сборочных единиц электровакуумных приборов, должны сохранять свои свойства при воздействии электрических и магнитных полей, вибраций и ускорений, быть коррозионно-стойкими и обладать хорошей свариваемостью и низким газосодержанием.

По назначению материалы, используемые в электровакуумной технике, можно разделить на три группы: конструкционные металлы и сплавы; диэлектрики; специальные материалы и их производные. Термические, электрические, механические, химические, а также вакуумные свойства материалов должны обеспечивать получение определенных параметров электровакуумных приборов.

Важнейшими термическими свойствами материалов являются температура плавления, упругость пара, скорость испарения и теплопроводность.

Температура плавления является одним из основных показателей возможности использования материала в производстве электровакуумных приборов. Причем основным критерием при выборе материала является не его температура плавления, а допустимая рабочая температура, зависящая от упругости пара  $P_s$  (Па) и скорости испарения  $W$  г/(см<sup>2</sup>·с), между которыми существует следующее соотношение:  $P_s = 224,3W \sqrt{T}/\sqrt{M}$  (где  $M$  и  $T$  — соответственно молекулярная масса, г/см<sup>3</sup>, и температура, К, испаряемого материала).

На рис. 2, а, б показаны зависимости давления пара и скорости испарения некоторых материалов от температуры.

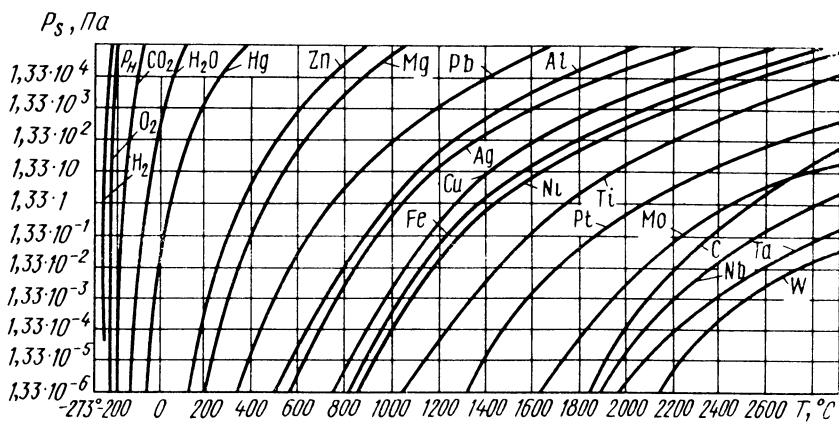
В большинстве случаев рабочая температура ограничивается упругостью пара. Скоростью испарения определяется срок службы приборов, стабильность размеров подвергаемых нагреву деталей, а также их способность обеспечивать надежность работы других элементов, в том числе изоляторов, на которых может конденсироваться пленка испаряющегося материала.

По скорости испарения  $W$  и известной упругости пара  $P_s$  можно рассчитать толщину испаряющегося с поверхности слоя материала за 1 ч при температуре  $T$  (°C):

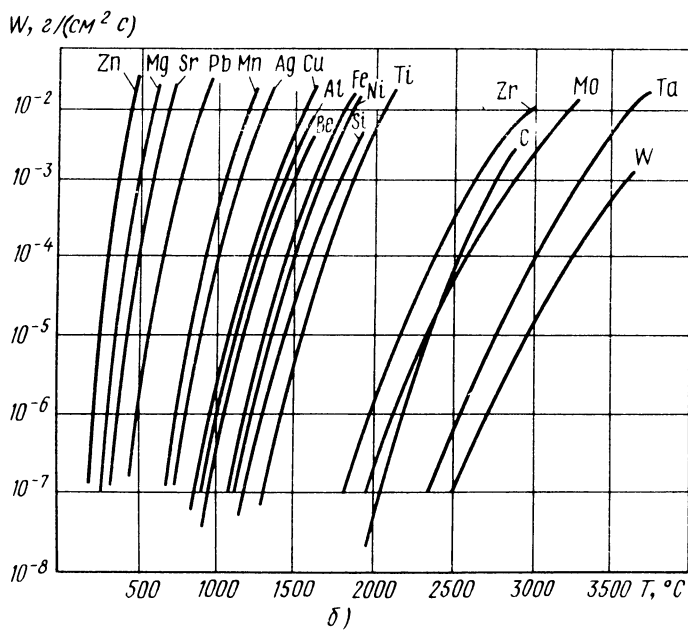
$$D = 3600 W \gamma = 2100 \sqrt{M P_s} / \gamma \sqrt{T},$$

где  $\gamma$  — плотность испаряющегося материала, г/см<sup>3</sup>.

Теплопроводность — вид теплообмена. При хорошей теплопроводности температурный режим работы деталей электровакуумных приборов устойчив. Кроме того, при расчете элементов конструкции приборов учитывают температурные коэффициенты, которые являются показателями линейного или объемного расширения, либо удельного электрического сопротивления. Важнейшими электрическими свойствами материалов являются: сопротивление, магнитная проницаемость, эмиссионная способность и работа выхода.



a)



б)

Рис. 2. Зависимости упругости пара (а) и скорости испарения (б) некоторых материалов от температуры

Электрическое сопротивление и магнитная проницаемость — основные показатели, характеризующие изоляционную способность и проводимость материалов.

Эмиссионной способностью и работой выхода определяются пригодность материалов выделять при нагреве, бомбардировке или облучении свободные электроны с той или иной интенсивностью.

Механические свойства материалов (предел прочности и текучести, относительное удлинение при растяжении) должны обеспечивать формоустойчивость изготовленных деталей в течение всего срока службы приборов.

К химическим свойствам материалов может быть отнесена их химическая активность, прежде всего по отношению к таким газам, как кислород и водород.

Вакуумные свойства — газопроницаемость и газовыделение определяют способность материалов быть вакуумно-плотными и не выделять большого количества посторонних веществ в условиях высокого и сверхвысокого вакуума и зависят от структуры и качества очистки материалов, а также сохранения их чистоты при монтаже.

#### **Контрольные вопросы**

1. Какие заготовительные операции применяются при производстве электровакуумных приборов?
2. Из каких основных деталей состоят электровакуумные приборы и каково их назначение?
3. Какие требования предъявляются к материалам, используемым для изготовления деталей электровакуумных приборов?

## **ГЛАВА ВТОРАЯ. ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ. ДОПУСКИ, ПОСАДКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ**

### **§ 4. Понятие о взаимозаменяемости**

Под взаимозаменяемостью понимают принцип конструирования и производства изделий, обеспечивающий их бесподгоночную сборку из независимо изготовленных сопрягаемых деталей и сборочных единиц при соблюдении предъявляемых к ним технических требований. Взаимозаменяемость обеспечивается изготовлением деталей и сборкой сборочных единиц с требуемой (расчетной) точностью их геометрических, механических, физических и других параметров, которые определяются исходя из назначения, а также оптимального качества изделий.

Действительные значения геометрических, механических, физических и других параметров деталей и сборочных единиц могут отличаться от расчетных по многим причинам: неточности технологического оборудования; погрешностей и износа инструмента и приспособлений; силовой и температурной деформации системы оборудования — приспособление — инструмент — деталь; непостоянства электрических и магнитных свойств материала; неоднородности физико-механических свойств материала заготовок и остаточных напряжений в них; ошибок рабочего и др.

Поэтому следует различать *нормированную точность*, т. е. совокупность допустимых отклонений от расчетных значений геометрических и других параметров, и *действительную точность*, т. е. совокупность действительных отклонений, определенных в результате измерения изготовленных деталей, сборочных единиц и изделий. Степень соответствия действительной точности нормированной зависит от качества материалов и заготовок, технологичности конструкции изделий, точности их изготовления, сборки и других факторов.

*Точностью изготовления* называется степень приближения действительных значений параметров деталей, сборочных единиц и изделий к требуемым (расчетным) значениям, указанным в чертежах и технических условиях. Обеспечить заданную точность — это значит изготовить детали и собрать сборочные единицы так, чтобы погрешности находились в установленных пределах. Разность между действительным и расчетным значением параметра называется погрешностью.

Взаимозаменяемость лежит в основе унификации и стандартизации изделий, сборочных единиц, типовых деталей, размерных и других параметров, а также материалов, устраняет их многообразие и устанавливает минимально возможное количество типоразмеров, повышает экономичность производства, создает возможность его специализации и кооперирования. Взаимозаменяемость может быть полной и неполной.

*При полной взаимозаменяемости* сопрягаемые детали и сборочные единицы изготавливаются с точностью, позволяющей из них производить сборку изделий без дополнительной обработки, подбора или регулирования, обеспечивая требуемые точность и эксплуатационные показатели в заданных пределах.

*При неполной (ограниченной) взаимозаменяемости* допускается групповой подбор деталей (селективная сборка), применение компенсаторов, регулирование положения некоторых элементов конструкции и другие дополнительные технологические мероприятия.

Взаимозаменяемость, при которой обеспечиваются в заданных пределах экономически оптимальные эксплуатационные показатели всех однотипных изделий, называется *функциональной взаимозаменяемостью*. Функциональная взаимозаменяемость распространяется на конструирование



приборов, их сборочных единиц и деталей, изготовление заготовок, обработку деталей и их сборку, контроль и измерение деталей, сборочных единиц, входных и выходных параметров изделий в процессе производства и эксплуатации (обеспечение надежности, долговечности, точности).

Функциональная взаимозаменяемость должна обеспечиваться на всех стадиях разработки и производства изделий. Для этого размеры, точностные требования к шероховатости поверхностей, а также эксплуатационные показатели и другие параметры изделия фиксируются на чертежах и оговариваются техническими условиями. Рабочий чертеж является исходным директивным документом, по которому проектируются и контролируются технологические процессы, а также точность готовой продукции. В технических условиях указываются технологические и эксплуатационные параметры каждого выпускаемого изделия.

## § 5. Система допусков

При конструировании детали определяются характеризующие ее величину и форму линейные и угловые размеры, которые выбираются исходя из ее прочности, жесткости, функционального назначения или технологичности конструкции.

Размеры, непосредственно или косвенно влияющие на назначение сборочных единиц и деталей и эксплуатационные показатели изделия, называются **функциональными**. Функциональные размеры могут быть как у сопрягаемых, так и у несопрягаемых деталей. Поставленный на чертеже размер, относительно которого определяются предельные размеры и который служит началом отсчета отклонений, называется **номинальным**.

Требуемые размеры не могут быть в производстве воспроизведены абсолютно точно. Кроме того, при измерениях также вносятся погрешности.

Размер, определенный в результате измерения с допустимой погрешностью, называется **действительным**. Для ограничения значений действительного размера устанавливают наибольший и наименьший предельные размеры, т. е. два предельно допустимых размера, между которыми должен находиться или которым может быть равен действительный размер. Разность между наибольшим и наименьшим предельно допустимыми размерами называют **допуском** ( $\delta$ ). Для упрощения на чертежах и в таблицах стандартов на допуски и посадки вместо предельных размеров проставляют предельные отклонения от номинального размера (рис. 3).

Алгебраические разности между номинальным размером наибольшим и наименьшим предельными размерами называют соответственно **верхним** ( $es$  — для вала и  $ES$  — для отверстия) и **нижним** ( $ei$  — для вала и  $EI$  — для отверстия) **предельными отклонениями**.

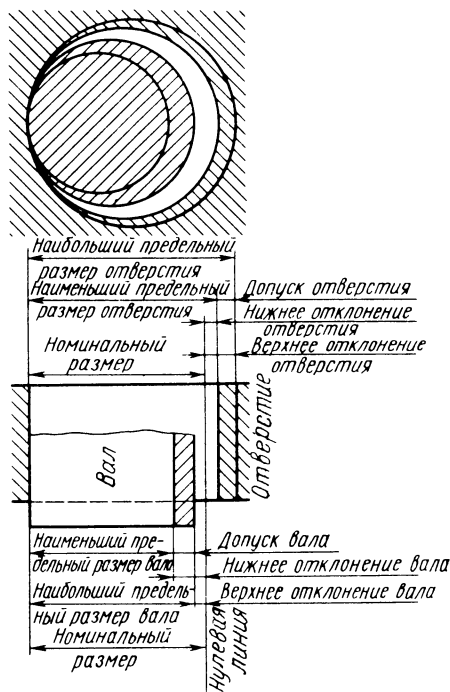


Рис. 3. Схема расположения предельных отклонений от номинальных размеров

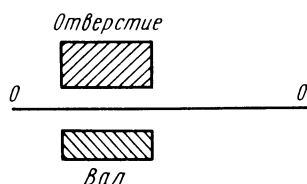


Рис. 4. Условное обозначение поля допуска

Алгебраическую разность между действительным и номинальным размерами называют действительным отклонением.

Верхние и нижние предельные отклонения назначаются в зависимости от характера сопряжений и точности изготовления деталей, а также требований к точности их установки.

Допуски и размеры деталей можно показать схематически, в виде полей допусков, без изображения самих деталей. Пространство, ограниченное верхним и нижним предельными отклонениями, называемое *полем допуска* и определяемое значением допуска и его положением относительно номинального размера, условно показывают в виде прямоугольника, верхняя и нижняя стороны которого соответствуют верхнему и нижнему предельным отклонениям (рис. 4). Положительные отклонения откладывают вверх от нулевой линии, а отрицательные — вниз.

Таким образом, совокупность размеров, допусков и посадок образует систему допусков, которая характеризуется тремя основными признаками: разбивкой размеров на интервалы и классы точности, а также установлением единицы допуска  $i$  (мкм), которая вычисляется в зависимости от интервала размеров. Согласно стандарту СТ СЭВ 145—75, линейные размеры, применяемые в машиностроении, разбиты на интервалы, приведенные в табл. 1.

**Т а б л и ц а 1. Интервалы номинальных размеров, мм**

| Основные |     | Промежуточные |     | Основные |     | Промежуточные |     |
|----------|-----|---------------|-----|----------|-----|---------------|-----|
| свыше    | до  | свыше         | до  | свыше    | до  | свыше         | до  |
| —        | 3   | —             | —   | 120      | 180 | 120           | 140 |
| 3        | 6   | —             | —   |          |     | 140           | 160 |
| 6        | 10  | —             | —   |          |     | 160           | 180 |
| 10       | 18  | 10            | 14  | 180      | 250 | 180           | 200 |
|          |     | 14            | 18  |          |     | 200           | 225 |
|          |     |               |     |          |     | 225           | 250 |
| 18       | 30  | 18            | 24  |          |     |               |     |
|          |     | 24            | 30  | 250      | 315 | 250           | 280 |
|          |     |               |     |          |     | 280           | 315 |
| 30       | 50  | 30            | 40  |          |     |               |     |
|          |     | 40            | 50  | 315      | 400 | 315           | 355 |
|          |     |               |     |          |     | 355           | 400 |
| 50       | 80  | 50            | 65  |          |     |               |     |
|          |     | 65            | 80  | 400      | 500 | 400           | 450 |
|          |     |               |     |          |     | 450           | 500 |
| 80       | 120 | 80            | 100 |          |     |               |     |
|          |     | 100           | 120 |          |     |               |     |

Классы точности, определяемые значением допуска (т. е. чем больше допуск, тем грубее класс точности, и наоборот), этим же стандартом заменены на квалитеты. Установлено 19 квалитетов: 01, 0, 1, 2, ..., 17. Обозначают допуски на квалитеты следующим образом: *IT01, IT0, IT1, IT2, ..., IT17*.

Формулы, по которым определяют допуски для квалитетов 01, 0 и 1, приведены ниже, где *D* — среднегеометрическое значение крайних размеров каждого интервала, мм:

| Обозначение допуска | <i>IT06</i>  | <i>IT0</i>   | <i>IT1</i>   |
|---------------------|--------------|--------------|--------------|
| Значение допуска    | $0,3+0,008D$ | $0,5+0,012D$ | $0,8+0,020D$ |

Допуски квалитетов 2, 3 и 4 приближенно являются членами геометрической прогрессии, первые и последние члены которой — допуски квалитетов 1 и 5.

Для определения допусков квалитетов от 5 до 17 необходимо вычислить единицу допуска:

$$i = 0,45\sqrt[3]{D + 0,001 D}.$$

Формулы, по которым определяют допуски квалитетов от 5 до 17, приведены ниже:

| Обозначение допуска | IT5  | IT6   | IT7   | IT8   | IT9   | IT10  | IT11   |
|---------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Значение допуска    | $7i$ | $10i$ | $16i$ | $25i$ | $40i$ | $64i$ | $100i$ |

Продолжение табл.

| Обозначение допуска | IT12   | IT13   | IT14   | IT15   | IT16    | IT17    |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| Значение допуска    | $160i$ | $250i$ | $400i$ | $640i$ | $1000i$ | $1600i$ |

На чертежах допуски обозначают следующим образом. Вначале проставляется номинальный размер, за которым следует латинская буква (или две буквы), обозначающая поле допуска (рис. 5), а затем — квалитет. Прописными латинскими буквами обозначают поле допуска отверстия, а строчными — вала. Например:  $40\text{ g6}$ ;  $40\text{ H7}$ ;  $40\text{ H11}$ , что соответствует  $40_{-0,009}^{+0,025}$ ;  $40_{-0,2}^{+0,16}$ .

Допустимые номинальные отклонения приведены в таблицах стандартов для деталей, размеры которых определены при нормальной температуре ( $20^\circ\text{C}$  по СТ СЭВ 149—75).

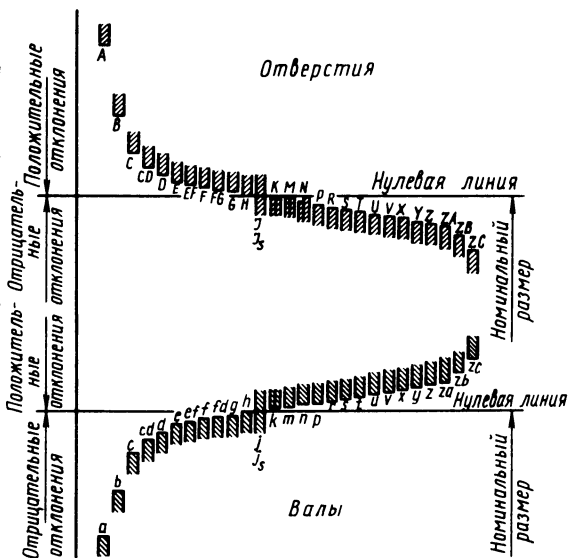


Рис. 5. Относительные положения полей допусков для данного интервала диаметров

## § 6. Отклонения формы поверхностей и допуски на них

Реальная (действительная) форма поверхностей деталей в большой или меньшей степени отличается от заданной. Для обеспечения взаимозаменяемости необходимо установить наименьший и наибольший предельные контуры, за которые не должен выходить действительный контур годных деталей даже при наличии погрешностей формы, которые определяются полями допусков.

В основу нормирования отклонений формы и расположения поверхностей положен принцип прилегающих поверхностей и профилей. В связи с этим в любых соединениях существует два вида поверхностей — охватывающие и охватываемые. Допуски расположения охватывающих и охватываемых поверхностей могут быть двух видов — зависимыми и независимыми. Зависимые допуски расположения устанавливаются для деталей, которые сопрягаются одновременно по двум или нескольким поверхностям, а независимые — из их функционального назначения, и действительные отклонения поверхностей на них не влияют.

Отклонениями расположения поверхностей являются непрямолинейность, неплоскостность, непараллельность и перекос осей, торцовое и радиальное биения, а плоскостей — несоосность (эксцентриситет), несимметричность, перпендикулярность. Основные виды отклонений расположения поверхностей и плоскостей показаны на рис. 6, а — в и 7, а, б.

Непараллельность  $\Delta x$  и перекос  $\Delta y$  осей (см. рис. 6, а) определяются как непараллельность проекций осей соответст-

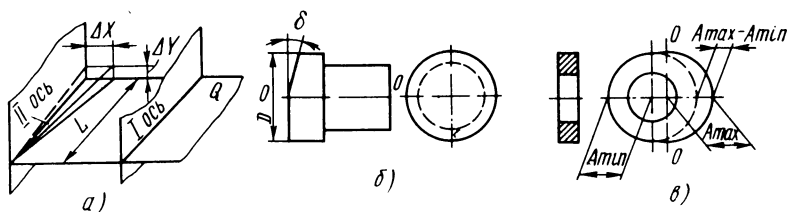


Рис. 6. Основные виды отклонений расположения поверхностей:  
а — непараллельность и перекос осей, б, в — торцовое и радиальное биения

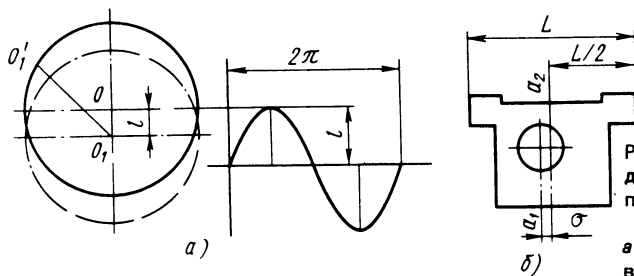


Рис. 7. Основные виды отклонений расположения плоскостей:  
а — эксцентриситет вала и его изменение, б — несимметричность

венно на их общую теоретическую плоскость  $O$  и на плоскость, ей перпендикулярную.

Торцовое биение  $\delta$  (см. рис. 6, б) определяется как разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек торцовой действительной поверхности, расположенных на окружности заданного диаметра  $D$ , до плоскости, перпендикулярной оси вращения. Торцовое биение возникает вследствие неперпендикулярности торцовой поверхности к базовой оси  $O-O$  и отклонений формы этой поверхности.

Радиальное биение (см. рис. 6, в) определяется как разность наибольшего  $A_{max}$  и наименьшего  $A_{min}$  расстояний от точек действительной поверхности до базовой оси вращения в сечении, перпендикулярном этой оси. Радиальное биение возникает вследствие смещения геометрического центра рассматриваемого сечения относительно оси вращения и некруглости.

Отклонением от соосности или эксцентриситетом  $I$  (см. рис. 7, а) называют смещение геометрического центра сечения вала относительно оси вращения. Отклонения от соосности могут выражаться в параллельном смещении осей, в угловом смещении либо при сочетании этих двух явлений.

Несимметричность  $\delta$  (см. рис. 7, б) определяется смещением осей  $a_1 - a_2$  (плоскостей симметрии) от нормального расположения.

Допустимые отклонения расположения поверхностей и плоскостей могут оговариваться в технических условиях и на свободном поле чертежа или указываться на изображении детали с использованием условных знаков и пояснительных подписей.

## § 7. Понятие о посадках

Характер соединения двух деталей, зависящий от значения зазора или натяга, полученного при сборке, называется *посадкой*. Посадкой характеризуется большая или меньшая свобода относительного перемещения или степень сопротивления взаимному смещению деталей.

Номинальный размер посадки — это размер, общий для отверстия и вала, составляющих соединение. Допуск посадки — сумма допусков отверстия и вала, составляющих соединение. Вид посадки определяется значением и взаимным расположением полей допусков отверстия и вала.

Посадки бывают трех видов: подвижные и неподвижные, соответственно обеспечивающие зазор или натяг в соединении, а также переходные, которые названы так потому, что до сборки нельзя сказать, что будет в соединении — зазор или натяг, так как заданные отклонения на вал и отверстие перекрывают друг друга. При посадке с зазором поле допуска отверстия расположено над полем допуска вала. К посадкам с зазором относятся также посадки, в которых нижняя граница поля допуска отверстия совпадает с верхней границей поля до-

пуска вала. При посадке с натягом поле допуска отверстия расположено под полем допуска вала. При переходной посадке поля допусков отверстия и вала перекрываются частично или полностью.

Посадки гладких, резьбовых, шлицевых и других соединений строятся по системе отверстия или по системе вала.

**Система отверстия** — это совокупность посадок, в которых при одном и том же качестве и номинальном размере предельные отклонения отверстий одинаковы, а различные посадки достигаются изменением предельных отклонений валов.

**Система вала** — это совокупность посадок, в которых при одном и том же качестве и номинальном размере предельные отклонения валов одинаковы, а различные посадки достигаются изменением предельных отклонений отверстий.

Выбор между системой отверстия и системой вала для той или иной посадки определяется конструктивными, технологическими и технико-экономическими соображениями.

Назначают посадки согласно стандарту СТ СЭВ 144—75. На чертежах посадки обозначают следующим образом. Вначале проставляется номинальный размер, общий для обоих соединяемых элементов (отверстия и вала), за которым через дефис следуют обозначения полей допусков вначале отверстия, а затем вала. Например,  $40/H7-d6$ . Обозначение может быть также в виде дроби, в которой числитель — поле допуска отверстия, а знаменатель — поле допуска вала. Например  $\frac{45H7}{d6}$  или  $d6$

## § 8. Измерительные средства и методы измерений

В производстве электровакуумных приборов контрольные операции занимают до 20% затрат времени.

В зависимости от назначения деталей и сборочных единиц в заготовительном электровакуумном производстве применяют различные средства измерения: эталоны, меры, измерительные инструменты и приборы.

Тела, вещества или устройства, предназначенные для хранения и воспроизведения значения физической величины с наивысшей достижимой точностью, называют эталонами.

Тела, вещества или устройства, предназначенные для воспроизведения физической величины заданного размера, называют **м е р а м и**.

Средства, предназначенные для определения действительного значения измеряемой величины с допустимой погрешностью, называют **и з м е р и т е л ь н ы м и** **и н с т р у м е н т а м и** **и** **п р и б о р а м и**.

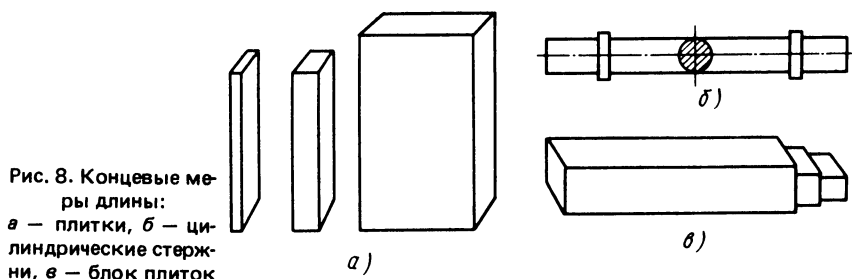
Методы измерений характеризуются применяемыми средствами и приемами их использования. В зависимости от способа определения действительного значения измеряемой величины различают прямые и косвенные измерения. В первом случае количественная оценка измеряемой

величины производится непосредственно по показанию измерительного инструмента или прибора либо отклонению от установочной меры, а во втором — косвенно, по результатам прямых измерений величин, связанных с измеряемой известными зависимостями (например, определение конусности по результатам измерения диаметров двух сечений и по расстоянию между ними).

Кроме того, различают дифференцированный (поэлементный) и комплексный методы измерений. Дифференцированный метод характеризуется независимым измерением каждого параметра в отдельности, а комплексный — измерением такого параметра, действительное значение которого отражает погрешности ряда других параметров. Наиболее часто применяют комплексный метод, так как он позволяет одновременно контролировать несколько параметров сравнением их действительных значений с предельными.

Рассмотрим основные измерительные средства, инструмент и приборы.

Концевые меры длины — стальные прямоугольные параллелепипеды плитки (рис. 8, а) или цилиндрические стержни (рис. 8, б) с двумя параллельными измерительными плоскостями. Концевые меры, предназначенные для проверки и градуировки измерительных средств, называются *о б р а з ц о в ы м и*, а служащие для измерения размеров изделий, разметочных и других работ, — *р а б о ч и м и*. Вследствие высокой чистоты обработки поверхностей концевые меры длины прочно сцепляются между собой при надвижении друг на друга, что позволяет составлять из них блоки (рис. 8, в), размеры которых равны сумме размеров, входящих в них плиток или стержней.



Номинальные размеры концевых мер установлены в пределах от 0,1 до 2000 мм с интервалами 0,001; 0,01; 0,5; 10; 25; 50; 100 и 1000 мм. Концевые меры комплектуются в наборы от 7 до 116 шт. с таким расчетом, чтобы можно было составить блоки требуемых размеров из возможно меньшего количества мер (не более трех-четырех). Существует четырнадцать стандартных наборов. Кроме того, имеется набор № 15, состоящий из двадцати четырех концевых мер, изготовленных из твердого



сплава, стойкость которых более чем в 100 раз выше стойкости стальных мер.

**К а л и б р ы** — бесшкальный измерительный инструмент, применяемый для контроля размеров, формы и взаимного расположения деталей.

Наибольшее распространение получили предельные калибры, ограничивающие наибольший и наименьший предельные размеры деталей. Калибры для контроля охватываемых размеров (валов) называют скобами, а охватывающих (отверстий) — пробками. По числу одновременно проверяемых параметров калибры могут быть односторонними, двусторонними и сложными. По назначению калибры делятся на рабочие, приемные и контрольные.

Рабочие калибры (проходной Р—ПР, непроходной Р—НЕ) предназначены для проверки изделий в процессе их изготовления. Ими пользуются рабочие, а иногда и контролеры ОТК, причем в этом случае используют частично изношенные рабочие калибры Р—ПР и новые или малоизношенные калибры Р—НЕ.

Приемные калибры (проходной П—ПР и непроходной П—НЕ) предназначены для проверки изделий представителями заказчика или контролерами ОТК заводов. Эти калибры специально не изготавливают, а используют изношенные проходные рабочие калибры.

Контрольные калибры предназначены для проверки или регулировки (установки) размеров рабочих и приемных калибров-скоб и имеют форму пробок (шайб).

Калибры служат для разбраковки массовой продукции и приемного контроля общих выборок, так как с их помощью контроль достаточно прост и производителен. Калибрами определяют не значение измеряемой величины, а годность детали, т. е. соответствие ее размеров предельно заданным.

**Ш т а н г е н и н с т р у м е н т ы** — штангенциркули, штангенглубиномеры и штангенрейсмусы — предназначены соответственно для разметки и измерения наружных и внутренних размеров, глубины отверстий, пазов, расстояний между двумя плоскостями и высоты изделий. Штангенинструменты имеют отсчетное приспособление в виде штанги с нанесенной на нее основной шкалой и нониуса, позволяющего производить отсчет дробных долей интервала делений основной шкалы с значением отсчета 0,1 и 0,05 мм.

**М и к р о м е т р и ч е с к и е и н с т р у м е н т ы**, основанные на использовании микровинтовой пары, позволяющей преобразовывать вращательное движение микровинта в поступательное контактных измерительных поверхностей (рис. 9), предназначены как для непосредственных измерений наружных размеров деталей и сборочных единиц, так и для наладки других измерительных устройств. Выпускаются следующие микрометрические инструменты с ценой деления 0,01:

микрометры гладкие для измерения наружных размеров деталей,

имеющие предел измерений от 0 до 600 мм с интервалами 25 и 100 мм соответственно до и после 300 мм; перемещение микровинта 25 мм;

нутромеры микрометрические для измерения внутренних размеров от 50 до 10 000 мм;

глубиномеры микрометрические, имеющие пределы измерений от 0 до 100 мм;

специальные микрометры — часовые, листовые, трубные и др.

Контактные поверхности некоторых микрометрических инструментов выполнены из твердых сплавов, что значительно повышает их износостойкость.

Измерительные приборы по назначению подразделяют на универсальные и специальные, по числу параметров, проверяемых при одной установке изделия, — на одномерные и многомерные, а по принципу мультипликатора (множительного или преобразующего устройства) — на механические, оптические, электрические, пневматические и сочетающие указанные принципы (например, оптико-механические, электро-механические и др.). Кроме того, по способу взаимодействия измерительного устройства прибора и измеряемого объекта различают контактные и бесконтактные приборы.

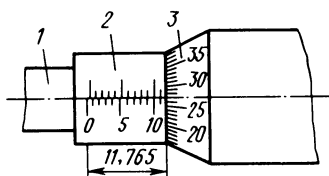


Рис. 9. Отсчетное устройство микрометрических инструментов:

1 — стержень микрометрического винта, 2 — измерительная шкала, 3 — нониус

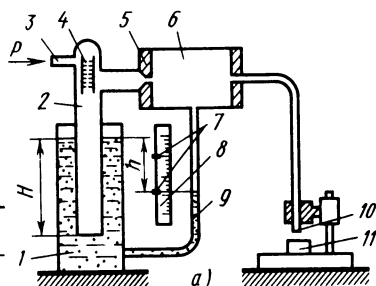
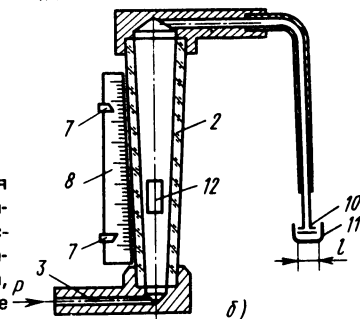


Рис. 10. Пневматические приборы:

а — с водяными стабилизаторами давления воздуха и манометром, б — с поплавковым указателем; 1 — баллон, 2, 3 — трубки, 4 — дроссельное устройство, 5 — входное сопло, 6 — камера, 7 — ограничители, 8 — шкала отсчета, 9 — водяной манометр, 10 — измерительное сопло, 11 — измеряемая деталь, 12 — поплавок



В зависимости от того, происходит или не происходит в процессе измерений непосредственное соприкосновение измерительных поверхно-

стей с поверхностью контролируемого объекта, приборы называют контактными и бесконтактными. Примером контактных приборов может служить прибор КВ-7, а бесконтактных — проекторы, некоторые интерференционные и пневматические приборы. Бесконтактные приборы характеризуются отсутствием или малым влиянием измерительного усилия на результаты измерения.

По принципу действия измерительные приборы бывают пневматическими, электрическими и оптическими.

*Пневматические приборы* служат для контроля размеров деталей, для которых недопустим контакт с измерительным инструментом (например, анодов приемно-усилительных ламп). Действие пневматических приборов основано на зависимости расхода или давления сжатого воздуха от зазора между измерительным соплом и поверхностью контролируемого изделия. В зависимости от рабочего давления воздуха эти приборы бывают низкого (до  $10 \text{ кН/м}^2$ ) и высокого (более  $50 \text{ кН/м}^2$ ) давления.

Пневматический прибор с водяными стабилизатором давления воздуха и манометром (рис. 10, а) состоит из цилиндрического наполненного водой и сообщающегося с атмосферой баллона 1, в который погружена трубка 2. В верхнюю часть трубки 2 через трубку 3 и дроссельное устройство 4 компрессором подается воздух под давлением  $P$ . В трубке 2 автоматически поддерживается постоянное давление, определяемое высотой  $H$  столба воды в баллоне 1. С трубкой 2 соединена камера 6, имеющая входное сопло 5 и сообщающееся с атмосферой измерительное сопло 10.

Переменное давление в камере 6 определяется разностью уровней столбов воды в баллоне 1 и трубке 9, которая является водяным манометром. Воздух под постоянным давлением проходит из трубки 2 через входное сопло 5 в камеру 6 и выходит через измерительное сопло 10.

Изменение зазора между измерительным соплом 10 и поверхностью изделия 11 вызывает изменение давления в камере 6, а следовательно, появляется разность уровней  $h$ . Высоту водяного столба  $H$  выбирают обычно равной 500 мм (реже 1000 или 1200 мм) для увеличения цены деления шкалы 8. Шкала отсчета 8 считается равномерной лишь на некотором участке (250—400 мм). Действительная цена каждого деления шкалы определяется градуировкой прибора.

Пневматические приборы такого типа можно применять для одновременного контроля нескольких размеров, причем число водяных манометров должно быть равно числу контролируемых размеров.

Пневматический измерительный прибор с поплавковым указателем (рис. 10, б) состоит из стеклянной трубки 2 в виде конуса, укрепленной вертикально широким концом вверх, по которой снизу вверх под давлением 300—500  $\text{кН/м}^2$  проходит из трубки 3 воздух, поднимающий поплавок 12. Верхняя плоскость поплавка является указателем для отсчета по шкале 8. Высота поднятия поплавок зависит от скорости

прохождения воздуха, которая тем больше, чем больше зазор между измерительным соплом 10 и поверхностью измеряемой детали 11.

Перед измерениями прибор настраивают по эталонным деталям или специальным скобам, т.е. устанавливают расстояние между ними и измерительным соплом. На шкале отсчета 8 имеются два ограничителя 7, определяющие поле допуска годных деталей. При выходе поправка за пределы ограничителей деталь бракуют. Точность измерений может достигать 1 мкм.

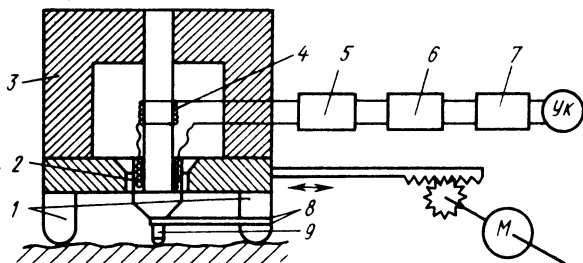
*Электрические приборы* применяют для измерения угловых и линейных размеров, усилий и давлений. Угловые размеры наиболее часто определяют приборами с резисторными преобразователями, верхний предел измерения которых может достигать  $360^\circ$ . Однако лучше эти преобразователи выполнять на  $90$ ,  $60$  или  $10-14^\circ$ , что обеспечивает погрешность порядка  $10-20'$ .

Для более точных измерений используют приборы на основе электроконтактных преобразователей или кодовых дисков с контактным, фотоэлектрическим либо индуктивным определением сигнала. При этом погрешность составляет  $1-30''$ . Погрешность порядка  $1''$  имеют приборы с индуктивным или фотоэлектрическим определением сигнала.

Линейные размеры определяют специализированными приборами с резисторными (от 500 мкм до 100 мм), емкостными (от 5 мкм до 100 мм), индуктивными (от 0,1 мкм до 10 мм), электроконтактными (от 2 мкм до 150 мм), тензорезисторными (от 0,1 до 500 мкм), пьезоэлектрическими (от 0,1 до 100 мкм) и электрическими измерительными преобразователями. Наивысшую точность измерений дают приборы, основанные на интерференции света, а также сочетающие микроскопы с фотоэлектрическими преобразователями.

В качестве примера рассмотрим измерение шероховатостей на поверхности деталей после токарной обработки, шлифовки и доводки прибором КВ-7 (рис. 11).

Рис. 11. Прибор КВ-7:  
1 — опоры, 2 — катушка индуктивного преобразователя, 3 — постоянный магнит, 4 — корректирующая катушка, 5, 7 — усилители переменного тока, 6 — интегрирующая цепь, 8 — пружины, 9 — измерительный шток



Катушка 2 индуктивного преобразователя расположена в зазоре постоянного магнита 3 и может перемещаться вертикально вдоль магнитных силовых линий. Прибор опирается на исследуемую деталь

сивными, скругленными на торцах опорами 1 и с помощью ременной передачи от электродвигателя *M* перемещается по поверхности детали со скоростью 10–20 мм/с. При этом измерительный шток 9, прикрепленный двумя параллельными плоскими пружинами 8 к одной из опор 1, следуя за рельефами поверхности детали, приводит в колебательное движение (в вертикальном направлении) катушку 2, в которой при пересечении ею магнитных силовых линий постоянного магнита 3 индуцируется эдс, пропорциональная скорости перемещения штока.

Так как при малой шероховатости поверхности эдс очень мала, усилитель 5 переменного тока обладает большим (несколько десятков тысяч) коэффициентом усиления. Для расширения пределов измерений прибор имеет пятипозиционный переключатель.

В приборе предусмотрена корректирующая катушка 4 для исключения случайных изменений потока постоянного магнита, вызываемых тепловыми флуктуациями, внешними магнитными полями или перемещениями ферромагнитных тел на некотором расстоянии от прибора. Эта катушка имеет такое же потокоцепление, как катушка 2. При встречном включении катушек 2 и 4 наводимые в них изменением магнитного потока эдс (какой бы причиной это не вызывалось) взаимно компенсируются и разностная эдс зависит только от скорости перемещения катушки 2.

Для получения кривой рельефа сигнал с катушек 2 и 4 поступает на интегрирующую цепь 6, усиливается усилителем 7 и передается на выпрямительный указатель, шкала которого проградуирована в микрометрах. Погрешность прибора на самом чувствительном пределе измерений составляет  $\pm 10\%$ .

*Оптические приборы* предназначены для измерений бесконтактным методом линейных размеров деталей (часовые проакторы), шероховатости поверхностей (инструментальные микроскопы), а также контроля напряжения в стекле (полярископы).

В современном автоматизированном производстве для измерения линейных параметров изделий применяют сложные информационно-измерительные системы (рис. 12), которые обеспечивают определение погрешности результата измерений и контроль точности выдачи на ЭВМ управляющих воздействий с требуемой степенью достоверности.

В заготовительном производстве деталей электровакуумных приборов информационно-измерительные системы в настоящее время наибольшее распространение получили для контроля параметров металлообработки. Применение этих систем обеспечивает высокую точность обработки и позволяет полностью автоматизировать измерительные операции.

Рассмотрим в качестве примера структурную схему информационно-измерительной системы металлорежущего станка (рис. 13). Первоначально необходимо иметь информацию о наличии обрабатываемой детали в патроне станка и усилии прижима ее губками патрона. Датчик нали-

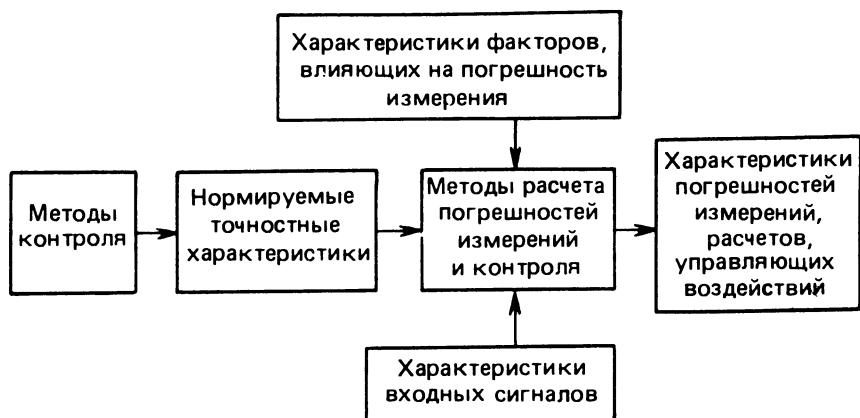


Рис. 12. Структурная схема информационно-измерительной системы



Рис. 13. Параметры, контролируемые информационно-измерительной системой металлорежущего станка

чия детали в патроне станка может быть конструктивно объединен с датчиком контроля усилий.

Важное значение имеет правильность базирования детали в патроне. При установке обрабатываемой детали с перекосом возможны появление брака или поломка режущего инструмента. Датчик контроля правильности базирования детали в патроне станка исключает появление этих последствий.

Мера износа режущей кромки инструмента может быть определена по результатам контроля геометрических размеров обрабатываемой детали. В соответствии с результатом контроля выполняется настройка станка или замена режущего инструмента.

Кроме того, в системе должен быть предусмотрен датчик, определяющий радиальное биение шпинделя станка. При биении выше какого-либо критического значения станок должен быть автоматически отключен с выдачей информации о характере неисправности.

В систему диагностики контроля работоспособности станка целесообразно включать также датчики, выдающие информацию об уровне вибрационных перегрузок в области шпинделя и коробки передач. По сигналам этих датчиков можно диагностировать степень износа подшипников и зубчатых колес станка и своевременно принимать решение о необходимости его ремонта. Кроме того, в систему должны входить датчики давления масла в системе смазки, его температуры на выходе из подшипников шпинделя, а также наличия охлаждающей жидкости, ее расхода и давления в гидросистеме.

При работе с измерительными инструментами и приборами необходимо соблюдать определенные правила, которые записаны в технических условиях.

Калибры, скобы, микрометрические инструменты необходимо перед работой тщательно протирать мягкой тканью, а концевые меры длины промывать бензином (ацетон и спирт применять не рекомендуется) и тоже протирать мягкой тканью.

При измерениях нельзя прикасаться руками и пальцами к измерительной поверхности мер. Окончив измерения, меры смазывают техническим вазелином, укладывают в специальную коробку и хранят в сухом месте. Микрометрические инструменты хранят в специальных пеналах, а штангенинструменты — в чехлах.

Пневматические измерительные приборы также тщательно протирают мягкой тканью и хранят в специальных шкафах.

Работая с электрическими измерительными приборами, следует соблюдать правила техники безопасности. При включении прибора в сеть необходимо проверить, на какое напряжение он рассчитан. Кроме того, необходимо обращать внимание на потребляемую прибором мощность, так как даже незначительное падение напряжения в сети резко изменяет показания приборов. Через определенный срок приборы должны

проверяться и настраиваться. Хранить электроизмерительные приборы следует в сухих и чистых помещениях.

Особенно аккуратно следует обращаться с оптическими измерительными приборами. В нерабочем состоянии их следует накрывать чехлами. Для сохранения внешнего вида надо периодически протирать приборы мягкой тканью, слегка пропитанной бескислотным вазелином, предварительно удалив пыль, а затем сухой мягкой чистой тканью. Необходимо содержать в чистоте оптические части — линзы, призмы и особенно объективы. Окулярные должны быть закрыты колпачками. Нельзя касаться пальцами поверхностей линз. Если на последнюю линзу объектива, глубоко сидящую в оправе, попала пыль, ее поверхность надо осторожно протереть чистой ватой, навернутой на деревянную палочку и слегка смоченной чистым бензином или эфиром. Разбирать объективы нельзя.

Хранят оптические приборы в чехлах или специальных коробках, при этом объективы и окуляры должны быть сняты и уложены в футляры.

#### **Контрольные вопросы**

1. Что такое взаимозаменяемость?
2. Что такое система допусков и как назначаются допуски на размеры?
3. Что такое посадка? В каких случаях применяют систему вала и в каких — систему отверстия?
4. Какие измерительные инструменты и приборы используют при заготовительных операциях?
5. Каковы возможности информационно-измерительных систем?
6. Каковы правила обращения с контрольно-измерительными приборами?

## **ГЛАВА ТРЕТЬЯ. ЭЛЕКТРОННО-ВАКУУМНАЯ ГИГИЕНА И ПРОМЫШЛЕННАЯ САНИТАРИЯ В ЗАГОТОВИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

### **§ 9. Параметры технологической среды**

Технологическая среда должна обладать определенными заданными частотой, температурой и влажностью.

Важнейший параметр чистоты воздуха — запыленность. В так называемых чистых промышленных помещениях запыленность воздуха в тысячи раз меньше, чем в бытовых. В СССР действует стандарт на условия чистоты атмосферы в специальных помещениях (ОСТ 11.ПО.050.001—73), согласно которому производственные помещения разделены по чистоте на четыре класса (табл. 2).



**Т а б л и ц а 2. Класс чистоты производственных помещений**

| Класс чистоты | Допустимое количество пылинок размером 0,5 мкм в 1 м <sup>3</sup> воздуха |
|---------------|---|
| 1             | 3 500   |
| 2             | 35 000  |
| 3             | 350 000   |
| 4             | 3 500 000   |

В настоящее время этот стандарт не обеспечивает условий технологической гигиены при особо точных сборочных работах, но в условиях заготовительного производства он вполне приемлем.

Температура воздуха производственного помещения может рассматриваться как составляющая технологической среды. От температурной стабильности воздуха зависит качество технологических операций, поскольку изделия электронной промышленности имеют весьма малые допуски и их параметры могут меняться при колебаниях температуры. Температура воздуха должна быть в пределах от 20 до 25°С с колебаниями  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  и  $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$  соответственно для чистых помещений 1, 2-го и 3, 4-го классов. Скорость изменения температуры воздуха в этих помещениях не должна превышать 2°С в час.

Так как содержание влаги в воздухе более 30% отрицательно влияет на различные свойства материалов и изделий, условия технологической гигиены требуют, чтобы в производственных помещениях влажность воздуха была порядка  $45\%\pm 10\%$ . Герметизированные объемы, в которых технологические процессы осуществляются автоматическими устройствами, снижают влажность до 3% и менее.

Основная задача электронно-вакуумной гигиены состоит не в том, чтобы устранить источник загрязнений, а в том, чтобы не допустить загрязнения объектов обработки и сборки.

Воздушные загрязнения подразделяют на внешние и внутренние. Источниками внешних загрязнений являются системы воздухопроводов, двери, окна и различные неплотности в полах, стенах, потолках, а внутренних — разрушения краски, мебели, одежды, табачный дым, производственные процессы, грязь на обуви. Внутренние загрязнения определяются также материалами и конструкцией помещений, числом рабочих и степенью их активности. Чем больше движений приходится совершать рабочему, тем больше затрачивается энергии, тем выше уровень загрязнений и тем больше частиц пыли оказывается в воздухе помещения.

В электровакуумном производстве первостепенное значение имеют те факторы загрязнения воздуха, которые оказывают влияние на качест-

во изготавливаемых приборов: концентрация и размеры пылинок, а также их способность перемещаться в воздухе и выпадать из него.

Концентрация пыли в воздухе в разных местах различна. Так, в городе общее количество частиц размером от 0,7 до 0,22 мкм, находящихся во взвешенном состоянии в 1 м<sup>3</sup> воздуха, составляет приблизительно 52 млн., а в сельской местности — 2 млн. Наиболее опасными загрязнителями воздуха являются пыль и дым металлургических предприятий, нефтяной дым, сажа, зола. Эти загрязнения могут попадать в производственные помещения с воздухом, проходящим через систему кондиционирования.

Пылевые частицы в воздухе производственных помещений подразделяют на две категории: выпадающие из воздуха и находящиеся в воздухе во взвешенном состоянии. Частицы размером более 20 мкм, как правило, выпадают из воздуха, прежде чем осядут на изделия, если они находятся на соответствующем расстоянии от точки входа воздуха. Частицы размером менее 0,1 мкм очень быстро соединяются между собой, образуют более крупные и загрязняют чистые помещения, поскольку они долго сохраняются в воздухе во взвешенном состоянии. Основная масса частиц, взвешенных в воздухе, имеет размеры около 1 мкм.

Загрязненность воздуха внутри помещений различна и зависит от их высоты. Воздух на уровне пола кондиционируемого помещения в четыре раза грязнее воздуха на высоте четырех метров.

Наибольшую опасность для электровакуумного производства имеет не внешняя, наружная пыль, которую можно отфильтровать при кондиционировании воздуха, а внутренние загрязнители, возникающие в результате деятельности людей. Установлено, что при работе людей в помещении запыленность возрастает в 350 раз по сравнению с запыленностью того же помещения, когда в нем нет людей.

Наиболее опасны для электровакуумных приборов загрязняющие частицы размером менее 0,5 мкм, поскольку им свойственно долго оставаться в воздухе во взвешенном состоянии и они могут попасть на изготавливаемые изделия.

## **§ 10. Методы и средства обеспечения электронно-вакуумной гигиены**

Высокая степень производственной чистоты на предприятиях электронной промышленности обеспечивается разработкой и внедрением организационных и технических мероприятий, основными из которых являются:

устранение источников загрязнений на стадии конструирования прибора (конструкция изделия и его деталей должна исключать возможность скопления грязи в процессе обработки) ;

организация движения, прежде всего технологического, навстречу воздушному потоку;

перемещение деталей, сборочных единиц, полуфабрикатов, материалов и других из помещений с загрязненным воздухом в помещения с более чистым или обратно соответственно после предварительной очистки или в специальной упаковке;

сведение к минимуму оборудования с трущимися частями;

замена в чистых помещениях операторов, обслуживающих оборудование, автоматическими роботами и манипуляторами, в которых отсутствуют трущиеся поверхности и подвижные сочленения;

размещение транспортного оборудования в специальном помещении;

подача сырья, полуфабрикатов и готовой продукции в контейнерах или конвейерами из безворсовых, легко очищающихся материалов (резина, пластик);

покрытие трущихся деталей антиабразивными материалами или изготовление из них деталей;

использование в чистых помещениях минимально необходимого оборудования и инструмента;

выполнение оборудования, оснастки и инструмента с минимумом углублений и выступающих частей с острыми углами, без щелей в местах соединения отдельных деталей, которые служат местами скопления пыли;

герметизация частей оборудования, выделяющих пары масла, или снабжение их местной вытяжной вентиляцией;

обеспечение оборудования приемниками для производственных отходов, исключающими засорение помещений;

покрытие рабочих столов химически стойкими материалами с гладкой поверхностью, достаточно твердой, чтобы исключить отделение частиц при соприкосновении с металлическими предметами.

Кроме того, большое значение имеют выбор района размещения предприятия и создание специальных "чистых" помещений, в которые сырье и полуфабрикаты подаются через шлюзовые устройства, а обслуживающий персонал проходит через продуваемый лабиринт. Стены, полы и потолок таких помещений должны быть покрыты гладкими материалами с легко очищаемой поверхностью (пластиком, линолеумом, мрамором).

На современных предприятиях электронной промышленности предусматривается кондиционирование воздуха, т. е. создание определенной среды для осуществления технологических процессов. Важнейшими задачами кондиционирования является удаление из воздуха пыли, масла и паров воды, а также поддержание определенной температуры.

Промышленностью выпускаются различные по мощности (до миллиона кубометров в час) и назначению установки кондиционирования, при выборе которых учитывают потребность в воздухе, необходимую степень его чистоты, допустимые скорости движения и др. Системы кондиционирования разрабатывают обычно совместно с устройствами пылеудаления.

Иногда применяют закрытую циркуляционную систему очистки воздуха, но в большинстве случаев используют систему с подсосом очищенного наружного воздуха, в результате чего уровень загрязнений не выходит за допустимые пределы. Обычно в системах очистки воздуха для чистых помещений применяют трехступенчатый метод, при котором очищается кондиционируемый воздух электростатическими, механическими, волокнистыми или другими фильтрами.

Воздухоснабжение чистых помещений осуществляют по двум схемам: обычной и ламинарной.

При обычной схеме воздухоподающие диффузоры размещены на потолке, а решетки для выхода воздуха — у пола. Чтобы обеспечить оптимальное распределение воздуха, устанавливают диффузоры щелевого типа в центре вдоль всего потолка. Вытяжные отверстия располагают у пола вдоль стен параллельно диффузорам. Чтобы не возникали зоны застоя воздуха, должно быть достаточное количество вытяжных отверстий. Если выпускные отверстия из нескольких чистых помещений выходят в один общий обратный воздуховод, в каждом помещении предусматривают регулируемые вентиляционные заслонки поддержания в них разности давлений.

При ламинарной схеме одна из стен или потолок помещения состоит из целого ряда фильтров тонкой очистки, которые являются последним элементом системы воздухоочистки, собирают все загрязняющие частицы из воздуха и создают равномерный воздушный поток. Противоположная стена (или пол) представляет собой устройство для вытяжки загрязненного воздуха из помещения. При этом воздух только один раз проходит через помещение в вертикальном или горизонтальном направлении. Наибольшая чистота производственных помещений достигается при потоках сверху вниз.

## § 11. Промышленная санитария

Работники заготовительного производства должны соблюдать требования электронно-вакуумной гигиены: использовать специальную одежду и обувь, средства индивидуальной защиты и выполнять правила личной гигиены.

Участки металлообработки должны быть оборудованы приточно-вытяжной вентиляцией с фильтрами, а в случаях большого выделения пыли (например, на участках шлифовки) — местной вентиляцией и вытяжными шкафами.

Работы, связанные с загрязнением рук барием, торием, бериллием, необходимо выполнять в перчатках ВТУ Главрезинпрома № УТ-995—58, а с растворителями — в латексных перчатках. Работая с бериллатом бария, необходимо пользоваться респираторами "Лепесток", а с цирконием — наголовными щитками ЩН-7 с прозрачным экраном из органического стекла.

При загрязнении рук соединениями бария, тория или бериллия следует тотчас же тщательно вымыть их, а не ждать окончания смены. Необходимо следить за состоянием кожи рук, не допускать порезов, ссадин. По окончании работы необходимо снять спецодежду, вымыть руки и смазать их смягчающим кремом. Лица, работающие с барием, торием и бериллием, должны быть обеспечены возможностью принять после работы душ.

Спецодежду лиц, работающих в производстве технoхимических материалов, необходимо стирать в механизированных прачечных. Вынос спецодежды и стирка ее на дому запрещены. В рабочих помещениях нельзя принимать пищу и хранить продукты.

Работники участков, где применяются торий, барий, бериллий, а также свинец и метиловый спирт, должны предварительно (при поступлении на работу) и периодически (один раз в год) проходить медицинские осмотры.

На участках обезжиривания необходимо работать в резиновых анатомических или латексных перчатках и респираторах Ф-46-К с патронами В, а на участках травления — в защитных очках ПО-1 или № 1396 1/2 с бесцветными стеклами и в резиновых нарукавниках, фартуках, сапогах.

Работники вакуумно-термических участков должны быть обеспечены специальной одеждой из непылящего материала (например, нейлона), не имеющей лишних швов и застежек, и хлопчатобумажными перчатками из безворсовой ткани. При стеклодувных работах следует пользоваться светофильтрами В-1 и В-2.

#### **Контрольные вопросы**

1. Какие параметры технологической среды контролируют?
2. Какие виды загрязнений технологической среды вы знаете?
3. Какие помещения относятся к 1, 2, 3 и 4-му классам?
4. Какими методами и средствами обеспечивается электронно-вакуумная гигиена?
5. Как осуществляются очистка и кондиционирование воздуха?
6. Каковы требования промышленной санитарии в заготовительном производстве?

## **ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ. ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ ХОЛОДНОЙ ШТАМПОВКОЙ**

### **§ 12. Основы процессов холодной штамповки**

Штамповка, как одна из разновидностей обработки металлов давлением, нашла широкое применение в электровакуумном производстве.

Этим методом изготавливают большинство металлических деталей электровакуумных приборов. Достоинствами штамповки являются: большая производительность и экономичность; сравнительно небольшие потери материала; воспроизводимость размеров деталей; возможности механизации и автоматизации.

Штамповкой изготавливают детали из различных сталей, алюминия, меди, титана и сплавов на их основе, а также из таких широко применяемых в электровакуумном производстве тугоплавких металлов, как вольфрам, молибден, ниобий, рений, тантал. Так как тугоплавкие металлы с трудом поддаются пластическому деформированию, штамповка из них деталей выполняется по технологии, отличной от технологии штамповки из легко деформируемых металлов, и требует специальных приспособлений.

Штамповка основана на изменении размеров и формы тела, т. е. его деформации под действием внешних поверхностных (удары молота) или объемных (сила тяжести или магнитного притяжения) сил. Эти силы являются активными, поскольку прикладываются к телу в процессе обработки и их действие всегда вызывает появление реактивных сил, к которым относят, например, силы трения, играющие важную роль при обработке металлов давлением. При деформации происходит изменение расстояний между атомами, а следовательно, и сил взаимодействия, что приводит к нарушению межатомного равновесия, т. е. внешние силы встречают противодействие, названное по аналогии внутренними силами. Если тело находится в равновесии, внешние и внутренние силы уравновешены, а в ином случае возникают напряжения, которые бывают нормальными и касательными. Нормальные напряжения могут быть сжимающими (отрицательными) или растягивающими (положительными) и действуют перпендикулярно сечению. Касательные напряжения стремятся сдвинуть частицы тела относительно друг друга по плоскости сечения, в связи с чем их называют напряжениями сдвига.

Возникающие в каждой точке тела под действием внешней нагрузки внутренние силы имеют различную интенсивность, т. е. напряженное состояние в каждой точке тела различно и характеризуется совокупностью всех действующих векторов напряжений. Чтобы определить напряженное состояние тела, например элементарного параллелепипеда, необходимо знать напряжения, действующие на его гранях. Возможны девять схем напряженного состояния, отличающиеся направлением векторов напряжений, а также наличием или отсутствием их по каким-либо осям, которые можно разделить на три группы и представить графически в виде кубиков с гранями, ориентированными в направлении действия главных напряжений, обозначаемых стрелкой (рис. 14, а — у).

К первой группе относятся схемы линейного сжатия и растяжения (рис. 14, а, б), которые трудно осуществимы, однако с определенными допущениями к ним может быть отнесено, например, растяжение тела,

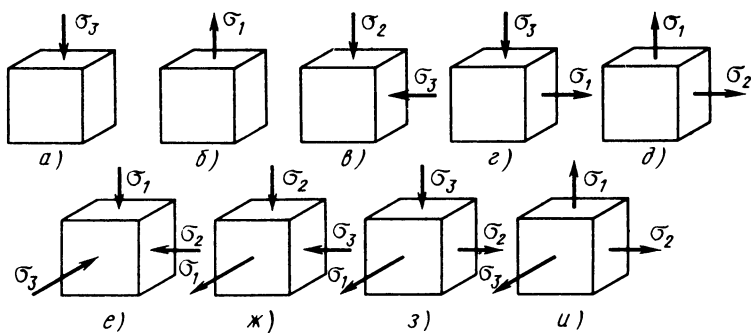


Рис. 14. Схема напряженного состояния:

*а, б* — линейного сжатия и растяжения, *в* — плоского сжатия, *г, д* — плоского растяжения, *е* — объемного сжатия, *ж–и* — объемного растяжения

длина которого значительно больше диаметра (растяжение струн, канатов в подвесных конструкциях). В этих схемах напряжения действуют по одной оси.

Ко второй группе относятся схемы плоского сжатия (рис. 14, *в*) и растяжения (рис. 14, *г, д*). К этим схемам может быть отнесено с определенным допущением сжатие или растяжение тонкой пластины по контуру. При этом напряжения действуют по двум осям.

К третьей группе относятся схемы объемного сжатия (рис. 14, *е*) и растяжения (рис. 14, *ж–и*). Объемное напряженное состояние возникает почти при всех процессах обработки металлов давлением (прокатке, ковке, волочении, штамповке, резании). При этом напряжения действуют по трем осям.

При обработке металлов давлением в основном происходит объемная деформация. Моделью объемной деформации является параллелепипед с бесконечно малыми ребрами  $dx$ ,  $dy$ ,  $dz$ , которые изменяют линейный размер, но остаются прямыми линиями; углы между ребрами также изменяются.

Таким образом, элементарный параллелепипед получает деформацию двух видов: линейную и угловую. Линейная деформация связана с изменением объема параллелепипеда и определяется относительным и абсолютным удлинением. Линейные деформации сжатия и растяжения при обработке металлов давлением не возникают. Плоские сжатия и растяжения появляются при холодной штамповке в том случае, когда штамп изготовлен такой формы, что металл заготовки течет только в одном направлении.

Возникающие при приложении внешнего давления объемные сжатия и растяжения позволяют обрабатывать металлы методами холодной штамповки, а также прокаткой и волочением.

## § 13. Штамповочные разделительные операции

Разделительными операциями при штамповке являются:

вырубка и пробивка — получение деталей отделением от исходной полосы или листа части металла по замкнутому контуру;

резка — отделение детали от исходной полосы или листа по незамкнутому контуру;

проколка — получение сквозных отверстий различной формы (при этом материал не удаляется, а отгибается в стороны);

пробивка — получение сквозных отверстий различной формы с полным отделением материала, который является отходом.

Таким образом, при получении деталей штамповкой операции выполняют поэтапно. Контур деталей можно составить, сочетая простейшие элементы. Это позволяет создавать детали разнообразной формы. Применяют четыре способа поэтапной штамповки:

однооперационную — однооперационными универсальными штампами;

многооперационную — многооперационными штампами, которые за один ход ползуна прессы производят несколько операций (например, пробивку нескольких отверстий или проколку отверстий и обрезку по радиусу);

полуавтоматическую — штампами на прессах с полуавтоматической подачей материала или с револьверной подачей заготовок;

автоматическую — штампами на прессах-автоматах, автоматических линиях и станках.

Выбор способа поэтапной штамповки зависит от характера производства и необходимого количества деталей. В индивидуальном производстве рационально использовать однооперационную или многооперационную поэтапную штамповку, в мелкосерийном — полуавтоматическую, а в крупносерийном — автоматическую.

Поэлементная штамповка деталей выполняется в определенной последовательности. При получении почти всех деталей этот процесс начинается с раскроя листа на полосы. Затем полосы разрезают на прямоугольные заготовки, пробивают в них отверстия и обрезают углы по радиусу или, наоборот, вначале обрезают углы по радиусу, а затем пробивают отверстия.

В электровакуумном производстве особенности штамповки связаны с сортаментом и свойством материалов, формой деталей, их размерами и требованиями, предъявляемыми к точности и шероховатости их поверхности.

Штамповкой изготавливают разнообразные по форме и размерам детали из вольфрама, молибдена, тантала, титана, циркония, никеля и алюминированных металлов, меди, железа и стали, кобальта, константана и других металлов и сплавов, поставляемых в отожженном или не отож-



женном состоянии в виде лент, листов, пластин, проволок и прутков широкого сортамента. Твердые материалы с высоким пределом текучести (вольфрам, молибден, тантал, ковар), некоторые сорта стали и молибденово-никелевые сплавы относятся к трудно штампуемым материалам, так как требуют значительных усилий сжатия и больших ударных нагрузок. Для снижения усилий сжатия и более полного использования пластических свойств эти металлы и сплавы перед всеми операциями холодной штамповки, включая резку, отжигают.

В электровакуумном производстве предъявляют жесткие требования к отклонению размеров деталей, получаемых штамповкой (особенно для миниатюрных радиоламп). Допустимые отклонения размеров мелких деталей часто лежат в пределах 5—10 мкм, снижаясь в отдельных случаях до 2—3 мкм. Следует учитывать, что в процессе штамповки лента-заготовка может коробиться. Поэтому желательно оставлять часть ленты, чтобы ее можно было протягивать, а не проталкивать через штамп.

Штампы при этом также изготавливают с высокой точностью. Особенно важно выдерживать допустимый зазор между матрицей и пуансоном. При точной штамповке материала толщиной 1 мм зазор между режущими элементами должен быть 0,04—0,05 мм, т.е. составлять 4—5% от толщины заготовки. Кроме того, зазор должен быть одинаков со всех сторон, так как даже незначительный эксцентриситет приводит к короблению заготовки, быстрому износу матрицы и пуансона. Для точного совмещения матрицы с пуансоном в штампах применяют направляющие пластины, перемещающиеся по неподвижным стойкам. В штампах для деталей сложной формы направляющие пластины подпружинивают.

В качестве примера на рис. 15 показан штамп для вырубки из трудно деформируемых материалов деталей для сверхминиатюрных и пальчиковых ламп, рабочие элементы которого (пуансон и матрица) изготовлены из твердого сплава. Штамп состоит из нижнего и верхнего оснований 1 и 9, направляющих колонок 2, пружин 3, пуансона-матрицы 4, подвижной подпружиненной направляющей пластины 5, пуансона 6, контурной матрицы 7, выталкивателей 8, толкателя 10. При работе пресса верхний толкатель 10 и верхнее основание 9 опускаются вниз, перемещая пуансон 6 и контурную матрицу 7 относительно пуансона-матрицы 4, в результате чего происходит вырубка детали. При обратном ходе прессы выталкиватели 8 освобождают деталь из контурной матрицы 7.

К разделительным операциям при изготовлении деталей электровакуумных приборов относится также резка заготовок (полос) из листовых и ленточных материалов, которую выполняют ножницами с параллельными, дисковыми, роликовыми и другими ножами.

Для точной резки полос из тонких ленточных металлов используют специальные станки (рис. 16). Лента 2 сматывается с катушки 1 и, проходя правильные валики 3, которые обеспечивают ее равномерный натяг по ширине, разрезается на полосы 5 одной или несколькими парами вра-

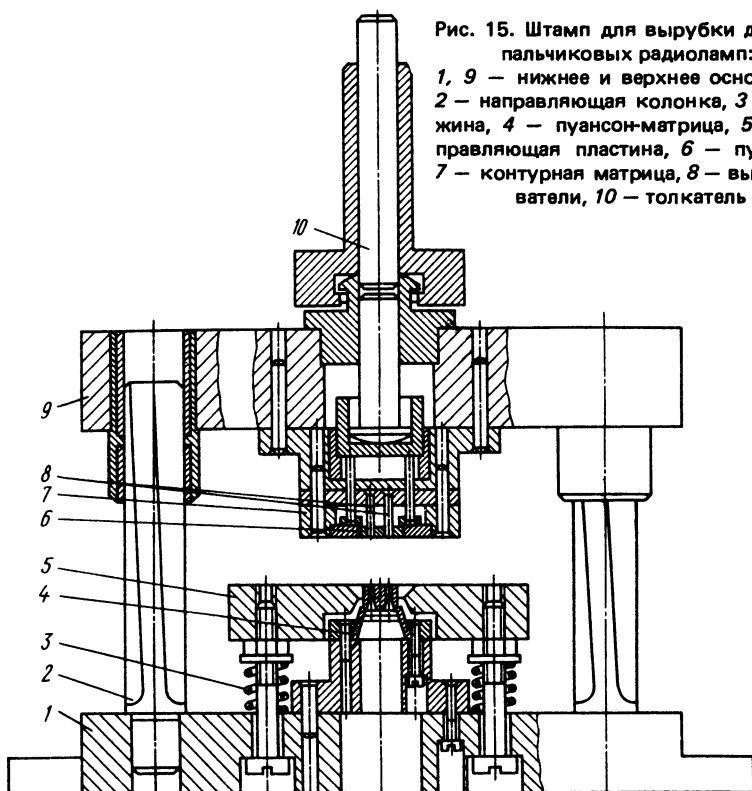


Рис. 15. Штамп для вырубki деталей пальчиковых радиоламп:

1, 9 — нижнее и верхнее основания, 2 — направляющая колонка, 3 — пружина, 4 — пуансон-матрица, 5 — направляющая пластина, 6 — пуансон, 7 — контурная матрица, 8 — выталкиватели, 10 — толкатель

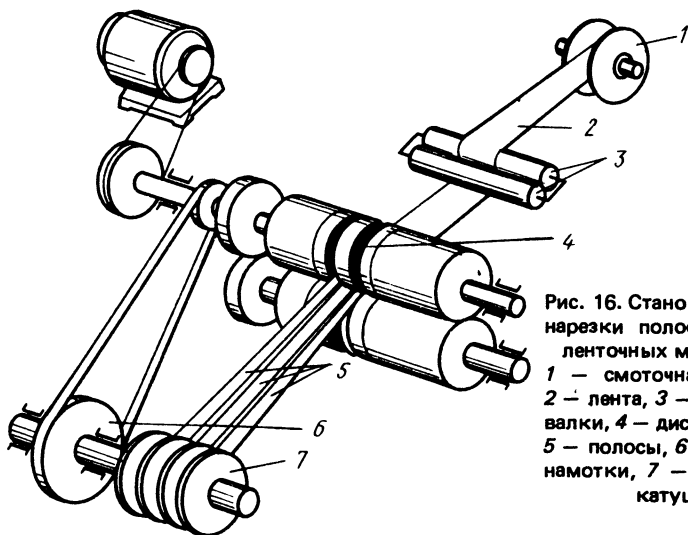


Рис. 16. Станок для точной нарезки полос из тонких ленточных материалов:

1 — смоточная катушка, 2 — лента, 3 — правящие валки, 4 — дисковые ножи, 5 — полосы, 6 — механизм намотки, 7 — секционная катушка

щающихся дисковых ножей 4, отделенных друг от друга стальными шайбами. Для быстрого выталкивания нарезанных полос поверх шайб до высоты ножей надевают резиновые прокладки. Механизм намотки 6 обеспечивает одинаковые скорости подачи полос, необходимый их натяг и передачу на приемную секционную катушку 7.

Станок предназначен для нарезки полос шириной от 3 до 55 мм с точностью  $\pm 0,02$  мм из лент шириной до 800 мм и толщиной от 0,05 до 0,5 мм с производительностью до 200 м/ч.

Последующие разделительные операции — вырубку и пробивку — выполняют на эксцентриковых и кривошипных прессах. На этих операциях изготавливают плоские детали с отверстиями, выступами, лапками, ушками.

#### § 14. Брак при разделительных операциях и методы его устранения

Основным видом брака при разделительных операциях являются заусенцы, которые часто не всегда можно обнаружить невооруженным глазом. Распыляясь в вакууме, заусенцы нарушают изоляцию между электродами, являются одной из возможных причин коротких замыканий и вызывают ряд других нежелательных явлений в приборах. Правильным определением зазора между режущими элементами штампов при их проектировании, точным изготовлением и своевременной заточкой, а также надежным креплением в прессах можно предупредить появление заусенцев.

Кроме того, чистую без зазубрин и заусенцев поверхность получают при совпадении линий реза в заготовке со стороны пуансона и матрицы, что обеспечивается установкой определенных зазоров между рабочими частями (пуансоном и матрицей) штампов, зависящих от толщины и свойств обрабатываемых материалов. Рекомендуемые зазоры при вырубке и пробивке различных металлов приведены в табл. 3.

Большое значение для получения качественных деталей имеет применение при штамповке различных смазок. Так, при вырубке и пробивке деталей из мягких и тонких металлических материалов преимущественно используют быстро высыхающие и хорошо смываемые спиртобензиновые смеси, пониженная вязкость которых позволяет избежать прилипания заготовок друг к другу. Однако они не дают должного эффекта при изготовлении деталей из твердых металлов, особенно значительной толщины. Поэтому на операциях вырубки и пробивки деталей из молибдена, вольфрама и кобальта для смазки применяют шинное масло СУ; тантала — минеральное масло; меди, железа, малоуглеродистых сталей — минеральное масло и эмульсионные составы; никеля, алюминированных металлов железоникелевых сплавов — спирто-бензиновые смеси с добавлением или без добавления минерального масла (в зависимости от их толщины).

**Т а б л и ц а 3. Рекомендуемые зазоры, мм, при вырубке и пробивке разных материалов**

| Металлы   | Зазор при толщине материала, мм |           |           |           |
|---|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|
|   | до 1                            | 1—2       | 2—3       | 3—5       |
| Мягкие (медь, железомалоуглеродистая сталь)                                 | 0,06                            | 0,06—0,12 | 0,14—0,21 | 0,24—0,4  |
| Средней твердости (никель, железоникелевые сплавы, алюминированные металлы) | 0,06                            | 0,07—0,14 | 0,16—0,24 | 0,37—0,45 |
| Твердые (молибден, вольфрам, тантал, ковер)                                 | 0,07                            | 0,08—0,16 | 0,18—0,37 | 0,3—0,5   |

Для повышения точности и чистоты обрабатываемой поверхности приходится вводить такие дополнительные операции, как зачистка наружного контура и калибровка отверстий, выполняемых с припуском.

### § 15. Штамповочные формоизменяющие операции

Формоизменяющими операциями при изготовлении анодов приемно-усилительных ламп, траверс, экранов, поясков, анодных блоков магнетронов, деталей резонаторов клистронов, замедляющих систем ламп обратной волны и других деталей электровакуумных приборов являются:

гибка — придание заготовке изогнутой формы по заданному контуру (минимальный радиус изгиба принимают равным от 0,5 до 0,3 толщины заготовки);

вытяжка — превращение плоской или полый тонкостенной заготовки в полую деталь заданной формы;

отбортовка — образование борта заданной формы в плоской или полый заготовке по замкнутому криволинейному контуру;

выдавливание — превращение плоской или полый толстостенной заготовки в полую деталь заданной формы.

Г и б к о й получают детали с заданным радиусом кривизны. При малых радиусах изгиба вследствие чрезмерного растяжения наружных волокон возможно разрушение деталей из тонких молибденовых, танталовых и коваровых заготовок. При гибке заготовок из пластичных металлов значительно возрастает опасность нарушения размеров получаемых деталей (происходит утонение материала). Кроме того, особенностью гибки заготовок из таких металлов с высоким модулем упруго-

сти, как молибден, тантал, ковар, является значительное пружинение — изменение заданных инструментом размеров и формы после снятия со штампа.

Корректировка штампов с учетом пружинения не всегда дает нужные результаты из-за непостоянства механических свойств поставляемых материалов. Для стабилизации размеров и предохранения заготовок от пружинения усложняют штампы, выполняя гибку с прижимом, вводят дополнительные операции, в том числе калибровочные, а также применяют наряду с обычными эксцентриковыми и кривошипными прессами гибочные пресс-автоматы, на которых формообразование деталей осуществляется в специальных оправках.

В ы т я ж к у в основном применяют для получения полых деталей, имеющих дно. Этот процесс характеризуется втягиванием плоской заготовки под давлением пуансона в отверстие матрицы и сопровождается утонением материала в местах перехода от дна к стенкам и утолщением кромки с открытой стороны при очень незначительном изменении толщины дна.

В производстве электровакуумных приборов преимущественное распространение получила механическая вытяжка с прижимом, который предотвращает образование складок (гофров) на поверхности глубоких деталей при их обработке (рис. 17, а) и обратная (реверсивная) с использованием в качестве заготовок предварительно вытянутых колпачков (рис. 17, б). При изготовлении деталей с небольшим отношением высоты к диаметру применяют механическую вытяжку без прижима.

Вытяжкой могут быть изготовлены детали из всех металлов и сплавов, применяемых в электровакуумном производстве, кроме вольфрама. Необходимое количество операций для изготовления одной детали определяется механическими свойствами и коэффициентами вытяжки этих металлов и сплавов.

Наиболее высоким коэффициентом вытяжки характеризуются некоторые марки молибдена, тантала, кобальта. Вытяжка молибдена и тантала не может быть глубокой вследствие образования трещин и расслаивания этих металлов под действием растягивающих при обработке усилий. Такие пластичные металлы, как никель, медь, железо и малоуглеродистые стали, отличающиеся незначительными коэффициентами вытяжки, могут быть вытянуты на очень большую глубину (от 6—8 диаметров) за несколько операций с промежуточными отжигами для снятия возникающих при обработке напряжений. Основные затруднения при их вытяжке связаны с получением точности размеров, формы и шероховатости поверхности. Для придания вытянутым полым деталям окончательной формы и точных размеров их калибруют — протягивают вертикальные стенки через зазор между пуансоном и матрицей, равный номинальной толщине материала. Калибровка дна, фланцев и уступов осуще-

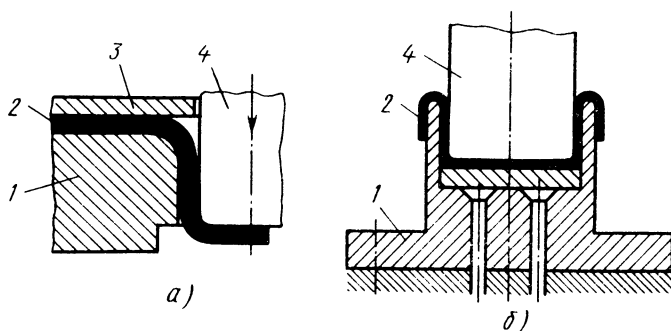


Рис. 17. Виды вытяжки:

*a* — с прижимом, *б* — обратная (реверсивная); 1 — матрица, 2 — деталь, 3 — прижим, 4 — пуансон

Рис. 18. Гидравлическая вытяжка:

*a* — исходное положение, *б* — формообразование; 1, 7 — нижний и верхний плунжеры, 2 — пуансон, 3 — шайба, 4 — заготовка, 5 — резиновая диафрагма, 6 — масло

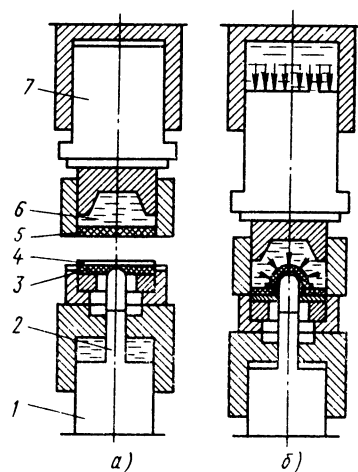


Рис. 19. Последовательность изготовления анодов мощных генераторных ламп:

*a* — вырубка заготовки, *б, в, г* — первая, вторая и третья вытяжки, *д, е* — первая и вторая обратные вытяжки

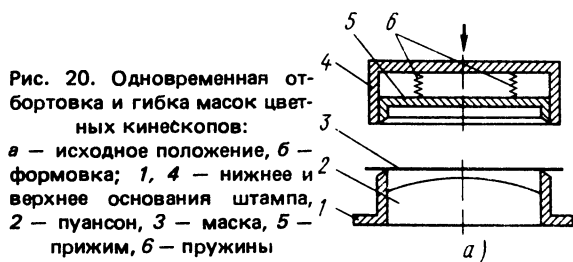
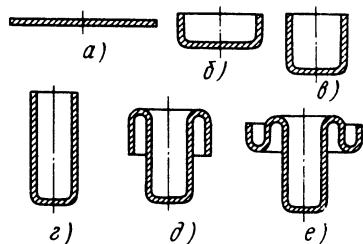


Рис. 20. Одновременная отбортовка и гибка масок цветных кинескопов:

*a* — исходное положение, *б* — формовка; 1, 4 — нижнее и верхнее основания штампа, 2 — пуансон, 3 — маска, 5 — прижим, 6 — пружины

ствляется ударом пуансона о соответствующие участки матрицы. Детали, вытянутые из заготовок значительной толщины, часто дополнительно обрабатывают резанием.

Молибденовые, танталовые и коваровые детали рекомендуется изготовлять не механической, а гидравлической вытяжкой, при которой пластичность материала стенки увеличивается наложением гидравлического сжатия (рис. 18, а, б). Из исходного положения (рис. 18, а) движением верхнего плунжера 7 вниз резиновая диафрагма 5 прижимается к заготовке 4 и пуансону 2. При этом в верхний и нижний цилиндры подается масло под высоким давлением и происходит вытяжка (рис. 18, б). После подъема верхнего плунжера извлекают готовую деталь. При вытяжке автоматически обеспечивается изменение давления в масляных цилиндрах в зависимости от положения пуансона 2.

В качестве примера на рис. 19, а—е показана последовательность изготовления вытяжкой анодов мощных генераторных ламп из медных и коваровых листовых заготовок в несколько операций на прессах двойного действия. На первой операции вырубает заготовки (рис. 19, а), на второй, третьей и четвертой (рис. 19, б, в, г) — выполняют первую, вторую и третью вытяжку, а затем — первую и вторую обратную (реверсивную) вытяжку (рис. 19, д, е).

Отбортовку выполняют одновременно с другими штамповочными операциями: гибкой, вытяжкой, пробивкой отверстий, отрезкой. При отбортовке деталей из твердых металлов, так же как и при гибке, могут изменяться заданные размеры, поэтому технологическим процессом предусматриваются дополнительные операции, например калибровка. Схемы одновременной отбортовки и гибки масок цветных кинескопов показаны на рис. 20, а, б. Маску 3 помещают на нижнее основание 1, к которому при первом ходе пресса она прижимается прижимом 5. При смыкании нижнего 1 и верхнего 4 оснований происходят отбортовка маски и сжатие пружины 6. Во время второго хода пресса поднимается пуансон 2, который изгибает маску, придавая ей сферическую форму.

Выдавливанием изготовляют из бескислородной меди и реже из малоуглеродистой стали детали различного профиля сложной конфигурации с повышенными требованиями к точности размеров и шероховатости поверхности. Кроме того, эту обработку часто применяют для получения деталей из молибдена и тантала, глубокая вытяжка которых невозможна.

Небольшие детали можно получать выдавливанием на токарных станках с помощью простого инструмента — давилника и оправки (рис. 21, а). Для этого заготовку 1 зажимают между закрепленной в шпинделе станка оправкой 2 и прижимом 3 с помощью давилника 4 и придают ей необходимую форму.

Крупные детали обычно выдавливают на мощных гидравлических прессах (рис. 21, б) инструментом повышенной стойкости и прочности,

так как процесс требует удельных давлений до  $(1,5 \div 2) \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2$ . Детали в зависимости от мощности пресса могут иметь диаметр до 100 мм и толщину стенки до 10 мм.

При выдавливании пуансон 5 движется сверху вниз и давит на заготовку 1, установленную в матрице 6. Небольшая скорость движения пуансона обеспечивает сравнительно равномерное выдавливание металла заготовки снизу вверх.

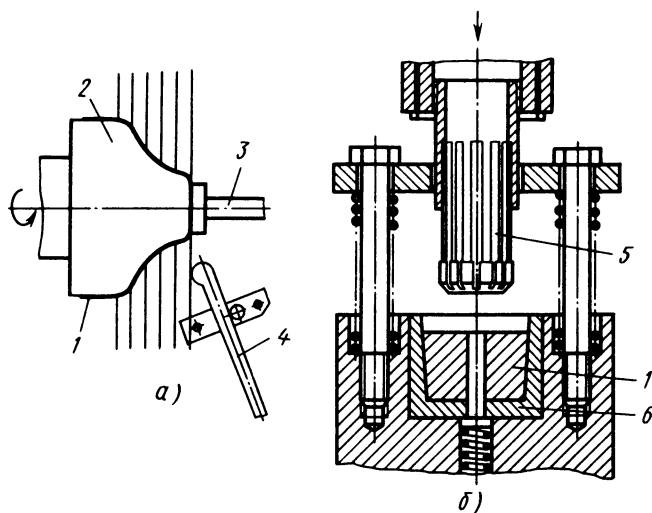


Рис. 21. Выдавливание деталей из заготовок:

*а* — листовых на токарном станке, *б* — полых толстостенных на гидравлическом прессе; 1 — заготовка, 2 — оправка, 3 — прижим, 4 — давяльник, 5 — пуансон, 6 — матрица

Гибку, вытяжку, отбортовку и выдавливание выполняют на универсальном автоматическом оборудовании.

Для гибки деталей из проволоки и ленты используют многоползунные универсально-гибочные автоматы. Если необходимо выполнить такие дополнительные операции, как заострение концов, срез кромок, накатка буртиков, вырубка отверстий, гофрирование и сшивание полос, на автоматах устанавливают специальные приспособления и инструменты (штампы).

Кинематическая схема четырехползунного универсально-гибочного автомата, каждый ползун которого приводится в движение самостоятельным кулачком, показана на рис. 22. Такой привод в состоянии обеспечить любую последовательность движения ползунам, а следовательно, и закрепленному на них деформирующему инструменту (штампу). Электродвигатель 8 через клиноременную передачу приводит во враще-



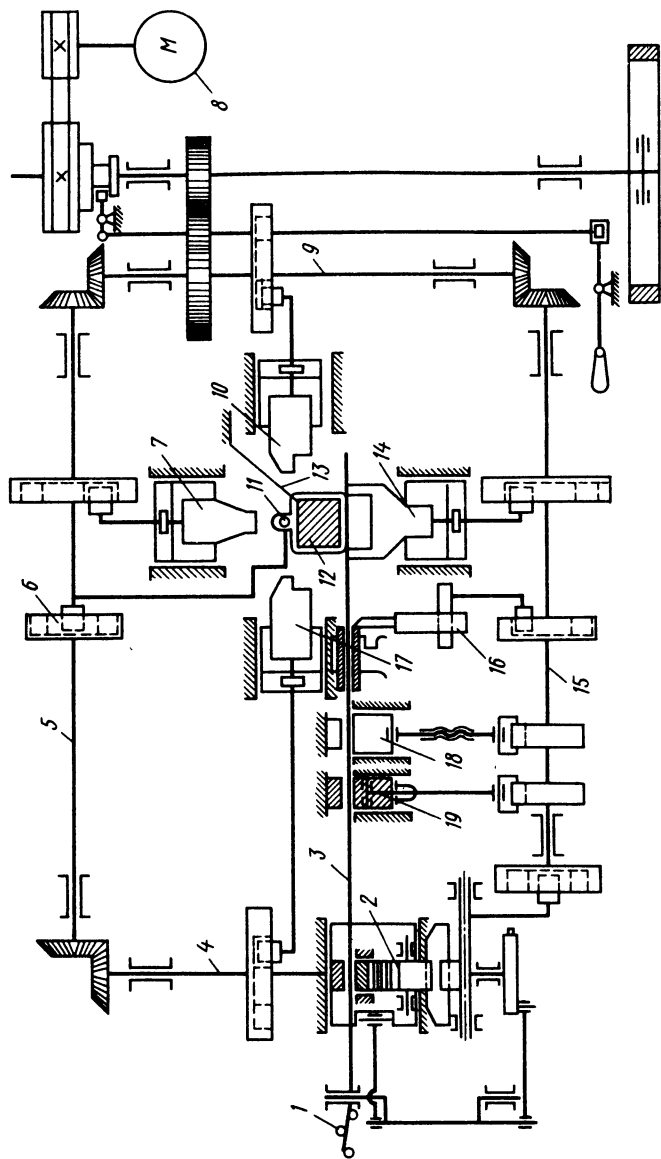


Рис. 22. Кинематическая схема четырехползунного универсально-типичного автомата:

1 — правый механизм подачи, 2 — механизм подачи, 3 — лента-заготовка, 4, 5, 9, 15 — приводные валы, 6 — привод штампа, 7, 14 — задний и передний ползуны, 8 — электродвигатель, 10, 17 — правый и левый ползуны, 11 — съёмник, 12 — оправка, 13 — кронштейн, 16 — нож, 18, 19 — прижимы

ние шкив с муфтой и приводные валы 9 и 15, на которых расположены кулачки перемещения механизмов.

Профилируя определенным образом кулачки, можно получить различную последовательность действий функциональных механизмов. При гибке деталей на автомате проволока или лента 3 через правильное устройство 1 подается механизмом подачи 2 на линию рабочих ползунов, зажимается прижимами 19 и нож 16 отрезает от нее заготовку. Во время холостого хода механизма подачи проволока или лента во избежание обратного движения фиксируется прижимом 18. Отрезанная заготовка передним ползуном 14 прижимается к оправке 12 и изгибается по ее форме.

При дальнейшем движении левого 17, правого 10 и заднего 7 ползунов заканчивается гибка детали на оправке. По окончании гибки все ползуны возвращаются в исходное положение, а готовая деталь съемником 11 удаляется с оправки. Оправка со съемником расположены на кронштейне 13 над рабочими ползунами. При изготовлении деталей сложной формы и с различными отверстиями лента дополнительно проходит через штамп, работающий от привода 6.

Для вытяжки деталей из металлов малых толщин используют автоматические эксцентриковые и кривошипные прессы, применяя операционные и совмещенные штампы, а для глубокой вытяжки деталей из металлов значительных толщин — аналогичные прессы двойного действия.

Кинематическая схема эксцентрикового многооперационного пресса показана на рис. 23, а. Пресс имеет восемь ползунов 1, в которых устанавливаются восемь пуансонов. Лента со сматывающего устройства через валиковую подачу 2, имеющую прерывистое вращение с регулируемым шагом, передается на первую позицию с вырубным штампом. После срабатывания вырубного штампа заготовка передается на вторую позицию, где осуществляется первая вытяжка, которая может выполняться с прижимом, для чего в автомате предусмотрено необходимое устройство. На следующих позициях производятся вторая и последующие вытяжки, гибка и т. д.

Передача заготовок с позиции на позицию осуществляется клещами (рис. 23, б) захватной линейки 3, которая имеет возвратно-поступательное движение. Освобожденная из матрицы заготовка захватывается для передачи на следующую позицию в момент, когда пуансон отошел вверх настолько, что она по своей высоте может свободно пройти к следующей операции.

Оборотку выполняют одновременно с гибкой и вытяжкой на аналогичном оборудовании.

Выдавливание выполняют на автоматических и полуавтоматических гидравлических прессах, обеспечивающих большие усилия, а также на металлорежущих станках.

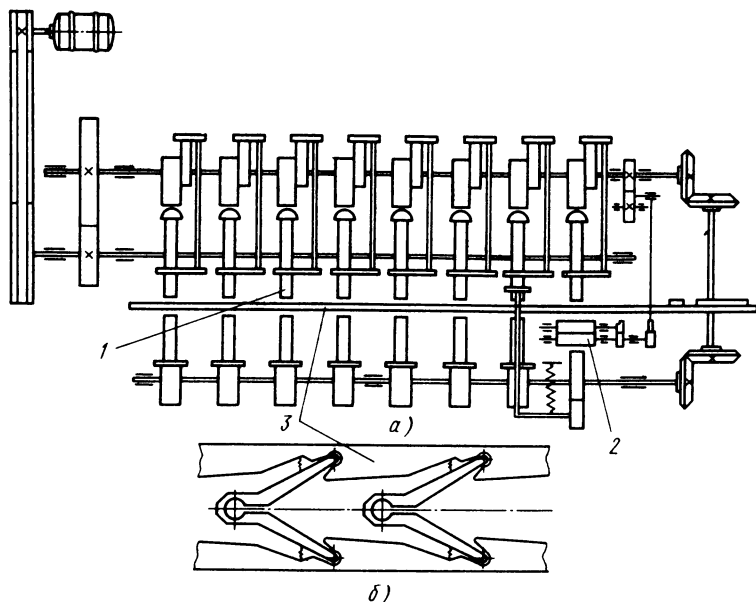


Рис. 23. Эксцентриковый многооперационный пресс-автомат:  
*а* — кинематическая схема, *б* — клещи; 1 — ползуну, 2 — валиковая подача, 3 — захватная линейка

## § 16. Брак при формоизменяющих операциях и методы его устранения

При изготовлении деталей электровакuumных приборов гибкой, вытяжкой, отбортовкой и выдавливанием возможны различные дефекты. Так, при гибке и отбортовке очень опасны трещины, разрывы, утонения металла в зоне обработки, а также вмятины. Поскольку гибкой и отбортовкой изготовляют вакуумно-плотные детали, трещины, разрывы и вмятины могут служить причиной натекания. Места натекания, как правило, трудно обнаружить и часто невозможно ликвидировать, особенно если прибор полностью собран. Разрывы, например лакирующего слоя при штамповке алюминированного железа, обнажают основной металл, отличающийся склонностью к непрерывному газовыделению при откачке и работе приборов. Кроме того, указанные виды брака снижают механическую прочность приборов, особенно при ударах и вибрациях.

При вытяжке и выдавливании возникают такие дефекты, как разностенность, кольцевые отпечатки на поверхности, трещины, риски, зазоры, заусенцы, которые также снижают механическую прочность деталей и могут служить причиной натеканий. Кроме того, разностенность весь

ма опасна для токопроводящих деталей и деталей, передающих тепло, так как изменяется их сопротивление. Риски и заусенцы вызывают пробой, т.е. снижают электрическую прочность, особенно СВЧ-приборов.

Чтобы предупредить появление брака при гибке и вытяжке, необходимо тщательно подгонять штамповочный инструмент и применять специальные смазки. При гибке и отбортовке требуются смазки повышенной вязкости, обеспечивающие хорошее скольжение между рабочими частями штампов и обрабатываемыми заготовками и устраняющими возможность налипания материала на инструмент (во избежание рисков и задиrow).

При обработке молибдена и кобальта этим требованиям удовлетворяет машинное масло СУ, при изготовлении небольших деталей из никеля и алюминированных металлов — спирто-бензиновые смеси, а более крупных — спирто-бензино-масляные смеси и минеральное масло. Гибку меди, малоуглеродистых сталей, железоникелевых сплавов и тантала выполняют, используя в качестве смазки минеральное масло. Кроме того, для сталей и железоникелевых сплавов иногда применяют эмульсионные составы.

При вытяжке и выдавливании необходимы те же смазки, что и при гибке, но повышенной вязкости, так как возможны еще большая опасность налипания материала на инструмент и образование рисков, задиrow и других дефектов. Для глубокой вытяжки используют минеральное масло, а также эмульсионные и мыльные составы, которые обеспечивают не только хорошее скольжение, но и охлаждение трущихся поверхностей.

## § 17. Применение холодной штамповки для соединения деталей

Такие механические способы соединения деталей, как закатка, запрессовка, зажимание, фальцовка (соединение в замок), клепка, сшивка, являются разновидностями штамповочных формоизменяющих операций. Так, закатка, запрессовка, клепка аналогичны вытяжке, а зажимание, фальцовка и сшивка — гибке.

При закатке на поверхность одной из соединяемых деталей наносят углубления в форме насечек, а затем запрессовывают в эти углубления другую деталь (рис. 24, а). Этот вид соединения широко применяют при изготовлении сеток, закатывая витую проволоку из вольфрама в траверсы из пластичных материалов (никеля, меди).

При запрессовке детали соединяют прессовой посадкой или последующим деформированием одной из них или обеих (рис. 24, б). Этим способом соединяют, например, заготовки вольфрамовой сетки с медными диафрагмами резонаторов клистронов. Запрессовка возможна только в тех случаях, когда одна из соединяемых деталей изготовлена из материала с повышенными пластическими свойствами.

З а ж и м а н и е м соединяют детали из тонких проволочных материалов с деталями из толстых проволочных. При этом предварительно расплющивают концы толстых проволок из пластичных металлов и загибают их в форме петли, а затем с помощью пресса зажимают в петлю конец детали из тонкой проволоки (рис. 24, в). Так обычно соединяют вольфрамовые керны катодов некоторых электровакуумных приборов с выводами.

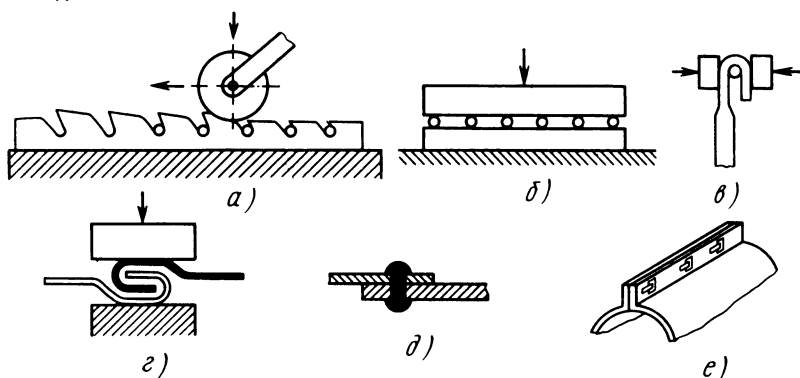


Рис. 24. Механические способы соединения деталей:  
 а — закатка, б — запрессовка, в — зажимание, г — фальцовка, д — клепка,  
 е — сшивка

Ф а л ь ц о в к у выполняют, загибая кромки соединяемых деталей в замок (рис. 24, г). Это соединение выполняют как вручную, так и на гибочных автоматах и применяют при изготовлении некоторых типов анодов, а также трубок кернов катодов при свертывании их из ленты.

К л е п к а представляет собой соединение двух деталей специально изготовленными из пластичного металла заклепками (рис. 24, д). Так, молибденовыми заклепками соединяют отдельные элементы молибденовых и танталовых анодов некоторых типов ламп.

С ш и в к а (рис. 24, е) представляет собой соединение двух краев изогнутой детали, на одном из которых пробиты отверстия, а на другом вырублены ушки. При соединении ушки вставляют в отверстия и загибают. Этим способом соединяют части анодов некоторых типов электровакуумных приборов, которые изготовлены из трудносвариваемых металлов, например из карбонизированного никеля.

## § 18. Механизация и автоматизация штамповочных работ

Механизация и автоматизация штамповочных работ повышают производительность труда.

В настоящее время наибольшее распространение получили различные

устройства для механизации отдельных процессов поэлементной штамповки. Примерами таких устройств могут служить механизмы подачи штучных заготовок в штампы. Листовые заготовки, из которых изготавливают, например, детали электронно-оптической системы и маски ЦЭЛТ, имеют толщину 0,1—0,5 мм и поэтому обладают малой жесткостью, что затрудняет их подачу в штамп. Кроме того, эти заготовки слипаются между собой, плохо поштучно отделяются от стопы, а наличие на кромках заусенцев в значительной мере повышает травмоопасность при их подаче в штамп вручную.

Механизмы (питатели), применяемые для подачи штучных заготовок в штамп, можно разделить на полуавтоматические и автоматические. Полуавтоматические питатели только подают заготовки в штамп, а все подготовительные операции — отделение заготовок от стопы, предварительное ориентирование, нанесение технологической смазки — выполняет оператор. Автоматические питатели работают совместно с прессом, выполняя все операции по транспортированию и загрузке. Если необходимо, к автоматическим питателям подключают установку для автоматического нанесения технологической смазки на заготовки или штамп. Оператор при этом должен лишь пополнять питатель заготовками и наблюдать за правильностью работы оборудования.

Большинство находящихся в эксплуатации питателей имеет: накопитель (магазины) — приемное устройство, предназначенное для накопления и периодической подачи стоп исходных листовых заготовок на позицию поштучного отделения; механизм поштучной подачи, отделяющий заготовки от стопы и передающий их в транспортирующий механизм; загрузочно-транспортный механизм, служащий для поштучного перемещения заготовок по промежуточным позициям и загрузки их в штамп.

Другими устройствами для механизации штамповки являются механизмы координирования заготовок. Так, в установках для изготовления деталей из ленты применяются устройства для ее разматывания и правки, которые имеют правильные валки, приводимые в действие электроприводом. Частота вращения валков постоянно регулируется изменением частоты вращения электродвигателя постоянного тока или с помощью механических регуляторов кулисного, храпового или фрикционного типов, управляемых механическими датчиками положения компенсационной петли относительно уровня подачи ленты. В устройстве для разматывания и правки ленты, кинематическая схема которого показана на рис. 25, применяется двухступенчатая коробка передач с незначительно отличающимися передаточными отношениями. Между прижимным валком 1 и ведущими правильными валками 19 направляют ленту 3, которая разматывается из рулона 20. На ведущих правильных валках закреплены шестерни 5, приводимые во вращение шестерней 6, являющейся выходным звеном двухступенчатой коробки передач, получающей вращение через шкив 14 и ременную передачу 15 от электродвигателя 13.

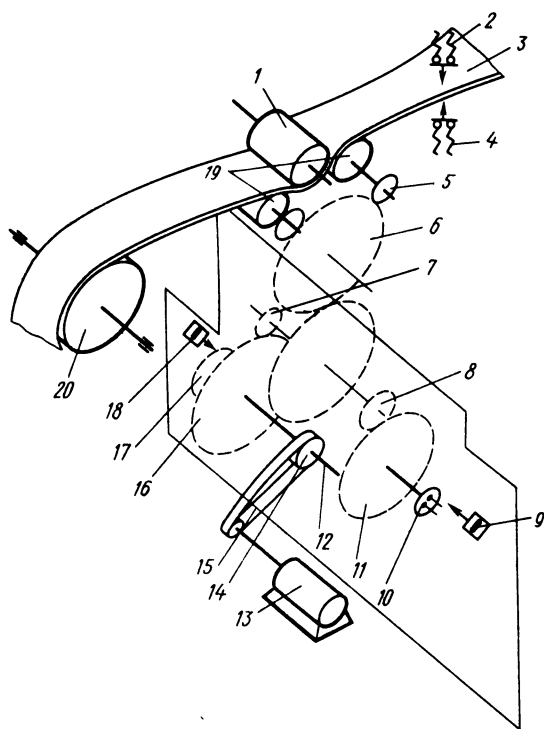


Рис. 25. Кинематическая схема устройства для разма-  
тывания и правки ленты:

1 — прижимной валок, 2, 4 — датчики, 3 — лента,  
5, 6 — шестерни, 7, 8, 11, 16 — зубчатые передачи,  
9, 18 — пневмоцилиндры, 10, 17 — фрикционные  
муфты, 12 — вал, 13 — электродвигатель, 14 — шкив,  
15 — переменная передача, 19 — правильные валки,  
20 — рулон

Две ступени короб-  
ки передач выполнены  
в виде зубчатых пере-  
дач 7, 16 и 8, 11 с раз-  
личными передаточны-  
ми отношениями. Сое-  
динение шестерен 11,  
16 с валом 12 осущест-  
вляется с помощью  
фрикционных муфт 10  
и 17, приводимых в  
движение пневмоци-  
линдрами 9 и 18, в ко-  
торые воздух подается  
через пневмораспреде-  
литель, управляемый  
верхним 2 и нижним 4  
датчиками положения  
компенсационной пет-  
ли ленты. При взаимо-  
действии нижнего дат-  
чика 4 с лентой посту-  
пает команда на вклю-  
чение через фрикцион-  
ную муфту 10 зубчатой  
пары 8, 11 с меньшим  
передаточным отноше-  
нием и лента перемеща-  
ется со скоростью,  
меньшей средней ско-  
рости ее подачи за один  
цикл работы пресса.

После нескольких  
циклов работы пресса  
почти полностью выби-

рается прогиб ленты, появляющийся из-за разности скоростей ее сматывания и подачи, и она входит во взаимодействие с верхним датчиком 2, в результате чего выключается из работы зубчатая передача 8 и 11 и через фрикционную муфту 17 включается зубчатая пара 7 и 16 с большим передаточным отношением. После этого лента продолжает движение к подающему устройству пресса со скоростью, большей средней скорости подачи за цикл работы пресса. Поэтому после каждого нескольких циклов будет образовываться излишек ленты до тех пор, пока нижний датчик не будет контактировать с лентой. Затем цикл повторится.

## § 19. Техника безопасности при работе на штамповочном оборудовании

К самостоятельной работе на штамповочном оборудовании допускаются лица, изучившие его устройство, овладевшие способами безопасной эксплуатации и прошедшие обучение (стажировку) на рабочем месте в течение 20 дней. Периодический инструктаж по технике безопасности при производстве штамповочных работ проводится один раз в три месяца.

При работе на механических прессах рекомендуется строго выполнять следующие правила. Перед началом работы следует привести в порядок спецодежду: рубашка должна быть заправлена в брюки, рукава застегнуты у кистей рук, волосы убраны под головной убор, а платок или косынка повязаны без свисающих концов. Затем надо осмотреть рабочее место и подготовить его для работы: освободить от отходов, готовых деталей и материалов. Рекомендуется осмотреть сиденье, инструменты, пресс, все защитные и предохранительные устройства, а также опробовать пресс на холостом ходу.

Если не ясны безопасные приемы выполнения работы, необходимо до ее начала получить от мастера инструктаж. При работе следует точно соблюдать все указания мастера, бригадира и наладчика. После каждого хода ползуна вниз нужно снимать ногу с педали или руку с рычага управления на время смены изделий на матрице. Разрешается снимать изделие с матрицы только тем приемом и тем инструментом, которые указаны мастером, бригадиром или наладчиком. Перед каждым включением пресса следует предварительно убедиться в том, что его пуск безопасен.

Необходимо выключать пресс при временном прекращении работы; перерывах в подаче электроэнергии; уборке, смазке, чистке и ремонте; подтягивании болтов, гаек, клиньев и других соединений; креплении, смене, регулировке и наладке штампов; регулировке зажимных приспособлений крепежных болтов; удалении деталей, застрявших в матрице. Чтобы предотвратить случайный пуск пресса при ремонте, чистке и смазке, следует вывешивать у пусковых приспособлений надпись "Не включать — ремонт!".

При работе на прессе нужно содержать рабочее место в чистоте и порядке; своевременно удалять отходы; не загромождать проходов; аккуратно укладывать материалы, полуфабрикаты и изделия в штабеля, чтобы они не разваливались. Допустимая высота штабелей из мелких деталей не более 0,7 м, а крупных — 1 м.

Запрещается накапливать на рабочем месте отштампованные детали и необходимо своевременно удалять бракованные. На многоползунных прессах нельзя переносить деталь с позиции на позицию до останова работающего ползуна в верхнем положении.

Смазывать пуансоны при отсутствии автоматической смазки следует помазком на деревянной ручке, а подавать эмульсию — только насосом.



Необходимо защищать лицо и руки от попадания масла, так как при наличии даже мелких царапин оно может вызвать заболевания кожи.

Нужно следить за тем, чтобы выступающий конец ленты или полосы, из которой штампуют детали, не нанес удара находящимся вблизи рабочим или не захватил их одежды. Если соседнее оборудование или стеллажи мешают работе на прессе, следует изменить их расположение.

При замеченных неисправностях в работе пресса необходимо прекратить работу. Без разрешения администрации самостоятельно производить какие-либо исправления не допускается. Пробный пуск пресса после наладки или ремонта можно производить только с разрешения мастера или наладчика. В процессе работы необходимо следить за тем, чтобы детали и обрабатываемый материал не касались электрических проводов.

Окончив работу, надо выключить электродвигатель, убрать отходы, очистить стол пресса, смазать механизмы и привести в надлежащий порядок рабочее место, сложить детали и материал в отведенное для хранения место. Если необходим осмотр или ремонт механизмов пресса, а также замечены неисправности в его работе, следует заявить об этом мастеру или бригадиру.

Невыполнение правил внутреннего распорядка, техники безопасности, производственной санитарии, противопожарной охраны, а также пользования спецодеждой и предохранительными приспособлениями рассматривается администрацией как нарушение трудовой дисциплины.

При несчастном случае следует немедленно обратиться в медицинский пункт за врачебной помощью и одновременно сообщить об этом мастеру, который обязан составить акт.

#### **Контрольные вопросы**

1. Какие штамповочные операции являются разделительными и на каком оборудовании их выполняют?
2. Какие штамповочные операции являются формоизменяющими и на каком оборудовании их выполняют?
3. Каковы виды брака и методы его устранения при штамповке?
4. Каково устройство вытяжных и гибочных полуавтоматов?
5. Какие детали электровакуумных приборов соединяют методом холодной штамповки?
6. Как механизмируют и автоматизируют штамповочное оборудование?
7. Каковы основные правила техники безопасности при работе на штамповочном оборудовании?

## ГЛАВА ПЯТАЯ. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ

### § 20. Режущий инструмент

Некоторые детали крупногабаритных электровakuумных приборов, в частности приборов СВЧ и мощных модуляторных ламп, обрабатывают на различных металлорежущих станках: токарных, фрезерных и сверлильных. Рассмотрим режущий инструмент, применяемый для обработки этих деталей, его разновидности и основные конструктивные элементы.

**Токарный резец** (рис. 26) состоит из головки 1, являющейся рабочей (режущей) частью резца, и предназначенного для его закрепления стержня. Головка имеет главную 3 и вспомогательную 2 режущие кромки, переднюю 4 поверхность, задние главную 7 и вспомогательную 9 поверхности и вершину 8, а стержень — опорную 6 поверхность.

По передней поверхности сходит стружка. Задние поверхности обращены к обрабатываемой заготовке. Режущие кромки — линии пересечения передней поверхности с задними (главной и вспомогательной). Основную работу резания выполняет главная режущая кромка. Вершина резца — место сопряжения главной и вспомогательной режущих кромок может быть острой, закругленной или в виде прямой линии, называемой переходной (защищающей) кромкой.

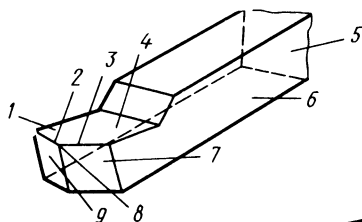


Рис. 26. Токарный резец:  
1 — головка, 2, 3 — вспомогательная и главная режущие кромки, 4, 6 — передняя и опорная поверхности, 5 — стержень, 7, 9 — задние главная и вспомогательная поверхности, 8 — вершина

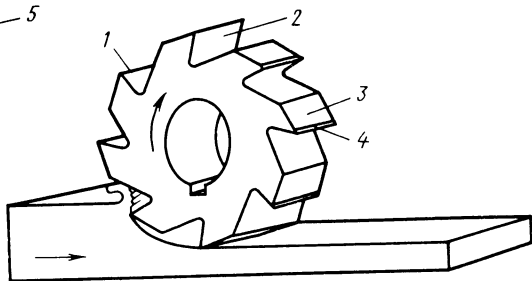


Рис. 27. Элементы зуба фрезы:  
1 — режущая кромка, 2, 3 — передняя и задняя поверхности, 4 — ленточка

В зависимости от назначения токарные резцы имеют определенную конструкцию, сохраняя общие элементы, и подразделяются на проходные обдирочные и упорные, подрезные, прорезные, отрезные, расточные, резьбовые для наружной и внутренней резьбы, фасонные.

**Фреза** (рис. 27) является режущим многозубым инструментом, каждый зуб которого представляет собой простейший резец и имеет пе-

реднюю 2 и заднюю 3 поверхности, режущую кромку 1 и ленточку (или фаску) 4, обеспечивающую ее правильную заточку. Наружный диаметр фрезы, размеры и форма впадины зуба для размещения и выхода стружки, его высота и профиль, а также количество зубьев или их шаг также являются элементами фрезы.

При обработке поверхностей деталей электровакуумных приборов используют цилиндрические и торцовые фрезы, а пазов и уступов — дисковые и концевые. Фрезы бывают с остроконечными и затыловочными зубьями.

**С в е р л о** (рис. 28) состоит из режущей 6, рабочей 4 и направляющей 5 частей, лапки 1, шейки 3 и хвостовика 2, которым оно закрепляется в патроне токарного или сверлильного станка.

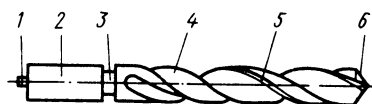


Рис. 28. Спиральное сверло:

1 — лапка, 2 — хвостовик, 3 — шейка, 4, 5, 6 — рабочая, направляющая и режущая части

**З е н к е р ы** и **р а з в е р т к и** предназначены для обработки отверстий после сверления до высокого класса шероховатости и как сверла имеют режущую, направляющую рабочую части, хвостовик и шейку.

**М е т ч и к и** предназначены для нарезания внутренней резьбы требуемого шага в заранее просверленных отверстиях. Рабочая часть метчиков имеет обратную резьбу с острыми режущими кромками.

## § 21. Детали электровакуумных приборов, обрабатываемые на металлорежущих станках

Резание металлов применяется как основной метод обработки при изготовлении деталей, к которым предъявляют повышенные требования по точности формы, размеров и особенно шероховатости поверхности (например, для СВЧ-приборов, генераторных ламп).

Большинство этих деталей имеет цилиндрическую форму или сложную конфигурацию, часто характеризующуюся значительным количеством строго координированных глубоких отверстий, пазов, щелей и других элементов с труднодоступными и не удобными для врезания и выхода инструмента поверхностями. Отверстия могут быть глухими, коническими, ступенчатыми, а также с параллельными, перпендикулярными или пересекающимися под иными углами осями.

Размеры обрабатываемых деталей разнообразны, так наименьшие диаметры лежат в пределах 1,0—0,3 мм и должны выдерживаться с точностью 2—3 квалитета. Размеры того же порядка имеют отверстия (в том числе глубокие с отношением диаметра к длине выше 5:1), пазы, выступы и щели. Так как форма деталей определяется минимально допустимыми отклонениями на овальность, конусность, бочкообразность, вы-

пуклость и изогнутость оси, для большинства размеров они должны лежать в пределах 10—40 мкм. Отклонения на несоосность (эксцентриситет), непараллельность осей отверстий и расстояния между их центрами в наиболее ответственных деталях не должны превышать 0,02—0,05 мм. Точность расположения отверстий, центры которых лежат по окружности детали, определяется допустимыми отклонениями на угловые размеры между осями, проходящими через центры смежных отверстий и центр детали, и колеблются в пределах 6—15'.

На рис. 29 для примера показана нижняя торцевая стенка резонатора металлического клистрона, изготовленная на металлорежущих станках. Боковая 1 и торцовые 3 поверхности, а также канавка 2 обрабатываются на универсальных токарно-винторезных станках, пазы 4, выемка 5 и коническое отверстие 6 — на консольных вертикально-фрезерных, цилиндрические отверстия 7 — на вертикально-сверлильных.

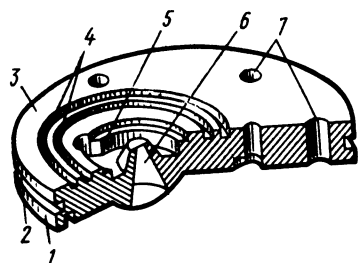


Рис. 29. Нижняя торцевая стенка резонатора металлического клистрона:

1, 3 — боковая и торцевая поверхности, 2 — канавка, 4 — пазы, 5 — выемка, 6, 7 — коническое и цилиндрическое отверстия

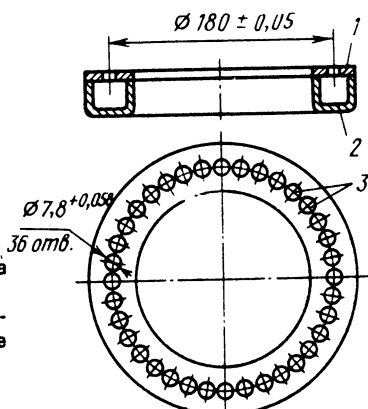


Рис. 30. Коллектор сеточного блока модулярной лампы:

1 — крышка, 2 — корпус, 3 — отверстия

Другим примером деталей, изготовленных на металлорежущих станках, являются сеточные блоки мощных импульсных модуляторных ламп, верхние и нижние коллекторы которых (рис. 30) состоят из двух частей: штампованного корпуса 2 с кромкой, обработанной на токарном станке, и крышки, изготовленной из листового материала токарной обработкой с отверстиями 3 под ламели сеток, просверленными на сверлильном станке по специальному кондуктору, так как расстояния между ними лежат в жестких пределах допусков.

## § 22. Режимы резания на токарных, фрезерных и сверлильных станках

Определение режимов резания является важным параметром при разработке технологических операций, выборе инструмента и оборудо-

вания. От глубины, подачи и скорости резания зависят точность размеров и шероховатость поверхности, производительность и стоимость обработки.

При токарной обработке режимы резания выбирают следующим образом. Глубину резания определяют в зависимости от операционного припуска. Подача должна быть максимально технологически допустимой.

Скорость резания  $v$  обрабатываемой заготовки диаметром  $d$  (мм) рассчитывают по формуле теории резания и по ней определяют частоту вращения шпинделя (об/мин)  $n = v \cdot 1000 / \pi d$ . Рассчитанные глубину, подачу и скорость резания, а также частоту вращения шпинделя записывают в соответствующие графы операционной карты.

Затем находят эффективную мощность (кВт) на резце  $N_B = P_z \cdot v \cdot 10^{-3}$  (где  $P_z$  — сила резания, которую выбирают по справочным таблицам в зависимости от подачи, скорости резания и обрабатываемого материала). Далее определяют потребляемую мощность привода станка  $N_{пр} = P_s \cdot v \cdot 10^{-3} / \eta$  (где  $\eta$  — КПД станка, примерно равный 0,80–0,88), выбирают станок и сравнивают рассчитанную мощность привода станка  $N_{пр}$  с мощностью  $N_{ст}$  выбранного станка, получая коэффициент использования станка по мощности  $\eta_n = N_{пр} / N_{ст}$ .

Если мощность привода выбранного станка меньше требуемой, рекомендуется подобрать другое оборудование или снизить скорость резания, оставив принятую подачу.

При фрезерной обработке режимы резания выбирают следующим образом. Главным движением при фрезеровании является вращение фрезы с определенной частотой, которую устанавливают при настройке станка. Однако вращение фрезы диаметром  $D$  (мм) характеризуют не частотой ее вращения  $n$  (об/мин), а так называемой скоростью резания (м/мин)  $v = \pi D n / 1000$ .

При расчете режимов фрезерования различают:

подачу в одну минуту — перемещение стола в миллиметрах за 1 мин, которую обозначают  $S_0$  и выражают в мм/мин;

подачу на один оборот фрезы — перемещение стола в миллиметрах за один полный оборот фрезы, которую обозначают  $S_0$  и выражают в мм/об;

подачу на один зуб фрезы — перемещение стола в миллиметрах за время, когда фреза повернется на часть, соответствующую расстоянию от одного зуба до другого (на один шаг), которую обозначают  $S_{зуб}$  и выражают в мм/зуб.

Рассчитывают эти подачи по формулам:  $S = S_0 n = S_{зуб} z n$ ;  $S_0 = S_{зуб} z$ ;  $S_{зуб} = S_0 / z = S / (nz)$ , где  $z$  — число зубьев в фрезе.

При сверлении режимы резания выбирают следующим образом.

Подачу определяют из справочных таблиц в зависимости от характера обработки, требуемого качества поверхности и прочности сверла, а 60

скорость резания — по формуле  $v = C^v D^{z^v} K / T^m S^y v^v$ , (где  $C$  — постоянный коэффициент, характеризующий металл и условия его обработки;  $D$  и  $l$  — диаметр и стойкость сверла, мм;  $S$  — подача, мм/об;  $m$  — показатель относительной стойкости инструмента;  $z, y, v, K$  — поправочные коэффициенты). Показатель относительной стойкости инструмента и поправочные коэффициенты выбирают по справочным таблицам.

Частоту вращения сверла (об/мин) рассчитывают по формуле  $n = 1000 \cdot v / \pi D$ , а действительную скорость резания (м/мин), с которой будет производиться сверление, —  $v_d = \pi D n_d / 1000$  ( $n_d$  — скорректированная по паспорту станка частота вращения).

### § 23. Металлообрабатывающее оборудование

Для механической обработки деталей электровакуумных приборов из меди, стали, алюминия, никеля, молибдена, вольфрама и графита широко используют токарные, фрезерные и сверлильные станки нормальной и повышенной точности. По степени автоматизации все металлообрабатывающие станки бывают полуавтоматические, автоматические, автоматизированные и с числовым программным управлением (ЧПУ).

В заготовительном производстве используются универсальные токарные станки моделей 1600, 1601, 1603, 1604, токарно-винторезные модели 1П611, 1А616, 1К62, 1А625, а также станки, созданные на их базе. Так, на базе токарного станка модели 1603 выпускаются станки повышенной точности модели 1Д603, а на базе токарно-винторезного станка модели 1К62 — станки повышенной точности модели 1К62Б, облегченной модели 1К625, с гидрокопировальным суппортом модели МК56КС и с числовым программным управлением модели 1К62ПУ.

На базе токарно-винторезного станка модели 1А616 выпускается токарный станок с числовым программным управлением модели КТ103, назначение и технологические возможности которого с учетом соответствующих размеров обрабатываемых деталей те же, что у станка модели 1К62ПУ. Четырехпозиционный резцедержатель станка КТ103, управляемый по программе, позволяет использовать в автоматическом цикле большее количество инструмента, чем в станке 1К62ПУ.

С учетом возможности обработки на токарных станках с ЧПУ все детали типа "тел вращения" подразделяются на четыре группы: типа дисков, втулок, валов, пальцев. В зависимости от технологических особенностей обработки детали каждой группы могут быть разделены на три подгруппы: требующие только наружной или внутренней обработки и как наружной, так и внутренней.

Каждой группе деталей и технологическому процессу их обработки соответствует определенный тип станка с ЧПУ. В соответствии с этим в заготовительном производстве электровакуумных приборов применяют токарные станки моделей 1716МФ3, 175МФ3, 1716Ф3, 1725Ф3 и др. (буква Ф в обозначении указывает, что станок имеет ЧПУ).

Среди фрезерных станков наибольшее распространение в заготовительном производстве получили консольные вертикально- и горизонтально-фрезерные (6Н11, 6М12П, 6Р12, 6Р12Б и 60М80Г, 6Н81Г), фрезерные непрерывного действия (6Н81 и РМ82) и продольно-фрезерные (6305, 6306, 6У312, 6У316).

Все большее распространение получают фрезерные станки с ЧПУ моделей 6Р11ФЗ, 6Р13ФЗ, 6Б444ФЗ, 6Б443ГФЗ, принципиально отличающиеся по конструкции от базовых моделей универсальных фрезерных станков, что связано с особенностями программного управления.

Среди сверлильных станков наиболее часто применяют вертикально-сверлильные, предназначенные для сверления сквозных и глухих отверстий, а также рассверливания, зенкерования, развертывания цилиндрических и конических, подрезки торцов и нарезания внутренних резьб. В подавляющем большинстве случаев на этих станках используют стандартный режущий инструмент: различные сверла, зенкеры, развертки и метчики. Вертикально-сверлильные станки делятся на универсальные и широкого назначения.

На сверлильных станках с ЧПУ наиболее целесообразно производить обработку заготовок, имеющих большое число отверстий. При необходимости обработки заготовок с отверстиями различных диаметров и форм следует использовать станки с автоматической сменой инструмента. Такие станки чаще всего имеют револьверную головку и позволяют за одну операцию производить несколько различных переходов: сверление, зенкерование, развертывание и др.

Основное преимущество сверлильных станков с ЧПУ перед универсальными состоит в том, что при обработке деталей с точно расположенными отверстиями отпадает необходимость применения кондукторов. Среди вертикально-сверлильных станков наибольшее распространение получили модели 2Р11ФЗ и 2Р135ФЗ.

Для управления станками с ЧПУ применяется система автоматизированного программирования (САП), которая состоит из комплекса вычислительных программ и технических средств. Технические средства позволяют при наличии исходных данных, получаемых с чертежа детали, осуществлять программное управление обработкой с помощью ЭВМ. Каждая САП предназначена для станков определенной группы: токарных, фрезерных, расточных, сверлильных.

Системы САП делятся на универсальные, позволяющие программировать обработку широкого класса деталей, ограниченных сравнительно простыми поверхностями (плоскость, сфера, цилиндр, конус и др.), и специальные, ориентированные на программирование обработки сложных поверхностей. К универсальным относятся, например, системы САПС-М22/32, САП-З и СПС-ТАУ. Специальные системы имеют дополнительные программы для предварительного математического построения всей поверхности, которая обычно задается на чертеже неполно (ко-

ординатами отдельных точек, контурами плоских или цилиндрических сечений). Системы САП разрабатываются для конкретных ЭВМ, что в ряде случаев препятствует их широкому распространению.

В качестве примера можно привести систему автоматизированного программирования фрезерной обработки (рис. 31).



Рис. 31. Структурная схема системы автоматизированного программирования

Подготовка исходных данных состоит в том, что технолог-программист с помощью специального машинного языка записывает основную информацию для программирования: геометрические размеры детали, название станка, на котором должна обрабатываться заготовка, марку материала и общие технологические указания (например, применяемый инструмент). Характеристики станка, материала, детали, инструмента имеются в запоминающем устройстве ЭВМ и для выполнения расчетов не требуют расшифровки.



Управляет работой ЭВМ при подготовке необходимой информации для управляющей программы специальная программа. Результаты расчетов, получаемые на выходе процессора, содержат в общем виде всю информацию о работе станка, являются промежуточными и для контроля выводятся на печать. Для переработки этого промежуточного результата в кадры управляющей программы используются постпроцессоры. Каждый постпроцессор выдает информацию на перфоленту только для данного станка с ЧПУ. Поэтому САП всегда содержит несколько постпроцессоров.

## **§ 24. Техника безопасности при работе на металлорежущих станках**

При неправильной эксплуатации металлорежущих станков и несоблюдении техники безопасности могут быть нанесены травмы металлической стружкой или обломками при разрушении режущего инструмента, передаточными звеньями и приводными устройствами, приспособлениями для закрепления изделия, режущим, мерительным, крепежным инструментом и обрабатываемой деталью, а также электрическим током.

Поэтому в соответствии с действующими правилами техники безопасности все приводные и передаточные механизмы и их части (шкивы, ремни, шестерни, вращающиеся винты, валы и др.) должны быть укрыты в корпусе станка или ограждены специальными жесткими и прочными устройствами. Проволочную сетку или перфорированное железо применяют только в том случае, если во время работы станка необходимо видеть ограждаемый элемент или к нему должен быть свободный приток воздуха.

Постоянные ограждения следует прочно прикреплять к корпусу станка так, чтобы снять их мог только слесарь-ремонтник. Если по условиям работы необходимо иметь доступ к ограждаемым частям станка, ограждения снабжают блокировкой. В качестве блокировочных устройств используют конечные выключатели, присоединенные к цепи электродвигателя станка.

Для предупреждения травм, которые могут быть вызваны отлетающими от обрабатываемого изделия и от инструмента частицами (стружкой, металлической пылью, абразивом), станки должны иметь защитные устройства — экраны, щитки. При отсутствии таких устройств следует работать на станках в защитных очках или индивидуальных щитках.

Для защиты работающих от брызг охлаждающих жидкостей, применяемых при обработке металлов и содержащих соду, керосин, минеральные масла, которые при длительном воздействии на кожные покровы могут вызвать кожные заболевания, станки также должны иметь соответствующие щитки. Если за процессом обработки надо наблюдать, щитки выполняют из прозрачного материала или снабжают смотровыми окнами.

Металлорежущие станки в основном имеют индивидуальный электропривод и оборудованы разного рода электрическими устройствами, токоведущие части которых находятся под напряжением 110, 220 или 380 В при частоте тока 50 Гц, представляющими наибольшую опасность. Вследствие этого созданию электробезопасных условий труда необходимо уделять самое серьезное внимание.

Средствами защиты от поражения электрическим током обычно служат защитное заземление и защитное зануление. Следует заземлять станины станков, корпуса электродвигателей, пультов управления и шкафов с электрооборудованием, металлические защитные кожухи и другие части, которые могут оказаться под опасным напряжением. Надежность и исправность заземляющих устройств должны периодически (не реже одного раза в год) проверяться. Так как в течение года сопротивление заземлителей меняется, проверку проводят один раз летом (при наибольшем просыхании почвы), а другой — зимой (при наибольшем ее промерзании).

Зануление — соединение металлических частей оборудования, нормально не находящихся под напряжением, с неоднократно заземленным нулевым проводом — служит для автоматического отключения оборудования при переходе напряжения на его корпус вследствие повреждения изоляции. Отключение происходит в результате перегорания предохранителей или срабатывания автомата (в зависимости от того, чем защищена установка). Защитное зануление, как и защитное заземление, должно периодически проверяться. При этом контролируют и испытывают рабочее заземление, повторное заземление, зануляющую сеть, предохранители и автоматы. Результаты проверки оформляются актом и заносятся в технический журнал зануления.

#### **Контрольные вопросы**

1. Какой инструмент применяют при металлорежущей обработке?
2. Какие детали электровакуумных приборов обрабатывают на металлорежущих станках?
3. Как рассчитывают режимы резания на токарных, фрезерных и сверлильных станках?
4. Какие металлорежущие станки применяются для обработки деталей электровакуумных приборов?
5. Каковы основные правила техники безопасности при работе на металлорежущих станках?

## ГЛАВА ШЕСТАЯ. СБОРОЧНЫЕ РАБОТЫ В ЗАГОТОВИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

### § 25. Основные сведения о сварке

В зависимости от протекающих физико-химических процессов все способы сварки могут быть разделены на две группы: сварку плавлением, осуществляемую нагревом кромок свариваемых деталей до расплавления и соединением их в жидком состоянии, и сварку давлением, осуществляемую нагревом кромок свариваемых деталей до пластического состояния и последующим сжатием их под большим давлением. Классификация способов сварки приведена на рис. 32.

В электровакуумной промышленности наибольшее распространение получили следующие способы сварки: дуговая, в частности в защитной атмосфере аргона; газовая (ограниченно); электронно-лучевая; лазерная; микроплазменная; электроконтактная (точечная, роликовая, стыковая) и диффузионная.

Совокупность свойств металлов, при которых возможно получение различными способами сварки соединений требуемого качества, называют свариваемостью.

Для дуговой сварки, в частности аргонодуговой, как наиболее распространенной в электровакуумном производстве, наилучшей свариваемостью обладают медь МБ (основной металл для многих деталей приборов СВЧ и генераторных ламп), ковар, никель и стали (сталь 10, сталь 45, 12Х18Н10Т и др.), титан, цирконий, а также металлы и сплавы, реагирующие с водородом и другими газами. Этим способом хорошо свариваются также металлы в различных сочетаниях: медь МБ или ковар со сталью 12Х18Н10Т, никель со сталью, ковар с никелем.

Газовой сваркой хорошо свариваются никель с платинитом и медью, платинит с медью. Этим способом преимущественно изготавливают трех- и двухзвенные выводы осветительных, приемно-усилительных и некоторых типов генераторных ламп малой мощности и других приборов.

Для электронно-лучевой, лазерной и микроплазменной сварки хорошей свариваемостью обладают все металлы и сплавы, применяемые в электровакуумном производстве. Кроме того, этими способами сварки можно соединять детали из керамики, стекла, окислов алюминия и циркония, полиэтилена.

Для электроконтактной сварки наилучшей свариваемостью обладают металлы и сплавы, имеющие высокую и стабильную пластичность при температуре сварки, незначительно изменяющие структуру при нагреве и охлаждении, отличающиеся достаточным для нагрева электросопротивлением и незначительной теплопроводностью, а также высокой химической стойкостью на воздухе. Среди металлов и сплавов,

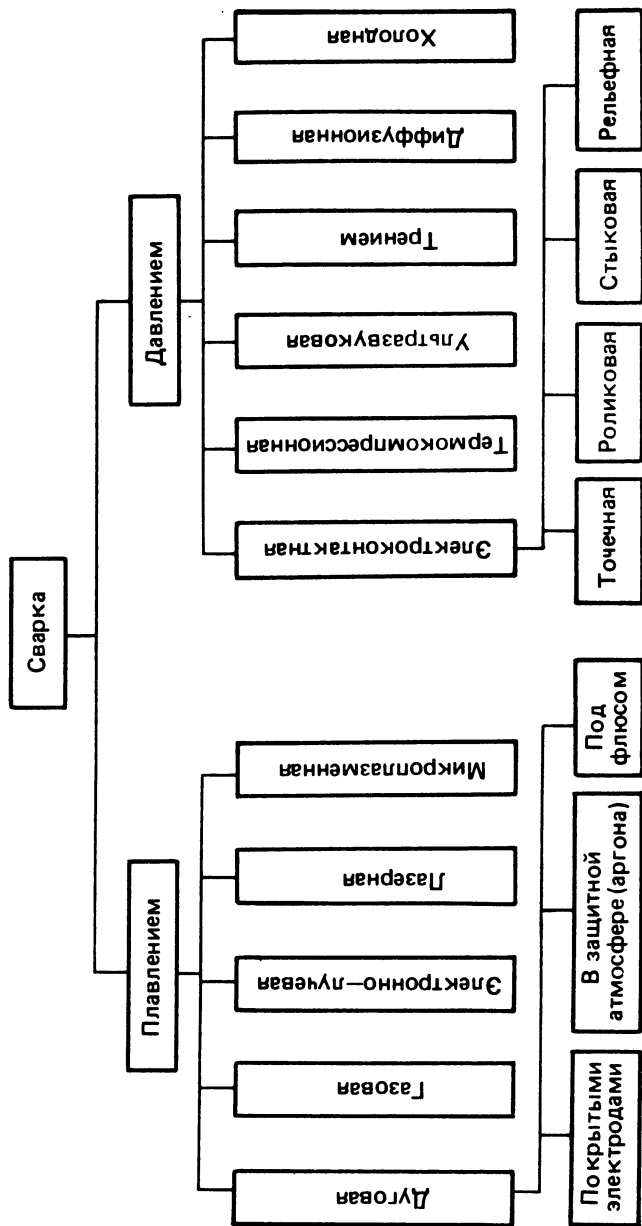


Рис. 32. Классификация способов сварки

применяемых для изготовления деталей электровакуумных приборов, этим требованиям в наибольшей степени удовлетворяют никель, железо, малоуглеродистые стали, ковар, железоникелевые сплавы, нихром, титан, цирконий.

Д и ф ф у з и о н н о й сваркой соединяют детали из однородных и разнородных металлов и сплавов: меди, никеля, стали 45, 12Х18Н10Т, ковара, титана, тантала, молибдена и других в различных их сочетаниях (например, медь — ковар, ковар — молибден, титан — 12Х18Н10Т, медь — сталь 45, медь — алюминий и др.).

## § 26. Аргонодуговая сварка

Характерной особенностью дугового разряда в атмосфере аргона является высокое напряжение зажигания, связанное с высоким ионизационным потенциалом этого газа, и малое напряжение горения (12—24 В при длине дуги 1—3 мм), объясняемое повышенной подвижностью электронов в среде аргона, отсутствием расхода энергии на диссоциацию молекул газа и др.

В электровакуумном производстве получили распространение две разновидности аргонодуговой сварки: на воздухе с местным обдувом кромок соединяемых деталей аргоном и в наполненных аргоном камерах.

При сварке на воздухе кромки соединяемых деталей обдуваются аргоном, который подается между центральным вольфрамовым электродом и керамическим наконечником сварочной горелки под небольшим давлением (порядка  $1,33 \cdot 10^3$  Па) и не только защищает от окисления нагретый и расплавленный металл в зоне сварки, но и способствует ионизации пространства, где горит дуга.

Температура дуги 6000°С. При этой температуре можно сваривать все без исключения металлы. Качество сварки определяется глубиной провара (обычно она невелика и равна 0,5—1 мм), которая в свою очередь зависит от режима: силы тока, скорости перемещения дуги вдоль свариваемого шва и длины дуги.

Для аргонодуговой сварки в основном применяют постоянный ток. Когда вольфрамовый электрод горелки является катодом, такую полярность называют прямой. При прямой полярности сваривают медь, титан, нержавеющую сталь, а при обратной, т. е. когда вольфрамовый электрод является анодом, — малоуглеродистые стали. Для улучшения ионизации на вольфрамовый электрод подается переменное высокое напряжение. Алюминий сваривают при переменном токе.

Сварка на воздухе с местным обдувом аргоном характеризуется высокой производительностью и используется, если к чистоте шва не предъявлялись повышенных требований. Для сварки на воздухе с местным обдувом аргоном используют установки с вращающимся столом и неподвижной горелкой (рис. 33, а).

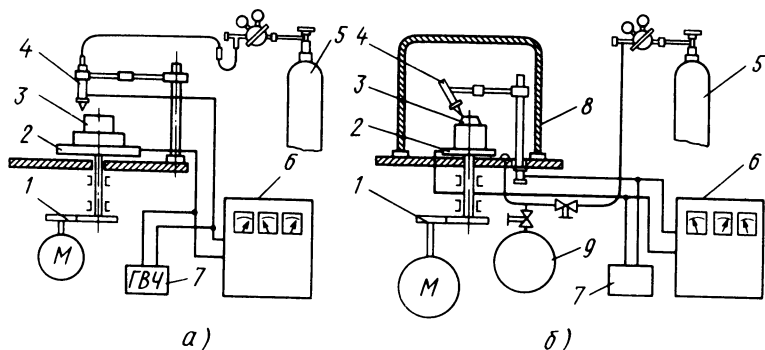


Рис. 33. Установки для аргонодуговой сварки:  
 а — на воздухе с местным обдувом, б — в камере; 1 — привод вращения стола, 2 — стол с патроном, 3 — свариваемые детали, 4 — горелка, 5 — баллон с аргонном, 6 — сварочный генератор, 7 — генератор высокой частоты, 8 — камера, 9 — механический форвакуумный насос

Свариваемые детали 3 закрепляют в патроне стола 2, который вращается от привода 1. В горелку 4 из баллона 5 подается аргон, а между деталями и электродом горелки — разность потенциалов от сварочного агрегата 6. При этом между электродом горелки 4 и деталями загорается дуга и происходит сварка.

Расстояние от электрода горелки до свариваемого шва обычно равно 0,8–2,5 мм. Этот зазор в процессе сварки может меняться на  $\pm (0,2 \div 0,5)$  мм, поэтому центровка шва относительно неподвижной горелки производится оператором "на глаз". Сварку по замкнутому контуру выполняют за один проход, при этом перекрытие шва должно быть минимальным. Сварка не ухудшается, если ось горелки наклонена относительно поверхности деталей на угол  $45^\circ$ .

Сварку в камере применяют, когда к качеству швов предъявляют высокие требования. Камеру предварительно откачивают до давления  $1,33 \div 1,33 \cdot 10^{-1}$  Па и наполняют аргонном с минимальным количеством примесей ( $A_r$  — 99,992%,  $N_2$  — 0,006%,  $O_2$  — не более 0,0007%, водяные пары — не более 0,007%). Внутри камеры размещают приспособления для закрепления деталей и горелки.

Схема установки для аргонодуговой сварки в камере с вращающимся столом и неподвижной горелкой показана на рис. 33, б. Свариваемые детали 3 закрепляют в патроне стола 2, закрываемого герметизирующим колпаком 8. После этого включают механический форвакуумный насос 9, которым откачивается воздух из объема колпака. Закончив откачку, насос выключают, под колпак из баллона 5 напускают аргон и включают привод вращения стола 1. От сварочного генератора 6 между электродом горелки и деталями подается разность потенциалов. При

этом между ними зажигается дуга и происходит сварка. По окончании сварки камеру разгерметизируют и снимают со стола сваренные детали.

Для улучшения ионизации аргона в обеих установках предусмотрен генератор высокой частоты 7, напряжение от которого подается на электрод горелки.

В промышленности используются полуавтоматические камерные установки, которые позволяют выполнять сварку по замкнутому контуру и соединять детали любой конфигурации. На рис. 34, а—г показаны основные соединения, получаемые аргонодуговой сваркой в камере.

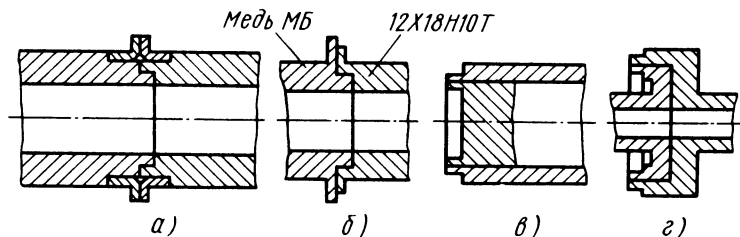


Рис. 34. Соединения, получаемые аргонодуговой сваркой в камере:  
а, б — торцевые из однородных и разнородных металлов, в — телескопическое, г — торцово-телескопическое

При торцевых соединениях однородных (рис. 34, а) и разнородных (рис. 34, б) металлов применяется отбортовка в виде фланцев или припаянные заранее к соединяемым деталям специальные фланцы, которые изготовляют холодной штамповкой из прокатных листов. Полученные таким образом соединения обладают высокой вакуумной плотностью, так как волокна металла расположены вдоль шва.

При соединении разнородных металлов, например меди и нержавеющей стали, диаметр отбортовки более тугоплавкого металла должен быть на 1,5—2 мм меньше диаметра отбортовки менее тугоплавкого. Таким способом сваривают детали анодов, крышки, медные штенгели и металлокерамические элементы с корпусом крупногабаритных электровакуумных приборов.

Телескопическое соединение (рис. 34, в) механически более прочно, чем торцовое, так как сварной шов работает на срез, а не на растяжение. Телескопическое соединение наиболее часто используют для установки и фиксации деталей катодной ножки.

Торцово-телескопическое соединение (рис. 34, г) обеспечивает высокую точность и механическую прочность при сварке деталей, выполненных из меди, а также деталей, работающих под нагрузкой, например сильфонов в механизмах перемещения.

## § 27. Электронно-лучевая сварка

Электронно-лучевая сварка основана на использовании энергии, образующейся при столкновении потока ускоренных электронов со свариваемыми деталями. При этом электроны передают часть своей энергии атомам и молекулам материала деталей, в результате чего температура в зоне действия потока электронов увеличивается.

Электронно-лучевую сварку выполняют в вакууме порядка  $5 \cdot 10^{-3}$  Па, что позволяет сохранить чистоту свариваемых металлов. Кроме того, минимальная деформация свариваемых деталей и высокие физико-механические характеристики сварного шва исключают его последующую механическую и термическую обработку. Прочность сварных соединений при электронно-лучевой сварке значительно выше прочности аналогичных соединений, полученных аргонодуговой сваркой.

Электронный пучок образуется в результате эмиссии электронов с нагретого катода в вакуум и фокусируется на свариваемых деталях электростатическими и электромагнитными линзами. В зависимости от ускоряющего напряжения электроны проникают в материал на глубину  $\sigma = 2,1 \cdot 10^{-12} V^2/\rho$  (где  $V$  — ускоряющее напряжение, В;  $\rho$  — плотность материала, г/см<sup>3</sup>). Скорость сварки обычно составляет 50 мм/с. Производительность установки в основном ограничивается временем загрузки и откачки вакуумной камеры.

Электронно-лучевые сварочные установки состоят из рабочей камеры и источника питания. В рабочей камере размещены электронно-лучевая пушка, устройства перемещения обрабатываемых изделий и другие функциональные элементы, определяемые назначением установки. В камеру входит также система создания и контроля вакуума. Электронная пушка предназначена для генерации, ускорения, фокусировки, а в некоторых случаях — отклонения электронного пучка.

Сварочная электронно-лучевая установка (рис. 35) состоит из вакуумной камеры 5, в верхней части которой размещена электронная пушка 4, подключенная к выпрямителю высокого напряжения 2. Для фокусирования электронного пучка и его перемещения служат электромагнитная фокусирующая линза и отклоняющая система 6. Внутри камеры находится также механизм 7 перемещения свариваемых деталей. Питание системы управления электронного пучка и электродвигателя механизма 7 перемещения деталей осуществляется через электрический вакуумный ввод 3. Вакуум в камере создается вакуумной системой 8. Управляют работой установки с пульта 1.

Электронно-лучевой сваркой в вакууме получают такие же соединения, как сваркой плавлением. Общее требование ко всем видам соединений — предварительная точная сборка. Допустимые зазоры сварных соединений должны быть в пределах 0,1 от толщины свариваемого металла, но не более 0,2 мм.



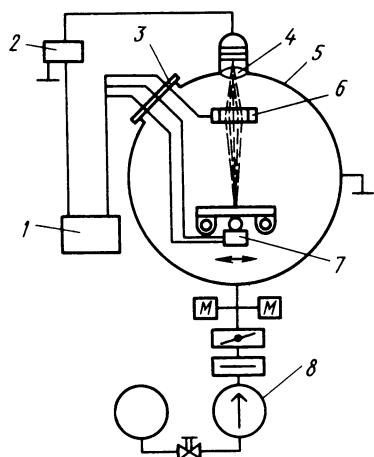


Рис. 35. Сварочная электронно-лучевая установка:

1 — пульт управления, 2 — выпрямитель высокого напряжения, 3 — электрический вакуумный ввод, 4 — электронная пушка, 5 — вакуумная камера, 6 — отклоняющая система, 7 — механизм перемещения свариваемых деталей, 8 — вакуумная система

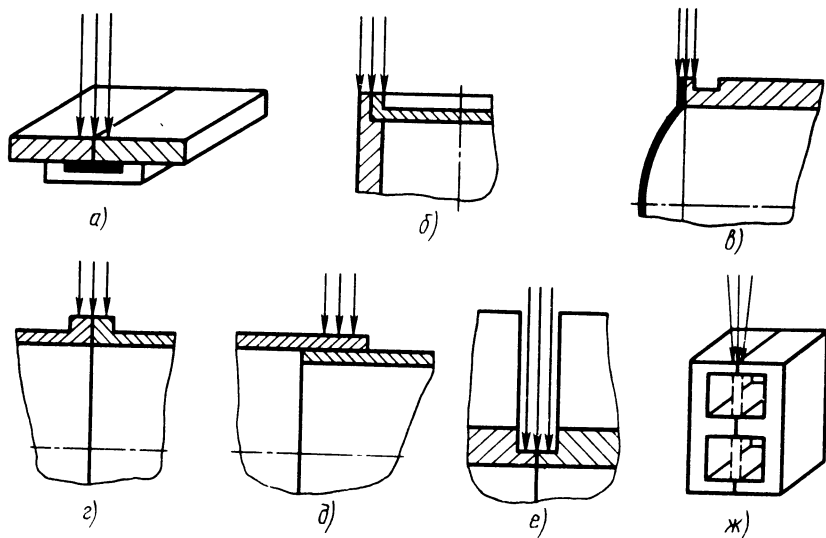


Рис. 36. Соединения, получаемые электронно-лучевой сваркой в вакууме:

а — стыковое, б, в — с отбортовкой и с предварительной разделкой кромок, г, д — внахлест, е — в труднодоступном месте, ж — стыков, расположенных на разной высоте

При электронно-лучевой сварке металлов необходимо тщательно очищать свариваемые кромки от различных загрязнений, особенно от органических веществ, при контакте с которыми жидкого металла в вакууме происходят микровзрывы. При этом появляются дефекты в сварном шве.

Основные типы соединений, получаемых электронно-лучевой сваркой в вакууме, показаны на рис. 36, а—ж.

Электронно-лучевая сварка встык (рис. 36, а) позволяет получать весьма ограниченные по ширине сварные швы при минимальной деформации изделий. При толщине свариваемого металла до 2—3 мм сварка встык может быть выполнена как при чисто поверхностном воздействии пучка, так и внедренным в металл потоком электронов.

Сварка встык высокопрочных сталей и сплавов на основе титана и алюминия, тугоплавких и некоторых цветных металлов больших толщин находит все более широкое применение. При этом могут быть получены сварные швы шириной не более 2—3 мм.

Сварку с отбортовкой кромок вращения (рис. 36, б) в основном ведут в импульсном режиме.

Сварку деталей, значительно отличающихся по толщине (например, мембраны с корпусом), выполняют, предварительно разделив кромку детали большей толщины для выравнивания теплового поля и симметричного проплавления соединения (рис. 36, в). При сварке тонколистовых диафрагм в трубчатые конструкции предварительно отбортовывают кромки. Во избежание коробления толщина диафрагм должна быть не менее 0,3—0,5 мм.

Соединение внахлест широко применяют при сварке разнородных металлов, отличающихся температурой плавления. Процесс осуществляется без расплавления более тугоплавкого металла. Мощность, необходимая для расплавления менее тугоплавкого металла, может быть подведена непосредственно потоком электронов (рис. 36, г) или через тугоплавкий металл (рис. 36, д).

Возможность выполнения сварки в труднодоступных местах (рис. 36, е) является одним из преимуществ электронно-лучевого метода вследствие малого сечения пучка.

Сварка проникающим пучком (рис. 36, ж) позволяет соединять стыки, расположенные на различной высоте.

## § 28. Лазерная и микроплазменная сварка

Л а з е р н а я с в а р к а представляет собой разновидность электрофизического метода обработки. Оптический квантовый генератор (ОКГ) обладает способностью генерировать при соответствующих условиях непрерывные или импульсные световые лучи, характеризующиеся высокой плотностью энергии.

Принцип действия ОКГ основан на том, что свет определенной длины волны, воздействуя на находящиеся на различных энергетических уровнях атомы, возбуждает их, т. е. передает им дополнительную энергию в форме электромагнитного излучения определенной длины волны (обычно в пределах диапазона длин волн видимого света). Кроме генерации ОКГ усиливает излучение; это делает ОКГ источником излучения высокой удельной мощности. Эффектом возбуждения, усиления и генерации излучения обладают различные материалы. В соответствии с этим различают четыре типа ОКГ: твердотельные с оптической накачкой и полупроводниковые, газовые и жидкостные.

Для сварки обычно используют только те лазеры, которые могут обеспечить непрерывный и импульсный (с достаточной частотой) режимы работы. При этом необходимая мощность светового луча должна быть от  $10^7$  до  $10^9$  Вт/см<sup>2</sup>.

Таковыми лазерами являются твердотельные на алюмоиттриевом гранате с неодимом и газовые на углекислом газе, азоте или смеси газов (углекислого, неодима, азота и кислорода).

При лазерной обработке отсутствует механический контакт между соединяемыми деталями и устройствами, служащими для передачи энергии к месту сварки, что исключает возможность попадания в зону шва посторонних примесей, как это происходит при газовой, аргонодуговой и электроконтактной сварке. Малое поперечное сечение сфокусированного светового луча позволяет производить сварку в труднодоступных местах. Кроме того, энергия лазерного излучения проходит через любую пропускающую свет среду. Так, лазером можно сваривать детали, находящиеся в замкнутом оптически прозрачном объеме. Лазерной сваркой как в вакууме, так и в обычной атмосфере можно соединять детали толщиной от 0,01 до 1 мм из любых материалов в любых комбинациях.

Сварочный оптический квантовый генератор показан на рис. 37. Световой поток от источника света 2, питаемого генератором импульсов 1, поступает на активный твердотельный элемент 4, генерируется и в виде луча через выходное полупрозрачное зеркало 3 и фокусирующую линзу 5 направляется на свариваемые детали 6.

Микроплазменная сварка основана на использовании струи ионизированного газа (плазмы), развивающей в месте соприкосновения с обрабатываемыми деталями очень высокие температуры (4000–16 000°С и выше). Плазма образуется при горении электрической дуги в каком-либо газе. Устройства для получения плазмы называют плазменными горелками или плазмотронами.

Микроплазменная сварка позволяет получать высокую концентрацию тепловой энергии и сосредоточивать большую тепловую мощность на небольших участках поверхностей соединяемых деталей, выполненных из любых материалов. При этом швы могут быть любой конфигурации, так как направление струи можно изменять действием внеш-

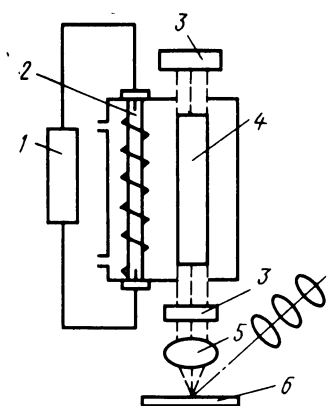


Рис. 37. Сварочный оптический квантовый генератор:  
1 — генератор импульсов, 2 — источник света, 3 — зеркало, 4 — активный твердотельный элемент, 5 — оптическая фокусирующая линза, 6 — свариваемые детали

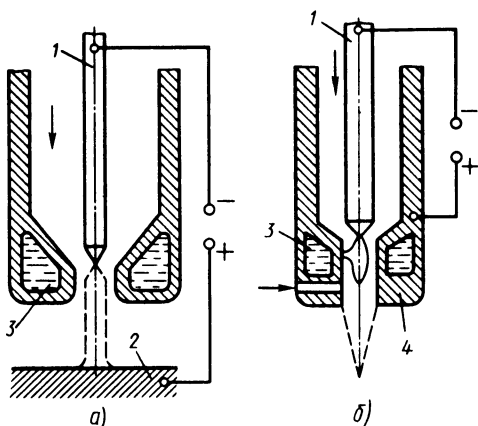


Рис. 38. Плазменные горелки с дугой прямого (а) и косвенного (б) действия:  
1 — электрод, 2 — изделие, 3 — канал охлаждения, 4 — сопло

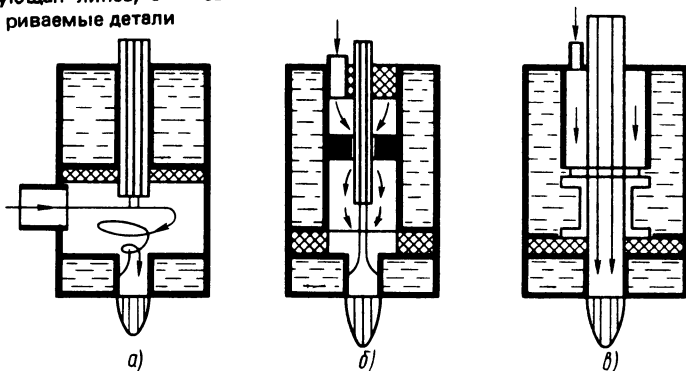


Рис. 39. Способы стабилизации дуги в плазменных горелках обжатием:  
а — вихревым потоком газа, б — газовым продольным слоем, в — стенками сопла

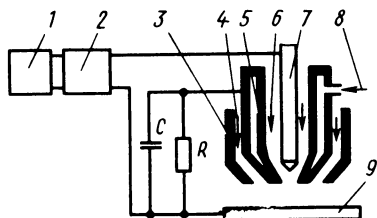


Рис. 40. Установка для микроплазменной сварки:  
1 — источник питания, 2 — высокочастотный генератор, 3, 5 — сопла, 4, 6 — защитный и плазмообразующий инертные газы, 7 — электрод, 8 — трубка подачи охлаждающей воды, 9 — свариваемые детали

него магнитного поля. При микроплазменной сварке используются горелки, в которых дуга горит между вольфрамовым электродом и соединяемыми деталями, а струя плазмы совпадает со столбом дуги.

Для плазменной обработки применяют горелки двух типов. К первому относятся плазменные горелки с дугой прямого действия (рис. 38, а), горящей между электродом 1 и изделием 2. Струя плазмы при этом совпадает со столбом дуги. Ко второму относятся горелки с дугой косвенного действия (рис. 38, б), горящей между электродом 1 из тугоплавкого материала и охлаждаемым соплом 4. При этом плазмообразующий газ выходит в форме струи плазмы, отделяющейся от дуги.

Для устойчивой работы плазменных горелок и повышения срока службы сопл дугу вдоль продольной оси горелки стабилизируют обжатием вихревым потоком газа (рис. 39, а), газовым продольным слоем (рис. 39, б) и стенками сопла (рис. 39, в).

При стабилизации вихрем обжатие дуги производится потоком газа, тангенциально подаваемого в дуговую камеру. В центре потока образуется область разрежения, через которую проходит дуга. Сила, возникающая при вращении потока, прижимает слой холодного газа к стенкам, создавая изоляцию сопла и располагая дугу вдоль его вертикальной оси.

При стабилизации газовым слоем газ течет аксиально, образуя слой, ограничивающий дугу. Вихревая стабилизация позволяет получать более концентрированную и жесткую дугу, диаметр которой меньше диаметра дуги, получаемой при стабилизации газовым слоем.

При стабилизации стенками сопла диаметр канала сопла выбирают соизмеримым диаметру столба дуги. При этом толщина пограничного слоя и расход через него холодного газа уменьшаются, что увеличивает среднюю температуру газа.

В качестве стабилизирующих дугу (плазмообразующих) газов в плазмотронах применяют различные химические малоактивные газы: аргон, гелий и смеси их с азотом, водородом, аммиаком, а также чистый азот.

Установка микроплазменной сварки показана на рис. 40. При подаче разности потенциалов от источника питания 1 между электродом 7 и свариваемыми деталями 9 зажигается дуга. При этом в сопло 5 подается плазмообразующий инертный газ 6, который при горении дуги ионизируется. Сопло 5 охлаждается водой, проходящей через трубку 8. В сопло 3 подается инертный газ 4, предохраняющий свариваемый шов от окисления. Для дополнительного разогрева плазмы до 2000°С в установке предусмотрен высокочастотный генератор 2.

## § 29. Электроконтактная сварка

При электроконтактной сварке соединяемые детали нагреваются проходящим через них током. Высокое сопротивление в точке контакта

позволяет нагреть место сварки выше температуры плавления соединяемых металлов. При этом детали почти не нагреваются.

При контактной точечной сварке сближение деталей и образование соединения происходит в результате пластической деформации и плавления при одновременном воздействии усилия сжатия и теплоты, выделяемой электрическим током, протекающим через детали. Причем приложение усилия сжатия и подвод тока выполняются одним и тем же инструментом — электродами.

Процесс образования сварного соединения в деталях небольшой толщины разделяется на ряд этапов: создание контакта; нагрев; осадка; плавление; соединение.

Прочность и надежность получаемых соединений в значительной степени определяются качеством сварочного оборудования, среди которого наиболее распространенным является монтажно-сварочный стол, оснащенный сварочным станком с понижающим трансформатором и устройствами для регулирования силы тока, времени прохождения импульсов и усилия сжатия. Свариваемые детали зажимаются между двумя — подвижным (верхним) и жестко закрепленным (нижним) — электродами сварочной головки станка.

Наиболее простой по конструкции является инерционная сварочная головка (рис. 41, а) монтажно-сварочного стола, подвижная система которой состоит из вертикально перемещающегося в цилиндрических направляющих штока 4, соединенного тягой с педалью. Держатель верхнего (подвижного) 1 электрода выполнен как одно целое со штоком. Рабочая пружина, задающая усилие сжатия при сварке, установлена под

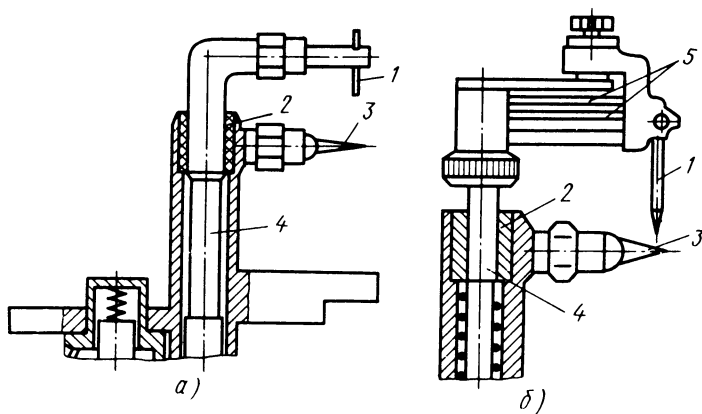


Рис. 41. Сварочные головки:  
а — инерционная, б — малоинерционная; 1, 3 — верхний и нижний электроды, 2 — направляющая, 4 — шток, 5 — плоские пружины

педалью. После соприкосновения электродов шток и тяга останавливаются, а педаль продолжает движение, замыкая контакт включения сварки.

Простая и надежная, эта головка хорошо зарекомендовала себя. Однако соединять ею неплоские детали при коротких и средних длительностях импульсов сварки нельзя, так как появляются выплески металла вследствие большой массы движущихся частей.

Малоинерционная сварочная головка монтажно-сварочного стола (рис. 41, б) имеет держатель верхнего 1 электрода, который крепится к штоку 4 с помощью параллельных друг другу плоских пружин 5, что позволяет ему перемещаться в небольших пределах относительно штока. Это значительно снижает инерционность механизма и уменьшает количество выплесков.

Для сварки деталей сверхминиатюрных электровакуумных приборов, к качеству которых предъявляют повышенные требования, разработана специальная сварочная головка, имеющая устройство регулирования усилия сжатия. Достоинствами этой головки являются небольшая инерционность (ее масса 50 г) и большой диапазон изменения усилий сжатия. Кроме того, конструкцией предусмотрено устранение перекосов, уменьшение люфтов и трения деталей подвижной системы головки, что особенно важно при сборке изделий под микроскопом.

Для контактной роликовой сварки используется оборудование, в конструкцию которого заложены те же принципы, что и для точечной. Различие состоит в том, что вместо верхнего и нижнего электродов в сварочную головку монтируются вращающиеся ролики. Иногда нижним электродом служит оправка, придающая форму свариваемым деталям.

При контактной стыковой сварке не электроды, а соединяемые детали закрепляют в держателях и сближая их прикладывают усилие в осевом направлении, пропуская через них ток. Примером промышленного применения контактной стыковой сварки является изготовление двух- и трехзвенных выводов, служащих в электровакуумных приборах для передачи тока от цоколя к сеткам, анодам, катодам, подогревателям и другим электродам (рис. 42, а—в).

Медная проволока (рис. 42, а), сматываясь с катушки 1, проходит правильное устройство 2, подается на требуемую длину механизмом 3, зажимается в губках револьверной четырехпозиционной головки 5 и отрезается механизмом 4. Затем головка поворачивается на  $90^\circ$  и отрезанное медное звено переносится на позицию сварки с платинитом (в так называемую нижнюю зону сварки).

Одновременно платинитовая проволока (рис. 42, б), поступающая с катушки 12, проходит правильное устройство 13, электроспираль 11 для поджошки и устанавливается на линии сварки направляющей вилкой 6 и губками центрального зажима 7.

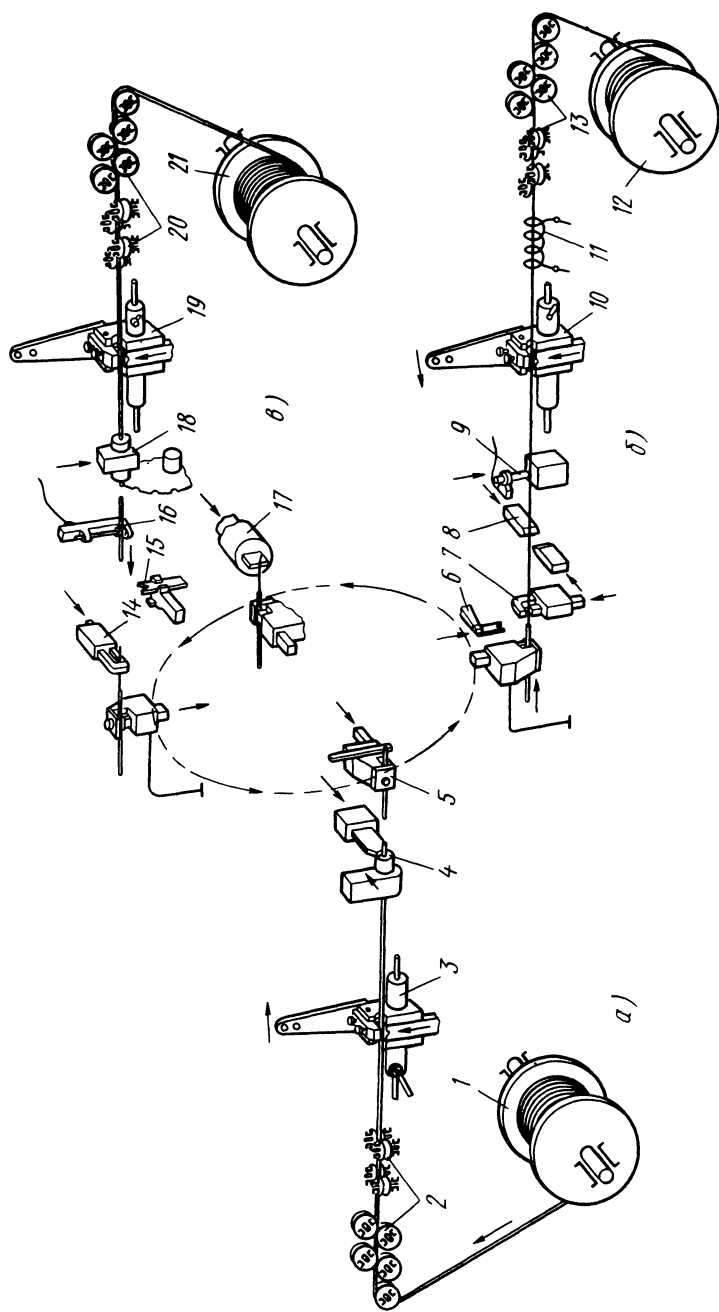


Рис. 42. Изготовление трехжильных выводов на автомате контактной стыковой сваркой:

а-в — линии подачи медной, платиновой и никелевой проволоки; 1, 12, 21 — катушки с медной, платиновой и никелевой проволокой, 2, 13, 20 — направляющие устройства, 3, 10, 19 — механизмы подачи проволоки, 4, 8, 18 — механизмы отрезки, 5 — револьверная четырехпозиционная головка, 6, 15 — направляющие вилки, 7, 14, 16 — зажимы, 9 — просекатель, 11 — электрическая спираль, 17 — центрирующее приспособление



Затем просекатель 9, электрически соединенный с конденсаторами, рассекая слой флюса (буры), замыкает электрическую цепь и в результате резкого перемещения губок револьверной головки 5 (рис. 42, а) и соприкосновения концов медного звена и платинитовой проволоки возникает сваривающий их электрический разряд.

После этого приваренное к медному звену звено платинита отрезается механизмом 8 (рис. 42, б), затем губки зажима 7 разжимаются, револьверная головка поворачивается на  $90^\circ$  и звено платинита для облегчения его центровки на следующей позиции подгибается центрирующим приспособлением 17 (рис. 42, в). Револьверная головка поворачивается еще раз на  $90^\circ$  и устанавливает медно-платинитовое звено на позицию сварки с никелевой частью вывода (в так называемую верхнюю зону сварки), где оно зажимается губками зажима 14.

Никелевая проволока, сматываясь с катушки 21, проходит правильное устройство 20, центровку направляющей вилкой 15, зажимается губками зажима 16 и отрезается механизмом 18. Затем отделенное звено отводится на 0,8—1 мм и в результате резкого движения зажима 16 в сторону зажима 14 концы никелевого и платино-медного звеньев соприкасаются, между ними возникает электрический разряд и происходит сварка. Перед поворотом револьверной головки в исходное положение губки зажимов 14, 16 и револьверной головки открываются и готовый электрод переносится съемником в лодочку.

### § 30. Диффузионная сварка

Диффузионной сваркой соединяют как металлические, так и неметаллические материалы, и она ведется в твердом состоянии при температуре, составляющей 0,5—0,9 температуры плавления более легкоплавкого из свариваемых материалов. Этим способом можно получать прецизионные соединения, так как прикладываемое давление обычно не превышает предела текучести более пластичного из свариваемых материалов. Выдержка под давлением равна от 2 до 20 мин.

Диффузионную сварку выполняют в вакууме, восстановительной или защитной среде, что исключает окисление соединяемых поверхностей и создает условия для их обезгаживания. Основным достоинством диффузионной сварки является возможность ее использования для соединения без припоев и флюсов разнообразных металлов, а также металлов с керамикой, стеклом и другими материалами при любых соотношениях их толщины. Это позволяет изготавливать различные детали и получать пластины биметаллов, триметаллов, а также более сложных композиционных материалов.

Диффузионная сварка обеспечивает высокую размерную точность деталей и сборочных единиц, соединенных по плоской, конической, сферической и сложной рельефной поверхностям. Применение этого

способа вместо пайки. снижает массу как сборочных единиц, так и приборов в целом. Все это существенно повышает качество, надежность и долговечность приборов и устройств электронной техники.

Процесс диффузионной сварки можно разбить на три стадии:

физическое (механическое, электростатическое и вандер-ваальсовское) взаимодействие между деталями, свидетельствующее об образовании фактического контакта поверхностей;

химическое взаимодействие (схватывание) при необходимом уровне активации поверхностей;

объемное развитие взаимодействия в контактной зоне, определяемое диффузионными процессами и сопровождающееся равномерным распределением внутренних напряжений.

Для соединения деталей электровакуумных приборов наиболее часто используют диффузионную сварку в вакууме при  $1,33 \cdot 10^{-1} - 1,33 \cdot 10^{-6}$  Па с нагревом находящихся в контакте деталей при приложе-

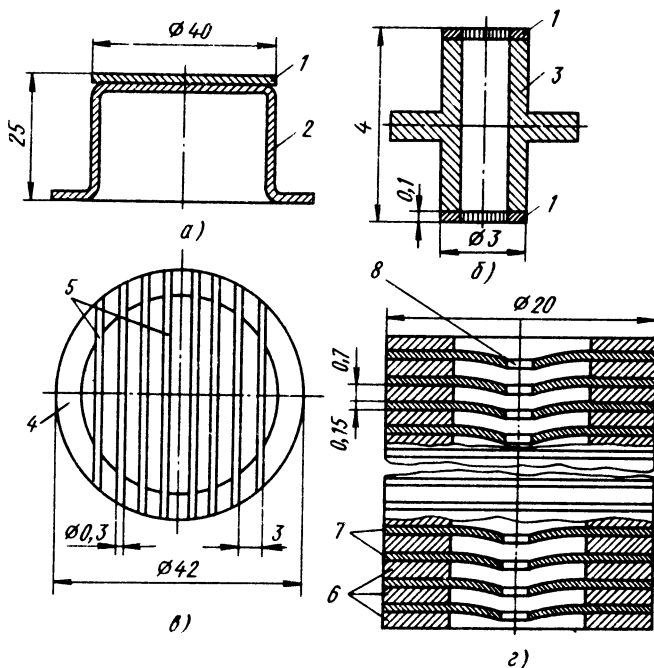


Рис. 43. Элементы приборов, изготавливаемые диффузионной сваркой:

а, б — аноды мощных газоразрядных приборов, в, г — сетки клистронов и ламп обратной волны; 1 — пластины, 2 — колпак, 3 — цилиндр, 4 — рамка, 5 — стержни, 6 — кольца, 7 — диафрагмы, 8 — отверстия

нии к ним давления. Этот метод успешно применяют при изготовлении различных термоэлектронных, вторично-эмиссионных, холодных и других типов катодов, а также анодных и сеточных блоков лучевых и газоразрядных приборов средней и большой мощности. Детали катодов, анодов и сеток выполняются из никеля, молибдена, титана, вольфрама, меди, кобальта.

В качестве примера на рис. 43, а—г показаны аноды мощных газоразрядных приборов, сетки клистрона и лампы обратной волны, изготовленные диффузионной сваркой. В анодах соединение колпака 2 и пластины 1 (рис. 43, а), а также цилиндра 3 к пластины 1 (рис. 43, б), изготовленных из молибдена и меди, выполнено соответственно по поверхности и по кольцу.

Сеточные блоки выполнены соответственно соединением медной рамки 4 и вольфрамовых стержней 5 (рис. 43, г) и медных колец 6 и вольфрамовых диафрагм 7, имеющих отверстия 8. Сетки и аноды, изготовленные таким образом, имеют надежный тепловой контакт, высокие механическую прочность и термостойкость. В тех приборах, где аноды одновременно являются оболочкой прибора, полученные диффузионной сваркой соединения их частей обладают достаточной вакуумной плотностью.

### § 31. Основные сведения о пайке

В электровакуумном производстве пайку широко применяют при сборке различных функциональных элементов приборов, например анодных блоков коаксиальных магнетронов, имеющих сто резонаторов и более, замедляющих систем ламп обратной волны, керамических изоляторов СВЧ-приборов и др.

Пайка основана на способности металлов смачиваться расплавленным припоем при проникновении его в зазор между соединяемыми деталями и последующей взаимной диффузии припоя в основной металл и основного металла в припой с образованием сплавов в виде твердых растворов или химических соединений.

В электровакуумном производстве широко применяют пайку нагревом соединяемых деталей специальными нагревателями (теплоизлучением), пропусканием электрического тока (сопротивлением) или токами высокой частоты (индукционная) в среде водорода или вакуума. Кроме того, для соединения деталей используют электроконтактную пайку на воздухе.

В водороде паяют никель, бескислородную медь, кобальт, различные стали, железоникелевые сплавы, константан и другие металлические материалы, не вступающие с ним в реакцию. Водород защищает металлы от воздействия воздуха, восстанавливает окислы и обеспечивает возможность пайки без применения флюсов. Наилучшим для пай-

ки считается водород, осушенный до точки росы  $-(40\div 50)^{\circ}\text{C}$  и содержащий не более 0,003—0,005% кислорода.

В связи с тем что тонкая очистка водорода требует частой регенерации или замены очищающих веществ, в производстве нередко используют водород с пониженными требованиями к содержанию примесей, который достаточно активно восстанавливает оксиды таких металлов, как никель, медь, константан.

Более затруднительным является восстановление в таком водороде оксидов на поверхности деталей из кобальта, железоникелевых сплавов, железа и углеродистых сталей и особенно нержавеющей стали 12Х18Н10Т, а также других сплавов, содержащих хром. При этом детали покрываются очень устойчивой, плотной и прочной пленкой, совершенно не смачиваемой припоями. Однако необходимо отметить, что пайка в водороде даже тонкой очистки может быть затруднена или невозможна вследствие выделения паров воды и кислорода из обрабатываемых деталей, внутренней арматуры или футеровки печей.

В вакууме паяют преимущественно детали из труднообжигаемых (молибден, титан) в водороде или реагирующих с ним (бронза, медь) металлов, а также если к чистоте шва и прилегающих к нему зон предъявляют повышенные требования. Наилучшие результаты получают при пайке мелких и крупногабаритных со значительным газотделением деталей в вакууме соответственно  $1,33\text{--}1,33\cdot 10^{-1}$  и  $1,33\cdot 10^{-2}\text{--}1,33\cdot 10^{-4}$  Па.

Для улучшения условий пайки в вакууме детали из молибдена и титана перед пайкой должны быть последовательно покрыты гальваническим способом слоями меди, никеля, а иногда и серебра. Так, для молибдена слой меди должен быть 3—5 мкм, а слой никеля 7—10 мкм. Гальванические покрытия предупреждают вызывающую течи межкристаллическую коррозию таких, например, сплавов, как ковар, и улучшают смачиваемость молибдена и титана.

Растекаемость припоев и диффузионные процессы при пайке в значительной степени зависят от состояния поверхности деталей, их взаимного расположения и крепления, а также формы и размещения припоев. Для пайки целесообразно применять детали с шероховатой поверхностью, так как микронеровности способствуют лучшему растеканию припоев и получению более прочных соединений.

Перед пайкой детали очищают: обезжиривают в горячем трихлорэтилене, травят в кислотах и щелочах.

Проникновение расплавленного припоя в зону пайки под действием капиллярных сил зависит от зазора между деталями, который обычно колеблется в пределах 0,05—0,15 мм и назначается в соответствии с геометрическими размерами и конструктивными особенностями деталей, а также свойствами соединяемых металлов с учетом их температурного коэффициента расширения.

Очень малые зазоры припой может не заполнить, что вызывает появление пустот в шве, понижает прочность, герметичность и другие показатели соединения. При больших зазорах действие капиллярных сил может оказаться недостаточным для затягивания припоя в шов, что, в свою очередь, снижает прочность и вакуумную плотность соединений.

Припой обычно применяют в виде колец из проволоки или фольги. Проволочный припой лучше располагать над швом, по возможности ближе к зазору, что способствует действию капиллярных сил и позволяет одновременно использовать силу тяжести. Припой в виде фольги целесообразно закладывать в зазор между плоскостями соединяемых деталей.

## § 32. Прецизионная пайка на оправках

В электровакуумном производстве применяют прецизионную пайку в вакууме или водороде на точных оправках, при которой получают соединения, не требующие дополнительной механической обработки. Кроме того, пайка на оправках имеет следующие достоинства: экономична, так как соединяемые детали получают холодной штамповкой, а точные оправки выдерживают несколько десятков и даже сотен паяк; несмотря на довольно высокую стоимость изготовления, их стоимость, приходящаяся на одну пайку, невелика; размеры оправок необходимо периодически — через 10—20 паяк — контролировать; обеспечивает возможность организации поточного производства.

В зависимости от конструктивных особенностей соединяемых деталей оправка может быть удалена после сборки или после пайки. Первый способ обеспечивает меньшую точность и поэтому применяется редко. При втором способе оправка может прилипнуть к деталям и при удалении ее можно повредить, снизив точность или даже сделав непригодной для пайки последующих деталей. Особенно это относится к оправкам, предназначенным для пайки деталей, диаметр которых в несколько или даже в десятки раз меньше длины. Чтобы облегчить удаление таких длинных и тонких оправок, на их фиксирующих поверхностях дополнительно фрезеруют три, а часто и четыре лыски.

В качестве материала для оправок в основном используют нержавеющую сталь 12Х18Н10Т, а иногда — медь и керамику. Чтобы к оправке, изготовленной из стали 12Х18Н10Т, не прилипал припой, ее необходимо отжечь во влажном водороде при 900—1000° С. Медные оправки для этого хромируют, а затем также отжигают во влажном водороде, меньше всего припой прилипает к оправкам из керамики, выполненным в виде шлифованных стержней, подставок, дисков, колец и др.

Для прецизионной пайки обычно используют дозированные припои в виде проволочных колец, дисков из фольги, а также скобок из проволоки или фольги. Проволочные припои имеют диаметр 0,2; 0,3; 0,5; 0,7; 0,8; 1 мм.

Для пайки крупногабаритных деталей наиболее часто используют проволоочный припой диаметром 0,8 и 1,0 мм, а мелких — 0,3 и 0,5 мм, который закладывают в канавки, специально выполненные в одной из соединяемых деталей. Иногда припой в виде кольца помещают на поверхность одной из соединяемых деталей. На очень большие соединяемые детали (диаметром более 180—200 мм) укладывают два, а в отдельных случаях и три кольца припоя. Объем припоя должен быть на 20—30% больше объема зазора между соединяемыми деталями. Поэтому диаметр проволоочного припоя необходимо выбирать в зависимости от оптимального объема зазора, учитывая допуски на детали, температурного коэффициента расширения материалов соединяемых деталей и температуры пайки.

Припой, изготовленный из фольги в виде дисков, прокладывают обычно между двумя плоскими соединяемыми деталями. Наиболее распространены фольговый припой толщиной 0,05 или 0,1 мм. Прецизионные оправки применяют для пайки элементов электровакуумных приборов, состоящих из большого количества одинаковых деталей (пакетированных конструкций).

В качестве примера можно привести пайку в оправке замедляющей системы диафрагменного волновода мощных ламп бегущей волны, состоящего из большого количества одинаковых цилиндров, между которыми прокладывают медный припой в виде колец из фольги. Иногда припой наносят гальваническим способом.

Примером также является пайка в оправке керамического изолятора анодного блока мощной импульсной модуляторной лампы, который состоит из нескольких керамических стаканов, колец и коваровых манжет. При пайке используют медный припой в виде колец из фольги или проволоки. Диафрагменные волноводы и керамические изоляторы паяют в водородных печах.

### § 33. Припои и флюсы

В зависимости от назначения паяных соединений применяют пайку твердыми или мягкими припоями. При пайке твердыми припоями с температурой плавления выше  $550^{\circ}\text{C}$  соединение имеет значительную механическую прочность. Пайка мягкими припоями, которые плавятся при температуре ниже  $400^{\circ}\text{C}$ , характеризуется незначительной прочностью получаемых соединений.

В электровакуумном производстве для соединения внутренних деталей приборов преимущественно используют пайку твердыми припоями, в результате которой получают прочные вакуумно-плотные швы, способные выдерживать нагрев и сохраняющие необходимые значения электро и теплопроводности. Давление паров припоев в вакууме не должно быть выше давления паров соединяемых металлов при мини-

мальном содержании в них примесей, выделяющихся при работе прибора и оказывающих вредное влияние на другие его детали и сборочные единицы.

Пайку мягкими припоями применяют главным образом для соединения внешних деталей приборов (например, штырьков с выводами ламп).

Растекаемость припоев зависит от шероховатости соединяемых поверхностей, их смачиваемости расплавленным припоем, его поверхностного натяжения, жидкотекучести. Растекаемость может характеризоваться отношением площади, занимаемой припоем до расплавления, к площади, занимаемой им после расплавления. Смачиваемость может быть удовлетворительной лишь при полном отсутствии на соединяемых поверхностях оксидов других соединений, наличие которых на отдельных участках может привести к нарушениям вакуумной плотности шва при его достаточной механической прочности.

Для пайки деталей электровакуумных приборов в основном применяют припои на основе серебра, меди и золота (табл. 4).

Т а б л и ц а 4. Припои

| Наименование и состав припоя                                  | Марка         | Температура плавления, °С | Сплавляемые металлы                          |
|---|---------------|---------------------------|--|
| Медь  | М6            | 1083                      | Ковар — ковар, сталь — сталь                 |
| Анодное серебро   | ПСр100        | 960                       | Медь — медь, медь — ковар                    |
| Медно-серебряный эвтектический (72% Ag; 28% Cu)               | ПР72          | 780                       | Медь — медь, медь — ковар, медь — сталь      |
| Медно-серебряный фосфористый (сильфос) (15% Ag; 80% Cu; 5% P) | ПСрМФ15-80-15 | 640—700                   | Медь — медь, ковар — молибден, ковар — ковар |
| Медно-серебряно-индиевый (85% Cu; 10% Ag; 5% In)              | ПМСрИн5       | 900—950                   | Медь — медь, сталь — сталь, медь — сталь     |
| Индиевый (27% Cu; 63% Ag; 10% In)                             | Ин 10         | 685—710                   | Медь — ковар, медь — медь, медь — сталь      |
| Индиевый (30% Cu; 65% Ag; 5% In)                              | Ин 5          | 770—800                   | То же  |
| Золото-медный (63% Cu; 37% Au)                                | ЗЛМ37         | 960                       | „  |

Для улучшения смачиваемости используют флюсы на основе тетраборнокислого натрия  $\text{Na}_3\text{B}_4\text{O}_7$ . В зависимости от соединяемых материалов в состав флюсов вводят интенсификаторы, например фтористый кальций  $\text{CaF}_2$ . Так, для пайки медных деталей применяют флюс, содержащий 40%  $\text{Na}_3\text{B}_4\text{O}_7$ , 40% борной кислоты и 20% соды, а деталей из стали 12Х18Н10Т — флюс № 200, содержащий 20%  $\text{Na}_3\text{B}_4\text{O}_7$ , 70% борной кислоты и 10% фтористого кальция.

Скорость взаимной диффузии и смачиваемость повышаются с ростом температуры и времени пайки. Однако чтобы избежать структурных изменений и возможных деформаций деталей, температуру пайки устанавливают обычно не более чем на 40–50° С выше температуры плавления припоя. Продолжительность нагрева и выдержка деталей при температуре пайки должны быть достаточными для протекания диффузионных процессов и определяться габаритами соединений, их расположением по отношению к источнику теплоты, активностью среды, размерами зазоров и др.

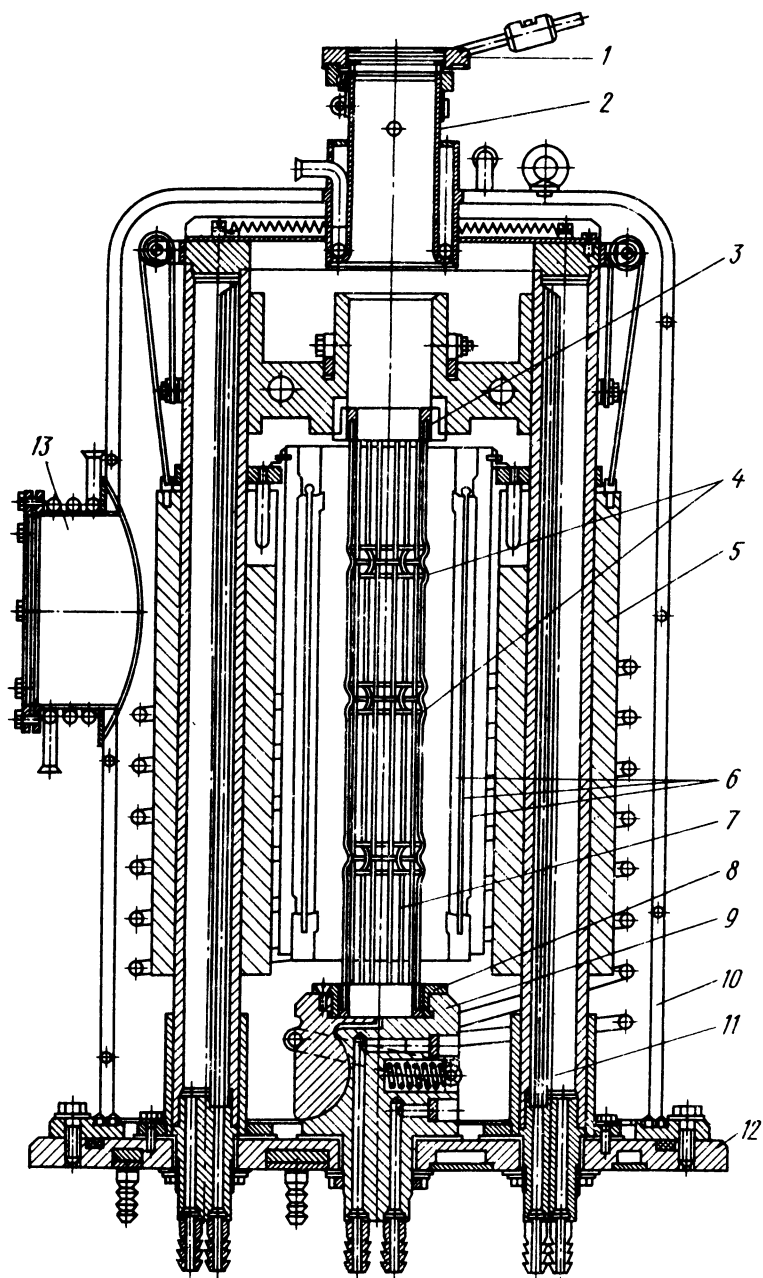
#### § 34. Оборудование, применяемое для пайки

Для пайки в водороде широко используют колпаковые электропечи различной мощности, технические характеристики которых приведены в табл. 5.

Т а б л и ц а 5. Технические характеристики колпаковых водородных электропечей

| Тип печи | Номинальная мощность, кВт | Число рабочих камер | Рабочая температура, °С | Размеры рабочего пространства, мм |        |
|----------|---------------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------------------|--------|
|          |                           |                     |                         | диаметр                           | высота |
| A560-01  | 10                        | 2                   | 1250                    | 140                               | 180    |
| A560-02  | 12                        | 2                   | 1200                    | 140                               | 180    |
| ЦЭП-240  | 15                        | 2                   | 1200                    | 140                               | 140    |
| A560-04  | 25                        | 1                   | 1250                    | 220                               | 300    |
| A560-09  | 25                        | 1                   | 1200                    | 200                               | 280    |
| A560-11  | 25                        | 2                   | 1200                    | 200                               | 280    |
| ЦЭП-241  | 35                        | 1                   | 1150                    | 210                               | 300    |
| A560-03  | 100                       | 1                   | 1250                    | 480                               | 650    |
| A560-06  | 100                       | 1                   | 1200                    | 400                               | 650    |
| И059.007 | 140                       | 1                   | 1200                    | 480                               | 600    |
| ЦЭП-370  | 225                       | 1                   | 1200                    | 300                               | 1200   |
| И059.005 | 250                       | 1                   | 1200                    | 800                               | 1200   |





На рис. 44 показана технологическая камера высокотемпературной водородной печи, смонтированная на стальной плите — основании 12. Камера охлаждается водой, подаваемой по двум кольцевым каналам, и закрыта колпаком 10, между двойными стенками которого также циркулирует вода. Внутри колпака помещены нагреватель 7, токопроводящее устройство 9 и экраны 6. В верхней части колпака находится загрузочное окно 2, закрытое крышкой 1, в которую вставлено стекло, позволяющее наблюдать за работой и контролировать температуру по оптическому пирометру.

В боковой стенке имеется фланец 13, закрытый алюминиевой фольгой, служащей предохранительным клапаном в случае воспламенения водорода. Фланец охлаждается водой, подаваемой по змеевику. Нагреватель изготовлен из вольфрамовых проволок диаметром 2 мм, концы которых закреплены в верхнем 3 и нижнем 8 башмаках, залиты никелем и для предохранения от деформации во время нагрева обвиты вольфрамовыми ободками 4. Из-за значительного удлинения нагревателя при разогреве верхний башмак 3 сделан подвижным. Для натяжения вольфрамовых проволок нагревателя служат грузы 5, закрепленные на тросах, пропущенных через ролики.

Как верхний, так и нижний башмаки выполнены из двух частей, стягиваемых пружинами и планками для обеспечения надежного электрического контакта. На нижний башмак напряжение подается через зажим, надеваемый на его цилиндрическую часть, а на верхний — по двум стойкам 11 и гибкой шине. Нижний и верхний башмаки и обе токопроводящие стойки охлаждаются проточной водой. Теплоизолирующие экраны 6 выполнены в виде цилиндров из листового молибдена и собраны с воздушными промежутками.

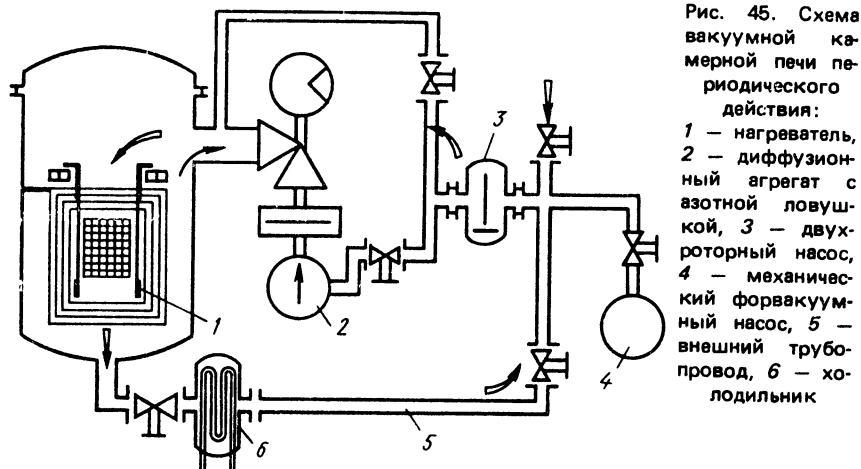
Предназначенные для пайки детали помещают в рабочую зону печи, опускают и закрепляют колпак и продувают камеру азотом. Продувка необходима для взрывобезопасности среды, а также повышения ее чистоты, что является одним из решающих условий качественной пайки. После продувки азотом в камеру напускают водород до тех пор, пока взятая в пробирку проба газа сгорает без хлопка. Затем водород поджигают на выходе его из печи.

При пайке деталей кроме температуры (на 50–60°С выше температуры плавления припоя) и выдержки необходимо поддерживать определенные скорости нагрева и охлаждения, от чего зависит качество получаемых соединений. Окончив пайку и охладив детали до температуры, при которой не опасно действие воздуха (обычно 50–60°С), камеру вновь продувают азотом, после чего поднимают колпак и выгружают детали.

---

Рис. 44. Технологическая камера высокотемпературной водородной печи:  
1 — крышка, 2 — загрузочное окно, 3, 8 — верхний и нижний башмаки, 4 — ободки, 5 — грузы, 6 — экраны, 7 — нагреватель, 9 — токопроводящее устройство, 10 — колпак, 11 — стойки, 12 — плита-основание, 13 — фланец

Для пайки в вакууме применяют камерные печи периодического действия (рис. 45). Корпус печи изготовлен из нержавеющей стали 12Х18Н10Т и охлаждается проточной водой. Тепловая изоляция выполнена в виде набора металлических экранов, из которых самый



близкий к нагревателю изготовлен из материала нагревателя, а последующие — из нержавеющей стали, никеля и меди в порядке убывания температур. Загружают детали через верхнюю крышку.

Нагреватель 1 в зависимости от предельной рабочей температуры изготавливается из ниобиевой, молибденовой, танталовой или титановой жести. Откачка технологической камеры до давления  $1,33 \cdot 10^{-5}$  Па осуществляется диффузионным агрегатом 2 с азотной ловушкой, двухроторным насосом 3 и механическим форвакуумным насосом 4. В печи оригинально решен вопрос ускоренного охлаждения соединяемых деталей, которое достигается принудительной циркуляцией защитного газа (азота) с помощью двухроторного насоса. Во внешнем трубопроводе 5 циркуляционной системы предусмотрен холодильник 6, охлаждающий выходящие из печи остаточные газы.

### § 35. Техника безопасности при сварке и пайке

На сварочных участках необходимо строго соблюдать правила техники безопасности.

Электросварочные работы, как правило, можно выполнять только в специально предназначенных помещениях, которые должны соответствовать нормативным документам. В многопролетных зданиях заготовительных цехов сварочные участки должны быть изолированы щитами

(ширмами), устанавливаемыми между пролетами. Электросварочные цехи и участки должны иметь проходы шириной не менее 6 м. В цехах с небольшим количеством сварочных постов для сварки малых и средних деталей работы необходимо проводить в кабинах закрытого типа площадью не менее 2 м<sup>2</sup>.

Для защиты окружающих от действия электрической дуги рабочие места электросварщиков должны быть ограждены переносными щитами или ширмами.

Размещение в одной кабине двух или более сварных постов допускается лишь при условии разделения ее щитами, изолирующими сварщиков друг от друга. Работать вдвоем в одной не разделенной щитами кабине можно только при сварке одного изделия.

Хранение огнеопасных материалов (бензина, ацетона, спирта и др.) на месте производства сварочных работ запрещено.

Сварочные участки должны быть оборудованы вентиляцией. Большое внимание должно быть уделено освещению. Независимо от принятой системы освещенность должна быть не менее 50 лк при лампах накаливания и 150 лк при люминесцентных.

Для защиты глаз от действия дуги, а также брызг расплавленного металла необходимо работать в очках с чешуйчатой оправой или пользоваться щитками с защитными стеклами ГС-3, ГС-7, ГС-12.

Рабочие места должны быть оборудованы специальными сиденьями. Запрещается для этой цели использовать ящики или случайные предметы. Перед работой необходимо проверить заземление сварочных агрегатов и автоматов.

При газовой сварке следует обращать особое внимание на герметичность газопроводящих магистралей, шлангов и запорной арматуры. Даже при незначительных утечках работать категорически запрещается. Неплотность в газовых магистральных можно устранять только после полного снятия давления. Подтяжка гаек или какой-либо ремонт соединений, находящихся под давлением, запрещается.

Ко всем видам сварочных работ рабочие и операторы допускаются только после соответствующего инструктажа, который проводит мастер.

На участках пайки также должны строго соблюдаться правила техники безопасности. При эксплуатации оборудования для пайки должны быть предусмотрены мероприятия против поражения электрическим током, взрывом газовых смесей, а также светового и теплового излучения.

Для предупреждения поражения электрическим током необходимо: заземлять корпуса источников питания, а также все металлические части и вторичные витки нагревательного контура в высокочастотных установках;

защищать кожухами все устройства для подключения и переключения электрических цепей;

устанавливать при индукционном нагреве для защиты от действия токов высокой частоты специальные экраны;

не проводить ремонтных работ на установках, находящихся под напряжением.

Для предупреждения взрывов газовых смесей необходимо следить за герметичностью газовых систем и применять арматуру и приборы только установленного образца, не допускать образования в печах взрывоопасных концентраций газовых смесей, постоянно следить за исправностью газового оборудования.

Для защиты от светового и теплового излучения следует применять соответственно специальные светофильтры и отражающие экраны.

### § 36. Высокотемпературные глазури и цементы

Высокотемпературные глазури, изготавливаемые из различных стекол, растертых в порошок, иногда называют стеклянными припоями. Глазури предназначены для соединения деталей из стекла, слюды, керамики, металлов и имеют температуру размягчения значительно более низкую, чем температура размягчения соединяемых деталей, которые при сборке не должны деформироваться.

К свойствам глазурей предъявляют ряд требований, которые трудно, однако, удовлетворить все одновременно. Так, глазурь должна быть однородной по составу и не растрескиваться после расплавления (т.е. не переходить из стеклообразного состояния в кристаллическое) даже при длительном нагреве, иметь вязкость при температуре пайки  $10^4$ — $10^6$  Па и при этом обладать достаточной, но не слишком высокой текучестью и хорошо смачивать место спая. Глазурь и соединяемые материалы должны быть согласованы по коэффициентам температурного расширения (КТР).

Стеклянные глазури должны активно взаимодействовать с поверхностью соединяемых деталей, т.е. образовывать химические соединения, твердые растворы и не разлагаться при нагреве в вакууме. Газовыделение их при этом должно быть минимальным. Этим требованиям наиболее полно отвечают глазури на основе оксида бора, бариевые и цинк-боридные. Температура размягчения первых лежит в пределах от 440 до 350°С, а вторых и третьих — от 550 до 610°С.

Для приготовления глазури берут в соотношении 2:1 размягченное стекло и 5%-ный спиртовой раствор полиамидной смолы. В производстве электровакуумных приборов стеклянные глазури, например, используют для получения вакуумно-плотных соединений стеклянных деталей между собой и с металлическими или керамическими. Металлические детали рекомендуется изготавливать из железоникелевого сплава, а поверхность их меднить. Такие металлостеклянные соединения используются, например, в счетчиках Гейгера.

Кроме того, глазурь часто применяют для закрепления витков рамочных сеток, для чего ее наносят специальной иглой на одну из траверс в начале и конце навивки. В процессе эксплуатации приборов, несмотря на сравнительно небольшое расстояние между сеткой и накалимым оксидным катодом, стеклянная глазурь не размягчается и не разлагается.

Стеклянными глазурями герметизируют также вакуумные интегральные схемы, корпуса которых изготовляют из корундовой керамики, имеющей высокую механическую прочность, малое газовыделение и низкую упругость пара. Конструктивно такие корпуса выполняются из двух частей, на соединительную кромку которых наносят слой глазури. Герметизацию производят в вакуумной камере при давлении  $10^{-2}$  Па и температуре  $600^{\circ}\text{C}$ , прикладывая небольшое усилие.

Высокотемпературные цементы, как и глазури, используют при сборке деталей электровакуумных приборов.

Цемент, состоящий из смеси оксида свинца  $\text{PbO}$  и раствора двух частей глицерина и одной части воды, является термостойким материалом. Для приготовления этого цемента сухой порошок оксида свинца нагревают до  $400^{\circ}\text{C}$ , затем охлаждают и размалывают, постепенно добавляя раствор глицерина. При этом выделяется теплота и смесь начинает застывать. Полностью цемент остывает за 24 ч. Этот цемент обладает достаточной твердостью и плотностью, его можно применять при температурах до  $260^{\circ}\text{C}$ , он инертен по отношению к воде и большинству кислот и щелочей, но не дает вакуумно-плотных соединений и поэтому применяется для соединения только внешних деталей электровакуумных приборов.

В силикатных (неорганических) цементах связующим материалом является водный раствор силиката натрия или калия (жидкое стекло), а в качестве наполнителя используются порошки керамики или стекла, смол, металлов, а иногда их смесей. Эти цементы выдерживают нагрев до  $500^{\circ}\text{C}$ , хорошо схватываются с чистыми поверхностями стекла и металла, однако не обладают вакуумной плотностью, водостойкостью и пластичностью и применяются для соединения внутренних деталей электровакуумных приборов.

Наиболее широко при производстве электровакуумных приборов, особенно для соединения конусов кинескопов с экранами, используют ситаллоцементы, которые представляют собой суспензии порошкообразных стекол в связующем растворе нитроцеллюлозы в изоамилацетате. Суспензию называют шликером, а стеклопорошок — фриттой. Свойства шликера и фритты во многом определяют технологию применения ситаллоцементов и качество полученного соединения. Использование ситаллоцементов позволило устранить основной недостаток глазури — невозможность вести термообработку приборов при температуре выше  $300^{\circ}\text{C}$ .

Соединять детали приборов ситаллоцементом можно при  $440^{\circ}\text{C}$  (например, ситаллоцемент СЦ90-1). При термообработке происходит кри-

сталлизация ситаллоцемента, и уже в новом, закристаллизованном состоянии можно не опасаться деформации шва при температурах на несколько десятков градусов выше (до  $480^{\circ}\text{C}$ ) температуры соединения деталей.

Ситаллоцемент СЦ90-1 имеет следующий химический состав: 2,1% —  $\text{SiO}_2$ , 8,8% —  $\text{B}_2\text{O}_3$ , 0,8% —  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 74,6% —  $\text{PbO}$ , 12,0% —  $\text{ZnO}$  и 1,7% —  $\text{BaO}$ .

Для температур ниже  $440^{\circ}\text{C}$  предпочтительным является ситаллоцемент СЦ90-2, так как он имеет более низкий интервал кристаллизации ( $420 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ).

### § 37. Металлостеклянные и металлокерамические соединения

С п а и стекла с металлами подразделяют на согласованные, несогласованные и с промежуточным металлическим припоем.

Согласованными являются спаи, в которых образующимся в стекле напряжения не дают повышаться до опасного предела подбором пар стекло — металл или стекло — сплав, имеющих близкие коэффициенты температурного расширения и сжатия. Примером могут служить спаи стекла с коваром.

Несогласованными являются спаи, в которых коэффициенты температурного расширения металла (сплава) и стекла значительно отличаются. Возникающие при этом опасные напряжения устраняют, выполняя металлические детали небольшого сечения или из мягких пластичных металлов.

В металлостеклянных спаях с промежуточным металлическим припоем основной металл припаявается к слою металла, предварительно нанесенного на поверхность стекла. При спаивании стекла с металлом сцепление происходит вследствие частичного взаимного растворения (сплавления) стекла и оксида металла, который образуется при нагреве места соединения. Оксиды металлов являются как бы соединительным звеном между стеклом и металлом. Наиболее прочное соединение получают в том случае, когда пленка оксида металла почти полностью растворяется в стекле и металле. Для получения металлостеклянных спаев детали нагревают газовыми горелками, электронагревателями или токами высокой частоты.

Примером получения спая стекла с металлом может служить изготовление плоских ножек приемно-усилительных ламп на полуавтомате (рис. 46). На позиции 1 в соответствующие гнезда оправки полуавтомата автоматически загружаются металлические вводы. На позициях 2—6 на них надеваются стеклянные заготовки в виде колец, которые на позициях 7—14 медленно разогреваются пламенем газовых горелок до температуры размягчения, после чего на позиции 15 производится предваритель-

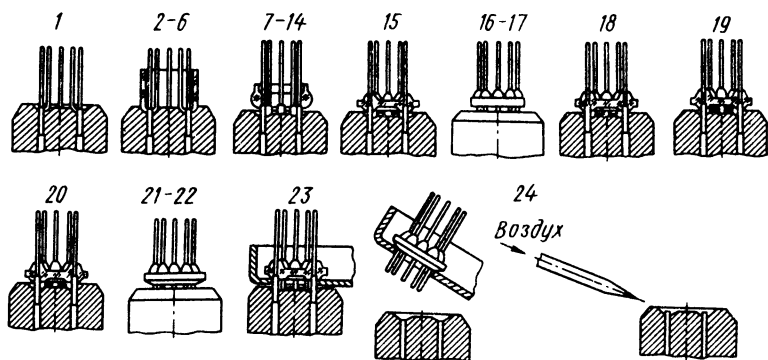


Рис. 46. Изготовление плоских ножек приемно-усилительных ламп:  
 1 — загрузка вводов, 2, 6 — надевание стеклянных колец, 7, 14 — разогрев стеклянных колец, 15 — предварительная штамповка, 16, 17 — разогрев вводов, 18 — окончательная штамповка, 19 — оплавление острых кромок, 20, 22 — нагрев в водороде, 23 — захват ножки съемником, 24 — отжиг

ная штамповка ножки для равномерного распределения стекломассы вокруг вводов и в пресс-форме.

Затем на позициях 16–17 вводы и стекло повторно разогревают до размягчения, а на позиции 18 происходит штамповка, и ножка принимает окончательную форму. На позиции 19 заостренные края стеклянного диска ножки оплавляются пламенем горелок. На позициях 20–22 ножки нагреваются в среде водорода для восстановления окислов на поверхности металлических вводов, не имеющих контакта со стеклом. На позиции 23 ножка захватывается съемником и направляется на позицию 24 в печь для отжига. После этого цикл повторяется.

Спаи металла с керамикой получают по следующей технологии. Сначала керамику металлизуют на определенном участке, выполняя: размол металлических порошков и вводимых добавок; приготовление металлизированной пасты; нанесение металлизированной пасты на керамические детали; вжигание металлизированного покрытия; нанесение второго слоя металла на металлизированное покрытие (никелирование, железнение, меднение и др.) для улучшения смачивания его поверхностей припоями в процессе пайки; ультразвуковую очистку металлизированных деталей. Затем металлизированные керамические детали спаивают с металлическими.

В состав металлизационных покрытий в виде металлов, оксидов или карбидов входят молибден и вольфрам в мелкодисперсном состоянии. В производстве применяют также плазменную металлизацию керамики.



Металлокерамические соединения паяют в колпаковых печах в среде сухого водорода с точкой росы  $-20^{\circ}\text{C}$  и примесями кислорода не более 0,01—0,02%. Режимы нагрева и охлаждения определяются размерами металлокерамических соединений. При пайке малогабаритных соединений (до 20 мм) время нагрева и охлаждения составляет 25—30 мин, среднегабаритных (20—35 мм) — 45—50 мин, а крупногабаритных (диаметром более 35 мм) — 90—100 мин. Время пайки зависит от применяемого припоя и колеблется от 20 с до 1,5—3 мин. Так, при пайке медью оно обычно не превышает 1 мин, а серебряными припоями — 1,5—2,5 мин.

### § 38. Сложные сборочные процессы

При изготовлении сложных деталей электровакуумных приборов, особенно при их сборке, одновременно применяют несколько способов соединения: пайку, сварку, глазури и цементами.

Рассмотрим основные элементы технологии сборки электронно-оптической системы цветного кинескопа 59ЛКЗЦ. Сборку начинают с приварки к отдельным деталям держателей, которые обеспечивают возможность их соединения друг с другом и с выводами ножки, а также монтаж электронных пушек в единый блок с помощью стеклянных штабиков.

Электронно-оптическая система (рис. 47) состоит из сводящей системы и основного блока.

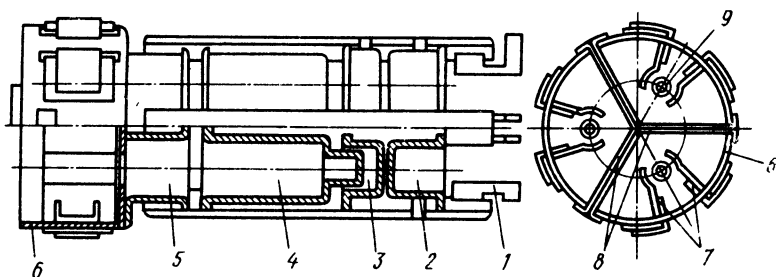


Рис. 47. Электронно-оптическая система кинескопа 59ЛКЗЦ:

1 — держатель, 2 — модулятор, 3, 4 — ускоряющий и фокусирующий электроды, 5 — анод, 6 — цилиндр сводящей системы, 7 — полюсные наконечники, 8 — экраны, 9 — отверстия для прохождения электронных лучей

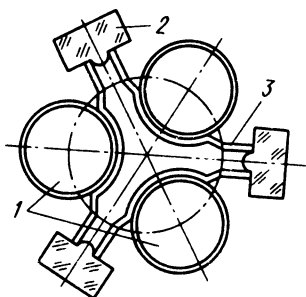


Рис. 48. Соединение трехпушечного блока электронно-оптической системы:

1 — пушки, 2 — стеклянные штабики, 3 — держатели

Сводящая система, которую собирают на простейшей оправке, состоит из трех пар полюсных наконечников сведения 7 и трех экранов 8, уменьшающих влияние сводящего поля одного луча на поле двух других. Полюсные наконечники и экраны крепят точечной сваркой в прорезях цилиндра 6, объединяющего их в общий блок. Дно цилиндра имеет три отверстия 9 для прохода электронных лучей. Для снятия заусенцев собранную систему электрополируют.

В основной блок входят три пушки, каждая из которых состоит из модулятора 2, ускоряющего 3 и фокусирующего 4 электродов, анода 5 и держателя 1 для крепления к ножке. Пушки собирают на отдельных кернах, диаметры которых соответствуют диаметрам отверстий диафрагм фокусирующих электродов 4. Расстояния между всеми электродами пушек выдерживаются по прокладкам (спейсерам). Керны пушек должны быть наклонены к общей оси электронно-оптической системы под небольшим углом, соответствующим наилучшему сведению электронных лучей на маске. Для кинескопов 59ЛК3Ц этот угол равен  $1^\circ$ .

Соединяют три пушки в единый блок тремя штабиками из порошкообразного стекла (рис. 48). При этом концы держателей всех одноименных электродов соседних пушек оказываются рядом и их впрессовывают в один штабик. Собранные на штабиках пушки очищают от жировых загрязнений в горячем трихлорэтилене, промывают деионизованной водой и передают на сборку со сводящей системой.

#### Контрольные вопросы

1. Каковы области применения сварки в производстве электровакуумных приборов?
2. Какие детали электровакуумных приборов соединяют аргонодуговой, электронно-лучевой, лазерной, микроплазменной сваркой и какое оборудование при этом используют?
3. Какие виды электроконтактной сварки вы знаете? Какие детали электровакуумных приборов и на каком оборудовании соединяют этим способом?
4. Как и на каком оборудовании изготавливают трехзвенные выводы?
5. Какие способы пайки электровакуумных приборов вы знаете?
6. Когда применяют прецизионную пайку на оправках?
7. Какие припои и флюсы применяют при пайке деталей электровакуумных приборов?
8. Какое оборудование используют при пайке?
9. Каковы основные правила техники безопасности при сварке и пайке?
10. Какие высокотемпературные глазури и цементы используют для соединения деталей электровакуумных приборов?
11. Как получают металlostеклянные и металлокерамические вакуумно-плотные соединения?

## ГЛАВА СЕДЬМАЯ. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТЕРМОКАТОДОВ И КАТОДНО-ПОДОГРЕВАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

### § 39. Основные сведения о термокатадах

Эффективность термокатодов оценивается тремя основными параметрами: плотностью тока эмиссии, рабочей температурой и скоростью испарения материала, которая чем выше, тем меньше срок службы прибора.

Плотность тока эмиссии  $i$  определяется потоком электронов, испаряющихся при нагреве катода с единицы его поверхности  $S$  в единицу времени. Ток эмиссии рассчитывают по формуле Ричардсона-Дэшмана

$$I_s = F A T^2 e^{-\frac{\varphi}{KT}},$$

где  $F$  — эмиттирующая поверхность катода,  $\text{см}^2$ ;  $T$  — температура эмиттирующей поверхности катода,  $^\circ\text{C}$ ;  $A$  — постоянная термоэлектронной эмиссии, равная  $120,4 \text{ A}/(\text{см} \cdot ^\circ\text{C})^2$ ;  $\varphi$  — работа выхода, эВ;  $K$  — постоянная Больцмана, равная  $1,3805 \cdot 10^{-16} \text{ эрг}/^\circ\text{C}$ ;  $e$  — основание натурального логарифма.

Отсюда плотность тока ( $\text{A}/\text{см}^2$ ) эмиссии

$$i = I_s/S.$$

Рабочая температура  $T$  влияет на работу выхода (эВ), которую определяют по формуле

$$\varphi = \varphi_0 + \varphi T,$$

где  $\varphi_0$  — работа выхода при начальной рабочей температуре;  $\varphi$  — температурный коэффициент, равный  $10^{-4} - 10^{-3} \text{ эВ}/^\circ\text{C}$ .

Термокатоды бывают металлические, полупроводниковые и сложные. Рабочая температура катодов зависит от физических характеристик использованного материала.

Металлические катоды применяют в газоразрядных приборах, некоторых типах приемно-усилительных ламп, ионизационных манометрах и ионизаторах течеискателей и изготавливаются из различных тугоплавких металлов (вольфрама, молибдена, тантала, рения, платины). Они отличаются большим разнообразием форм: в виде отрезка проволоки (рис. 49, а), спирали (рис. 49, б) или ленты.

Полупроводниковыми являются получившие наибольшее распространение оксидно-бариевые (рис. 49, в) и оксидно-ториевые катоды, источниками электронов в которых служат оксиды бария и тория. Применяют эти катоды в приборах СВЧ, электронно-лучевых приборах и приемно-усилительных лампах.

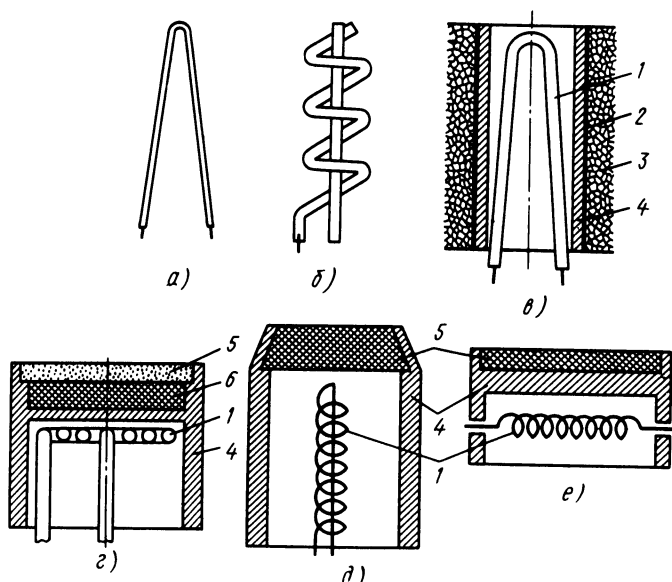


Рис. 49. Термокатоды:

*а, б* — металлические проволочные петлевой и спиральный, *в* — оксидно-бариевый, *г, д, е* — специальные *L*-катод, прессованный и пропитанный; 1 — нагреватель, 2 — промежуточный слой, 3 — пористое оксидное покрытие, 4 — kern, 5 — губка, 6 — активное вещество

С п е ц и а л ь н ы м и являются *L*-катоды, или камерные (рис. 49, *г*), а также прессованные (рис. 49, *д*) и пропитанные (рис. 49, *е*). Микропористая губка пропитанных катодов заполнена активным веществом.

На рис. 50 показаны зависимости плотности тока эмиссии от температуры, иллюстрирующие эмиссионные характеристики различных катодов. Вертикальные пунктирные линии показывают границу максимальной температуры, при которой срок работы прибора будет соответствовать нескольким сотням часов.

Выбор того или иного катода зависит от требуемых электронных характеристик и эксплуатационных параметров прибора. В большинстве приборов используют оксидный катод, а в мощных генераторных лампах, рентгеновских трубках и других приборах, работающих при высо-

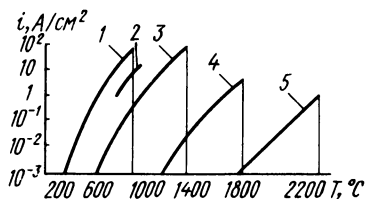


Рис. 50. Зависимости плотности тока эмиссии от температуры разных катодов:

1 — оксидного, 2 — металлического никелевого, 3 — *L*-катода, 4, 5 — металлических вольфрамоториевого и вольфрамового

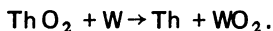
ких анодных напряжениях, находит применение менее эффективный катод из чистого вольфрама, так как он наиболее устойчив к бомбардировке ионами остаточного газа. Кроме того, в генераторных лампах нежелательно испарение бария с катода. Так как к некоторым электровакуумным приборам, например высоковольтным и мощным, предъявляют жесткие конструктивные и эксплуатационные требования, в них используют сложные катоды.

#### § 40. Металлические термокатоды

Для формообразования катодов из вольфрамовой проволоки диаметром от 0,01 до 2–3 мм в виде петли или спирали (см. рис. 49, а, б) используют специальные оправки. Поверхность вольфрамовой проволоки имеет поликристаллическую структуру, и отдельные грани кристаллов характеризуются различной работой выхода в диапазоне от 4,3 до 5,9 эВ.

Для получения необходимого тока эмиссии вольфрамовые катоды химически обрабатывают, а затем прокаливают в восстановительной атмосфере водорода или вакуума. При наличии в приборах таких остаточных газов, как кислород и пары воды, интенсивность испарения вольфрамовых катодов в результате образования пленки оксида вольфрама повышается, что снижает ток эмиссии и сокращает срок службы приборов. Чтобы предупредить образование этой пленки, необходимо при термообработке приборов температуру катодов кратковременно довести до 2430°С.

Для уменьшения работы выхода вольфрамовые катоды покрывают пленкой оксида тория, которую также термообработывают при температуре 2430°С. Вольфрам при этом восстанавливает торий из его оксида в соответствии со следующей реакцией:



Восстановленный торий диффундирует по границам зерен вольфрама, достигает поверхности катода и на ней создается моноатомный слой, способствующий снижению работы выхода с 4,52 до 2,7 эВ. Рабочая температура торированных катодов 1700–1750°С, а чистых вольфрамовых 2100–2330°С.

Для облегчения процесса восстановления оксида тория и уменьшения скорости его испарения поверхность катодов карбидируют, прокаливая их при 1730°С и низком давлении в парах какого-либо углеводородного соединения (например, бензина, бензола, нафталина или ацетилена). При этом молекулы углеводорода разлагаются на поверхности накаливаемого вольфрама и углерод химически соединяется с ним, образуя карбид вольфрама.

Однако это снижает механическую прочность катодов. Оптимально площадь поперечного сечения карбидированного слоя должна быть не более 30% от площади поперечного сечения вольфрамовой проволоки. Кроме того, карбидирование не должно увеличивать электрическое сопротивление катодов более чем на 20%. Скорость испарения тория с карбидированной поверхности в шесть раз меньше, чем с поверхности чистого вольфрама.

#### § 41. Оксидно-бариевые и оксидно-ториевые термокатоды

Оксидно-бариевые термокатоды обладают высокой эмиссионной способностью и сравнительно низкой рабочей температурой при длительности срока службы до 100 000 ч. Кроме того, оксидные катоды обладают высокой механической стойкостью и хорошей воспроизводимостью характеристик в условиях массового производства.

Основным элементом оксидно-бариевого катода (см. рис. 49, в) является керн 4, в большинстве случаев изготовленный из никеля или его сплавов. Для придания керну жесткости в никель добавляют несколько процентов вольфрама, тантала или рения. Так как керн является также источником химических элементов, активирующих оксидное покрытие 3 при термической обработке прибора, в никель добавляют присадки — доли процентов магния, кальция, алюминия, циркония, углерода, кремния и некоторых других элементов. Примеси вольфрама и тантала также являются активизирующими присадками.

При термообработке присадки диффундируют сквозь никель, проникают в оксидное покрытие, активируют его и, одновременно взаимодействуя с ним, образуют на поверхности керна промежуточный слой 2 толщиной несколько микрометров. Этот слой в зависимости от введенных присадок состоит из силикатов, вольфраматов и алюминатов бария ( $Ba_2SiO_4$ ;  $Ba_3WO_6$ ;  $BaAl_2O_3$ ), оксида магния или алюминия ( $MgO$ ;  $Al_2O_3$ ) и обладает повышенным сопротивлением, что ухудшает параметры прибора и сокращает срок его службы. Поэтому керны катодов наиболее ответственных и долговечных приборов изготавливают из чистого никеля.

Оксидное покрытие имеет пористую мелкокристаллическую структуру из оксидов щелочноземельных двойных ( $BaSr$ )O или тройных ( $BaSrCa$ )O металлов. Эти оксиды химически активны, в атмосферных условиях существовать не могут и создаются непосредственно в электровакуумном приборе во время его вакуумно-термической обработки при разложении предварительно нанесенных на керн катода карбонатов щелочноземельных металлов ( $BaSr$ )  $CO_3$  или ( $BaSrCa$ )  $CO_3$ .

От степени пористости оксидного покрытия зависят электрические и эмиссионные свойства катодов. Пористость определяют как отношение объема пор  $V_n$  покрытия ко всему его объему  $V$ , т.е.  $P = V_n / (V_n + V)$ .

Можно определить также пористость по плотности покрытия и плотности его кристаллов  $\gamma$ , т. е.  $P = 1 - \gamma/\gamma_k$ .

Таким образом, чем меньше плотность, тем выше пористость. Оксидные покрытия плотностью 0,8–2 г/см<sup>3</sup> имеют пористость 86–65%.

В катодах, оксидное покрытие которых имеет малую пористость, длина свободного пробега электронов ограничена небольшими размерами пор. Это ухудшает эмиссионные характеристики катодов. Толщина оксидных покрытий обычно составляет 20–100 мкм. При рабочих температурах поры оксидного покрытия заполнены эмиттированными кристаллами оксида электронами, которые под действием электрического поля анода устремляются к нему. Их место занимают другие электроны, находящиеся в более глубоко расположенных порах. Образующий таким образом в порах оксидного покрытия "электронный газ" является источником эмиссионного тока катода и определяет его электропроводность, т. е. пористая структура оксида играет существенную роль в формировании эмиссионной активности катода.

Оксидно-ториевые термокатоды работают при температурах до 1680°С, имеют стабильный ток первичной эмиссии и высокий коэффициент вторичной, устойчивы к отравлению, обладают высокой тепло- и электропроводностью и по конструкции аналогичны оксидно-бариевым. Керны 4 этих катодов изготавливают из тантала, молибдена или рения. После отжига в вакууме при 1500°С на них пульверизацией наносят суспензию, в состав которой входит порошок тугоплавкого металла (тантала или вольфрама) с размерами зерен 40–70 мкм.

Покрытие спекают в вакууме или водороде при 2000–2200°С в течение 50–60 мин. После спекания на поверхности керны образуются прочная губка 5, которую покрывают суспензией, содержащей 100 г оксида тория, 35 см<sup>3</sup> раствора нитроцеллюлозы, 105 см<sup>3</sup> изоамилацетата и 25 см<sup>3</sup> диэтилоксалата. Затем катод активируют в вакууме в течение 5–10 мин, в результате чего оксид тория восстанавливается и образуется чистый торий. Температура активации не должна превышать рабочую более чем на 100–200°С.

## § 42. Оксидные термокатоды

Технологический процесс изготовления оксидных термокатодов состоит из ряда заготовительных операций: механической очистки, обезжиривания, травления, ультразвуковой очистки и отжига исходных материалов, формовки кернов, приварки к ним соединителя, получения карбонатов, изготовления связки и карбонатных суспензий, нанесения покрытия на керны.

Механическая очистка предназначена для снятия заусенцев с заготовок никелевых и с присадкой рения кернов катодов после резки. Обработкой в трихлорэтилене с ним удаляют различные жировые, минераль-

102

ные и механические загрязнения. Следует помнить, что трихлорэтилен в присутствии паров воды и пламени разлагается с образованием ядовитого газа фосгена. Разложение трихлорэтилена может быть предупреждено введением в него добавок диэтиламина ( $150 \text{ см}^3$  на  $200 \text{ л}$ ) или триэтиламина и уротропина ( $1 \text{ г}$  на  $100 \text{ л}$ ), которые связывают соляную кислоту. Кислотность трихлорэтилена надо проверять ежедневно. В качестве индикатора используют фенолфталеин. При щелочной реакции раствор трихлорэтилена и дистиллированной воды в отношении  $1:1$  окрашивается в фиолетовый цвет, а при кислой — обесцвечивается. В случае даже слабой кислой реакции трихлорэтилен необходимо стабилизировать указанным выше способом.

Для обезжиривания карнов катодов в горячем трихлорэтилене используют специальные установки (рис. 51), основным элементом которых является блок из трех ванн 12, выполненных из нержавеющей стали. Так как при обезжиривании деталей некоторые загрязнения, например пыль, частицы слюды и жировые компоненты, скапливаются в верхних слоях жидкости, промывку следует производить при непрерывном стоке. Поэтому высота перегородок между ваннами и уровень жидкости постепенно снижаются от ванны III к ванне I.

Для подогрева трихлорэтилена в дне каждой ванны имеется подогре-

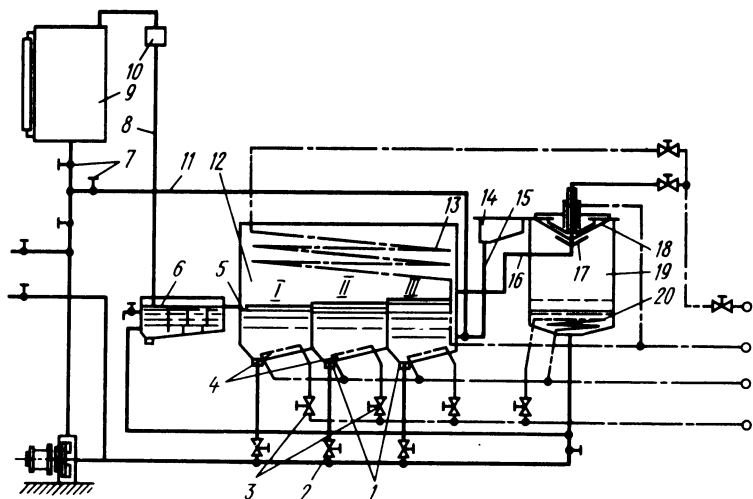


Рис. 51. Установка для обезжиривания деталей в горячем трихлорэтилене: 1 — стаканы, 2, 3, 7 — вентили, 4 — подогреватели, 5 — карман, 6 — отстойник, 8, 11, 15, 16 — трубопроводы, 9 — резервный бак, 10 — расширитель, 12 — блок ванн, 13, 20 — змеевики, 14 — сборник, 17 — воронка, 18 — ко- нус, 19 — перегонный куб



ватель 4. Подача пара к нагревателям регулируется вентилями 3. Внизу ванны имеют сливные стаканы 1 с фильтрами, предохраняющими трубопроводы от случайного попадания в них деталей. При работе сливные трубы перекрыты вентилями 2. Над ваннами расположен змеевик 13, охлаждаемый проточной водой, а под ним — желоб, по которому стекает сконденсированный трихлорэтилен в ванну III.

Справа от блока ванн расположен сборник 14 с отверстиями в крышке, на которую ставится тара с промытыми деталями. Стекающий с деталей чистый трихлорэтилен по трубопроводу 15 попадает в ванну III.

К стенке ванны I приварен карман 5, из которого излишек трихлорэтилена, переливаясь через его край, поступает в отстойник 6, а оттуда — в перегонный куб 19 в виде цилиндрического бака, в нижней части которого расположен спиральный змеевик 20 с паровым подогревом. В верхней части бака расположен конус 18, охлаждаемый водой. Пары трихлорэтилена конденсируются на поверхности конуса и конденсат стекает в воронку 17, откуда по трубопроводу 16 поступает в ванну III.

Перегонный куб снабжен термосигнализатором. При повышении температуры (до  $100^{\circ}\text{C}$ ), свидетельствующем об увеличении концентрации жиров в трихлорэтилене, ртуть в трубке поднимается, замыкая контакт сигнальной лампочки, которая зажигается, сигнализируя, что куб перегрет. Загрязненный трихлорэтилен сливают и куб очищают.

Конструкцией установки предусмотрена система автоматической доливки, которая поддерживает постоянный уровень трихлорэтилена в ваннах и состоит из резервного блока 9, трубопровода 8 и расширителя 10. При понижении уровня трихлорэтилена в отстойнике 6 нижний конец трубопровода 8 соединяется с атмосферой, в резервный бак поступает воздух, оказывающий давление на поверхность находящегося в нем трихлорэтилена, который через открытые вентили 7 по трубопроводу 11 поступает в ванну III, переливаясь далее в ванны II и I. Доливка будет происходить, пока трихлорэтилен в отстойнике не закроет нижний конец трубопровода 8. Чтобы загрязненный трихлорэтилен не выбрасывался атмосферным давлением из отстойника в резервный бак, предусмотрен расширитель 10.

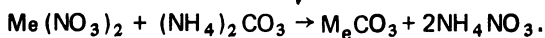
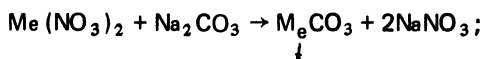
После обезжиривания керны никелевых катодов травят и химически полируют. При этом снимается слой до 2 мкм, удаляются остатки органических и неорганических загрязнений и создается шероховатость, способствующая лучшему сцеплению поверхности керна с карбонатным покрытием. Химическое полирование никелевых кернов проводят в 70%-ной серной кислоте при  $37^{\circ}\text{C}$  или в растворе, состоящем из 45–60% фосфорной, 15–20% серной, 15% азотной кислот и 10–20% дистиллированной воды, при  $65^{\circ}\text{C}$ .

Керны никелевых катодов с присадкой рения травят в 50%-ной соляной кислоте при  $40\text{--}50^{\circ}\text{C}$ . После полирования все керны промывают проточной, а затем горячей дистиллированной водой и сушат.

Целесообразно для повышения качества очистки промывать керны в ультразвуковых ваннах с частотой колебаний 18 или 36 кГц (рис. 52). Ванна состоит из резервуара 2, который служит для охлаждения укрепленного на его дне двухстержневого магнито-стрикционного излучателя 3, передающего колебания ультразвуковой частоты жидкости. Над излучателем устанавливается специальный стакан 1 с рабочей жидкостью, в которую помещают промываемые детали. Керны катодов перед промывкой укладывают в специальную тару в виде обоймы с сетчатым дном и крышкой.

После обезжиривания и ультразвуковой обработки керны отжигают при 850–900°С в течение 1–15 мин в водородных печах для восстановления оксидных пленок.

Для нанесения на поверхность кернов катодов оксидного покрытия готовят суспензии (взвеси твердых частиц в жидкой среде) карбонатов бария, стронция и кальция. Твердыми компонентами суспензий являются двойные и тройные карбонаты щелочноземельных металлов, которые готовят осаждением из водных растворов соответствующих азотнокислых солей, добавляя углекислый натрий или аммоний:



При этих реакциях в осадок выпадают белые кристаллы карбоната бария, стронция или кальция, форма и размер которых, а также содержание в них примесей зависят от состава исходных веществ.

Карбонаты получают в герметичных сосудах, выполненных из химически устойчивых материалов. Особое внимание при изготовлении карбонатов следует обращать на сушку и прокаливание. Во время этих операций при нагреве выше 270°С происходит удаление влаги и карбоната аммония.

Жидким компонентом суспензий являются связующие вещества — биндеры — растворы нитроцеллюлозы или полимеров в органических растворителях. При хранении нитроцеллюлозы, являющейся взрывчатым веществом, необходимо строго соблюдать правила техники безопасности. Обычно нитроцеллюлозу хранят увлажненной спиртоводной смесью.

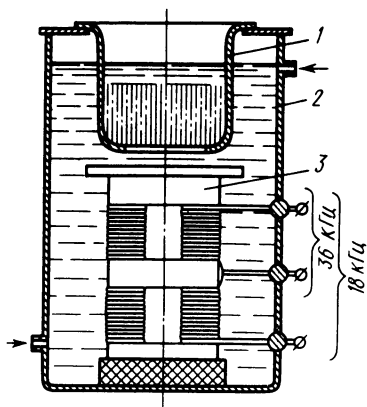


Рис. 52. Ультразвуковая ванна с магнито-стрикционным вибратором: 1 — стакан, 2 — резервуар, 3 — излучатель

Соотношение компонентов в биндерах для приготовления суспензий различных покрытий даны в табл. 6.

**Т а б л и ц а 6. Соотношение компонентов в биндерах, см<sup>3</sup>, для различных суспензий**

| Компоненты             | Суспензия                          |                               |                                |
|------------------------|------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
|                        | на основе оксида титрия или иттрия | для нанесения никелевой губки | для нанесения танталовой губки |
| Раствор нитроцеллюлозы | 560                                | 500                           | 500                            |
| Изоамилацетат          | 210—240                            | 330—360                       | 165—200                        |
| Диэтилоксалат          | 70—80                              | 110—120                       | 55—65                          |

Для получения биндеров однородного состава их обрабатывают в течение 20—25 ч в валковых мельницах. Требуемую вязкость биндеров получают добавлением растворителей.

Единого рецепта приготовления карбонатных суспензий не существует. Примерные соотношения компонентов в некоторых суспензиях приведены в табл. 7.

Суспензии готовят в валковых мельницах с фарфоровыми барабанами и фарфоровыми или муллитовыми шарами. Перед нанесением покрытий проверяют эмиссионные свойства каждой партии суспензий.

**Т а б л и ц а 7. Состав карбонатных суспензий**

| Компоненты             | Количество, кг | Время перемешивания, ч |
|------------------------|----------------|------------------------|
| Тройной карбонат       | 1              | 24                     |
| Этиловый спирт         | 0,5            |                        |
| Ацетон                 | 1,25           |                        |
| Этиленгликоль          | 0,3            |                        |
| Тройной карбонат       | 1,2            | 40                     |
| Метиловый спирт        | 0,6            |                        |
| Ацетон                 | 0,9            |                        |
| Раствор нитроцеллюлозы | 0,3            |                        |

вязкостью 410 сП

| Компоненты  | Количество, кг      | Время перемешивания, ч |
|---|---------------------|------------------------|
| Тройной карбонат  | 0,75                | 20                     |
| Азотнокислый барий  | $3,7 \cdot 10^{-2}$ |                        |
| Ацетон  | 2                   |                        |
| 7,5%-ный раствор полиметакрилата с добавлением дибутилфталата | 3,1                 |                        |
| Мелкозернистый тройной карбонат, осажденный аммонием          | 0,4                 | 20—30                  |
| Раствор нитроцеллюлозы вязкостью 24—25 сП                     | 0,43                |                        |
| Изоамилацетат   | 0,21                |                        |
| Диэтилоксалат   | 0,096               |                        |

#### § 43. Нанесение оксидных покрытий на керны термокатодов

Основным требованием к качеству оксидного покрытия является его однородность по толщине, плотности и шероховатости. Наиболее распространенными методами нанесения карбонатных покрытий на керны катодов являются пульверизация и катафорез. В некоторых случаях применяют плазменное напыление и печатный метод.

При пульверизации распыляемую с помощью сжатого воздуха специальными пульверизаторами струю суспензии направляют на покрываемые керны. Для получения покрытий необходимой плотности и толщины керны должны перемещаться относительно струи или струя должна перемещаться относительно их. В зависимости от формы поверхности кернов и конструкции установки эти перемещения могут быть поступательными, вращательными или колебательными. Основные характеристики покрытия зависят от формы, размеров и скорости истечения воздушной струи пульверизатора.

В оборудовании для нанесения покрытий пульверизацией должна быть предусмотрена возможность регулирования расстояния между соплом пульверизатора и покрываемой поверхностью. Покрытие наносят параллельными проходами струи. Гладкие покрытия получают при малом расходе суспензии, большой скорости перемещения кернов относительно струи и промежуточной сушке слоев.

На рис. 50, а показан пульверизатор КР для нанесения покрытий на керны катодов. Как видно из схемы, показанной на рис. 53, б, струя суспензии поступает по центральному каналу сопла 7, устремляется в

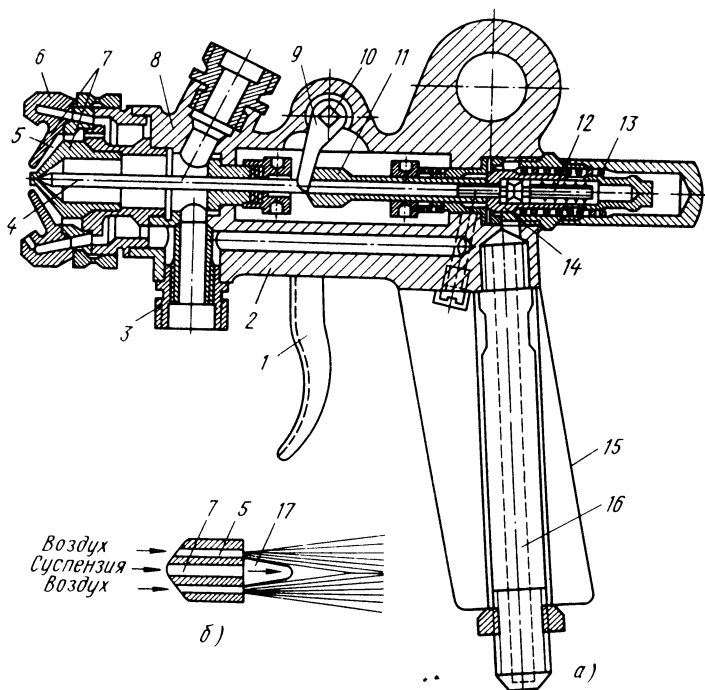


Рис. 53. Пульверизатор КР:

*а* — устройство, *б* — схема формирования струи; 1 — крючок, 2 — корпус, 3, 8 — верхний и нижний патрубки, 4 — игла, 5 — кольцевое отверстие, 6 — головка, 7 — сопло, 9 — вилка, 10 — ось, 11 — гильза, 12, 13 — пружины, 14 — клапан, 15 — ручка, 16 — трубка, 17 — зона вакуума

зону вакуума 17 и увлекается сжатым воздухом, поступающим через кольцевое отверстие 5, расположенное концентрично. Пульверизатор (см. рис. 53, *а*), корпус 2 которого изготовлен из алюминиевого сплава, имеет форму пистолета. К головке 6 подается состав для покрытия, поступающий из бачка, присоединяемого к верхнему 8 или к нижнему 3 патрубку. При этом сжатый воздух давлением  $(3\div 4) \cdot 10^3$  Па поступает через трубку 16, находящуюся в ручке 15 и через кольцевое отверстие 5 к соплу 7.

При нажатии на крючок 1 вилка 9, насаженная на его ось 10, отодвигает гильзу 11 иглы 4. Гильза, надавливая на воздушный клапан 14, открывает его, при этом внутреннее заплешико клапана отжимает конец иглы от отверстия сопла 7. Струя воздуха, выходя из кольцевого отверстия 5, засасывает суспензию и распыляет ее на выходе из сопла 7. Для прекращения работы распылителя отпускают крючок 1, пружина 12 воз-

вращает иглу в исходное положение, а пружина 13 закрывает воздушный клапан 14.

Давление воздуха, плотность и скорость движения струи суспензии в корпусе распылителя повышаются по мере приближения к соплу. При выходе из сопла концентрация частичек суспензии изменяется всего на несколько процентов по сравнению с концентрацией на его входе, а по мере удаления от сопла значительно уменьшается. Учитывая это, массу, плотность и шероховатость покрытия регулируют, изменяя расстояние между пульверизатором и поверхностью деталей, давление воздушной струи, диаметр отверстия сопла, а также количество проходов.

На рис. 54 показана кинематическая схема полуавтомата для нанесения пульверизацией покрытий на круглые и плоские керны катодов. Каретка 13, несущая рамку 9 с катодами, получает возвратно-поступательное движение вдоль направляющих от цепи, на одном из звеньев которой имеется палец с роликом, входящим в паз каретки. Поворот рамки 9 на  $180^\circ$  происходит в крайнем правом положении каретки, когда шестерня 11, связанная с осью рамки храповым механизмом 10, входит в зацепление с рейкой 12. Храповой механизм служит для фиксации положения рамки после поворота.

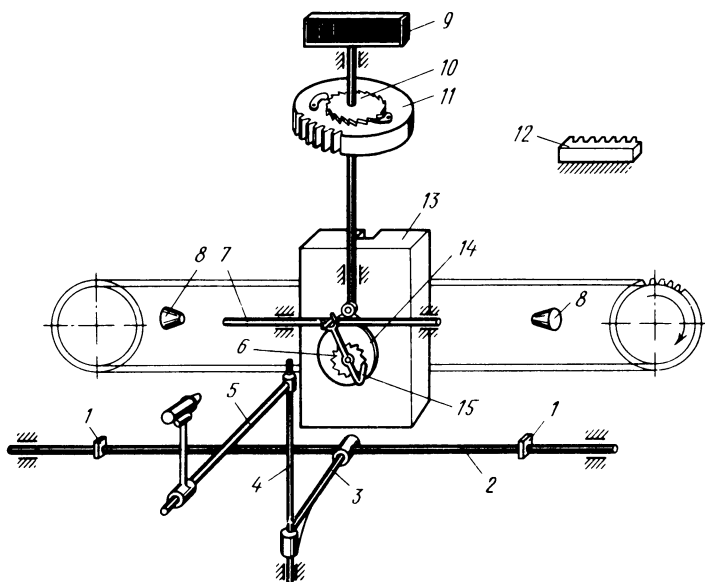


Рис. 54. Кинематическая схема полуавтомата нанесения покрытий пульверизацией:

1, 8 — упоры, 2, 7 — штоки, 3, 5, 6 — рычаги, 4 — ось, 9 — рамка, 10 — храповой механизм, 11 — шестерня, 12 — рейка, 13 — каретка, 14 — кулачок, 15 — собачка

Подъем и опускание рамки осуществляются кулачком 14, который поворачивается в тот момент, когда шток 7 кулисного механизма доходит до правого упора 8 и перемещается влево, вызывая поворот собачки 15, сидящей на рычаге 6. При этом собачка поворачивает храповое колесо и сидящий с ней на одной оси кулачок 14. При движении каретки до левого упора 8 вертикального перемещения рамки не происходит, так как собачка будет проскальзывать до нерабочей части храпового колеса, не поворачивая его.

Механизм поворота пульверизатора состоит из штока 2, соединенного с нижним рычагом 3 и верхним 5, на котором крепится стойка пульверизатора. При движении каретки влево и вправо до упоров 1, закрепленных на штоке, шток перемещается соответственно то в левую, то в правую сторону, заставляя рычаг, а вместе с ним и стойку пульверизатора поворачиваться вокруг оси 4.

Технологический цикл нанесения покрытия на полуавтоматах этого типа автоматизирован и выполняется по программе, позволяющей регулировать положение рамки относительно пульверизатора, число ее проходов с катодами и др. Наносят покрытия под вытяжкой или в вытяжной камере, воздух в которой предварительно очищают от пыли. Если в камере имеется пыль, она осаждается на поверхности покрытия и в дальнейшем это снижает эмиссионные параметры катодов.

Для нанесения покрытий на керны катодов печатным методом эмитирующий слой изготавливают в виде ленты, которая должна содержать минимально необходимое количество связующих и иметь хорошую адгезию к материалам кернов. Несмотря на некоторые преимущества, широкого распространения в промышленности печатные оксидные термокатоды не получили.

Для увеличения прочности соединения оксидного покрытия с кернами их предварительно покрывают губкой. Этот процесс называют синтерованием. Материалом для губки служат порошки очищенного от примесей никеля или тантала с размерами частиц соответственно от 20 до 200 и от 10 до 150 мкм.

Необходимые эмиссионные свойства катоды приобретают в результате активирования при вакуумно-термической обработке. При этом оксид бария, входящий в состав оксидного покрытия, превращается в металлический барий, который равномерно распределяется по поверхности кернов катодов. Необходимую температуру и продолжительность активирования подбирают при разработке приборов. Для повышения тепло- и электропроводности, а также прочности сцепления с керном никелевую губку изготавливают из чистого карбонизированного никеля.

Контроль оксидного покрытия состоит в оценке эмиссионных свойств катода, которые, как уже отмечалось, определяются состоянием поверхности (ее шероховатостью), а также толщиной и массой покрытия. Повышенная шероховатость может явиться причиной разрушения

катода из-за концентрации зарядов на выступающих участках поверхности покрытия. Покрытие должно быть толщиной  $(50\div100) \pm 10$  мкм, равномерным по массе и иметь высокую адгезию с керном.

Массу покрытия контролируют выборочно у двух-трех кернов из каждой партии по разности до и после его нанесения. Для взвешивания катодов используют торсионные или аналитические весы, обеспечивающие точность 0,05–0,1 мг. Толщину покрытия и его шероховатость проверяют выборочно на часовом проекторе (см. рис. 12) или под микроскопом МИС-11. Для этого покрытие надрезают в нескольких местах.

#### § 44. Специальные катоды

Камерные, или *L*-катоды (см. рис. 49, з), позволяют получить плотность тока эмиссии  $1,5\text{--}2$  А/см<sup>2</sup> при рабочих температурах 1100–1150°С. Долговечность этих катодов не превышает 3000 ч. Достоинством *L*-катодов являются их устойчивость к отравлению и возможность снижения скорости испарения уменьшением пористости вольфрамовой губки.

Источником электронов в *L*-катадах является активное вещество 6 — барий, который в виде одинарного бария или двойного карбоната, оксидов щелочноземельных металлов или сплавов с кальцием наносит в специальные углубления в молибденовых кернах 4 и сверху запрессовывают вольфрамовой губкой 5. Для нагрева катодов служит подогреватель 1. Такая конструкция катодов обеспечивает малую скорость испарения бария, что повышает срок службы приборов до нескольких тысяч часов.

При термообработке электровакуумных приборов с *L*-катадами в результате взаимодействия находящегося под вольфрамовой губкой оксида бария с вольфрамом происходит выделение металлического бария, который распределяется по поверхности губки и испаряется через ее поры. Для сокращения времени откачки предварительную термообработку *L*-катодов можно производить вне прибора.

Прессованные термокатоды (см. рис. 49, д) изготовляют, впредвывая при давлении  $(2\div2,6) \cdot 10^6$  Па в керны 4 тщательно перемешанные порошки активных веществ: вольфрама, алюминатов и вольфраматов бария и кальция; толщина активного слоя должна быть менее 1 мм. Недостатком прессованных катодов является большая скорость испарения активного вещества, которое оседает на изоляторах прибора в виде проводящих пленок.

Пропитанные катоды (см. рис. 49, е) имеют керны 4, покрытые вольфрамовой губкой 5, которую закрепляют пайкой или электронно-лучевой сваркой, пропитывают активным веществом и прокаливают в водороде при 1700–1800°С. При такой температуре активное вещество расплавляется и заполняет поры губки. Пропитанные термока-



тоды находят более широкое применение, чем прессованные, так как срок их службы больше.

#### **Контрольные вопросы**

1. Какие виды термокатодов используются в электровакуумных приборах?
2. Каковы основные эксплуатационные характеристики термокатодов?
3. Каковы особенности изготовления термокатодов из чистых металлов?
4. Как изготавливают оксидно-бариевые и оксидно-ториевые термокатоды?
5. Каков принцип действия полуавтомата для нанесения оксидных покрытий пульверизацией?
6. Как получают карбонатные суспензии?
7. Какие виды специальных катодов вы знаете и как их изготавливают?

## **ГЛАВА ВОСЬМАЯ. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ КАТОДОВ**

### **§ 45. Основные сведения**

Мощность, необходимая для создания рабочей температуры катодов косвенного накала, обеспечивается подогревателями, которые представляют собой металлические нити различных конфигурации и размеров с нанесенным на них слоем изоляции. Процесс изготовления подогревателей состоит из двух этапов: формообразования и нанесения изоляционного покрытия. По конструкции подогреватели бывают петлевыми (рис. 55, а) и спиральными. Спиральные, в свою очередь, подразделяют на монофилярные с проскоком постоянного (рис. 55, б) или переменного (рис. 55, в) шага и бифилярные постоянного (рис. 55, г) и переменного (рис. 55, д) шага.

В приемно-усилительных лампах, напряжение накала которых равно от 1 до 6,3 В, обычно применяют петлевые подогреватели, а в электронно-лучевых приборах и приборах СВЧ с более высокими напряжениями накала — спиральные.

К подогревателям предъявляют ряд требований. Так, они должны быть механически прочными и термостойкими, сохранять формуустойчивость в условиях рабочих температур до 1700°С, обладать высоким электрическим сопротивлением. Материалы, из которых изготавливают подогреватели, должны иметь низкую упругость пара при рабочих температурах, быть механически прочными и достаточно пластичными. Слой изоляционного покрытия должен иметь хороший тепловой контакт с подогревателем и обладать необходимыми изолирующими свойствами. Для выполнения этих требований необходимо строго выбирать материалы кернов, а также изоляционные составы и соблюдать технологию их нанесения.

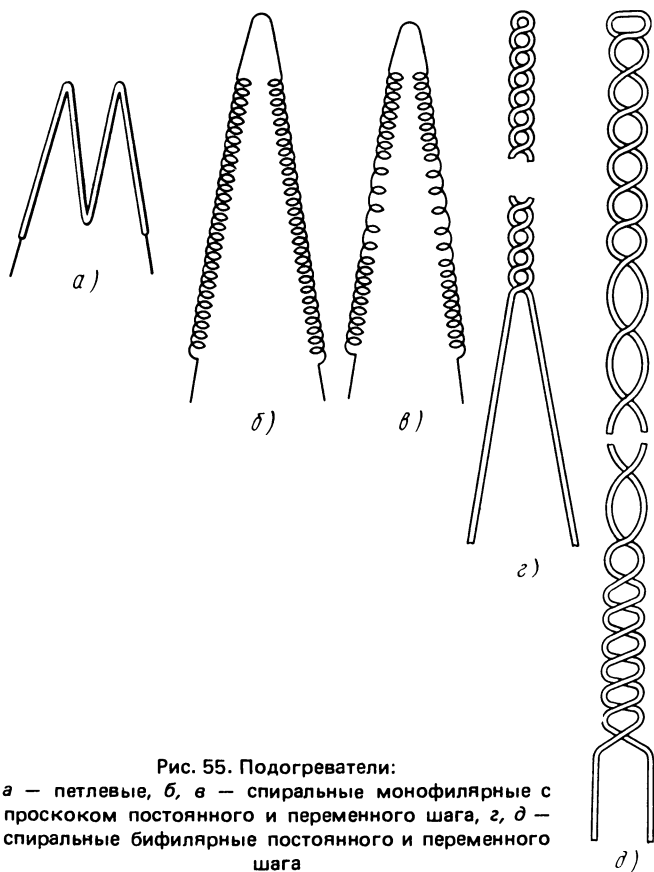


Рис. 55. Подогреватели:  
 а — петлевые, б, в — спиральные монофиллярные с  
 проскоком постоянного и переменного шага, г, д —  
 спиральные бифиллярные постоянного и переменного  
 шага

В качестве материала кернов для различных подогревателей наиболее широко используют вольфрам с присадками оксидов алюминия, кремния и кальция.

Из вольфрамовой проволоки малых диаметров изготавливают спиральные подогреватели. Применение вольфрамовой проволоки больших диаметров для спиральных подогревателей ограничено, так как она может расслаиваться. По этой же причине вольфрамовую проволоку даже малых диаметров почти не применяют при изготовлении петлевых подогревателей. Для уменьшения хрупкости подогреватели сложной конфигурации изготавливают из сплава вольфрама с молибденом (50% Мо + 50% W).

Так как вольфрам с молибденом хорошо соединяются диффузионной лазерной или микроплазменной сваркой в любых соотношениях,

удается повысить температуру плавления сплава, его удельное сопротивление, уменьшить коэффициент температурного расширения (КТР) и получить более высокие механические свойства, чем у вольфрама. Это значительно облегчает процесс формообразования подогревателей даже в холодном состоянии и при значительных диаметрах спирализуемой проволоки.

Наиболее простыми являются петлевые подогреватели, на которые можно легко нанести плотное и равномерное изоляционное покрытие. Однако они обладают рядом таких существенных недостатков, как сложность формообразования и возникновение больших напряжений в материале при перегибах проволоки. Кроме того, при термической обработке этих подогревателей после формовки в местах перегибов проволока может расслаиваться.

Спиральные подогреватели более распространены, так как по сравнению с петлевыми обладают рядом преимуществ: более слабым магнитным полем, высокой надежностью и длительным сроком службы. Спиральные подогреватели с переменным шагом навивки, кроме того, позволяют получать более равномерное распределение температуры вдоль катода. Недостатком спиральных подогревателей является сложность нанесения плотного и равномерного изоляционного слоя.

#### § 46. Петлевые и спиральные подогреватели

Формообразование петлевых подогревателей выполняют на автомате (рис. 56). Катушка 4 с формируемой проволокой совершает круговое качательное движение в пазу 1 относительно вертикальной оси барабана 2, на поверхности которого имеются иглы, и заводит проволоку за ту иглу, которая в данный момент находится в вертикальном положении. При этом барабан совершает прерывисто-вращательное движение, последовательно подводя иглы к катушке. Для преодоления упругости проволока должна плотно охватывать иглы, тогда после съема с них она приобретает требуемую форму. Натянутая на иглы проволока разрезается механизмом 3 на секции, которые снимаются специальной пластиной (съемником).

Прерывистое вращение барабану сообщается храповым механизмом, действующим от кулачка 10, а движение на катушку передается кривошипно-шатунным механизмом, возвратно-поступательно перемещающим рейку 8, связанную с шестерней 7.

Натяжение сматываемой проволоки создается роликом 6, укрепленным на рычаге 5. Вращение на распределительный вал 12 передается от электродвигателя 16 через червячную 15 и зубчатую передачи. Автомат имеет для настройки ручной привод 14.

При формообразовании спиральных подогревателей выполняют следующие операции: навивание спиралей — спи-

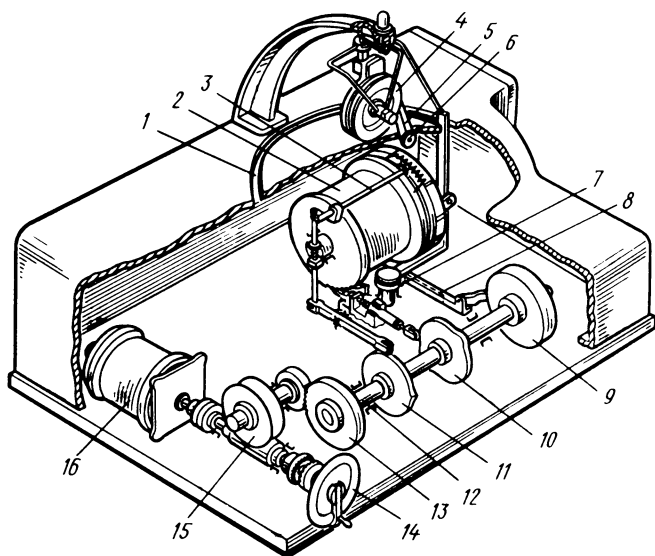


Рис. 56. Автомат для изготовления петлевых подогревателей:  
 1 — паз, 2 — барабан, 3 — механизм отрезки, 4 — катушка с проволокой, 5 — рычаг, 6 — ролик, 7 — шестерни, 8 — рейка, 9, 10, 11, 13 — кулачки, 12 — распределительный вал, 14 — ручной привод, 15 — червячная пара, 16 — электродвигатель

рализацию (однократное или двукратное соответственно при изготовлении моно- и биспиралей); обезжиривание и удаление смазочных паст (аквадага); отжиг и резку спиралей; отжиг нарезанных спиралей и травление их в кислотах; окончательную термообработку; контроль.

Последовательность операций может быть изменена в зависимости от типа получаемых спиралей. Однако наиболее ответственной операцией является навивание спиралей, предопределяющее большинство наиболее важных характеристик подогревателей.

Для навивки монофиллярных спиралей с постоянным шагом (рис. 57, а) применяют автомат СГ-3 (рис. 58), который работает следующим образом. В результате усилия натяжения, создаваемого тянущим диском 11, стальная или молибденовая проволока керн, служащего оправкой, на которую наматывают спираль, сматывается с катушки 1, проходит через направляющие ролики 2, полый шпиндель 3 и выходит из него через втулку 7, называемую дюзой, за которой сразу происходит спирализация. Качеством дюзы определяется точность навивки спирали, поэтому для увеличения срока службы наконечник дюзы изготовляют из твердого сплава и ее выходной диаметр не должен превышать диаметр керн более чем на 10–30 мкм.

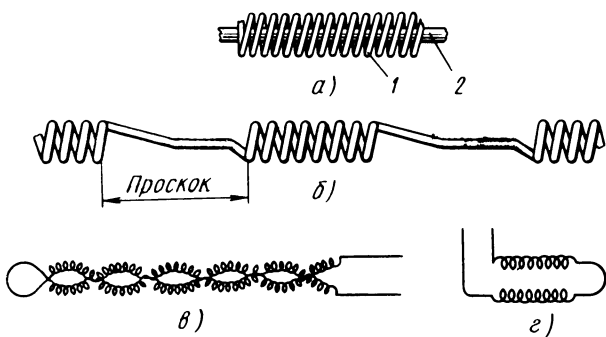


Рис. 57. Спирали:  
а, б — монофиларные с постоянным шагом и с постоянным шагом и проскоком, в — бифиларная, г — бифиларная двойной формовки; 1 — спираль, 2 — керн

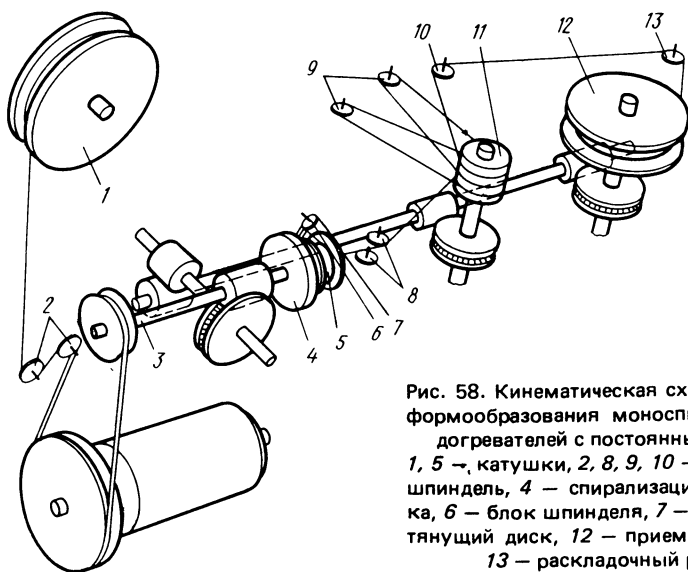


Рис. 58. Кинематическая схема автомата формообразования моноспиральных подогревателей с постоянным шагом:  
1, 5 — катушки, 2, 8, 9, 10 — ролики, 3 — шпиндель, 4 — спирализационная головка, 6 — блок шпинделя, 7 — втулка, 11 — тянущий диск, 12 — приемная катушка, 13 — раскладочный ролик

Спирализационная вольфрамовая проволока сматывается с катушки 5, укрепленной на спирализационной головке 4, вращающейся вместе со шпинделем, и, проходя через блок 6, наматывается непосредственно у выходного отверстия дюзы на выходящий из него керн. Керн с навитой спирализационной проволокой проходит направляющие ролики 8, наматывается на тянущий диск 11, вокруг которого с помощью ролика 9 делает несколько оборотов, и через ролик 10 и раскладочный ролик 13 поступает на приемную катушку 12.

Требуемый шаг спирали, определяемый линейной скоростью перемещения керна за один оборот спирализационной головки, получают подбором диаметра тянущего диска. На всех спирализационных автоматах

с непрерывным керном усилие, необходимое для его сматывания с катушки и протягивания через все ролики и дюзу, обеспечивается тянущим диском. Поэтому керн со спиралью стараются обернуть вокруг тянущего диска несколько раз. Это уменьшает скольжение между диском и спиралью и предохраняет ее от повреждений, дает равномерность навивки и снижает усилие натяжения.

Скорость перемещения керна при навивке постоянна, а скорость намотки на приемную катушку может изменяться в результате увеличения диаметра катушки по мере намотки на нее спирализованного керна. Чтобы вследствие этого не увеличилось натяжение керна между тянущим барабаном и приемной катушкой, которое может привести к его обрыву, приемную катушку соединяют с валом червячной шестерни через фрикционное соединение, обеспечивающее ее пробуксовку.

Монофилярные подогреватели создают сильное магнитное поле, поэтому их, как правило, используют редко.

Монофилярные спирали для других типов подогревателей при навивке дополнительно формируют: в месте их изгиба делают так называемый проскок, т.е. шаг витка при этом в несколько раз больше шага основной навивки (см. рис. 57, б). Монофилярные спирали с проскоком получают тремя способами (рис. 59, а–в).

При первом способе (рис. 59, а) в момент образования проскока (тире) спирализационная головка вращается с постоянной скоростью, а керну сообщается резко ускоренное движение вперед. При навивке спирали вращение на тянущий диск 1, жестко связанный с валом, передается от червячной пары 4 и 6 через заклиненную нижнюю обгонную муфту 5, корпус которой также жестко соединен со сплошным валом — толкателем 2 через шпонку. При этом червячная шестерня 4 вращает тянущий диск 1.

Когда навивка спирали окончена, толкатель 2 под действием пружины 8 резко перемещается вперед. При этом кольцо 7 вместе с толкателем резко поворачивается против часовой стрелки, заклинивая ролики верхней обгонной муфты 5 и сообщая тем самым резкое ускоренное движение тянущему диску 1 и соответственно керну, в результате чего на нем получается растянутый виток спирали — проскок. Одновременно нижняя обгонная муфта 5 расклинивается и жесткая связь между червячной шестерней 4 и валом теряется.

После образования тире толкатель 2 возвращается кулачком в исходное положение и пружина 8 сжимается. Кольцо 7 расклинивает ролики верхней муфты, одновременно заклиниваются ролики нижней муфты, и цикл повторяется. Количество витков спирали  $N_c$  между двумя проскоками зависит от соотношения скоростей спирализационной головки и профиля кулачка 3.

При втором способе (рис. 59, б) в момент образования тире вращение спирализационной головки прекращается, а керн продолжает переме-

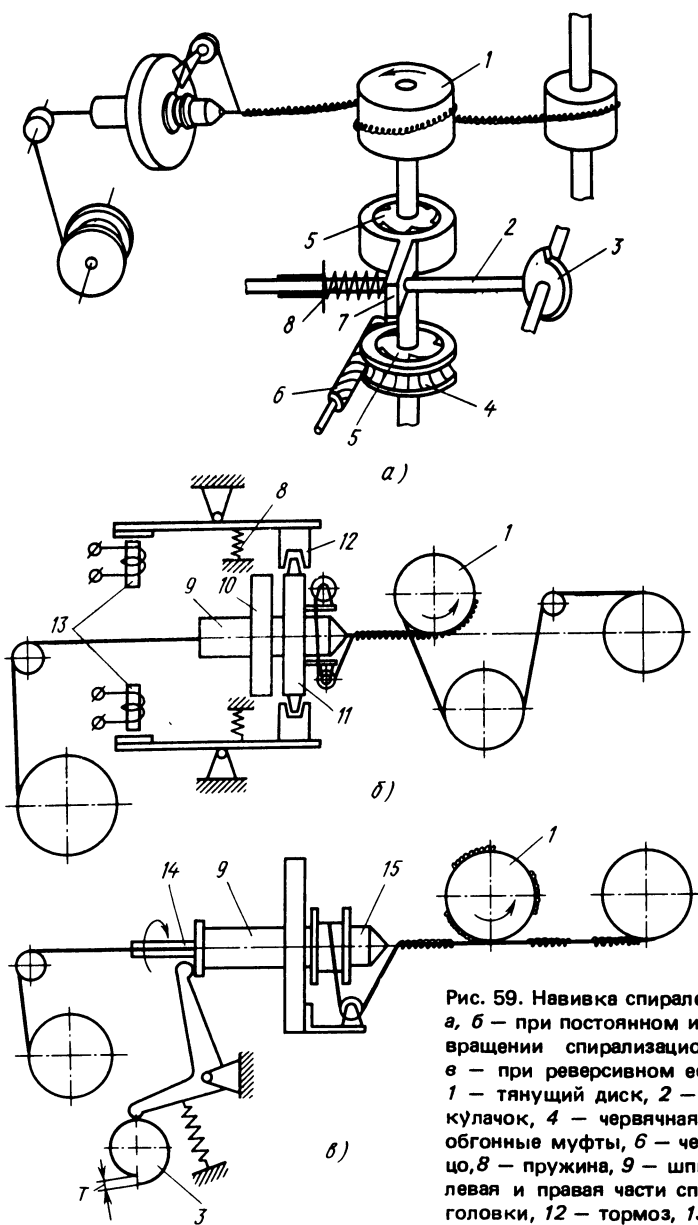


Рис. 59. Навивка спиралей с проскоком:  
 а, б — при постоянном и периодическом  
 вращении спирализационной головки,  
 в — при реверсивном ее перемещении;  
 1 — тянущий диск, 2 — толкатель, 3 —  
 кулачок, 4 — червячная шестерня, 5 —  
 обгонные муфты, 6 — червяк, 7 — кольцо,  
 8 — пружина, 9 — шпиндель, 10, 11 —  
 левая и правая части спирализационной  
 головки, 12 — тормоз, 13 — электромаг-  
 ниты, 14 — полый вал, 15 — спирализаци-  
 онная головка

щаться с постоянной скоростью. На шпиндель 9 насажена спирализационная головка, состоящая из двух частей: левой 10, жестко закрепленной на шпинделе, и правой 11, на которой крепится катушка с навиваемой проволокой. Левая часть спирализационной головки, представляющая собой электромагнит постоянного тока, вращается вместе со шпинделем и предназначена для передачи вращения правой части головки в момент навивки спирали и для отключения ее вращения в момент образования проскока.

Для ориентированной остановки правой части головки, что необходимо для получения проскока, предусмотрен колодочный тормоз 12. При отключении электромагнита постоянного тока (левой части головки) выключаются электромагниты 13 и под действием пружин 8 колодки тормоза прижимаются к правой части головки, создавая необходимый тормозной момент. После образования проскока электромагниты 13 снова включаются и обе части спирализационной головки начинают вращаться. Управляет работой левой части головки и электромагнитов 13 кулачок или программное устройство, которое в соответствующий период цикла замыкает или размыкает контакты в цепях питания.

При третьем способе (рис. 59, в) в момент образования тире спирализационной головке сообщается резкое перемещение в сторону, противоположную движению керна, который продолжает перемещаться с постоянной скоростью. Спирализационная головка 15 жестко насажена на полый вал 14, который под действием кулачка 3 совершает возвратно-поступательное перемещение и связан со шпинделем 9 скользящей шпонкой. Шаг спирали зависит от трех факторов: скорости перемещения керна, профиля кулачка 3 и частоты его вращения. Для получения спиралей с заданным шагом изменяют частоту вращения тянущего диска 1 и кулачка 3.

Бифилярные спирали, т.е. спирали двойной навивки (см. рис. 57, в), получают на автоматах, которые одновременно навивают моноспираль и из нее биспираль.

На рис. 60 показана последовательность изготовления бифилярной спирали. Вначале на керн наматывается моноспираль, которая поступает на промежуточный отжиг и разрезается на заготовки (рис. 60, а), захватываемые вилкой (рис. 60, б) для подачи в дюзу (рис. 60, в). Затем заготовки при одновременном поступательном и вращательном движении вилки формируются (рис. 60, г).

Кинематическая схема автомата навивки бифилярных спиралей показана на рис. 61. Вращение от электродвигателя через клиноременную передачу передается на вал I и далее через зубчатую передачу  $z_3/z_4$  — на валы II и III, соединенные скользящей шпонкой. Одновременно пустотелый вал III получает поступательное движение от кулачка спирализации 2, жестко связанного с контактным кулачком 1, который через зажим а включает однооборотную муфту 3.



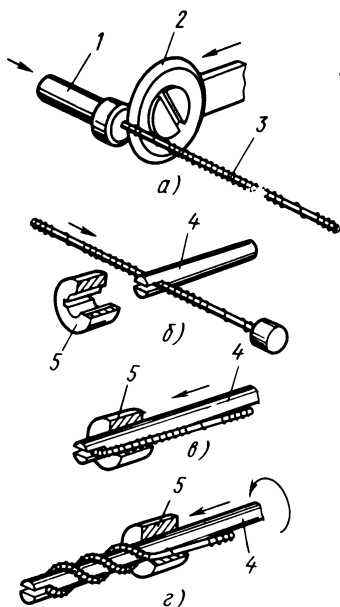
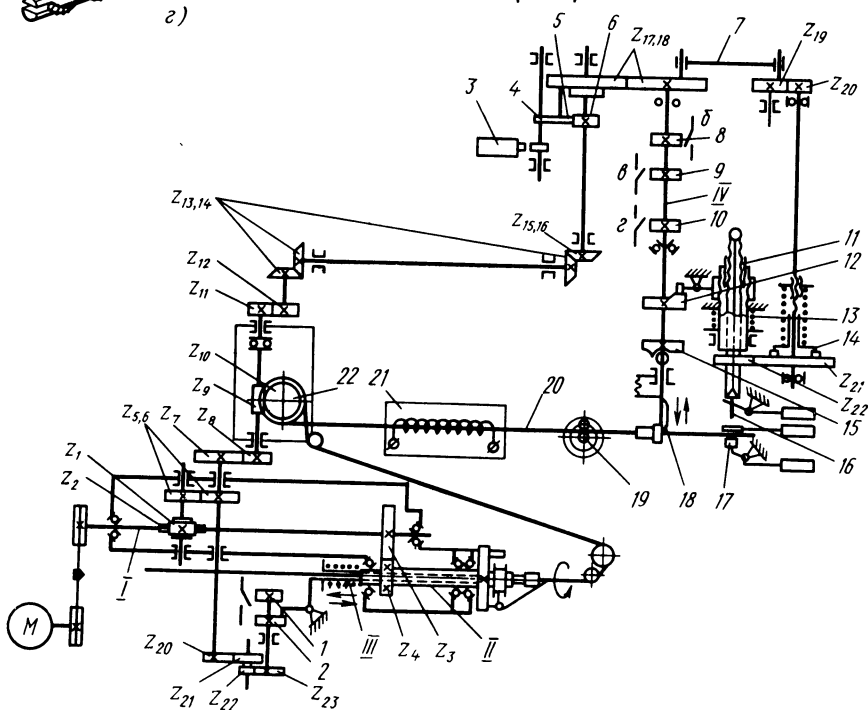


Рис. 60. Последовательность изготовления бифилярной спирали:

а, б — отрезка заготовки и подача ее в полость формовки, в — заправка заготовки в дюзу, г — навивка подогревателя; 1 — держатель, 2 — дисковый нож, 3 — моноспираль, 4 — вилка, 5 — дюза

Рис. 61. Кинематическая схема автомата навивки бифилярных спиралей:

1, 2, 8, 9, 10, 12, 15 — кулачки, 3, 14 — муфты, 4 — рычаг, 5 — собачка, 6 — храповое колесо, 7 — кривошипно-шатунный механизм, 11 — резьбовая пара, 13 — пружина, 16 — выталкиватель, 17 — механизм формовки, 18 — нож, 19 — тянущие ролики, 20 — моноспираль, 21 — печь отжига, 22 — тяговый барабан; I-IV — валы



В момент срабатывания муфты рычаг 4 поворачивается, освобождает собачку 5, связанную с храповым колесом 6, и начинает вращаться вместе с зубчатым колесом  $z_{17}$ . Сделав один оборот, собачка рычагом 4 выводится из зацепления с храповым колесом 6 и останавливается вместе с зубчатым колесом  $z_{17}$ . От зубчатого колеса  $z_{17}$  через зубчатое колесо  $z_{18}$  прерывистое вращение муфты 3 передается распределительному валу IV, на котором расположены кулачки всех автоматически действующих механизмов.

Кулачок 15 механизма резки передает возвратно-поступательное движение ножу 18, куда спирализационная проволока подается тянущими роликами 19, имеющими индивидуальный электропривод. При движении ножа заготовка отрезается на заданную длину и вдувается воздухом в полость механизма формовки 17.

Под действием пружины 13 игла выталкивателя 16 движется вперед и проходит через дюзу. От зубчатого колеса  $z_{18}$  через кривошипно-шатунный механизм 7, сектор  $z_{19}$ , шестерню  $z_{20}$ , фрикционную муфту 14 и зубчатую пару  $z_{21}$  и  $z_{22}$  игла получает вращательное движение, а от резьбовой пары 11 одновременно осевое перемещение. В исходное положение иглу возвращает кулачок формовки 12.

На валу IV расположены также кулачки 8, 9 и 10, включающие через контакты б, в и г соответствующие электромагниты, приводящие в действие механизмы заслонки, выталкивателя и сбрасывателя.

Для очистки от следов углерода и придания определенных механических свойств спирализационную проволоку отжигают в печи при 900–1100°С в атмосфере увлажненного водорода.

Различный шаг навивки спиралей получают, изменяя частоту вращения тягового барабана 22, а также кулачка спирализации 2 и его шпинделя, для чего в автомате предусмотрены соответственно сменные шестерни  $z_7, z_8$  и  $z_{20}, z_{21}, z_{22}, z_{23}$ .

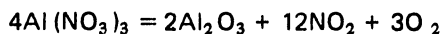
#### § 47. Нанесение изоляционных покрытий на спирали подогревателей

Изоляционные покрытия на спирали подогревателей катодов наносят методами пульверизации (как на керны катодов), механического алундирования, катафореза или анафореза.

При механическом алундировании изоляционный слой наносят на длинные отрезки вольфрамовой проволоки диаметром менее 80 мкм, которые затем разрезают на заготовки для формирования петлевых подогревателей. Предварительно проволоку очищают от загрязнений и отжигают в атмосфере водорода.

Пасту для нанесения изоляционного алундового покрытия этим методом готовят, смешивая микropорошок корракса в воде с раствором азотнокислого алюминия, который выполняет роль связующего

вещества — биндера. Азотнокислый алюминий  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  представляет собой белый кристаллический порошок, хорошо растворимый в воде и разлагающийся при  $365^\circ\text{C}$  на оксиды алюминия, азота и кислород:



Водный раствор азотнокислого алюминия готовят предварительно, для чего 200 г порошка  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  растворяют при нагревании в 250 мл дистиллированной воды и в этот раствор добавляют холодную дистиллированную воду, пока плотность его не будет равна  $1,348\text{ г/см}^3$ .

Паста должна состоять из 62,5% микропорошка корракса, 31,2% раствора  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  и 6,3% дистиллированной воды. Эту смесь обрабатывают на валковой мельнице до получения однородной массы, которую процеживают через тонкие сита.

На рис. 62 показана многоканальная установка для механического алундирования вольфрамовой проволоки. С подающей катушки 1 проволока проходит через верхний блок роликов 2, верхнюю ванну 3 с суспензией, печь сушки 4, нижний блок роликов 5, нижнюю ванну 6 с суспензией и снова печь сушки 4, а после этого наматывается на приемную катушку 10. Привод вращения состоит из электродвигателя 8, двухступенчатого червячного редуктора 9 и двух вариаторов скоростей 7. Вращение на редуктор передается через клиноременную передачу. Установка снабжена механизмом блокировки 11, предназначенным для автоматического отключения электродвигателя при обрыве проволоки.

Широкое применение для нанесения изоляционных покрытий получил метод электрофореза. Электрофорез основан на том, что мелкие твердые частицы суспензий и коллоидов при подаче разности потенциалов начинают перемещаться. Если частицы заряжены положительно, они движутся к катоду, осаждаясь на нем в виде плотного равномерного слоя, и это явление называют катафорезом. Отложение отрицательно заряженных частиц на аноде называют анафорезом.

В производстве электровакуумных приборов преимущественное распространение получил катафорез. Скорость осаждения покрытия при катафорезе тем больше, чем больше диэлектрическая постоянная суспензии и меньше ее вязкость. Поэтому в качестве жидкой фазы суспензии, как правило, применяют метиловый спирт, диэлектрическая постоянная которого равна 31,2, а вязкость 0,58 сП. На скорость осаждения влияют также концентрация суспензии, валентность ионов входящих в ее состав компонентов и наличие добавок — поверхностно-активных веществ.

Изменяя время осаждения, можно получать покрытия необходимой толщины. На рис. 63, а показаны кривые зависимости массы покрытия от времени его нанесения при напряжении 25 и 40 В, из которых видно, что с увеличением продолжительности и напряжения масса покрытия

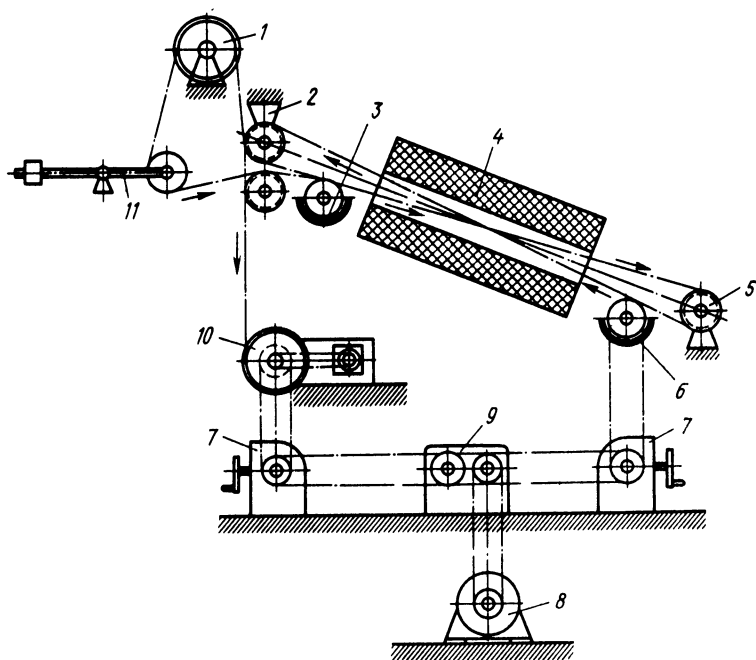


Рис. 62. Многоканальная установка механического алундирования вольфрамовой проволоки:

1 — подающая катушка, 2, 5 — верхний и нижний блоки роликов, 3, 6 — верхняя и нижняя ванны, 4 — печь сушки, 7 — вариаторы, 8 — электродвигатель, 9 — червячный редуктор, 10 — приемная катушка, 11 — механизм блокировки

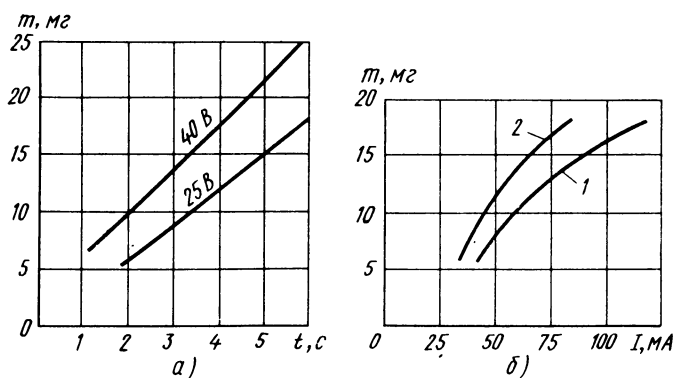


Рис. 63. Зависимость массы покрытия от времени осаждения (а) и протекающего через электролит (суспензию) тока (б)

возрастает. На рис. 63, б показаны кривые зависимости массы покрытия от тока, протекающего через суспензию в начале (кривая 1) и в конце (кривая 2) процесса осаждения при одинаковом времени.

Для нанесения на спирали подогревателей катодов изоляционного алундового покрытия методом катафореза широкое распространение получил восьмипозиционный полуавтомат (рис. 64), на котором выполняются следующие операции: нанесение покрытия на спирали; промывка их в ацетоне для удаления капель алундовой суспензии и образующихся в петлях затеков; сушка покрытия в струе горячего воздуха; закрепление покрытия для повышения его механической прочности; окончательная сушка.

Восемь шпинделей 10 карусели 7 переносят зажимы с закрепленными в них подогревателями с позиции на позицию и опускают их в сосуды 4 с алундовой суспензией. Карусель поворачивается мальтийским механизмом 11. Окунание зажимов с подогревателями производится под действием системы рычагов 13 и барабанных кулачков 14. Шпиндель 10 выполнен в виде трубки, внутри которой заключен стержень 9 с гнездом 12 для подвески зажима, отжимаемый вверх пружиной 8. Для точной настройки глубины погружения подогревателей шпиндель имеет регулировочный винт 6.

Сосуд 4 имеет массивный корпус с каналами, по которым под действием крыльчатки 2 непрерывно циркулирует суспензия. Крыльчатка приводится во вращение электродвигателем 1 с регулируемой частотой вращения. Сосуд 4 закрывается крышкой 5, к которой снизу прикреплены пластины 3, служащие анодами в процессе катафореза.

Для получения покрытия необходимой толщины регулируют время прохождения тока и напряжение. Регулирование времени производится торцовым кулачком 18, поворачиваемым рукояткой 19. При этом перемещается стержень 17 и устанавливается необходимое расстояние между контактами 16, которые замыкаются кулачком 15. Напряжение регулируют потенциометром.

После осаждения алундовой суспензии подогреватели промываются трехкратным погружением в ванну с ацетоном, а затем сушатся, проходя через печь, воздух в которой подогревается никромовыми нагревателями. Далее подогреватели погружаются в бачок с закрепляющим раствором и вновь подсушиваются.

Для нанесения на спирали подогревателей катодов изоляционного слоя методом анафореза используют аналогичное оборудование, но с обратной полярностью включения сосуда с суспензией и штанг, на которых закрепляют спирали подогревателей. Для повышения механической прочности изоляционного покрытия спирали обжигают в атмосфере увлажненного водорода при 1600—1700° С. Обжиг выполняют в специальных молибденовых лодочках, также покрытых термически обработанным алундовым слоем.

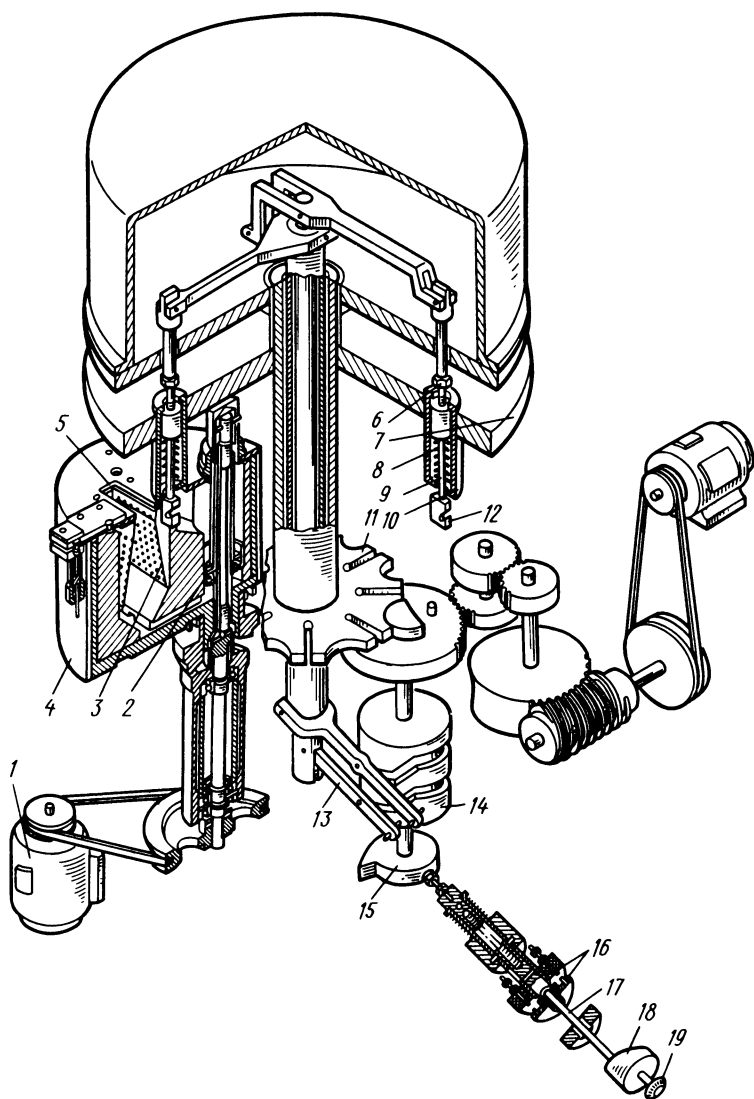


Рис. 64. Восьмипозиционный полуавтомат нанесения изоляционного покрытия на спирали подогревателей катодов методом катодного осаждения:  
 1 — электродвигатель, 2 — крыльчатка, 3 — пластина, 4 — сосуд, 5 — крышка, 6 — регулировочный винт, 7 — карусель, 8 — пружина, 9, 17 — стержни, 10 — шпиндель, 11 — мальтийский механизм, 12 — гнезда, 13 — рычаг, 14, 15, 18 — кулачки, 16 — контакты, 19 — рукоятка

Режимы обжига устанавливают экспериментально для каждого типа спиралей подогревателей в зависимости от их формы, способа нанесения покрытия и его толщины.

#### **§ 48. Армирование подогревателей и сборка их с катодами**

Чтобы облегчить в процессе монтажа приварку подогревателей к ножке электровакуумных приборов, их концы армируют пистонами или лепестками, соответственно изготавливаемыми из никелевых трубок или лент.

Получаемые из трубок пистоны длиной 3—4 мм обезжиривают в горячем трихлорэтилене, промывают водой, высушивают и отжигают в атмосфере водорода при 800°С в течение 2—3 мин, а затем надевают на концы подогревателя, не покрытые алундом, и обжимают специальным прессом. Никелевую ленту предварительно тщательно очищают и отжигают в водороде, а затем режут на лепестки, которые приваривают к концам подогревателей.

Армирование выполняют также, обжимая никелевую ленту вокруг кернов подогревателей или навинчивая на их концы дополнительные вольфрамовые спирали.

Наиболее прогрессивным является армирование концов специальной пастой, в которую входят карбонильное железо с содержанием углерода не более 1%, оксид железа, применяемые для изготовления алундовых суспензий биндер и амилацетат. Армирование этим методом выполняют на специальных установках, позволяющих погружать концы подогревателей на необходимую глубину в постоянно размещаемую пасту. Обработанные таким образом подогреватели отжигают в водороде при 1100°С в течение 5 мин.

Сборкой подогревателей с катодами получают катодно-подогревательные элементы, которые затем монтируют в электронные приборы. При сборке катодно-подогревательных элементов, например электронно-лучевых приборов (рис. 65), катод 4 устанавливают в центральное отверстие верхнего керамического изолятора 5, монтируют дистанционное кольцо 3, надевают нижний керамический изолятор 2, армированный пистонами, и помещают сборку в оправку. Затем в отверстия нижнего керамического изолятора вставляют пружины 9 и приваривают их к выводам катода, отрезают концы пружин до требуемого размера, после чего сваривают с ними вывод 10 и перемычки 6. Далее в катод 4 монтируют подогреватель 1, приваривая соединители 7 к держателям 8, отрезают концы соединителей и передают на контроль.

При сборке катодно-подогревательных элементов используют специальные приспособления, позволяющие выдержать заданные номинальные размеры и гарантирующие соблюдение допустимых отклонений.

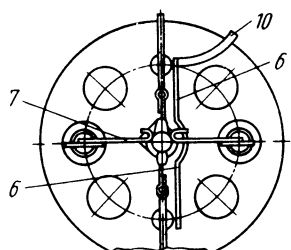
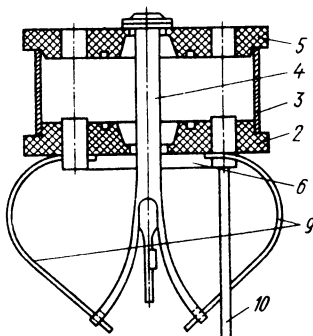
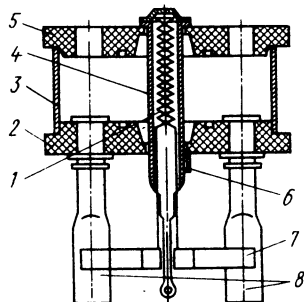


Рис. 65. катодно-подогревательный элемент:  
1 — подогреватель, 2, 5 — нижний и верхний керамические изоляторы, 3 — дистанционное кольцо, 4 — катод, 6 — перемычки, 7 — соединители, 8 — держатели, 9 — пружины, 10 — вывод



Параметры подогревателей контролируют на всех операциях технологического процесса их изготовления.

Петлевые подогреватели на стадии формообразования контролируют визуально, сравнивая их с эталоном и устанавливая качество гибки и соблюдение угла раскрытия петли. После нанесения покрытия и армирования пооперационно проконтролированные петлевые подогреватели еще раз перед монтажом в прибор проверяют на отсутствие внешних дефектов в слое изоляции. Затем у петлевых подогревателей выборочно на специальном приспособлении определяют механическую прочность в местах изгибов. Для контроля механической прочности в середине плеч также применяют специальное приспособление в виде трехгранной призмы. Механически прочными считаются подогреватели, в которых при изгибе под углом  $90^\circ$  на острие призмы не сломалось ни одно из плеч. Прочность сцепления изоляционного слоя с керном петлевого подогревателя определяют по нагрузке  $P$ , действующей на пластины, между которыми помещают подогреватель.

Спиральные подогреватели на стадии формообразования контролируют на точность соблюдения постоянного или переменного шага навивки спирали по длине. При этом, как правило, используют оптический метод сравнения шага навитой спирали с эталонными размерами, применяя часовой проектор. Так как длина проволоки спиральных монофилярных и монобифилярных подогревателей значительно больше, чем у петлевых,



их контролируют на электрическое сопротивление в холодном состоянии, для чего используют обычные мостовые схемы.

Кроме того, спиральные подогреватели выборочно проверяют на разброс значений тока накала при одном и том же напряжении. Для этого несколько подогревателей с измеренным сопротивлением монтируют на ножках приборов вместе со стандартными катодами, помещают в вакуумную камеру и после создания высокого вакуума подают на них номинальное напряжение и измеряют ток накала.

#### Контрольные вопросы

1. Каково назначение подогревателей катодов в электровакуумных приборах?
2. Каким требованиям должны удовлетворять материалы, из которых изготовляют подогреватели катодов?
3. Какие методы изготовления петлевых и спиральных подогревателей вы знаете?
4. Как изготовляют катодно-подогревательные элементы?
5. Какие методы контроля подогревателей вы знаете?

## ГЛАВА ДЕВЯТАЯ. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ГАЗОПОГЛОТИТЕЛЕЙ

### § 49. Основные сведения

Газопоглотители — геттеры — предназначены для улучшения вакуума после откачки электровакуумных приборов и поддержания в них определенного давления остаточных газов при хранении и эксплуатации.

Даже в хорошо обезгаженных приборах давление остаточных газов может повышаться в результате их десорбции с поверхности деталей и диффузии из материалов. Кроме того, через стеклянную или стальную оболочку приборов происходит натекание из атмосферы гелия или водорода. Поэтому необходимо вводить в электровакуумные приборы газопоглотители или наносить на внутренние поверхности покрытия, способные связывать газы, выделяющиеся в рабочий объем. Кроме того, газопоглотители используют для избирательного поглощения газов и формирования определенного состава остаточной среды.

Газопоглотители обычно эффективны в диапазоне давлений от  $10^{-1}$  до  $10^{-7}$  Па при изменении концентрации газовых молекул над их поверхностью от  $3,5 \cdot 10^{-13}$  до  $10^{-7}$  см $^{-3}$ . По мере насыщения скорость газопоглощения уменьшается. Емкость газопоглотителя определяется количеством поглощенного газа до момента, при котором скорость газопоглощения снижается до 10%.

Поглощение газов газопоглотителями может происходить при химическом взаимодействии твердого тела с остаточной газовой средой (хе-

мосорбция), конденсации газа на поверхности тела с образованием моно- или полимолекулярной пленки (адсорбция), а также его проникновения в твердое тело (абсорбция).

Во многих случаях газ, поглощенный твердым телом, может находиться одновременно в адсорбированном и абсорбированном состояниях. Иногда бывает трудно установить, какой из указанных видов взаимодействия преобладает. Поэтому принято механизм поглощения газов твердым телом определять более общим понятием — сорбция, объединяющим два предыдущих.

Газопоглотители имеют пористую структуру и разделяются на две группы. К первой группе относятся распыляемые газопоглотители, которые наносятся термическим испарением на внутреннюю поверхность оболочки откачанного и обезгаженного электровакуумного прибора и в течение определенного времени сорбируют остаточные газы. Ко второй группе относятся нераспыляемые газопоглотители, изготовленные из металлов с очень высокой температурой испарения, т. е. обладающих малой летучестью, вследствие этого их можно помещать в непосредственной близости от электронного потока — между электродами прибора.

Распыляемые газопоглотители получают на основе бария и его сплавов с алюминием, магнием, стронцием или другими металлами. Массой газопоглотителя заполняют лодочки, плоские круглые и кольцевые чашечки или трубки со швом. В соответствии с этим газопоглотители подразделяют на порошковогодавленные (таблеточные и кольцевые — рис. 66, а, б), ленточные (рис. 66, в) и шовно-трубные (рис. 66, г).

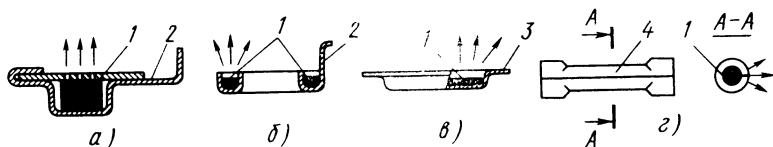
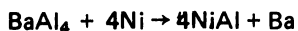


Рис. 66. Газопоглотители:

а, б — порошковогодавленные таблеточный и кольцевой, в — ленточный, г — шовно-трубный; 1 — геттерная масса, 2 — чашечка, 3 — лодочка, 4 — трубка со швом

В производстве электровакуумных приборов в качестве распыляемых газопоглотителей наибольшее распространение получили сплавы "Альба", состоящие соответственно из 50 или 65% Ва и 50 или 35% Al.

Чтобы облегчить разложение сплава, снизить температуру и связать освобождающийся алюминий, в массу газопоглотителя добавляют вещества, легко соединяющиеся с алюминием с выделением теплоты (например, порошки никеля или титана). Так, сплав "Альба" с добавкой никеля, называемый "Альбани", разлагается по следующей реакции:



Газопоглотитель "Альбани" состоит из 50, 60 или 40% сплава "Альба" и 50, 40 или 60% порошка никеля. С добавками порошка титана изготавливается газопоглотитель "Бати", состоящий из 50, 60 или 40% сплава "Альба" и 50, 40 или 60% титана.

Для получения таблеточных газопоглотителей массу прессуют в сухом виде; ленточные и шовно-трубные газопоглотители изготавливают из пасты, замешанной на связке — биндере, которую наносят в лодочки или трубки и сушат.

Бариевая пленка считается хорошим газопоглотителем при комнатной температуре, так как скорость поглощения ею разреженных газов почти не изменяется во времени вплоть до полного насыщения. Тем не менее применение бариевой пленки не всегда возможно из-за отсутствия достаточного пространства и подходящей поверхности для ее осаждения, высокой вероятности возникновения, особенно в высоковольтных приборах, токов утечки и коротких замыканий, изменений межэлектродных емкостей, роста высокочастотных потерь, что обусловлено напылением геттерного материала на электроды и другие детали прибора. Кроме того, высокое давление паров бария делает невозможным его применение в приборах, имеющих повышенную температуру (300—400°С) корпуса при работе.

Нераспыляемые газопоглотители лишены этих недостатков, так как для эффективной сорбции газов их испарение не требуется.

Нераспыляемые газопоглотители изготавливают из активных металлов или их сплавов с алюминием (титана, циркония, тантала, ниобия, церия) в виде таблеток (прессованием порошков), стержней, втулок, лент, спиралей (механической обработкой), а также пленок, осаждаемых на элементы приборов и внутренние поверхности их оболочек (плазменным нанесением). Пористость применяемых в отечественных приборах поглотителей около 50%. Установлено, что в качестве газопоглотителей сплавы активных металлов (например, 80% титана с 20% циркония и 60% титана с 30% циркония и 10% алюминия) более эффективны, чем чистые металлы.

Газопоглощающие пленки, имеющие толщину порядка сотен микрометров, после нанесения спекают.

Нераспыляемые газопоглотители можно сравнивать между собой по основным характеристикам, важнейшими из которых являются сорбционные. Такие характеристики, как прочность связывания, механическая прочность геттера, собственное газовыделение при нагреве в процессе откачки и коэффициент вторичной электронной эмиссии являются вспомогательными.

При использовании нераспыляемых газопоглотителей давление в электровакуумных и газонаполненных приборах в течение нескольких

тысяч часов их эксплуатации поддерживается на уровне  $10^{-6} - 10^{-7}$  Па. Причем в составе остаточных газов преобладают инертные или восстановительные компоненты и обеспечивается чистота газа-наполнителя в газонаполненных приборах.

В последнее время нераспыляемые газопоглотители успешно используются при создании сорбционных насосов или сорбционных емкостей, расположенных непосредственно в вакуумном рабочем объеме.

Механизм поглощения состоит в образовании химических соединений между металлом геттера и остаточными газами и растворении этих газов в геттере. При растворении молекулы остаточных газов разлагаются на атомы и ионы и диффундируют в материал геттера.

Эффективность газопоглощения зависит от степени пористости геттера. Практически все геттеры отличаются селективностью (избирательностью) поглощения. Так, бариевые газопоглотители активнее поглощают окислительные газы (кислород,

угарный газ), чем водород (рис. 67). Достоинствами бариевых поглотителей являются низкие рабочие температуры, предельные давления остаточных газов (до  $10^{-7}$  Па) и упругость паров продуктов реакции.

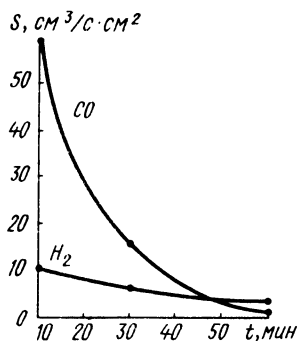


рис. 67. Зависимости скорости поглощения угарного газа и кислорода бариевыми газопоглотителями "Бати" и "Альбани" от времени

## § 50. Распыляемые и нераспыляемые газопоглотители

Изготовление порошковогодавленных распыляемых газопоглотителей состоит в подготовке исходных металлических порошков, их просеивании, смешивании, прессовании и контроле. В некоторых случаях отдельные компоненты смеси подвергают вакуумной обработке. Для массовых типов приборов требуются миллионы штук газопоглотителей, поэтому для их изготовления разработано и выпускается как механизированное, так и автоматизированное оборудование.

На рис. 68 показана кинематическая схема девятипозиционного роторного пресса для изготовления кольцевых порошковогодавленных газопоглотителей. Ротор 8 приводится во вращение электродвигателем 11 через муфту 12 и зубчатый редуктор 13. Кроме того, ротор может быть приведен во вращение ручным приводом 17, состоящим из цепной и зубчатой 9 передач, а также муфты 10 свободного хода, которая позволяет осуществить только одностороннее движение ротора и разъединяет цепь его ручного привода при включенном электродвигателе.

На роторе пресса установлены и вращаются вместе с ним два насо-



вые чашечки. Для регулировки этого механизма служит специальное устройство, действующее от электродвигателя 19 через редуктор 18, зубчатую передачу 15, червячный редуктор 21 и ходовой винт 20 и связанное с лимбом 22.

Для изготовления ленточных и шовно-трубных газопоглотителей пасты получают смешиванием порошков исходных компонентов с биндером из нитроклетчатки до однородного состояния.

Ленточные газопоглотители изготавливают на автомате (рис. 69), выполняющем штамповку лодочек, нанесение на них пасты, отрезку и сушку лодочек с пастой.

При работе автомата никелевая или молибденовая лента, сматывающаяся с катушки 1, последовательно проходит механизмы подачи и штам-

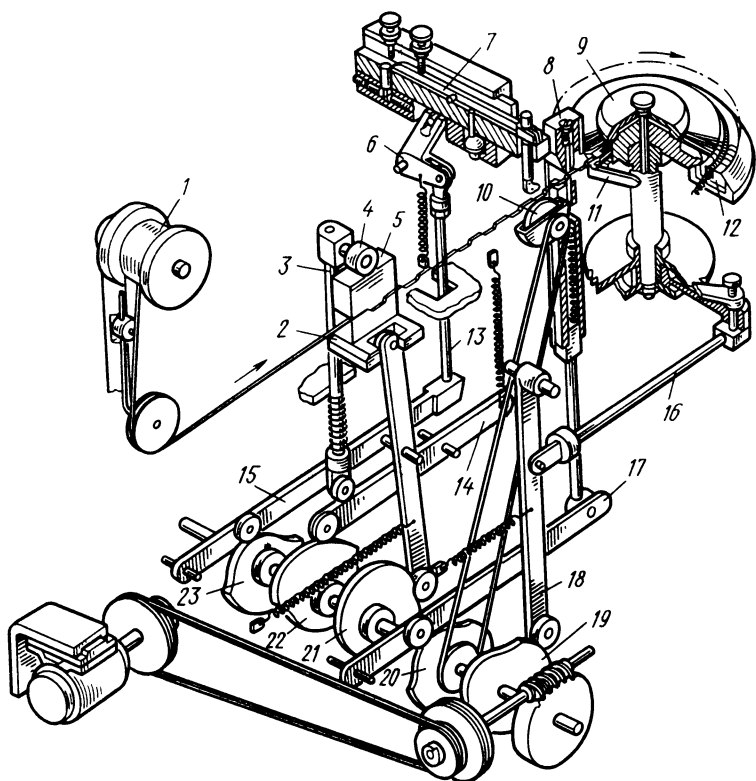


Рис. 69. Кинематическая схема автомата изготовления ленточных газопоглотителей:

1 — катушка с лентой, 2 — механизм подачи и штамповки, 3, 13 — толкатели, 4 — ролик, 5 — пуансон, 6, 14, 15, 16, 17, 18 — рычаги, 7, 8 — механизмы нанесения пасты и резки, 9, 10 — диски, 11, 19, 20, 21, 22, 23 — кулачки, 12 — печь

повки 2, нанесения пасты 7 и резки 8. Далее отрезанная лодочка зажимается одним концом на прерывисто вращающемся диске 9, проходит над печью 12 и подсушивается теплым воздухом.

Механизм подачи и штамповки получает движение от кулачков 21 и 22. Шаг подачи ленты зависит от профиля кулачка 21. Кулачок 22 сообщает перемещение пуансону 5, формирующему лодочку, через рычаг 14 и толкатель 3. После выдавливания лодочки из ленты штамп не раскрываясь перемещает ленту на один шаг. Затем толкатель 3 с роликом 4 поднимается, штамп под действием пружин раскрывается, перемещается в исходное положение и выдавливает новую лодочку.

Механизм 7 переносит пасту, нанесенную на диск 10, в выдавленные лодочки и получает движение от кулачка 23, рычагов 15 и 6 и толкателя 13. Затем лодочки отрезаются механизмом резки 8, который приводится в действие кулачком 20, рычагом 17 и зажимаются лапками диска 9. Движение диску 9 сообщается храповым механизмом от кулачка 19, взаимодействующего с рычагами 18 и 16. Выгружаются лодочки в тот момент, когда лапки диска раскрываются путевым кулачком 11.

Изготовление нераспыляемых газопоглотителей зависит от метода их формообразования: прессования, механической обработки или плазменного напыления.

Прессованные нераспыляемые газопоглотители получают из порошков тантала, ниобия, сплавов "Цето" (церия с алюминием) и "Циаль" (циркония с алюминием) так же, как порошковогодавленные распыляемые.

Компактные газопоглотители изготавливают точением, фрезерованием, штамповкой, сверлением или вытяжкой из иодидного или магниево-термического титана, переплавленных в вакууме тантала и ниобия, а также полученного из слитков в результате электронно-лучевой плавки в вакууме циркония.

Металлообработка активных металлов имеет ряд особенностей, связанных с физическими свойствами этих материалов. Так, сравнительно малая удельная теплоемкость титана, небольшая плотность и очень низкий коэффициент теплопроводности приводят при резании его к возникновению высоких местных температур, что вызывает плавление металла и образование наростов на инструменте. Чтобы исключить образование наростов и получить требуемую шероховатость поверхности газопоглотителя, рекомендуется применять резцы с пластинками из твердых сплавов.

Тантал и ниобий допускают большие скорости резания (до 90 м/мин) и позволяют использовать резцы из быстрорежущей стали. Кроме того, их можно обрабатывать методами штамповки. Цирконий и его сплавы точат резцами из карбида вольфрама, при этом наблюдается наклеп, для снятия которого необходимы промежуточные отжиги в вакууме при 650°С.

Если при изготовлении газопоглотителей из активных металлов используются охлаждающие жидкости, необходимо учитывать возможность загрязнения поверхностного слоя элементами, снижающими их активность. Механическая обработка активных металлов требует строгого соблюдения специальных правил техники безопасности, так как металлическая пыль и тонкая стружка из-за быстрого окисления на воздухе могут самовозгораться.

Перспективным следует считать изготовление компактных газопоглотителей механической обработкой многослойных материалов, плакированных горячим способом в вакууме активными металлами.

Промышленностью выпускаются ленточные и листовые многослойные материалы: биметалл "Армо" (железо—титан) и триметалл титан—железо—алюминий, в которых плакирующий слой титана ВТ1-1 имеет толщину 30 мкм.

Геттеры в виде пленок наносят на специальных установках (рис. 70) плазменным распылением порошков активных металлов. Порошок активного металла, находящийся в бункере 2, под действием вибратора 1 поступает через дроссельное устройство 5 между вольфрамовым электродом 4 и соплом 6, где горит дуга и образуется плазма при ионизации инертных газов аргона и гелия, поступающих из смесителя 3. В процессе нагрева и расплавления в струе плазмы частицы порошка распыляются и осаждаются на покрываемой детали 7. Удаляют инертные газы из пор нанесенного таким образом покрытия нагреванием в вакууме.

Все газопоглотители достаточно стойки к окислению на воздухе и могут храниться длительное время, но так как они очень чувствительны к влаге, их для сохранения высоких газопоглощающих свойств следует хранить в вакуумных шкафах.

Наиболее важными параметрами газопоглотителей являются газопоглощающая способность, пористость (прессованных), механическая прочность (прессованных и компактных) и прочность сцепления с подложкой (напыляемых).

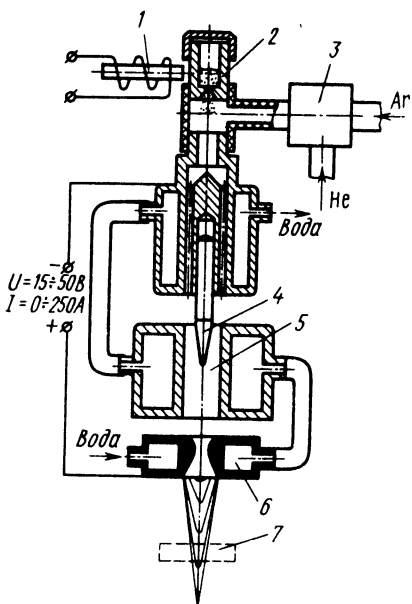


Рис. 70. Устройство нанесения покрытий плазменным методом:

1 — вибратор, 2 — бункер, 3 — смеситель, 4 — вольфрамовый электрод, 5 — дроссельное устройство, 6 — сопло, 7 — деталь



Газопоглощающую (сорбционную) способность геттеров определяют динамическим методом, при котором используют капилляр с известной проводимостью. Газ, скорость поглощения которого определяется, напускается в объем с газопоглотителем через капилляр с известной проводимостью  $F$ , равной  $5\text{--}20\text{ см}^3/\text{с}$ . Регулируя поток газа на входе в капилляр, поддерживают постоянное давление над газопоглотителем, для чего используют прецизионные натекатели. Скорость газопоглощения определяется разностью давлений над газопоглотителем  $P_1$  и на входе в капилляр  $P_2$ , т. е.  $v = FP_1 (P_2/P_1 - 1)$ .

Этот метод обычно используют при давлении над газопоглотителем  $10^{-2} - 10^{-4}$  Па.

Пористость прессованных газопоглотителей определяют по разности масс сухого  $G_1$  и пропитанного жидкостью  $G_2$  образца с учетом плотности материала образца  $\gamma_m$  и жидкости  $\gamma_{ж}$  и рассчитывают по формуле

$$\Pi = \frac{(G_2 - G_1) \gamma_{ж}}{[(G_2 - G_1) / \gamma_{ж}] + (G_1 / \gamma_m)} \cdot 100\%$$

Размеры пор и равномерность их распределения, если необходимо, определяют по шлифам под микроскопом.

Прочность прессованных и компактных газопоглотителей контролируют ударной нагрузкой. Так, прочность прессованных газопоглотителей контролируют падением груза цилиндрической формы массой от 50 до 200 г с высоты 600 мм. Отсутствие осыпавшихся участков при визуальном контроле состояния поверхности газопоглотителя свидетельствует о его достаточной прочности.

У компактных нераспыляемых газопоглотителей контролируют размеры и шероховатость поверхности измерительными инструментами и приборами, описанными в главе второй. Прочность прессованных нераспыляемых газопоглотителей проверяют аналогично прочности прессованных распыляемых, а толщину геттерной пленки, напыленной на детали электровакуумных приборов, — часовым проектором или инструментальным микроскопом.

#### Контрольные вопросы

1. Каково назначение газопоглотителей в электровакуумных приборах?
2. Какие виды распыляемых и нераспыляемых газопоглотителей вы знаете?
3. Каков механизм поглощения газов газопоглотителями?

## ГЛАВА ДЕСЯТАЯ. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ ИЗ СТЕКЛА

### § 51. Основные сведения

Для изготовления герметичных оболочек, изоляторов, деталей внутренней арматуры и других элементов электровакуумных приборов широко используют стекло. Это объясняется его ценными свойствами, основными из которых являются сравнительная легкость формообразования, низкая газопроницаемость, химическая стойкость, хорошие электроизоляционные свойства.

Стекло — аморфный, обычно прозрачный материал. По химическому составу оно является сплавом диоксида кремния  $\text{SiO}_2$  с оксидами калия, натрия, бора, бария, алюминия, свинца, цинка, магния, кальция, придающих ему особые свойства. Важнейшей характеристикой стекла является коэффициент температурного расширения  $\alpha$ . В зависимости от значения этого коэффициента стекло подразделяют на тугоплавкое ( $\alpha = 5,5 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ ) и легкоплавкое ( $\alpha = 5,5 \div 11,0) \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ ).

Наиболее тугоплавким является кварцевое стекло, содержащее 98,8%  $\text{SiO}_2$  и обладающее высокими прочностными свойствами и прозрачностью для ультрафиолетовых лучей. Стекло активно поглощает газы. Так, в его приповерхностном слое может быть сорбировано (поглощено) более 50 мономолекулярных слоев. При этом преимущественно сорбируются пары воды и незначительное количество углекислого газа и азота.

При нагреве стекла в вакууме до  $300^\circ\text{C}$  большая часть поверхностно-сорбированных газов выделяется в течение первых 2—3 мин. При температуре выше  $500^\circ\text{C}$  происходит интенсивное газовыделение из стекла главным образом паров воды,  $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$ , а также в незначительных количествах  $\text{H}_2$ .

Стекланные изделия получают литьем, прессованием, вытягиванием и выдуванием жидкой стекломассы или термопластическим формованием стекланных заготовок (при этом следует строго соблюдать термические режимы нагрева и охлаждения). Если необходимо, стекланные детали дополнительно обрабатывают: режут, шлифуют, полируют.

Среди всех физико-химических свойств, характеризующих стекло как материал, важнейшую роль при термопластическом формообразовании играют вязкость и поверхностное натяжение.

Диаграмма вязкости стекла при изменении температуры показана на рис. 71. Такая закономерность сохраняется для всех типов стекол, хотя в зависимости от их сорта граничные значения температур в указанных интервалах могут быть различными.

Кривая вязкости стекла имеет большое значение для правильного проведения процессов формообразования, а также оценки возможных

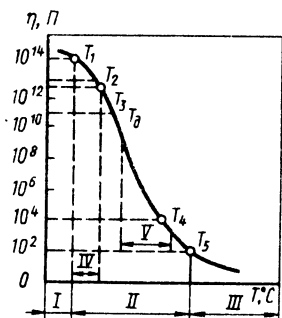


Рис. 71. Диаграмма вязкости стекла:  
 $T_1, T_2$  — нижняя и верхняя температуры интервала отжига,  $T_3$  — температура, соответствующая постоянной вязкости  $\eta = 10^{13,3}$  П отжига,  $T_4$  — температура размягчения,  $T_5$  — температура разлива

областей применения стекол различного химического состава. Кривая вязкости имеет ряд характерных точек, являющихся температурными границами зон, соответствующих определенному интервалу вязкости.

Зона I соответствует хрупкому состоянию стекла, при котором возможно лишь очень незначительное взаимное перемещение его частиц. При этом выравнивание имеющихся в изделии механических напряжений невозможно.

Зона II соответствует вязкому состоянию стекла в интервале  $\eta$  от  $10^2$  до  $10^{14}$ .

Внутри этого интервала на участке температур  $T_1 - T_2$  расположена зона IV отжига стекла. Нижняя температура отжига  $T_1$ , соответствующая вязкости  $\eta = 3,2 \cdot 10^{14}$  П, определяется как температура, при которой напряжения устраняются за 4 ч. Верхняя температура отжига  $T_2$ , соответствующая вязкости  $\eta = 10^{13,3}$  П, определяется как температура, при которой напряжения устраняются за 15 мин. Дилатометрическая точка трансформации, или температура деформации  $T_d$ , соответствует вязкости около  $10^{11,3}$  П.

Зона III, соответствующая жидкому состоянию стекла, вязкости которого  $\eta \leq 10^2$  П, представляет интерес для стекловарения.

Зона V является областью формирования изделий из жидкого стекла, вязкость которого составляет  $10^{8,6} - 10^3$  П.

Благодаря тому что стекло в пределах зоны II имеет широкий диапазон степени вязкости, применяют различные способы формообразования. Выбирая для формообразования тот или иной температурный интервал, обеспечивают соответствующую скорость самопроизвольной фиксации формы, приданной стеклу. Изменяя состав стекла, можно в широких пределах изменять вязкость стекломассы, получая возможность приспосабливаться к различным температурным режимам формообразования.

Обратимость закона зависимости вязкости стекла от температуры позволяет осуществлять особо сложные режимы формообразования с многократным соприкосновением стекла с формирующими поверхностями.

ми или инструментом. Это дает возможность усложнять формы и повышать точность геометрических размеров изделий, а также соединять стекло со стеклом или с металлом. Вязкость играет роль автоматического регулятора равномерности толщины стенок выдуваемого изделия. При всяком местном утоньшении стенки вследствие ускорения остывания стекла на этом участке происходит повышение вязкости, а следовательно, и сопротивляемости дальнейшему растяжению.

Роль поверхностного натяжения в процессе формообразования стеклянных изделий также весьма значительна. Так, при выдувании стекла поверхностное натяжение выступает как важнейший фактор формообразования, что позволяет получать, не применяя формующие поверхности, толстостенные пузыри из вязкой стекломассы, которые являются первичными заготовками для подавляющего большинства выдувных изделий. Поверхностное натяжение играет также полезную роль при оплавлении острых кромок стеклянных изделий после механической резки. При этом тонкий поверхностный слой стекла по краю изделия успевает расплавиться и острая кромка под действием сил поверхностного натяжения закругляется. Известна также роль поверхностного натяжения при калибровке внутреннего диаметра колб.

При термической обработке стекла должна быть предусмотрена возможность устранения появляющихся в нем термических напряжений, которые приводят к разрушению изделий в процессе дальнейшего изготовления, хранения или эксплуатации.

Внутренние напряжения в стекле возникают по различным причинам, основными из которых являются неравномерное распределение температуры в отдельных точках нагреваемой поверхности, быстрое и неравномерное охлаждение. Это приводит к возникновению сил растяжения и сжатия между быстро остывающей внешней поверхностью стекла и внутренними слоями.

Так, при резком охлаждении связь между термостойкостью, выраженной через предельно допустимую разность температур  $T_2 - T_1$ , и другими физическими свойствами стекла может быть выражена формулой

$$T_2 - T_1 = \frac{\sigma_s}{E\alpha} \sqrt{\frac{\lambda}{\gamma c}} W,$$

где  $\sigma_s$  — предел прочности при растяжении, Па;  $E$  — модуль упругости, Па;  $\alpha$  — коэффициент температурного расширения,  $1/^\circ\text{C}$ ;  $\lambda$  — теплопроводность, Вт/(м $^\circ\text{C}$ );  $\gamma$  — плотность, Мг/м $^3$ ;  $c$  — удельная теплоемкость, Дж/(кг $^\circ\text{C}$ ).

В это уравнение включен также масштабный фактор  $W$ , зависящий от формы и размеров обрабатываемого изделия.

Наряду с устойчивостью стеклянных изделий к действию быстрых изменений температуры необходимо при выборе метода и режима нагрева учитывать допустимую степень неравномерности распределения температуры по поверхности изделия.

Неравномерность нагрева приводит к неравномерному распределению в стеклянных изделиях механических напряжений  $S = \alpha E \Delta T / [2(1 - \mu)]$  (где  $\Delta T$  — градиент температур, °C;  $\mu$  — коэффициент Пуассона; для стекла  $\mu = 0,18 \div 0,23$ ).

Напряжения, возникающие при охлаждении стекла, удаляют отжигом. Эта операция особенно важна при изготовлении толстостенных деталей (например, ножек) на современных высокопроизводительных автоматах, а также при ручном изготовлении сложных изделий.

Отжиг лучше всего выполнять сразу после формования, не давая деталям остыть до комнатной температуры. Причем температура отжига должна быть достаточной для полного выравнивания внутренних напряжений. Если сразу после формообразования невозможно для снятия напряжений произвести необходимую тепловую обработку, изделия подвергают повторному отжигу. Примерный режим повторного отжига стеклянных изделий показан на рис. 72.

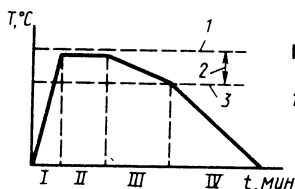


Рис. 72. Режим повторного отжига стеклянных изделий:  
1, 3 — верхняя и нижняя границы отжига, 2 — зона отжига

Интервал I соответствует сравнительно быстрому нагреву. Скорость нагрева подбирается такой, чтобы не происходило растрескивание изделий от возникающих временных напряжений. Ориентировочно скорость нагрева можно определить по формуле  $C_{\text{нагр. I}} = 0,3 \Delta T / a^2$  (где  $a$  — толщина стенки, мм;  $\Delta T$  — градиент температур, °C).

Интервал II соответствует выдержке изделий для снятия напряжений. Желательно, чтобы температура изделий при этом находилась в пределах от 5 до 15° C по отношению к верхней границе зоны отжига. Время выдержки (мин) определяют по формуле  $t_{\text{в II}} = 10 + 10a^2$ .

Интервалы III и IV соответствуют медленному и быстрому охлаждению. Ориентировочно скорости охлаждения (°C/мин) можно определить по формулам:  $C_{\text{охл III}} = 0,075 \Delta T / a^2$ ;  $C_{\text{охл IV}} = 0,15 \Delta T / a^2$ .

## § 52. Формообразование изделий из жидкой стекломассы

Как уже отмечалось, в электровакуумном производстве стеклянные изделия из жидкой стекломассы получают прессованием, выдуванием, вытягиванием и центробежным формованием. При этом формообразо-

вание изделий возможно в достаточно узком диапазоне вязкости стекломассы:  $10^3 - 10^5$  П, что для большинства электровакуумных стекол соответствует температуре стекломассы 1150—1250° С. Температура формообразования тугоплавких стекол выше на 130—150° С.

Температура стекломассы зависит также от способа и степени механизации формообразования и вида изделия. При механизированных способах формообразования температура стекла несколько выше, чем при ручных. Точность поддержания температуры колеблется в пределах  $\pm (5 \div 15)^\circ \text{C}$ .

Прессование стекла выполняют в пресс-формах (рис. 73, а, в), обычно состоящих из пуансона 4, матрицы 2 и формового кольца 3. После того как на матрицу наложено кольцо и в нее подана порция стекломассы 1, пуансон опускается с усилием, необходимым для прессования, и выдавливает стекло в пространство, ограниченное поверхностями матрицы, пуансона и кольца. Когда изделие 5 достаточно затвердеет в матрице, его поднимают поддоном 6. Кольцо 3 формирует верхний торец изделия.

Прессование не требует сложного оборудования, но, во-первых, прессовать можно лишь те изделия, которые хотя бы немного расширяются кверху, и, во-вторых, этим способом трудно, а подчас и невозможно, формировать тонкостенные изделия, потому что стекло, соприкасаясь с металлом, очень быстро остывает и растрескивается. При прессовании трудно получить хорошую поверхность изделия, что также связано с соприкосновением стекломассы с металлом.

В современном производстве стеклянных изделий используются ручные и автоматические прессы. На ручных рычажных прессах обычно изготавливают малогабаритные изделия — конусы и экраны колб проекционных трубок, колбы малогабаритных электронно-лучевых трубок и др.

Более крупные изделия, например экраны и конусы кинескопов, требующие значительных прессующих усилий, изготавливают на пневматических прессах. Так, прессование экранов цветных кинескопов производится на одиннадцатипозиционном пресс-автомате АПР-ПМ. Комплект пресс-инструмента состоит из 11 матриц, устанавливаемых на 11 позициях карусели (поворотного стола) прессы, и одного пуансона, расположенного на позиции прессования, а также пяти колец, которые перемещаются вместе с матрицами.

Последовательность выполнения технологических операций при прессовании экранов показана на рис. 74, а, а транспортно-технологическая схема участка прессования — на рис. 74, б. Капля жидкой стекломассы из фидера 1 падает в матрицу пресс-формы, находящуюся на позиции / поворотного стола, образуя угол  $32,5^\circ$  между позициями соседних форм.

Схема передвижения пресс-инструмента со столом автомата показана на рис. 74, б стрелками. Римские цифры на этом рисунке соответствуют

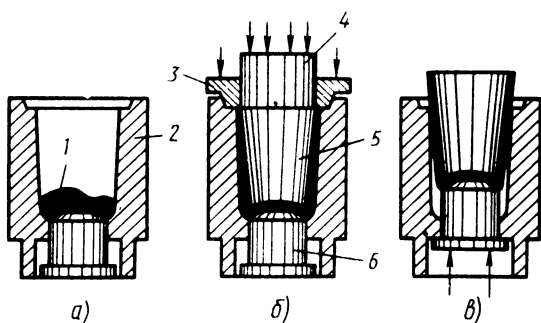
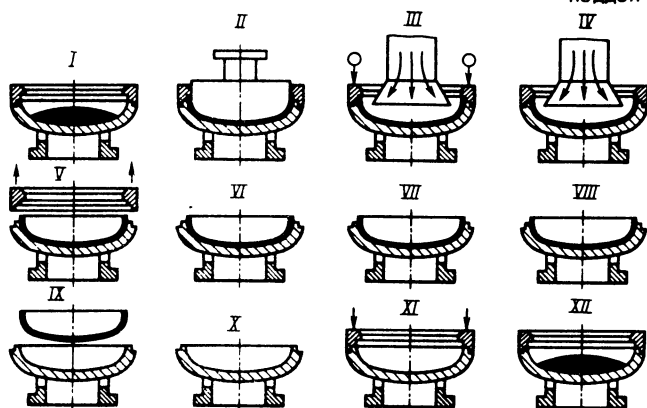
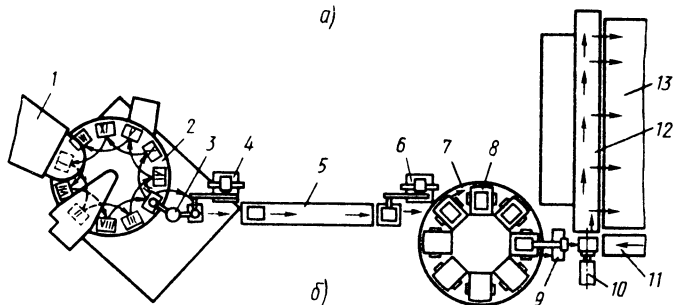


Рис. 73. Прессование стеклянных изделий:  
а — загрузка стекломассы, б, в — формование и выгрузка изделий; 1 — стекломасса, 2 — матрица, 3 — формовое кольцо, 4 — пуансон, 5 — изделие, 6 — поддон



а)



б)

Рис. 74. Прессование экранов цветных кинескопов:

а — последовательность выполнения технологических операций, б — схема расположения оборудования и последовательности технологических операций на участке изготовления экрана: 1 — фидер, 2 — поворотный стол (карусель) пресс-автомата, 3, 4, 6, 9 — роботы, 5 — конвейер, 7 — карусельная машина сварки фиксаторов, 10 — толкатель, 11 — контейнер возврата подставок, 12 — загрузочное устройство, 13 — конвейерная печь отжига; I — прием капли стекла, II — прессование, III, IV — принудительное охлаждение экрана, V — сьем кольца, VI-VIII — охлаждение экрана на воздухе, IX — сьем экрана, X — охлаждение матрицы на воздухе, XI-XII — сьем кольца и подготовка к приему новой капли стекла

позициям пресса и операциям, показанным на рис. 74, а. За один цикл матрица передвигается на угол  $65^\circ$  и за полный оборот описывает 5,5 цикла. Для выполнения всех операций и приема новой капли матрица должна совершить два оборота со столом пресса. С позиции /Х экран снимается роботом-перегрузчиком 3 и далее роботами-переставителями 4 и 6 устанавливается на конвейер 5 для передачи на следующую операцию.

В выдувании на автоматах ВК-24 получают значительное количество тонкостенных деталей электровакуумных приборов, имеющих замкнутый контур. Набор стекломассы на вакуумно-выдувных автоматах ВК-24 осуществляется вакуумным питателем, а ее выталкивание — сжатым воздухом. Формообразование изделий из жидкой стекломассы, загруженной в выдувные формы, также осуществляется сжатым воздухом. Изготовление изделий выдуванием состоит из трех этапов: предварительного формования порции стекла, вторичного ее подогрева и окончательного формования изделий.

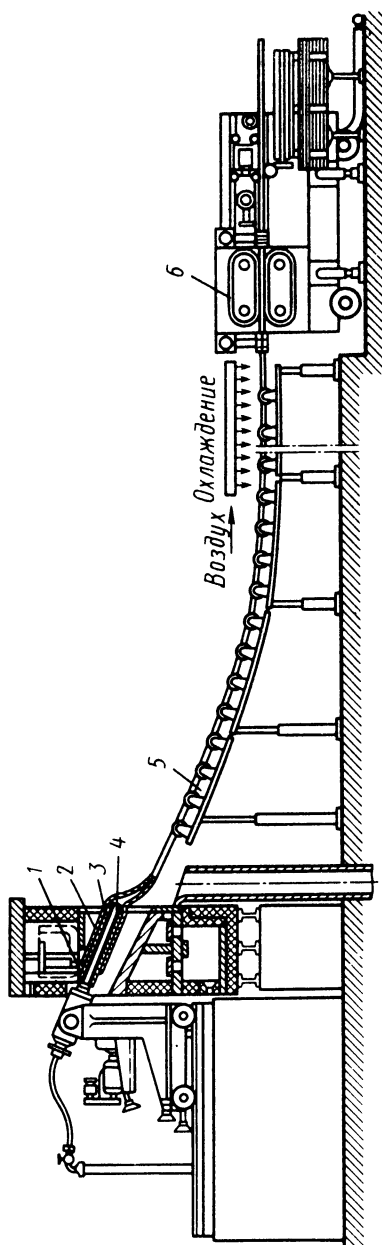


Рис. 75. Горизонтальная машина ГВТ:

1 — лоток, 2 — полный вал, 3 — мундштук, 4 — отверстие в вале, 5 — роликовый конвейер, 6 — механизм вытягивания и обрезаки



В ы т я г и в а н и е м изготавливают стеклянные трубки и штабики, используя машины горизонтального вытягивания ГВТ (рис. 75), имеющие вращающийся мундштук 2, роликовый конвейер 5, а также механизм вытягивания и обрезки 6. По лотку 1 стекломасса стекает на вращающийся с частотой 6–9 об/мин керамический мундштук 2 и обволакивает его. Мундштук закрепляется на полом валу 3 из жароупорной стали. Через отверстие 4 в валу и стягиваемую с мундштука стекломассу поддувается воздух давлением  $(0,5 \div 2,5) \cdot 10^3$  Па, благодаря чему стягиваемый конус из расплавленного стекла формируется в стеклянную трубку, движущуюся по роликовому конвейеру к механизму вытягивания и обрезки.

Чтобы температура стекломассы, поступающей на мундштук, не зависела от колебаний температуры в рабочей части печи, что может вызвать нарушение режима работы машины ГВТ, используют питающее устройство с самостоятельным подогревом. При вытягивании сплошных дров (штабиков) применяют так называемые "глухие" мундштуки, не имеющие отверстия для поддувания воздуха. Скорость вытягивания на машине ГВТ зависит от диаметра изделий.

Вытягивать стеклянные трубки можно также на вертикальных машинах, однако их применяют редко.

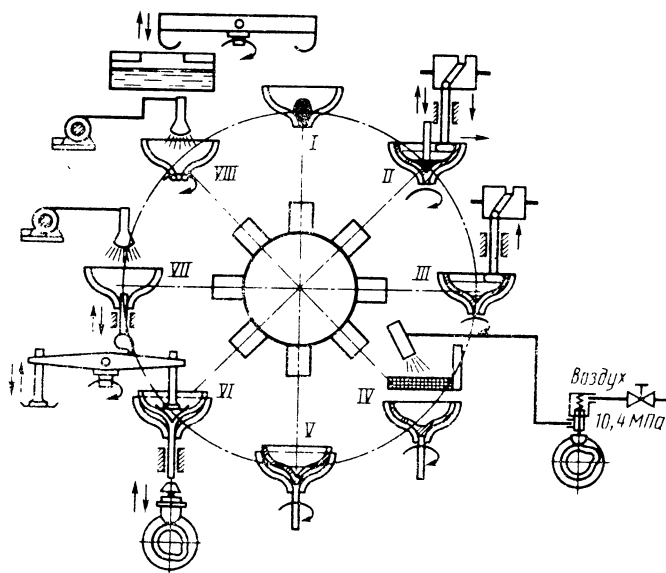


Рис. 76. Технологическая схема центробежного формования конусов оболочек кинескопов на 8-позиционном автомате:

I — прием порции стекла, II — формовка, III — подрезка верхнего торца конуса, IV–V — остывание, VI–VII — выгрузка конуса, VIII — подготовка формы

Дротовое и трубчатое стекло, разрезанное на мерные заготовки, является полуфабрикатом и используется для получения различных изделий термопластическими методами.

Центробежное формование целесообразно применять для получения крупногабаритных изделий, например конусов черных и цветных кинескопов. Технологическая схема центробежного формования конусов кинескопов на 8-позиционном автомате показана на рис. 76. Для получения равномерной толщины стенок конуса его внутренняя поверхность формируется вращающейся раскаткой (позиция II). Остальные позиции автомата, как это видно из рис. 76, используются для подрезки верхнего торца конуса (позиция III), соблюдения требуемых режимов остывания стекла (позиции IV—V), выгрузки изделия (позиции VI—VII), подготовки формы (позиция VIII) и загрузки новой порции стекла (позиция I).

### § 53. Формообразование изделий из стекла термопластической обработкой

В производстве электровакuumных приборов полуфабрикаты из стекла перерабатывают почти исключительно термопластическим формованием. Наиболее распространенным источником нагрева в этом случае является пламя газовой горелки. В некоторых случаях стекло нагревают тепловым излучением (инфракрасный нагрев), прямым пропусканием электрического тока (сварка сопротивлением), дуговым разрядом (дуговая сварка). В последнее время для некоторых процессов тепловой обработки стеклоизделий используют плазменный нагрев. Одним из перспективных методов нагрева стекла является лазерный. Используя лазерный луч в качестве концентрированного источника энергии, можно им резать, гравировать, заваривать стекло, а также выполнять другие операции.

Несмотря на то что газовые горелки являются наиболее распространенным источником нагрева стекла, необходимо отметить, что для некоторых операций этот метод не является оптимальным. Недостатками газоплазменного нагрева являются:

- неравномерность распределения температур по толщине обрабатываемого стекла, поскольку происходит его поверхностный, а не объемный разогрев;

- невозможность стабильного и равномерного нагрева;

- низкая воспроизводимость огневого режима обработки, а также сложность автоматического контроля и управления им;

- воздействие продуктов сгорания газа на внутренние элементы конструкции приборов (на операциях заварки, отпая и др.).

Поэтому наряду с газоплазменным нагревом для термопластической обработки стеклоизделий достаточно широко применяют электронагрев

токами обычной и высокой частоты. При этом используют как прямой, так и косвенный нагрев стекла излучением и теплопроводностью.

При прямом электрическом нагреве используется свойство стекла изменять свое электрическое сопротивление при изменении температуры. Известно, что при низких температурах и сравнительно невысоких электрических напряжениях обычные электровакуумные стекла являются хорошими изоляторами. Их удельное электрическое сопротивление  $\rho$  при комнатной температуре лежит в пределах  $10^{11} - 10^{19}$  Ом·см, а при ее повышении уменьшается. Для стекла, находящегося в твердом состоянии,  $\lg \rho = A + (B/T)$  (где  $A$  и  $B$  — константы, зависящие от состава стекла;  $T$  — температура, К).

Причиной уменьшения электрического сопротивления стекла при повышении температуры является увеличение подвижности ионов — носителей тока. Зависимость удельного электрического сопротивления стекла С-49-2 от температуры показана на рис. 77.

Электросварка особенно удобна при обработке тугоплавких стекол. Поскольку стекло приобретает заметную электропроводность лишь при высоких температурах, его предварительно нагревают любым способом, а затем — прямым пропусканием электрического тока.

Примером термопластической обработки стекла может служить автоматизированный технологический процесс формообразования колб электровакуумных приборов из трубчатого стекла (рис. 78).

После операций очистки (позиции II—III) и оплавки торцов (позиции IV—V) на позициях VIII—X осуществляют разогрев газовым пламенем середины трубки, ее резку (позиция XI), прогрев и формовку купола (позиции XII, XIII) и охлаждение (позиция XIV). Так как изготовленные таким образом колбы имеют значительный разброс размеров по внутреннему диаметру, их калибруют двумя способами.

При первом способе (рис. 79, а) процесс состоит в том, что колба, надетая на вращающуюся калибрующую оправку, разогревается пламенем газовых горелок. Стекло, нагретое до пластического состояния, под действием своей массы, сил поверхностного натяжения, а также в результате давления горящих газов плотно охватывает калибрующую оправку, приобретая требуемые форму и размер. Дополнительно наружная поверхность колбы может обкатываться роликом. При одновременном охлаждении колбы и оправки вследствие разности коэффициентов теплового расширения стекла и металла образуется зазор, позволяющий без усилий снять с оправки откалиброванную колбу.

Второй способ (рис. 79, б) отличается от первого наличием перепада давлений. Перепад давлений создается при откачке воздуха форвакуумным насосом из зазора между колбой и оправкой. В этом случае разогретое до пластического состояния стекло подвергается воздействию атмосферного давления.

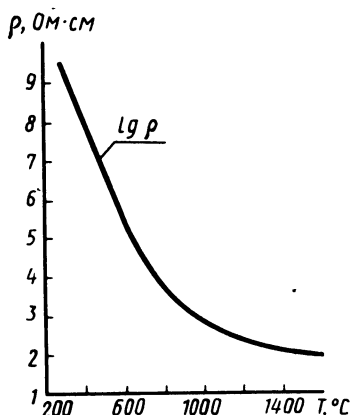


Рис. 77. Зависимость удельного электрического сопротивления стекла С-49-2 от температуры

Рис. 78. Технологическая схема автоматизированного процесса изготовления колб электровакуумных приборов из трубчатого стекла: I — загрузка, II, III — очистка внутренней поверхности, IV, V — оплавка одного конца трубки, VI, VII — оплавка второго конца трубки, VIII, IX — предварительный разогрев, X — окончательный разогрев, XI — разрезка заготовки пламенем газокислородной горелки, XII — прогрев купола, XIII — формовка купола, XIV — охлаждение

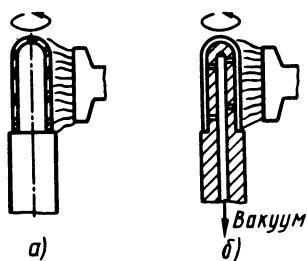
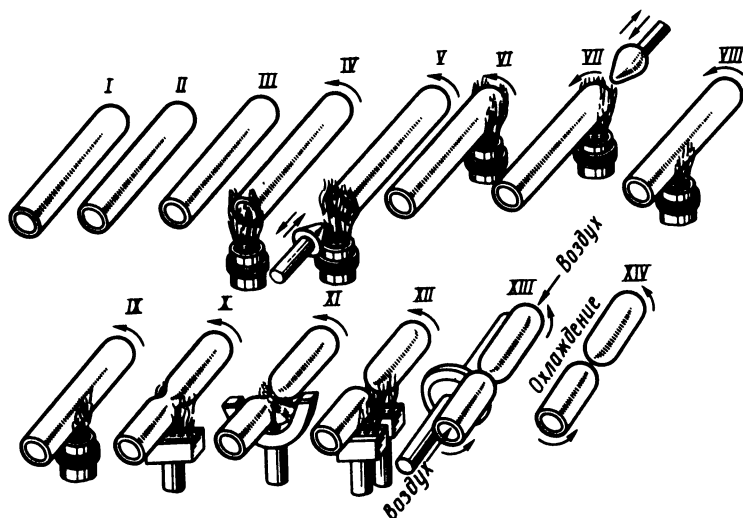


Рис. 79. Калибровка стеклянных колб:  
а — без перепада давления, б — с перепадом давления

Откалиброванные этим способом изделия имеют разброс по внутреннему диаметру не более 20—30 мкм. Так как оправки должны быть жаро- и окалиностойкими, их изготавливают из коррозионно-стойкой стали 12Х18Н10Т или сплава никонель (70% Ni, 14% Cr, 6% Fe и др.), никель-титановых сплавов, вольфрама, графита, а также из сплава Fe — Cu — Al, в котором присутствие Al снижает вероятность прилипания стекла к оправке.

К термопластическим следует отнести также процессы вакуумно-плотного соединения стекла со стеклом на операциях сварки деталей приборов, при которых используют все перечисленные выше способы нагрева. Однако нагрев стеклянных деталей при сварке должен быть локальным.

Так, при использовании газопламенного нагрева пламя во время заварки должно быть жестким и направляться по касательной к окружности ножки, чтобы не происходило окисление деталей, расположенных внутри стеклянных деталей прибора. Формуют шов, продолжая нагревать стекло жестким пламенем. Иногда для придания шву требуемой формы его обкатывают роликом. Заваренные детали отжигают.

Для соединения стеклянных деталей успешно используют также газозлектрическую сварку, которая состоит из трех последовательных операций:

- предварительного разогрева стекла до температуры, при которой оно становится проводником электрического тока;

- сварки пропусканьем электрического тока через нагретый замкнутый участок стекла;

- отжига сваренных деталей.

Однопозиционный горизонтальный станок газозлектрической сварки конуса и экрана крупногабаритных электронно-лучевых трубок показан на рис. 80. Шпиндели 6 и 8 вращаются синхронно. Станок имеет копир для строгой ориентации горелок относительно изделий прямоугольной формы. Горловина конуса зажимается трехкулачковым патроном с пневматическим приводом, который управляется краном 1.

Воздух, поступающий в полости цилиндра 5 через золотники 3, дросселируется обратным клапаном 2. Для создания повышенного давления внутрь свариваемого объема предусмотрена подача воздуха низкого давления через трехходовой клапан 4.

Экран перемещается вдоль оси шаблона штоком пневмоцилиндра, действующего от пневмосистемы, управляемой краном 11 через золотник 9. Скорость перемещения регулируется обратным клапаном 10. Поступающий в пневмоцилиндры из сети воздух очищается фильтром 12.

При сварке изделия на этом станке стекло предварительно разогревают пламенем газовых горелок 7 до температуры 600—700°С, т.е. до состояния электропроводности, а затем пропускают через шов электрический ток высокого напряжения.

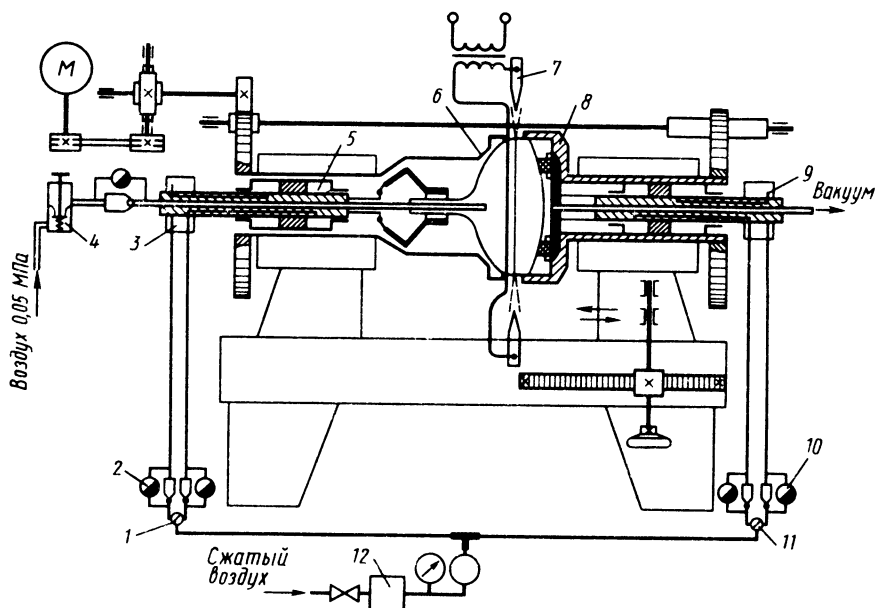


Рис. 80. Станок газозлектрической сварки:  
1, 11 — краны, 2, 10 — обратные клапаны, 3, 9 — золотники, 4 — трехходовой клапан, 5 — цилиндр, 6, 8 — шпиндели, 7 — газовая горелка, 12 — фильтр

## § 54. Резка и механическая обработка стекла

Существующие способы резки стекла, применяемые для изготовления деталей электровакуумных приборов, подразделяются на механические и термические.

Механическая резка, осуществляемая чаще всего быстровращающимся абразивным или стальным диском, дает невысокое качество, но проста и высокопроизводительна.

Термическая резка с применением локального нагрева дает хорошее качество при правильно выбранных режимах. При термической резке используют как традиционные методы нагрева (пламенем газовой горелки или электронагрев), так и нагрев лучом лазера.

В массовом производстве электровакуумных приборов распространена механическая резка трубок из легкоплавкого стекла, иногда требующая очень высокой точности. Известно несколько способов резки трубок. Один из них состоит в том, что стеклянная трубка при вращении надрезается вращающимся с частотой 2000 об/мин абразивным или

стальным диском, а затем приложением изгибающего или растягивающего усилия отламывается.

Значительно большее распространение получили различные способы термической резки. Одним из таких способов является быстрое локальное нагревание предварительно надрезанного участка стекла. Другой способ предусматривает создание термоудара, возникающего при быстром охлаждении нагретой зоны стекла.

При локальном нагревании в стекле возникают напряжения растяжения и, если они превышают предел прочности стекла, в нем образуется трещина. Для локального разогрева стекла используют острое газокислородное пламя газовой горелки или раскаленную прямым пропусканием электрического тока проволоку. Наносят царапину и нагревают трубку с наружной стороны или наносят царапину внутри, а трубку нагревают с наружной стороны. При этом возникают разрушающие напряжения, вызванные перепадом температур по толщине стенки.

Резка стекла лазерным лучом является бесконтактным методом обработки, при котором отсутствует механическое воздействие инструмента на разрезаемые изделия. Изменяя мощность лазерного луча, можно в больших пределах изменять степень его воздействия на стекло, подбирая наиболее выгодные для данных условий режимы обработки.

Лазерный луч позволяет резать стекло с большими скоростями двумя способами: непосредственным расплавлением и возгонкой, а также созданием направленных термических напряжений и последующим разламыванием.

При воздействии на поверхность стекла сфокусированного лазерного луча вся его энергия расходуется на нагрев тонкого слоя. Ограниченный практически радиусом сфокусированного луча объем стекла в результате резкого нагрева плавится, разлагается на составные части и возгоняется, освобождая следующие слои. Если изменение диаметра сфокусированного лазерного луча невелико и его плотность при прохождении через толщину стекла не изменяется, происходит возгонка сквозной дорожки в стекле, ширина которой определяется диаметром луча.

Для получения требуемых размеров, точности формы и шероховатости поверхности некоторые стеклянные изделия шлифуют и полируют.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие свойства стекла позволяют его использовать в качестве конструкционного материала электровакуумных приборов?
2. Какие способы формообразования и термической обработки стекла вы знаете?
3. Каковы особенности технологического процесса прессования стекла?

4. Каковы особенности формообразования изделий из жидкой стекломассы методом вытягивания и центробежного формования?

5. Какова последовательность операций при формообразовании стеклянных колб из трубчатого стекла?

6. Какие свойства стекла используются при калибровке колб?

7. Каково устройство станка для газозлектрической сварки стеклянных деталей?

8. Какие способы резки и механической обработки стекла вы знаете?

## ГЛАВА ОДИННАДЦАТАЯ. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ИЗОЛЯТОРОВ

### § 55. Основные сведения

Выводы энергии (рис. 81, *а*) в магнетронах, клистродах, генераторных лампах, внешние изоляторы (рис. 81, *б—д*) и другие детали электровакуумных приборов изготовляют из вакуумно-плотных керамических диэлектриков, а внутренние изоляторы приемно-усилительных ламп — из слюды.

В настоящее время в электронном приборостроении керамика стала таким же распространенным конструкционным материалом, как стекло, и в ближайшие годы ее применение будет расширяться, так как по большинству характеристик она превосходит стекло. Стекло, правда, обладает меньшей относительной диэлектрической проницаемостью и поэтому менее электростатично. Однако при использовании керамики этот недо-

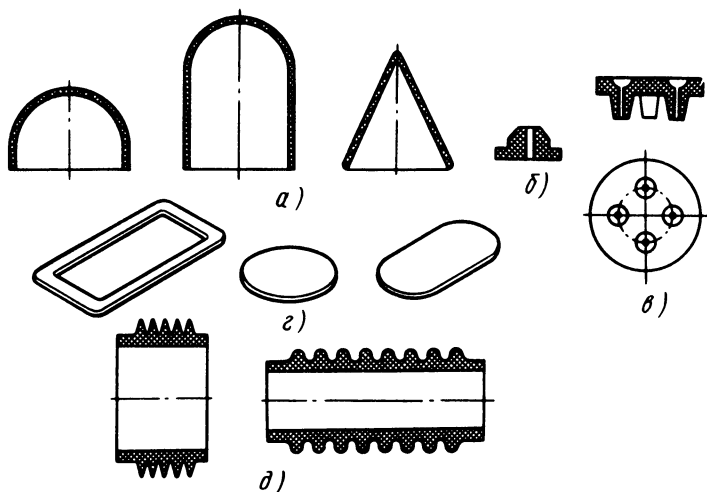


Рис. 81. Керамические выводы энергии (*а*) и внешние изоляторы (*б—д*)



статок компенсируют выбором оптимальных конструкций выходных устройств приборов.

Следует отметить, что характеристики керамики мало изменяются при температурах до  $500\text{--}1000^{\circ}\text{C}$ , в то время как стекло при таких температурах размягчается, резко возрастают его электропроводность и потери, снижается механическая прочность и происходит деформация. Поэтому температура обработки приборов из обычного стекла, как правило, не превышает  $450\text{--}470^{\circ}\text{C}$ , а из тугоплавкого —  $550\text{--}600^{\circ}\text{C}$ .

Стабильность свойств керамических материалов и геометрических размеров выполненных из них деталей позволяют не только кратко-временно обрабатывать их при высоких температурах в процессе изготовления прибора, но и обеспечивают длительную работоспособность при температурах до  $1400\text{--}1700^{\circ}\text{C}$ .

Высокая механическая прочность дает возможность получать пайкой жесткие вакуумно-плотные соединения керамических деталей с деталями из металлов и сплавов, выдерживающие температуры до  $700\text{--}1000^{\circ}\text{C}$  и выше, а также значительные механические напряжения. Поэтому в большинстве сплавов точное соответствие температурных коэффициентов расширения керамики и металла необязательно. Керамика надежно паяется с медью и никелем, молибденом и вольфрамом, а также сплавами на основе железа и никеля. При этом для получения формоустойчивых металлокерамических соединений металлические детали выполняют с большой толщиной стенки.

Газовыделение вакуумно-плотной керамики, определяемое главным образом ее сорбционными свойствами, сравнительно невелико, а после предварительного обезгаживания почти отсутствует. По газопроницаемости керамика сочетает в себе положительные свойства стекла и металла: она непроницаема для водорода подобно стеклу и для гелия подобно металлам. Поэтому проницаемость газов через вакуумно-плотную керамику ничтожно мала.

В производстве электровакуумных приборов керамику соединяют пайкой с различными металлами и сплавами (медью, никелем, вольфрамом, танталом, коваром и сталью).

При соединении керамических изоляторов с медными стаканами для сглаживания возникающих в спае напряжений на медные стаканы устанавливают керамические компенсаторы (рис. 82, а).

В металлокерамических соединениях штабельной конструкции (рис. 82, б), в которых металлическая деталь запаивается между двумя керамическими, компенсаторами служат керамические кольца. Иногда вместо керамических компенсаторов используют металлические, КТР которых близок к КТР керамики. Медные и коваровые детали должны иметь в месте соединения с керамикой толщину стенки не более  $0,15\text{--}0,3$  мм (в зависимости от диаметра).

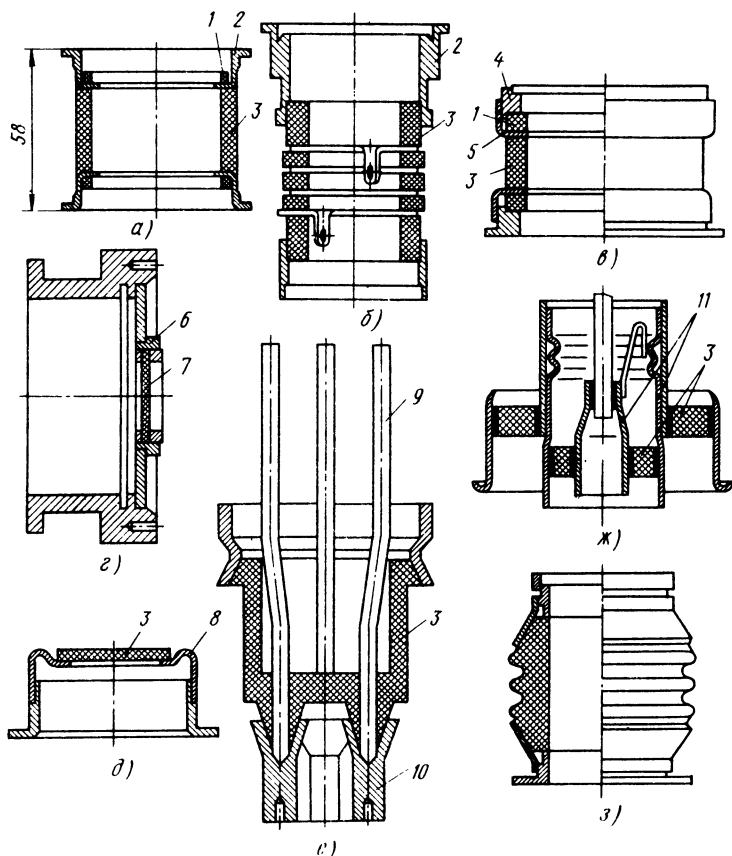


Рис. 82. Металлокерамические соединения:

*а* — керамического изолятора с медным стаканом, *б* — штабельное, *в* — торцевое повышенной жесткости, *г* — керамического вывода энергии с медным кольцом, имеющим проточки, *д* — керамического изолятора с гофрированным медным стаканом, *е* — керамической ножки со штырьковыми вводами и коваровыми колпачками, *ж* — керамического вывода энергии с охватывающими стальными цилиндрами, *з* — керамического изолятора с коваровыми коническими манжетами; 1, 3 — керамические компенсатор и изолятор, 2, 8 — гладкий и гофрированный медные стаканы, 4 — массивная металлическая деталь, 5 — коваровая или медная манжета, 6 — медное кольцо с проточками, 7 — вывод энергии, 9 — никелевые штырки, 10 — коваровые колпачки, 11 — стальные детали

Для увеличения вибропрочности и жесткости металлокерамических соединений (рис. 82, *в*) в ряде случаев массивную металлическую деталь паяют с тонкой медной или коваровой манжетой, которая припаяна к керамическому изолятору. Крепится такое соединение в приборе за массивную металлическую деталь. В плоскости основания массивной металлической детали, которая лежит на керамическом компенсаторе, должны быть предусмотрены поперечные пазы для откачки. Соединять тонкую металлическую манжету с массивной деталью при КТР материала манжеты меньше КТР детали лучше с наружной стороны.

Различного рода гофры и проточки уменьшают напряжения в спае, увеличивая термическую прочность соединения (рис. 82, *з, д*). На рис. 82, *е* показана металлокерамическая ножка, в отверстия керамического изолятора которой введены никелевые штырьки, закрытые коваровыми колпачками.

В последние годы в приборах СВЧ применяются выводы энергии с наружным и внутренним охватывающими металлокерамическими спаями (рис. 82, *ж*). При таких соединениях высокоглиноземистую керамику паяют со сталью, а также с металлами, КТР которых меньше КТР керамики (например, с молибденом).

Преимуществом соединений с охватывающими коническими спаями (рис. 82, *з*) является возможность изготовления сопрягаемых деталей с меньшей точностью. Однако после пайки высота таких соединений может отличаться от заданной, поэтому бывает необходима их дополнительная механическая обработка.

## § 56. Керамические изоляторы

Для изготовления керамических изоляторов используют силикаты, а также оксидную и специальную керамику. Химико-минералогический состав вакуумно-плотных керамических материалов приведен в табл. 8.

Т а б л и ц а 8. Химико-минералогический состав вакуумно-плотных керамических материалов

| Наименование керамики    | Марка                         | Основные оксиды               | Минералогическая основа |                      |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|----------------------|
|                          |                               |                               | наименование            | формула              |
| Магнезиально-силикатная: |                               |                               |                         |                      |
| стеатитовая              | 13К-92;<br>К-1; С-4А;<br>С-14 | MgO; BaO;<br>SiO <sub>2</sub> | Клинозмстатит           | MgO-SiO <sub>2</sub> |

| Наименование керамики | Марка  | Основные оксиды   | Минералогическая основа |  |
|-----------------------|--|---|-------------------------|--|
|                       |  |   | наименование            | формула  |
| форстеритовая         | Ф-17;<br>ЛФ-11;<br>КВФ-4   | MgO; SiO <sub>2</sub>   | Форстерит               | 2MgO·SiO <sub>2</sub>  |
| Алюмосиликатная       | 102  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; SiO <sub>2</sub> ;<br>BeO; CaO | Корунд<br>Муллит        | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub><br>2Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·2SiO <sub>2</sub> |
| Алюмооксидная         | 22Х; 22ХС;<br>А-995;<br>ВГ-IV; ГМ;<br>М-7<br>Сапфирит<br>Поликор | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                  | Корунд                  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   |
| Оксидно-берилловая    | Брокерит-9   | BeO   | Бромеллит               | BeO  |

В электровакуумной промышленности наиболее часто используют алюмооксидную керамику, основным компонентом которой является синтетический оксид алюминия. Синтетический оксид алюминия — химически инертное тугоплавкое вещество, имеющее высокое электрическое сопротивление, хорошую теплопроводность, устойчивое к воздействию восстановителей и обладающее достаточной плотностью. При температуре 1700—1800°С не подвергается коррозии под действием активных газов, за исключением фтора.

Для изготовления держателей и прокладок, применяющихся при сборке электронных систем электровакуумных приборов и аппаратуры СВЧ, окошек клистронов и магнетронов, а также различных источников и приемников инфракрасного и ультрафиолетового излучения используют синтетический сапфир — 100-ный оксид алюминия, который выпускается в виде колец, прутков, трубок, слитков.

В производстве электровакуумных приборов применяют также алюмосиликатную и оксидноберилловую керамику, из которой изготавливают внутриламповые изоляторы некоторых приборов и различные металлокерамические соединения (их конструкция была описана в § 60).

Керамические изоляторы изготавливают в большинстве случаев прессованием и литьем под давлением пластичных керамических масс (шликера).

При прессовании формообразование деталей из слабоувлажненной порошкообразной массы происходит в результате приложения давления. Прессованные керамические изоляторы имеют, как прави-

ло, малые допуски и поэтому не требуют дополнительной механической обработки. Одним из наиболее важных требований, предъявляемых к процессу прессования, является получение деталей с однородной структурой.

Усилие, затрачиваемое на прессование изделий, расходуется на уплотнение порошкообразной массы, преодоление трения ее о стенки пресс-формы и устранение неравномерного распределения плотности по сечению прессуемой детали, связанного с внутренним трением.

Зависимость истинной пористости (%) прессованной детали от удельного давления  $P$  (Па) при неизменном гранулометрическом составе массы выражается формулой  $\epsilon = a - \epsilon_1 g P$  (где  $a$  — коэффициент, характеризующий степень заполнения пространства частицами массы без приложения внешних усилий;  $\epsilon$  — коэффициент, характеризующий влияние давления при прессовании на уплотнение и зависящий от формы и размеров детали).

Под влиянием вертикально направленного усилия прессования в прессуемом изделии возникает боковое давление на стенки пресс-формы, которое при конструировании пресс-форм для формообразования керамических деталей принимают равным 30—35% от давления прессования.

Так как при прессовании часть усилия расходуется на преодоление трения массы о стенки пресс-формы, для получения деталей заданной плотности общее усилие прессования должно быть больше усилия, необходимого для уплотнения массы, на какое-то значение  $\Delta P$ , пропорциональное боковой поверхности пресс-формы и удельному боковому давлению:  $\Delta P = f P_r S h$  (где  $f$  — коэффициент трения массы о стенки пресс-формы;  $S$  и  $h$  — периметр внутреннего сечения и высота пресс-формы, см;  $P_r$  — удельное боковое давление, Па).

Наибольшая сила, необходимая для выталкивания отпрессованного изделия из формы, равна усилию, затраченному на преодоление трения материала о стенки пресс-формы во время прессования.

Трение прессуемой массы о стенки пресс-формы снижает давление у ее днища и приводит к неравномерному распределению плотности по высоте детали. Поэтому отношение диаметра детали к ее высоте должно быть не более 1:3.

Давление на днище пресс-формы можно определить по формуле

$$P_d \approx P e^{-k \frac{h}{R}} \approx P (1 - kh/R),$$

где  $P$  — давление прессования, Па;  $h$  — высота спрессованного изделия, см;  $R$  — гидравлический радиус, равный отношению площади  $F$  сечения формы к ее периметру  $S (R = F/S)$ , см;  $k = f \tan^2 (45^\circ - \phi/2)$  — коэффициент, характеризующий трение материала о стенки формы;  $f$  — коэффициент трения массы о стенку формы;  $\phi$  — коэффициент внутреннего трения массы (угол трения).

Наибольшую силу, необходимую для выталкивания отпрессованного изделия, определяют по формуле  $P_B \approx Pkh/R$ ; при этом работа выталкивания  $A_B = P_B (\delta + 0,5h)$  (где  $\delta$  — сжатие массы, см).

Просуммировав работу прессования  $A_{пр}$  и выталкивания  $A_B$  детали, а также загрузки массы и перемещения готовой детали, можно определить общую работу прессования:  $A = A_{пр} + A_B + A_K$ .

Работу прессования  $A_{пр}$  в зависимости от материала определяют по диаграммам прессования, которые приводятся в справочной литературе.

Расход энергии на привод пресса определяют по формуле  $N = Azm / (4,5 \cdot 10^5 \eta)$  (где  $z$  — количество ударов пресса в минуту;  $m$  — количество одновременно работающих пресс-форм;  $\eta$  — КПД пресса).

Керамические детали получают на автоматических прессах с кулачково-рычажным или гидравлическим приводом, на которых выполняют следующие операции: засыпка массы в пресс-формы, прессование, выталкивание деталей из пресс-форм и подачи их на стол из... другое приемное устройство.

Кинематическая схема автомата с кулачково-рычажным приводом для прессования керамических изделий показана на рис. 83. От электродвигателя 1 через клиноременную передачу 2 движение передается на шкив 3, свободно сидящий на валу 7. При включении конической фрикционной муфты 4 вал 7 начинает вращаться, передавая движение через две пары шестерен 20 и 16 распределительному валу 14, на котором находятся три кулачка 12, 15 и 17, управляющие автоматическим циклом работы, и кулак 9, служащий для выключения муфты 4 при работе на одиночных ходах.

От кулачка 12, имеющего два профиля, получает возвратно-поступательное движение ползун, причем при движении вниз кулак давит на эксцентриковый диск 13, а при движении вверх — на ролик 11. Изменение границ хода ползуна и давления прессования производится поворотом эксцентрикового диска с помощью червячной пары 10. Кулачок 15 через качающийся рычаг 19 передает движение механизму питания, а кулачок 17 — толкателю 18, рычагу 21 и нижнему пуансону-держателю 25.

Включение фрикционной муфты 4, сидящей на валу 7 на скользящей шпонке, производится поворотом вниз рукоятки 23 через рычаги 24 и 5 и тяги 22, 27 и 28. Одновременно шестерня 29, которая получает движение от тяги 28, имеющей реечный участок, поворачивает ограждение 30. При отключении муфты 4 рукояткой 23 ее конус поджимается пружиной 26 к неподвижной тормозной колодке 6. При работе на одиночных ходах опускают рукоятку 31, поэтому после каждого двойного хода кулак 9 через тягу 8, упор рукоятки 31, тягу 32, зубчатый сектор 33 и шестерню 34 отжимает рукоятку 23 вверх, в результате чего происходит отключение фрикционной муфты.

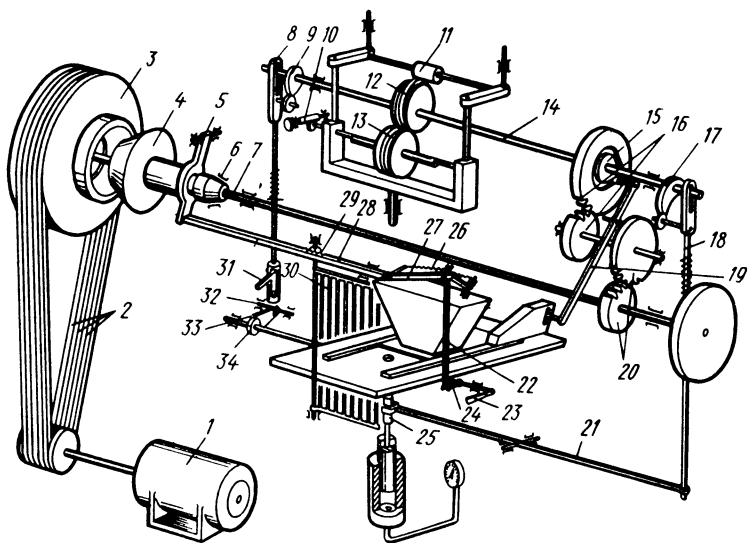


Рис. 83. Автомат прессования керамических деталей:

1 — электродвигатель, 2 — клиноременная передача, 3 — шкив, 4 — муфта, 5, 19, 21, 24 — рычаги, 6 — тормозная колодка, 7, 14 — валы, 8, 22, 27, 28, 32 — тяги, 9 — кулак, 10 — червячная пара, 11 — ролик, 12, 15, 17 — кулачки, 13 — эксцентриковый диск, 16, 20, 29, 34 — шестерни, 18 — толкатель, 23, 31 — рукоятки, 25 — пуансон держатель, 26 — пружина, 30 — ограждение, 33 — зубчатый сектор

Нижний пуансон-держатель 25 имеет регулируемую гидроподушку, предназначенную для стабилизации усилий прессования.

При горячем литье металлические формы заполняют жидкой керамической массой (шликером) и выдерживают под давлением в течение времени, необходимого для его отвердевания. Шликер состоит из 80–90% минерального порошка и 10–20% органической связки, тщательно перемешанных в специальных мешалках при 80–90°С и вакуумированных. В органическую связку входит 92–93% парафина, 3–4% олеиновой кислоты и 3–4% пчелиного воска.

Вакуумирование необходимо для удаления снижающих качество шликера воздушных пузырьков. Воздушные включения уменьшают пробивное напряжение деталей из керамики, отражаются на их поведении в поле токов высокой частоты, вакуумной плотности, а также ухудшают качество поверхности. Вакуумируют шликер на специальных установках периодического действия, в мельницах горячего смешивания или непосредственно в литейной установке (рис. 84).

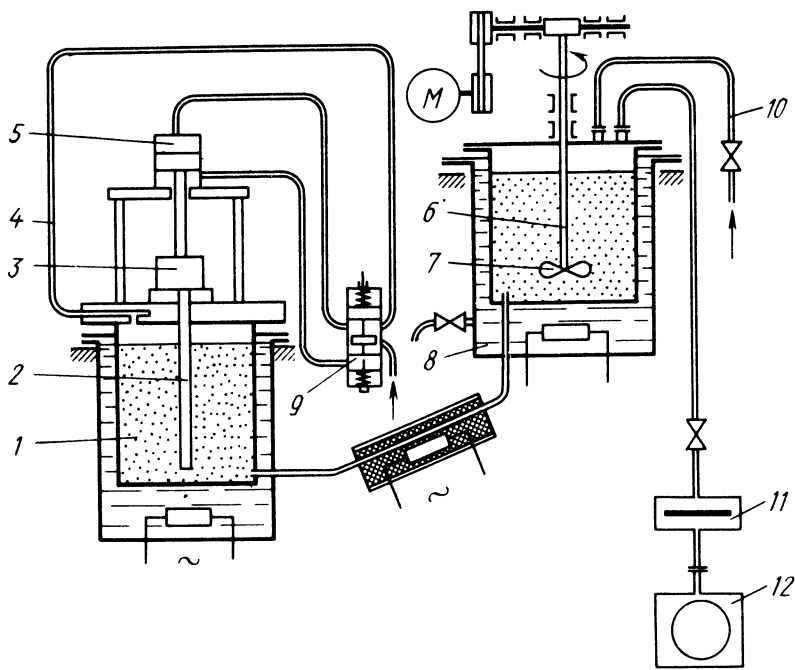


Рис. 84. Установка горячего литья керамических изделий под давлением: 1 — напорный бачок, 2, 4, 10 — трубы, 3 — пресс-форма, 5 — пневмоцилиндр, 6 — винт, 7 — мешалка, 8 — термостат, 9 — золотниковое распределительное устройство, 11 — ловушка, 12 — механический насос

Приготавливается и вакуумируется шликер в пропеллерной мешалке 7, винт 6 которой приводится во вращение отдельным приводом. Для поддержания температуры шликера в заданных пределах служит термостат 8 с электрообогревом. Вакуумирование шликера выполняется вакуумным механическим насосом 12, который через ловушку 11 подсоединяется к герметично закрытой мешалке. Готовый шликер по обогреваемой трубке подается в напорный бачок 1 сжатым воздухом, который по трубе 10 поступает в мешалку. Температура шликера в баке 1 и трубе 2, питающей пресс-форму 3, также поддерживается в заданных пределах термостатом с регулируемым электрообогревом.

Стальная пресс-форма 3 прижимается к крышке напорного бачка 1 поршнем при подаче сжатого воздуха, поступающего в пневмоцилиндр 5. Заполнение пресс-формы шликером происходит через отверстие в нижней части трубы 2 подачей сжатого воздуха в верхнюю часть бачка 1 через трубку 4. Управляет поступлением сжатого воздуха на прижим пресс-формы и подачей в нее шликера золотниковое распределительное устройство 9.



Основными технологическими параметрами при горячем литье являются температура шликера, рабочее давление и продолжительность литья.

Из отлитых деталей перед спеканием необходимо удалить связку — органические пластификаторы (пчелиный воск, парафин, олеиновую кислоту), для чего их обжигают в засыпке из какого-либо адсорбирующего порошка, чаще всего обожженного оксида алюминия. Максимальная температура отжига около  $1000^{\circ}\text{C}$ .

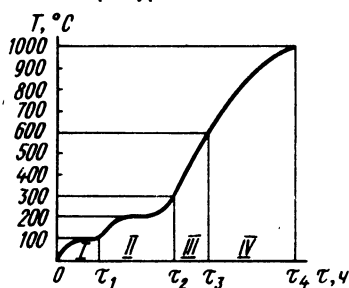


Рис. 85. Кривая нагрева керамических деталей для удаления связки

На рис. 85 показана кривая отжига отлитых керамических деталей для удаления связки, которая имеет четыре зоны. В зоне I происходит разогрев деталей до  $80\text{--}100^{\circ}\text{C}$  и выдержка их в течение времени, достаточного для начала удаления связки. В зоне II при  $100\text{--}120^{\circ}\text{C}$  происходит удаление связки в результате миграции ее жидких компонентов, а при  $120\text{--}300^{\circ}\text{C}$  начинается их испарение. В зоне III при  $300\text{--}600^{\circ}\text{C}$  остатки связки выжигаются. В зоне IV при  $1000^{\circ}\text{C}$  начинается спекание.

Время удаления связки зависит от вида используемой для литья деталей керамики и их размеров. Формоустойчивость отлитых деталей при быстром нагревании зависит от состава шликера. Поэтому общая продолжительность удаления связки (отжига) довольно велика и равна  $50\text{--}65$  ч.

Спекание — основная операция керамической технологии, так как именно на этом этапе завершаются физико-химические процессы образования керамических деталей. При этом даже незначительные отклонения заданных температуры и времени могут значительно изменять структуру керамического материала и, естественно, его свойства.

Выполнять спекание можно на любом термическом оборудовании, позволяющем плавной регулировкой получать необходимые температуры, которые, например, для обжига наиболее распространенных в электровакуумном производстве алюмооксидных керамических материалов равны  $1550\text{--}1750^{\circ}\text{C}$ .

К керамическим деталям предъявляются высокие требования в отношении точности их форм и геометрических размеров, а также шероховатости поверхности. Особенно важно соблюдение высокой точности геометрических размеров в местах сопряжения керамических деталей с металлической арматурой. Поэтому полученные горячим литьем керамические детали подвергают механической обработке — шлифованию на круглошлифовальных или плоскошлифовальных станках.

Эти станки должны иметь повышенную жесткость, чтобы исключить ухудшение качества обрабатываемых поверхностей и разрушение деталей; обеспечивать достаточное охлаждение детали, отвод отработанной жидкости, эффективную вытяжку для удаления абразивной пыли, образовавшейся в процессе обработки керамики; быть оборудованы приспособлениями, позволяющими свободно и безопасно устанавливать и снимать обрабатываемые детали. Так как керамические детали имеют очень высокую твердость, в качестве рабочего инструмента обычно используют алмазные шлифовальные круги.

## § 57. Слюдяные изоляторы

Для изготовления изоляторов используют две разновидности природной слюды: флогопит  $\text{H}_2\text{KMg}_3\text{Al}(\text{SiO}_4)_3$  и мусковит  $\text{H}_2\text{KAl}_3(\text{SiO}_4)_3$ .

Флогопит имеет окраску от серебристой до темно-коричневой и почти непрозрачен, может выдерживать температуру от 760 до 980°С и содержит 3% кристаллизационной воды. При 760°С начинается обезвоживание, слюда кальцинируется, становится хрупкой и теряет механическую прочность.

Мусковит имеет желтую окраску, содержит 5% кристаллизационной воды, которая начинает испаряться при предельно допустимой рабочей температуре 540°С, и используется для изготовления изоляторов чаще, чем флогопит.

Обе разновидности природной слюды обладают высокой химической стойкостью. Приблизительный химический состав (%) слюды флогопит и мусковит приведен ниже.

| Флогопит               |      | Мусковит            |      |
|------------------------|------|---------------------|------|
| Кремнезем . . . . .    | 40,0 | Кремнезем . . . . . | 45,0 |
| Глинозем . . . . .     | 17,0 | Глинозем . . . . .  | 38,0 |
| Поташ . . . . .        | 10,0 | Поташ . . . . .     | 12,0 |
| Окись магния . . . . . | 26,5 | Вода . . . . .      | 5,0  |
| Окись железа . . . . . | 3,5  |                     |      |
| Вода . . . . .         | 3,0  |                     |      |

Коэффициент температурного расширения флогопита и мусковита при 20–600°С соответственно равен  $(3,05 \div 3,81) \cdot 10^{-5}$  и  $(2,29 \div 3,05) \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . Обе разновидности слюды имеют плотность 2,8 г/см<sup>3</sup> и теплоемкость 0,865 Дж/г.

В процессе обработки слюду раскалывают, штампуют, фрезеруют и сверлят.

Раскалыванием получают пластинки толщиной до 2 мкм. Одним из основных методов обработки слюды является штамповка, в процессе ко-

торой получают изоляторы нужной формы. Одновременно со штамповкой прошивают круглые и прямоугольные отверстия. При штамповке у кромок инструмента образуется мелкая слюдяная пыль, которую необходимо непрерывно удалять, иначе она спрессовывается в прочный твердый слой, который быстро изнашивает инструмент. Однако несмотря на все меры предосторожности, избежать повышенного износа штампов не удастся. Чтобы обеспечить необходимую точность размеров слюдяных изоляторов, применяют массивные штампы из твердого сплава. Края изоляторов обрезают на фрезерных станках, собирая слюдяные пластинки в пакет.

При сверлении толщина слюдяных пластинок должна не более чем на 50% быть больше диаметра самого малого отверстия. Чтобы избежать расслаивания и выкрашивания слюды, не следует располагать отверстия близко к краю. Расстояние между отверстием и краем изолятора должно быть не менее 0,1–1 мм.

Толщина слюдяных изоляторов для миниатюрных приемно-усилительных ламп равна 0,2–0,25 мм, а для мощных приборов – 0,3–0,4 мм. В приемно-усилительных лампах обычно имеется два слюдяных изолятора, которые удерживаются в горизонтальном положении траверсами, соединенными с вводами ножки, и служат основой для монтажа электродов. При большом количестве близко расположенных траверс иногда не удастся обеспечить достаточную изоляцию между ними. В этом случае применяют двойные или тройные слюдяные изоляторы, жестко скрепленные друг с другом.

Слюдяные изоляторы, получаемые штамповкой, имеют небольшую массу, высокую точность размеров, прозрачны для  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучения, обладают незначительной твердостью (не царапают стеклянные оболочки), хорошей упругостью и гибкостью, достаточной механической прочностью даже при малой толщине, незначительными диэлектрическими потерями, высокими объемным электрическим сопротивлением, электрической прочностью и вакуумной плотностью.

Недостатками слюдяных изоляторов являются сложность обезгаживания по сравнению со стеклом, относительно низкая рабочая температура по сравнению с керамикой, меньшее, чем у керамики, поверхностное сопротивление, значительный разброс параметров у различных партий и сравнительно высокая стоимость.

## § 58. Виды брака и контроль качества изоляторов

При производстве керамических изоляторов основными видами брака является несоблюдение заданных размеров, а слюдяных – заусенцы, сколы. Для выявления этих видов брака используют различные измерительные средства, которые были описаны в главе второй.

Брак керамических изоляторов из-за несоблюдения заданных размеров очень часто невозможно исправить. В тех случаях, когда размеры керамических изоляторов больше заданных, их подгоняют шлифовкой. Особое внимание следует обратить на контроль керамических изоляторов, спаянных с металлическими деталями. При спае керамики с металлом браком считается натекание через паяный шов, т.е. нарушение вакуумной плотности, недостаточная механическая прочность соединения и его нестойкость к резким перепадам температур.

Рассмотрим методы контроля, применяемые для выявления этих видов брака.

Для определения вакуумной плотности металлокерамического спае наиболее распространенным методом контроля является масс-спектрометрический с помощью гелиевых течеискателей ПТИ-7 и ПТИ-10, при котором испытываемые детали обдувают гелием на специальных установках. Для повышения чувствительности этого метода испытываемый на вакуумную плотность изолятор помещают под колпак, в который подают под избыточным давлением гелий, а откачку ведут из внутренней полости изолятора. Поступление гелия во внутреннюю полость изолятора фиксируется течеискателем и свидетельствуют о наличии течи.

Кроме того, вакуумную плотность металлокерамических изоляторов определяют люминесцентным анализом, основанным на использовании капиллярных сил, возникающих при попадании жидкости в место течи. Достоинством этого метода является то, что он позволяет достаточно точно выявить место течи и ее конфигурацию. В качестве люминесцентной жидкости обычно используют растворы светло-желтого или оранжевого люмогенов в трихлорэтилене либо четыреххлористом углеороде.

Для контроля герметичности металлокерамический изолятор заполняют люминесцентным раствором и выдерживают определенное время. Если изолятор негерметичен, жидкость под действием капиллярных сил в месте дефекта выступает наружу. Чтобы ускорить обнаружение места течи, контролируемые изоляторы помещают под откачиваемый колпак.

Контроль металлокерамических спаев на статический изгиб с разрушением изоляторов в большинстве случаев нецелесообразен, так как приводит их к выходу из строя. Однако для контроля технологии целесообразно проводить такие испытания на специальных образцах. Для этого берут полые керамические цилиндры высотой 45 мм с наружным диаметром 13 мм и внутренним 2,5–3 мм, спаивают попарно в торец через металлическую прокладку, а затем испытывают на вакуумную плотность и статический изгиб (на разрывной машине РМ-500). По механической прочности образцов судят о качестве получаемых спаев.

Большинство керамических изоляторов в процессе изготовления и работы приборов испытывают тепловые нагрузки различного характера. Поэтому необходимо знать поведение конкретных изоляторов в ус-

ловиях нагрева и охлаждения, для чего их подвергают термоциклическим испытаниям и испытаниям на длительные нагревы и охлаждения.

Металлокерамический изолятор помещают в печь, обычно нагретую до  $600\text{--}800^{\circ}\text{C}$ , и выдерживают 10–15 мин, после чего вынимают и с большой скоростью охлаждают (иногда погружением в воду). Цикл повторяют несколько раз и проверяют изолятор на вакуумную плотность. При испытаниях на длительные нагревы и охлаждения скорости изменения температуры сравнительно невелики ( $10\text{--}30^{\circ}\text{C/мин}$ ). Это позволяет оценить способность металлокерамических изоляторов выдерживать без нарушения вакуумной плотности пайку в приборы, длительную откачку и обезгаживание.

Иногда оба вида испытаний проводят на спаях-образцах, которые затем проверяют на вакуумную плотность и статический изгиб и по результатам судят о надежности изготавливаемых металлокерамических изоляторов и их работоспособности в приборах.

Кроме того, контролируют устойчивость металлокерамических изоляторов к циклическим воздействиям плюсовых и минусовых температур. Причем такой проверке подвергают изоляторы, прошедшие предыдущие два вида испытаний, десятикратно поочередно помещая их в муфельную печь, нагретую до  $100\text{--}120^{\circ}\text{C}$ , и камеру холода при  $-60^{\circ}\text{C}$ , выдерживая по 5–10 мин.

Сколы и заусенцы на слюдяных изоляторах выявляют визуально, на часовом проекторе или инструментальном микроскопе. Как правило, этот брак неисправим.

#### **Контрольные вопросы**

1. Каковы назначения и конструкционные особенности изоляторов, применяемых в электровакуумных приборах?
2. Из каких материалов изготавливают керамические изоляторы?
3. Как изготавливают керамические изоляторы?
4. Каковы особенности изготовления слюдяных изоляторов?
5. Какие виды брака и методы контроля качества изоляторов вы знаете?

## **ГЛАВА ДВЕНАДЦАТАЯ. ИЗГОТОВЛЕНИЕ СЕТОК**

### **§ 59. Основные сведения**

Сетка — обычно отрицательно заряженный электрод электровакуумного прибора, имеет спиральную щелевую или ячеистую конструкцию, размещается между катодом и анодом и служит для регулировки потока электронов от катода к аноду. На сетку подается входной сигнал, изме-

нение значения или полярности которого приводит к изменению ее потенциала, что в свою очередь вызывает изменения анодного тока. В зависимости от назначения и конструкции электровакуумные приборы могут иметь одну, две или более сеток.

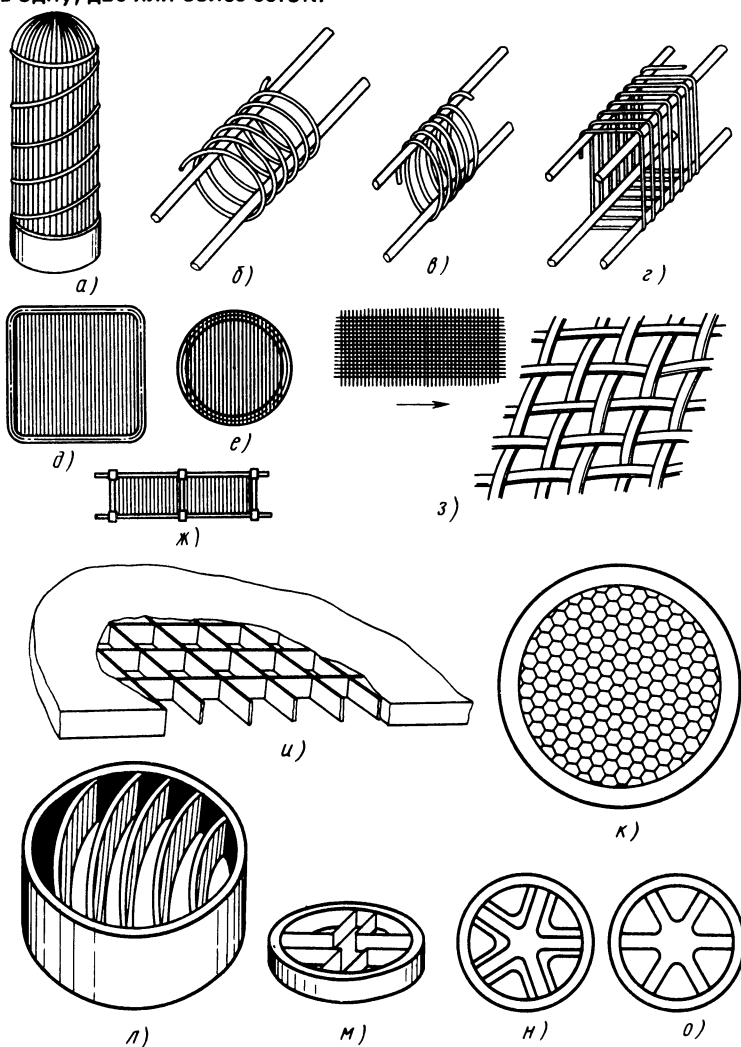


Рис. 86. Сетки:

*а* — стержневая, *б, в, г* — спиральные круглого, эллиптического и прямоугольного сечений, *д-ж* — рамочные мелкоструктурные, *з, и* — с прямоугольными ячейками, *к* — сотовая, *л* — ленточная, *м, н, о* — петлевые

Наиболее распространены спиральные сетки, получаемые навивкой проволоки на специальные оправки на сетконавивальных станках или автоматах с последующим закреплением витков на траверсах.

Сетки могут быть выполнены в виде прямых стержней (рис. 86, *а*) или спиралей круглого (рис. 86, *б*), эллиптического (рис. 86, *в*) либо прямоугольного (рис. 86, *з*) сечения, повторяющего форму поперечного сечения оправки, вокруг которой навивают проволоку. В сетках с мелким шагом высокой точности, так называемых рамочных, рамки имеют форму прямоугольника (рис. 86, *д*), кольца (рис. 86, *е*), либо состоят из двух цилиндрических траверс, скрепленных двумя или тремя перемычками (рис. 86, *ж*). Для крепления витков на рамках применяют вакуумные цементы, легкоплавкие эмали или осаждают гальваническим способом металл.

Сетки некоторых электровакуумных приборов (например, клистронов) должны обладать высокой прозрачностью для электронного пучка (обычно не ниже 80–90%), причем необходимо учитывать, что в отражательных приборах на них выделяется значительная часть мощности. Кроме того, эти сетки должны иметь высокую механическую прочность и формоустойчивость, поскольку высокочастотный зазор между электродами невелик и их малейшие деформации изменяют рабочую частоту, а нередко и выходную мощность прибора. В таких приборах используют сетки с прямоугольными ячейками (рис. 86, *з, и*), получаемые плетением и электроэрозионной обработкой, и сотовые с шестигранными ячейками (рис. 86, *к*), а также ленточные (рис. 86, *л*) и петлевые (рис. 86, *м, н и о*).

Материалы, используемые для изготовления сеток, должны обладать высокими механической прочностью, электро- и теплопроводностью, низкой упругостью пара при рабочих температурах, быть коррозионно-стойкими и иметь хорошую свариваемость.

Для изготовления спиральных сеток чаще всего применяют вольфрамовую и молибденовую проволоку, которую иногда покрывают слоем золота, а также проволоку из бескислородной меди. Траверсы изготовляют из никелевой проволоки.

## § 60. Спиральные сеточные полосы

Спиральные сетки получают в результате огибания и осевого смещения витковой (сеточной) проволоки вокруг оправки, которая может иметь в сечении круглую или овальную форму. На рис. 87, *а, б* показаны устройства для навивки спиральных сеток с вращающейся и невращающейся траверсной проволокой.

Первый способ навивки (см. рис. 87, *а*) более распространен и состоит в следующем. Закрепляемая в шпинделе оправка 4, соответствующая требуемой форме поперечного сечения сетки, имеет пазы, по которым

скользит траверсная проволока 3. В результате вращения и осевой подачи шпинделя траверсная проволока одновременно получает вращение и поступательное перемещение. Витковая проволока поступает со свободно вращающейся вокруг оси и неподвижной относительно шпинделя катушки 2, укладывается в пазы, нарезаемые на траверсной проволоке дисковым ножом 5, и запрессовывается в них вальцующим диском 6.

В схеме навивки сеток, показанной на рис. 87, б, траверсная проволока 3 получает только поступательное перемещение, оправка 4 неподвижна и вокруг нее вращаются катушки с витковой проволокой 2, а также дисковый нож 5 и вальцующий диск 6.

В обеих схемах после навивки требуемого числа витков дисковый нож и вальцующий диск отводятся от траверсы и специальное приспособление обрывает витковую проволоку. Причем, так как траверсная проволока продолжает перемещаться, на сеточном полотне образуется участок проскока.

На рис. 88 показано устройство для навивки мелкоструктурных точных рамочных сеток с малым размером шага. Рамка 2, на которую навивается витковая проволока, закрепляется в шпинделе 1. Шаг навивки задается перемещением ползуна раскладки 4 с катушкой 3 витковой про-

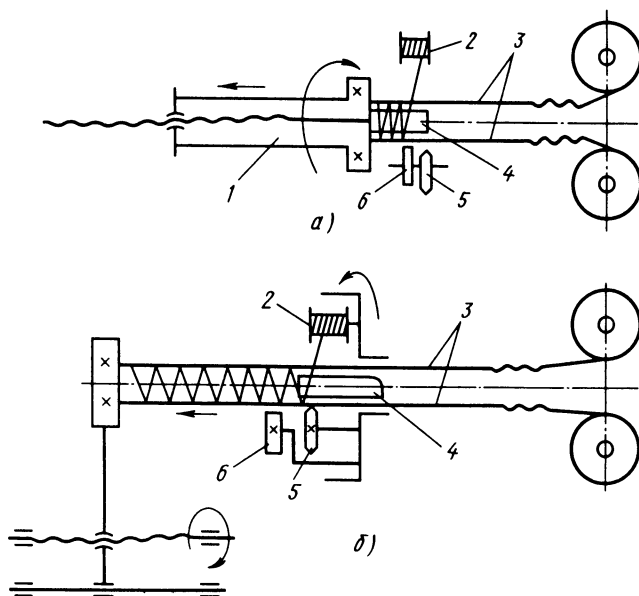


Рис. 87. Устройство для навивки спиральных сеток с вращающейся (а) и невращающейся (б) траверсной проволокой:  
1 — шпиндель, 2 — катушка с витковой проволокой, 3 — траверсная проволока, 4 — оправка, 5 — дисковый нож, 6 — вальцующий диск



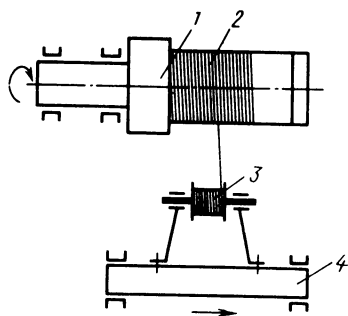


Рис. 88. Устройство для навивки мелкоструктурных точных рамочных сеток:

1 — шпиндель, 2 — рамка, 3 — катушка с витковой проволокой, 4 — ползун раскладки

волоки вдоль оси рамки. Закрепляют витки проволоки на рамке, как уже отмечалось, специальными цементами или глазурями. Точность шага навивки зависит от натяжения проволоки и точности кинематической цепи, связывающей вращение шпинделя и ползуна раскладки.

Кинематическая схема сетконавивального автомата, работающего по схеме, показанной на рис. 87, а, приведена на рис. 89. Вращение от электродвигателя через вариатор 1 с раздвижными коническими дисками, фрикционную муфту 2 и цепную передачу 3 сообщается рабочему шпинделю 4, а через муфту 5 — двум катушкам 6 с траверсной проволокой. От шпинделя 4 через две пары зубчатых передач 7 и 8 с передаточным отношением 1:1 вращение передается тянущему шпинделю 9 с зажимными губками, в которых крепятся концы траверсной проволоки.

Необходимая скорость продольного перемещения тянущего шпинделя вдоль ходового винта 17 обеспечивается сменными шестернями *a*, *b*, *c*, *d*. От промежуточного вала 10 через зубчатые передачи 11 и 12 с передаточным отношением 1:20 и сменные шестерни *a'*, *b'*, *c'*, *d'* вращение передается распределительному валу 13, на котором имеются тормоз 14 и кулачки 15 и 16 для отвода дискового ножа и вальцующего диска на участке проскока. Для включения фрикционной муфты 2, торможения шпинделя и выключения вращающего распределительного вала служат соответственно электромагниты 31, 32 и 33.

Важным функциональным механизмом автомата является устройство для навивки сеточных полос с участком, свободным от витковой проволоки, — проскоком (рис. 90). Принцип действия его состоит в том, что после навивки определенного количества витков специальный зажим 3 захватывает отрезок витковой проволоки 4 перед оправкой 2. Так как оправка и траверсная проволока 6 продолжают при этом вращаться, витковая проволока, удерживаемая зажимом, при выходе из последнего запрессованного надреза на траверсе обрывается, потому что ее прочность в этом месте ослаблена ударом вальцующего диска 5 и резким изгибом.

За время прохода участка проскока при отведенных дисковом ноже 1 и вальцующем диске 5 зажим 3 вместе с зажатым концом проволоки перемещается на противоположную сторону оправки и устанавливается так, чтобы витковая проволока касалась вращающейся траверсной. Так как направление витковой проволоки при протягивании зажимом



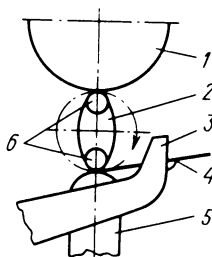


Рис. 90. Устройство для получения проскока на сеточном полотне:

1 — дисковый нож, 2 — оправка, 3 — зажим, 4 — витковая проволока, 5 — вальцующий диск, 6 — трезубная проволока

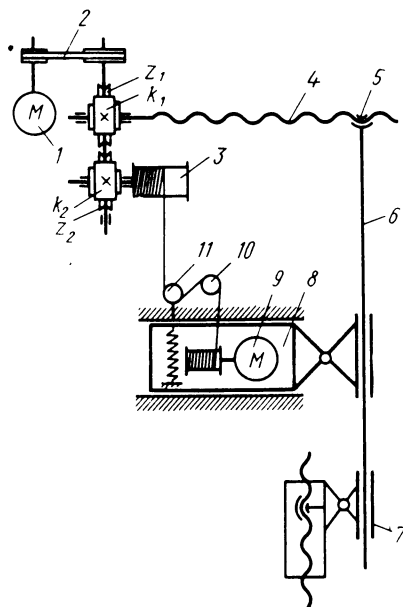


Рис. 91. Кинематическая схема станка навивки мелкоструктурных точных рамочных сеток:

1, 9 — электродвигатели, 2 — клиноременная передача, 3 — шпиндель, 4 — ходовой винт, 5 — гайка, 6 — рычаг, 7 — верхняя и нижняя опоры, 8 — ползун, 10, 11 — натяжной и направляющий ролики

сохраняется, она после прохода участка проскока попадает в очередной надрез на траверсной проволоке и закрепляется в нем вальцующим диском. После этого цикл повторяется.

Автомат имеет устройство для автоматической резки сеточных полос на полотна заданной длины и выгрузки их в лоток.

Особенностью станков навивки мелкоструктурных точных рамочных сеток (рис. 91) является наличие в них компенсирующих устройств, уменьшающих ошибку шага, а также устройства, стабилизирующего усилие натяжения витковой проволоки. Работают такие станки следующим образом. Вращение от электродвигателя 1 постоянного тока через клиноременную передачу 2 передается валу, на котором имеются два червяка  $k_1$  и  $k_2$ , и через шестерни  $z_1$  и  $z_2$  — соответственно ходовому винту 4 и шпинделю 3.

По ходовому винту перемещается гайка 5, шарнирно связанная с компенсирующим рычагом 6, который поворачивается относительно нижней опоры 7 и перемещает ползун 8 с механизмом направления витковой проволоки. Рычаг уменьшает погрешности кинематической цепи между шпинделем и ходовым винтом. Соотношение плеч компенсирующего рычага, а следовательно, и шаг сетки можно бесступенчато изменять благодаря наличию нижней перемещающейся опоры 7.

Для стабилизации натяжения витковой проволоки, что особенно

важно при навивке овальных сеток, в станке имеется простейшее следящее устройство, состоящее из электродвигателя 9 и двух роликов — натяжного 11 и направляющего 10.

Рамочные сетки для массовых типов электровакуумных приборов изготавливают на механизированных линиях, на которых последовательно выполняются операции получения рамок, навивки на них витковой проволоки, нанесения и сушки закрепляющего вещества, рубки сеточного полотна на отдельные секции, укладки их в кассеты и контроля.

## § 61. Обработка спиральных сеточных полос

Траверы сеточных полос, изготавливаемых на сетконавивальных автоматах, имеют небольшую кривизну, для устранения которой их растягивают на специальном устройстве (рис. 92) в атмосфере водорода. При этом сеточную полосу 3 закрепляют между двумя губками 2, одна из которых подвижна и соединяется гибким стальным тросом с грузом 1 (или пружиной), создающим усилие растяжки, подбираемое в зависимости от типа сеточной полосы. Через губки на сеточную полосу подается напряжение. Водород предотвращает окисление полос.

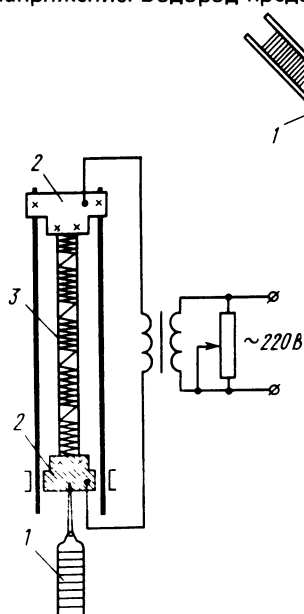


Рис. 92. Устройство для растяжения сеточных полос:  
1 — груз, 2 — губки, 3 — сеточная полоса

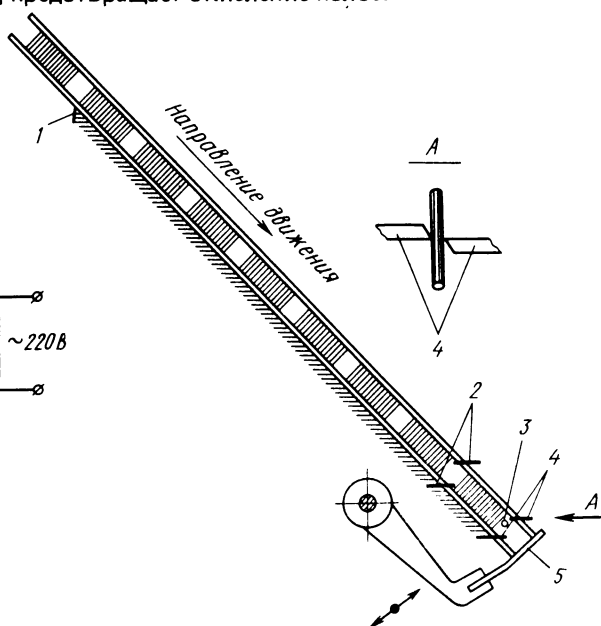


Рис. 93. Рубка сеточных полос:  
1 — направляющий лоток, 2, 4 — верхние и нижние ножи, 3, 5 — сеточный и траверсный упоры

Для получения отдельных сеток сеточные полосы рубят или разрывают. Наиболее современной является рубка на полуавтомате (рис. 93), на котором сеточные полосы по одной загружаются в наклонный направляющий лоток 1 и по нему под действием собственной массы спускаются до траверсного упора 5. Для ориентирования сеточной полосы относительно ножей по виткам и окончательной установки на уровне ножей служит сеточный упор 3, на который полоса ложится первым витком. При этом виток не деформируется, так как перепад между траверсным и сеточным упорами составляет доли миллиметра и удар от свободного падения сетки ничтожен. После ориентировки и установки от полосы верхними 2 и нижними 4 ножами отрубается сетка, которая падает на приемный лоток, а оттуда — в коробку.

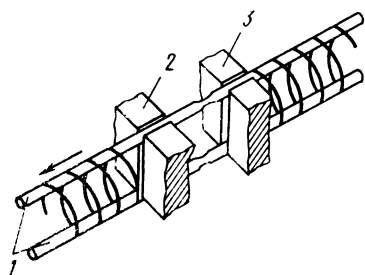


Рис. 94. Разрыв сеточных полос под током:  
1 — траверсы, 2, 3 — подвижные и неподвижные губки

Чтобы облегчить монтаж сеток в слюдяные изоляторы, концы их траверс должны иметь конусообразную или так называемую сигарообразную форму, для чего сеточные полосы не рубят, а отрывают (рис. 94), зажимая траверсы 1 между подвижными 2 и неподвижными 3 губками, на которые подают электрический ток. На автомате, работающем по такому принципу, можно разрывать различные сетки длиной от 12,5 до 36 мм с расстоянием между траверсами от 2 до 8,1 мм. Производительность его 1900 сеток в час.

Технологическая схема разрыва сеточных полос под током на автомате показана на рис. 95, а—д. Когда подвижные 3 и неподвижные 4 губки механизма разрыва раскрыты, таскатели 1 механизма установки сеточной полосы находятся в исходном положении (рис. 95, а). Захватывая траверсы, они подают полосу на необходимую длину сетки, устанавливая место разрыва в ней между разрывными губками (рис. 95, б), после чего выходят из зацепления с траверсами и отходят в исходное положение (рис. 95, в).

Траверсы при этом зажимаются губками (рис. 95, г), через которые на них подается ток (продолжительность включения около 0,06 с) и в месте разрыва нагреваются. Затем ток отключается, происходит разрыв полосы (рис. 95, д), обе пары губок раскрываются, подвижные губки возвращаются в исходное положение, а оторванная сетка сдувается струей воздуха в приемный лоток. Затем цикл повторяется.

Для окончательной формовки сеток, состоящей в выпрямлении их траверс и растяжке витков, применяют специальное приспособление (рис. 96), разъемная оправка 2 которого состоит из двух частей, крепя-

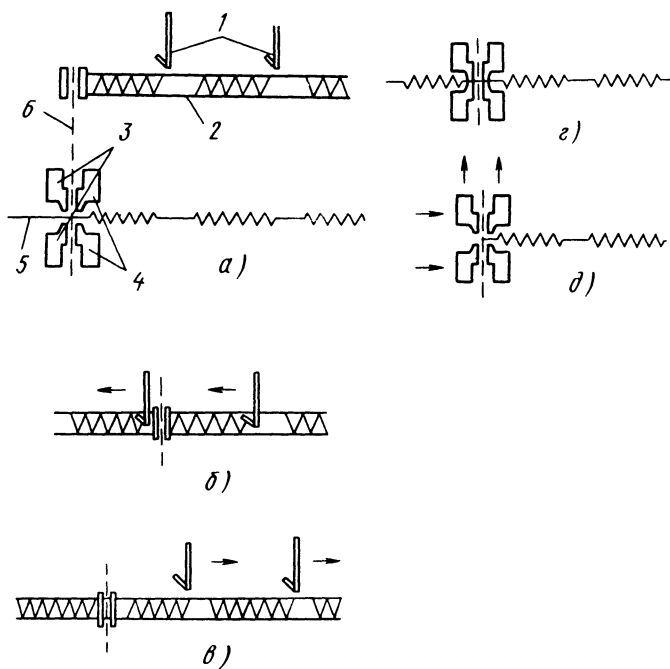


Рис. 95. Технологическая схема разрыва сеточных полос под током на автомате:

*а* — исходное положение, *б* — подача и установка полосы на место разрыва, *в* — отход таскателей в исходное положение, *г* — зажим траверс губками, *д* — разрыв траверс; 1 — таскатели, 2 — сеточная полоса, 3, 4 — подвижные и неподвижные губки, 5, 6 — линии движения и разрыва сеточной полосы

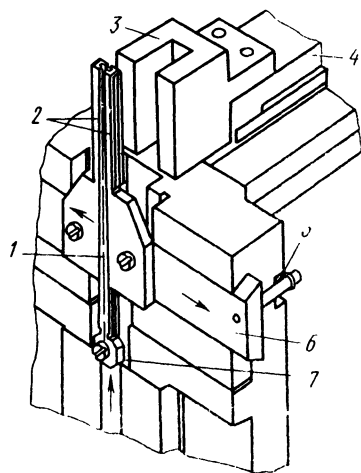


Рис. 96. Приспособление для растяжки сеток и правки их траверс: 1 — клин, 2 — оправка, 3 — растягивающий шаблон, 4, 6, 7 — ползунки, 5 — пружина

щихся на перемещающемся в горизонтальном направлении ползуне 6. Сетки на оправку надевают вручную. При подъеме вертикального ползуна 7 установленный на нем клин 1 раздвигает части оправки и они растягивают сетку.

Перед раздвиганием к оправке подходит закрепленный на горизонтальном ползуне 4 рихтующий шаблон 3, которым она охватывается вместе с сеткой. При срабатывании клина траверсы зажимаются между оправкой и стенками рихтующего шаблона, в результате чего происходит как растяжка витков сетки, так и правка ее траверс.

После отвода рихтующего шаблона и опускания клина части оправки под действием пружины 5 сближаются и сетка свободно снимается с нее. Для ориентации витков растягиваемых сеток под требуемым углом применяют резьбовые оправки. Витки сетки, западая во время растяжки в резьбовые канавки, приобретают нужное направление.

## § 62. Плетеные, сотовые, ленточные и петлевые сетки

П л е т е н ы е с е т к и изготавливают из вольфрамовой проволоки диаметром 20—40 мкм. Сеточное полотно получают так же, как ткань на ткацком станке — переплетением основы с утком (рис. 97).

Проволоки основы делят на две части 3 и 4, чередуя через одну и раздвигая в вертикальном направлении, при этом образуется угол — зев, через который проходит катушка с уточной проволокой 1. После каждого ряда укладки уточной проволоки зев закрывается, т.е. верхний ряд проволоки основы меняется местами с нижним, и образуется требуемое переплетение. Металлическая гребенка (бердо) 2 служит для уплотнения рядов уточной проволоки.

Применяют также метод получения сеточного полотна, при котором плетение происходит в результате движения одной части основы (рис. 98, а): другая часть основы неподвижна, а уточная проволока при этом проходит поочередно сверху и снизу ее (рис. 98, б).

Автоматы плетения сеточной ткани работают на основе этих методов.

Из полученных полотен штампами вырубают сетки заданной формы и размеров. Чтобы устранить деформацию контура сеток, полотна при вырубке зажимают между двумя слоями никелевой фольги. Затем края сеток для возможности крепления их в приборах запрессовывают или паяют в рамки, кольца, диафрагмы.

Преимуществом плетеных сеток, как уже отмечалось, является их высокая прозрачность для электронного пучка. Однако они имеют существенный недостаток — сравнительно низкую теплопроводность, которая объясняется малым поперечным сечением проволоки и низкой передачей теплоты от витка к витку в точках ее переплетения.

С о т о в ы е с е т к и изготавливают следующим образом (рис. 99, а—в). Алюминиевую проволоку необходимого сечения покры-

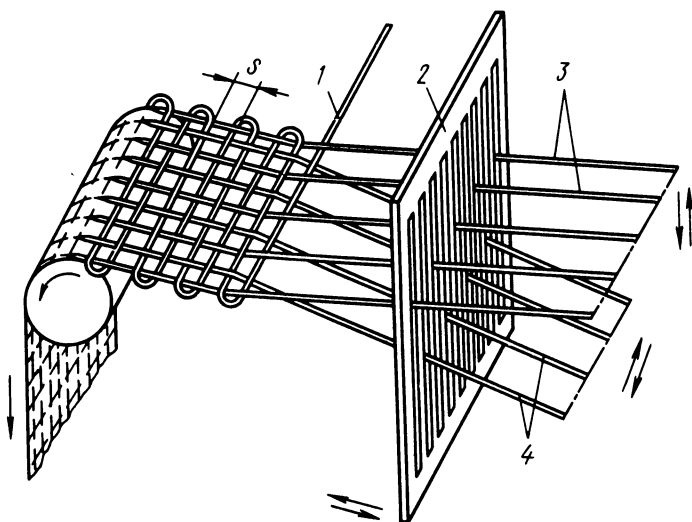


Рис. 97. Схема плетения сеточного полотна с перемещением обеих частей основы:

1 — уточная проволока, 2 — гребенка, 3, 4 — проволоки основы

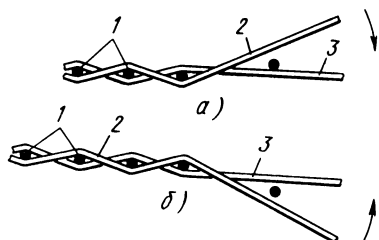


Рис. 98. Схема плетения сеточного полотна перемещением одной части основы:

а, б — верхнее и нижнее положения уточной проволоки; 1 — уточная проволока, 2, 3 — подвижная и неподвижная проволоки основы

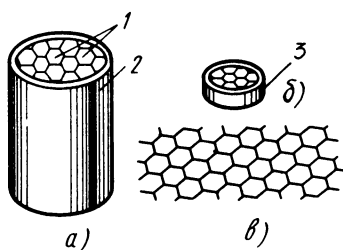


Рис. 99. Изготовление сотовых сеток: а — вставка пучка проволок в обойму для протягивания через фильеру, б — резка на диски и шлифовка, в — вытравливание алюминия; 1 — пучок проволок, 2 — обойма, 3 — диск



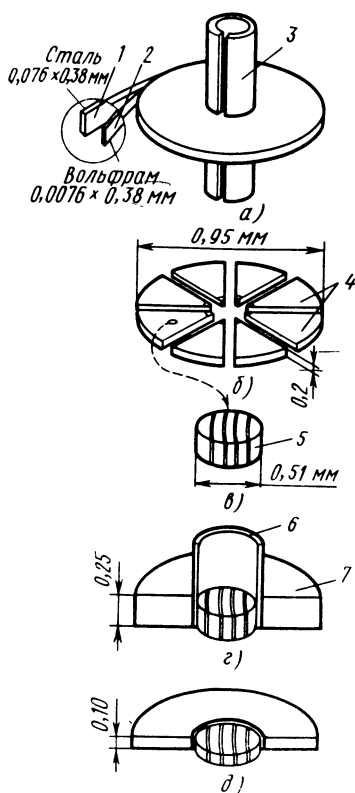


Рис. 100. Изготовление ленточных сеток:

а — наматывание лент на оправку, б — резка диска на секторы, в, г — изготовление дисков малого диаметра и закладка их в платиновую трубку, д — впаивание платиновой трубки в стальной диск, резка ее на новые диски и стачивание их торцов; 1, 2 — стальная и вольфрамовая ленты, 3 — оправка, 4 — секторы, 5 — диск, вырезанный из сектора, 6 — платиновая трубка, 7 — стальной диск

вают слоем меди, толщина которого несколько превышает половину толщины перемычки сетки, а иногда сверху тонким слоем золота и собирают в пучок 1, который вставляют в медную трубку-обойму 2 и обжимают, протягивая через фильеру (рис. 99, а). При этом проволоки соединяются между собой и приобретают шестигранную форму.

Диффузия золота в медь обеспечивает более прочное соединение отдельных проволок и образование единого стержня, который разрезают на тонкие диски 3, шлифуют до получения размеров, соответствующих толщине будущей сетки, и травят в щелочи (рис. 99, б). Так как на медь и золото щелочь практически не оказывает воздействия, обойма, медное и золотое покрытия сохраняются, а алюминий вытравливается (рис. 99, в).

Полученные таким образом сетки для снятия механических напряжений термообработывают.

Геометрическая прозрачность сотовых сеток более 85%. Для улучшения теплоотвода толщину перемычек в сотовых сетках иногда делают больше от центра к периферии, увеличивая толщину слоя меди на соответствующих алюминиевых проволоках в пучке.

Ленточные сетки (рис. 100, а—д), которые также применяются в клистронах, изготавливают из двух лент — вольфрамовой с медным гальваническим покрытием и стальной. Толщина вольфрамовой ленты должна быть равна толщине перемычек, а стальной — расстоянию между ними. Ленты укладывают одна на другую,

наматывают на цилиндрическую оправку и нагревают, в результате чего они спаиваются медью гальванического покрытия (рис. 100, а). Затем

диск шлифуют с обеих сторон и плоскости его хромируют, чтобы предупредить затекание меди при последующих обработках.

После этого диск разрезают на секторы (рис. 100, б) и шлифовкой получают из них новые диски (рис. 100, в), диаметр которых должен быть равен диаметру будущих сеток. Полученные диски укладывают в тонкостенную платиновую трубку (рис. 100, г), которую вплавляют в стальной диск, разрезают на новые диски, стачивая их с обеих сторон (рис. 100, д) до толщины, приблизительно равной 0,1 мм, что соответствует высоте перемычек сетки, и вытравливают сталь в растворе хлорида меди.

Петлевые сетки, которые были показаны на рис. 86, м, н, о, изготавливают из вольфрама, молибдена или сплавов этих металлов с рением фотокопированием. Толщина листа металла должна быть приблизительно равна высоте перемычек. При фотокопировании неизбежно появление некоторой конусности перемычек, поэтому в зависимости от соотношения между их высотой и толщиной травление может быть односторонним или двусторонним, а фоточувствительный слой соответственно наносится на одну или две стороны металлического листа.

Сетки изготавливают сразу с обоймой и готовы для соединения с элементами прибора.

### § 63. Изготовление сеток электроэрозионной обработкой

Плетеные вольфрамовые сетки имеют плохой теплоотвод, что ограничивает допустимую мощность приборов. Для улучшения теплоотвода используют ленточные сетки с прямоугольными ячейками, имеющими высокие перемычки (см. рис. 86, и). При этом теплоотвод возрастает пропорционально высоте перемычки, а геометрическая прозрачность сетки сохраняется.

Изготавливают сетки такого типа электроэрозионной (электроискровой) обработкой, основанной на эффекте расплавления и испарения микропорций металла под действием импульсов электрического тока, возникающих в промежутке между обрабатываемой поверхностью (катодом) и электродом-инструментом (анодом), помещенными в жидкую диэлектрическую среду.

Поверхности электродов (катада и анода) имеют большое количество микронеровностей. При подаче напряжения в межэлектродном промежутке возникает электрическое поле, напряженность которого больше там, где минимальны зазоры между выступами микрорельефа. При некоторой напряженности электрическая прочность среды в этом месте нарушается, происходит электрический пробой и образуется канал проводимости, по которому устремляется электрическая энергия в виде импульсного разряда.

В результате создается кратковременно действующий сосредоточенный источник теплоты (дуга), под действием которого металл на поверхности обрабатываемой детали и электрода-инструмента плавится и испаряется. Капли расплавленного металла вследствие развивающихся в зоне разряда динамических сил удаляются из межэлектродного промежутка и застывают в рабочей жидкости в виде мелких частиц сферической формы.

Через некоторое время после разряда электрическая прочность промежутка восстанавливается, затем возникает следующий разряд и т. д. Возникновение разрядов происходит до тех пор, пока с поверхностей электродов не будут удалены все участки металла, находящиеся на расстоянии действия дуги. Когда расстояние между электродами увеличивается, для возобновления разрядов они должны быть сближены. Обработка металлов импульсами тока производится при сравнительно невысоких напряжениях (обычно 30–60 В).

Межэлектродный промежуток зависит не только от приложенного напряжения, но и от энергии разрядов, так как при разрядах большой энергии соответственно удаляются большие порции металла. При этом межэлектродный промежуток насыщается продуктами эрозии и разложения рабочей жидкости, что вызывает его увеличение.

Эффект эрозии, т. е. количество металла, удаленного одиночным импульсом, и форма образованной при этом лунки зависят от энергии разрядов, их длительности и таких свойств обрабатываемого материала, как температура кипения и плавления, теплопроводность и теплоемкость. Так, установлено, что эффект эрозии уменьшается при увеличении температуры плавления металла. Механические характеристики металлов — твердость и вязкость — на эффект эрозии не влияют. Зависимость интенсивности эрозии от свойств металлов характеризуется так называемой электроэрозионной обрабатываемостью.

При температурах 5000–40 000° С, которые возникают в зоне разрядного канала, происходит эрозия всех известных электропроводящих материалов. Это позволяет подвергать электроэрозионной обработке материалы, обладающие высокой твердостью и вязкостью, не поддающиеся механической обработке.

Производительность электроэрозионной обработки (мм<sup>3</sup>/мин) зависит от теплофизических свойств обрабатываемого материала, сочетания пары материалов обоих электродов (обрабатываемого и инструмента), а также мощность, возникающей в межэлектродном промежутке:  $Q = CAf$  (где  $C$  — коэффициент, характеризующий теплофизические свойства металла;  $A$  — энергия импульсов, Вт/см;  $f$  — частота импульсов, Гц).

Производительность обработки значительно повышается при удалении из межэлектродного промежутка продуктов эрозии. Для этого в межэлектродный промежуток нагнетают жидкость или электродам сообщают вибрацию.

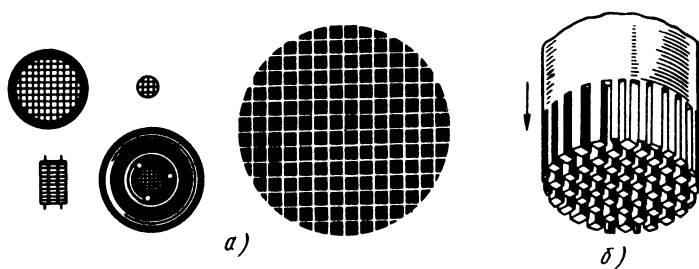


Рис. 101. Сетки большой точности (а) и электрод-инструмент для получения их электроэрозионной обработкой (б)

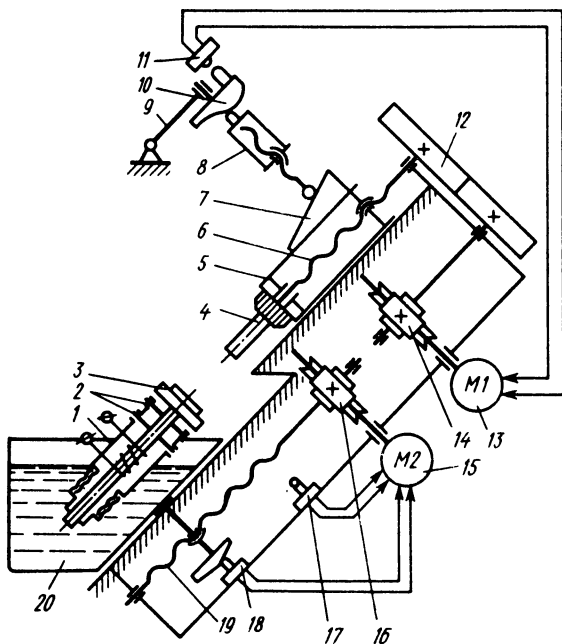


Рис. 102. Кинематическая схема электроэрозионной установки:  
1 — вибратор, 2 — мембраны, 3 — столик, 4 — электрод-инструмент,  
5 — ползун, 6 — ходовой винт, 7, 10 — кулачки, 8 — толкатель, 9 —  
рычаг, 11, 17, 18 — микропереключатели, 12, 19 — фрикционная и  
винтовая передачи, 13, 15 — электродвигатели, 14, 16 — червячные  
передачи, 20 — ванна

Электроэрозионной обработкой получают сетки большой точности (рис. 101, а). Для этого вначале непрофилированным электродом-инструментом (проволокой) изготавливают рабочий электрод-инструмент (рис. 101, б), нарезаая в металлической заготовке в двух взаимно перпендикулярных направлениях пазы, соответствующие профилю сетки.

Кинематическая схема установки для изготовления сеток и других деталей электроэрозионной обработкой показана на рис. 102. Ползун 5 с цанговым зажимом для крепления электрода-инструмента 4 перемещается в направляющих регулятором подачи с реверсивным электродвигателем 13 постоянного тока, червячной 14 и фрикционной 12 передачами и ходовым винтом 6. Направляющие ползуна расположены под углом  $45^\circ$  к вертикальной оси установки, что создает более благоприятные условия для удаления продуктов обработки.

Когда ползун 5 находится в нижнем положении, кулачок 7 перемещает толкатель 8 и через кулачок 10, укрепленный на рычаге 9, замыкает микропереключатель 11, который отключает электродвигатель 13. Толкатель 8 регулируется по длине винтовой парой, что позволяет устанавливать границы хода ползуна. Аналогичное устройство служит для установки ползуна в верхнем положении.

Ванна 20 получает движение от электродвигателя 15 через червячную 16 и винтовую 19 передачи. Верхнее и нижнее положения ванны ограничиваются микропереключателями 18 и 17. Рабочий столик 3, подвешенный на мембранах 2, находится под воздействием вибратора 1, амплитуда колебаний которого регулируется изменением напряжения, подаваемого на катушку электромагнита, или перемещением его сердечника, ограничивающего ход мембран. Вибратор со столиком расположен в ванне и питается от сети переменного тока частотой 50 Гц.

Обрабатываемая деталь закрепляется на столике 3, а электрод-инструмент — в цанговом зажиме ползуна 5. При включении электродвигателей 13 и 15 начинается сближение ползуна 5 и ванны 20, включается вибратор, подается разность потенциалов между обрабатываемой деталью и электродом-инструментом и происходит обработка.

### Контрольные вопросы

1. Какие сетки применяются в электровакуумных приборах?
2. Какие методы формообразования спиральных сеток вы знаете?
3. Как обрабатывают спиральные сеточные полосы?
4. Как изготавливают плетеные, сотовые, ленточные и петлевые сетки?
5. Как изготавливают сетки электроэрозионной обработкой?

## ГЛАВА ТРИНАДЦАТАЯ. ИЗГОТОВЛЕНИЕ РЕЗОНАТОРОВ И ЗАМЕДЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

### § 64. Основные сведения

Разнообразие типов приборов СВЧ обусловлено их назначением, принципом действия, а также формой электронных пучков и высокочастотными системами их фокусировки. По высокочастотным системам фокусировки приборы СВЧ подразделяют на резонансные и нерезонансные.

В резонансных приборах СВЧ для повышения эффективности взаимодействия электронов с высокочастотным полем применяются резонаторы, которые увеличивают амплитуду поля. Резонаторы (рис. 103, а, б) обычно представляют собой полости, ограниченные металлическими стенками. Наиболее распространенными резонансными приборами являются магнетроны и клистроны.

В нерезонансных приборах СВЧ эффективность взаимодействия электронов с полем достигается не увеличением его амплитуды, а многократностью или длительной непрерывностью. В таких приборах используют замедляющие системы (рис. 104, а—г), в которых распространяющаяся фазовая скорость электромагнитной волны снижается по сравнению со скоростью ее распространения в свободном пространстве. Это позволяет получить приблизительное равенство скоростей движения электронов и фазовой скорости волны и обеспечивает условие эффективного обмена энергией между электронами и волной.

Наиболее распространенными типами нерезонансных приборов являются лампы бегущей волны (ЛБВ), широкополосные усилители и широкодиапазонные генераторы. Резонаторы и замедляющие системы изготавливают из чистых металлов — меди, молибдена, вольфрама, золота, серебра и сплавов, среди которых наибольшее распространение получили ковар, инвар и бронзы.

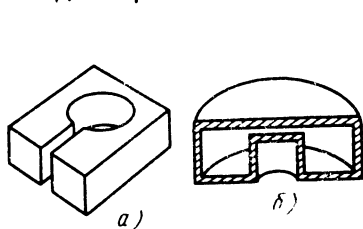


Рис. 103. Резонаторы:  
а — магнетронный, б — клистронный

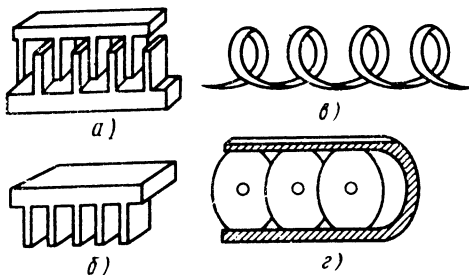


Рис. 104. Замедляющие системы:  
а — штыревая, б — гребенчатая, в — ленточная спиральная, г — диафрагмированный круглый цилиндрический волновод

Используемые материалы должны обладать высокими механической прочностью, пластичностью, теплопроводностью, допустимой и рабочей температурами, малым удельным электрическим сопротивлением, низкими уровнями газовой выделенности и упругости паров, быть вакуумно-плотными и пригодными для получения неразъемных соединений с металлами и диэлектриками сваркой, пайкой, глазуриями, цементами.

Этим требованиям наиболее полно удовлетворяет бескислородная медь, которая высокотепло- и электропроводна, хорошо обрабатывается, неферромагнитна, образует со стеклом и керамикой несогласованные вакуумно-плотные спаи, имеет низкую упругость пара вплоть до  $700^{\circ}\text{C}$ , хорошо паяется в водородных и вакуумных печах твердыми припоями на основе золота, серебра, а также сваривается аргонодуговой, электронно-лучевой и диффузионной сваркой. Основным недостатком меди — недостаточно высокая предельная рабочая температура ( $1000^{\circ}\text{C}$ ).

Если медь применить нельзя, используют вольфрам и молибден в комбинации с медью или самостоятельно (например, для изготовления спиральных замедляющих систем). Вольфрам и молибден обладают в три раза меньшей теплопроводностью чем медь, однако их предельная рабочая температура выше и составляет  $2250^{\circ}\text{C}$ . Вольфрам и молибден хорошо паяются с медью медными припоями.

Для изготовления резонаторов и замедляющих систем или отдельных их элементов используют сплав 29НК (ковар), основным преимуществом которого является легкость образования вакуумно-плотных спаев со стеклом и керамикой при контактной, аргонодуговой или электронно-лучевой сварке.

Штыревые замедляющие системы изготовляют из таких материалов, обладающих повышенной твердостью, как неотожженная медь и кобальтовые бронзы (сплав меди с  $1\text{--}2\%$   $\text{Co}_2\text{Si}$  или  $1\text{--}2\%$   $\text{Co}_3\text{Si}_2$ ). Спиральные замедляющие системы изготовляют из вольфрамовых, молибденовых или константановых лент.

Для крепления резонаторов и замедляющих систем в приборах, а также их выводов энергии широко используют стекло, кварц, сапфир, керамику, ситаллы, высокочастотные глазури, вакуумные цементы и другие диэлектрические материалы.

## § 65. Резонаторы магнетронов

Одной из основных деталей магнетрона является резонатор — анодный блок.

На рис. 105 показана наиболее распространенная конструкция анодного блока магнетрона, представляющая собой медный цилиндр 1, имеющий внутри расположенные в радиальном направлении боковые камеры-резонаторы 2 сложной формы, окружающие центральное (анодное) отверстие 3. Вместе с анодным отверстием эти камеры образуют полость, которую называют резонаторной системой.

На рис. 106, а—г показаны различные типы резонаторных систем. В магнетронах наиболее часто используются щелевые (рис. 106, б) и лопаточные (рис. 106, в) резонаторные системы. Высокие требования, предъявляемые к магнетронам по воспроизводимости генерируемых ими частот в достаточно узких пределах и кпд, вызывают необходимость изготовления резонаторных систем анодных блоков с высокой степенью точности.

Основным методом изготовления щелевых резонаторных систем, несмотря на их относительно малые размеры, является механическая обработка, при которой выполняются следующие операции: выдавливание заготовок; предварительная токарная обработка их торцовых плоскостей и анодного отверстия; рассверливание анодных отверстий; распиливание щелей; чистовая токарная обработка и обработка плоскости полученного блока и отверстия под вывод энергии.

При более прогрессивной технологии щели в резонаторных системах получают не распиливанием, а электроэрозионной обработкой с помощью непрофилированного электрода-инструмента.

Резонаторные лопаточные системы в основном изготавливают также выдавливанием на гидравлических прессах в специальных пресс-формах. Этот процесс характеризуется высокой производительностью и точностью, однако требуется специальный инструмент и мощное прессовое оборудование. Заготовки для лопаточных резонаторных систем обрабатываются так же, как для штыревых. Так как формообразование осуществляется в начале процесса, последующие операции, чтобы предупредить возможные повреждения полученных резонаторных систем, следует выполнять очень точно.

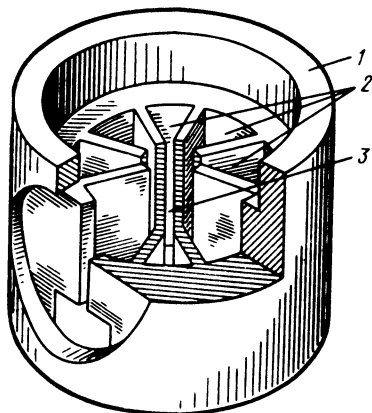


Рис. 105. Анодный блок магнетрона: 1 — медный цилиндр, 2 — камеры резонаторы, 3 — анодное отверстие

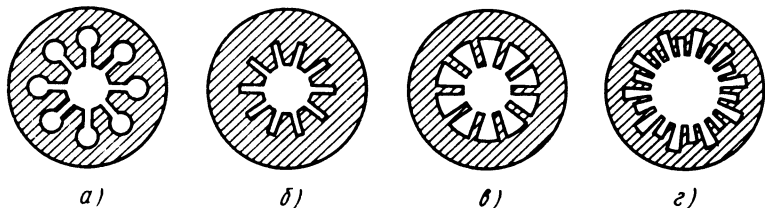


Рис. 106. Резонаторные системы:

а — щель-отверстие, б — щелевая, в — лопаточная, г — "восходящее солнце"



Заготовками для выдавливания резонаторных штыревых и лопаточных систем служат кружки из бескислородной меди, которые нарезают на токарных станках или рубят в специальных втулочных штампах, а затем калибруют, осаживая в цилиндрических матрицах. После отжига при 600—650° С в течение 15—20 мин в вакууме или водороде заготовки приобретают необходимые механические свойства. Следует иметь в виду, что получаемые выдавливанием резонаторные системы не в полной мере идентичны профилю пуансона. Отклонения обусловлены пластической деформацией металла и могут быть скомпенсированы при расчете размеров рабочих частей инструмента.

При выдавливании материал заготовки, затекая в узкие щели пуансона, распределяется не строго вдоль его центрального стержня, а отходит на некоторое закономерно изменяющееся расстояние, в результате чего верхний торец и внутреннее анодное отверстие резонаторной системы могут иметь воронкообразную форму. Поэтому их дополнительно обрабатывают.

Возросшие требования к современным магнетронам по повышению их надежности, срока службы, мощности и других параметров не удовлетворяются традиционными методами изготовления цельных резонаторных систем. В последнее время резонаторные системы изготавливают из меди, армируя анодное отверстие молибденовыми накладками. Биметаллические медно-молибденовые соединения получают отливкой, диффузионной сваркой или пайкой.

## § 66. Штыревые и гребенчатые замедляющие системы

Замедляющие системы выполняют в виде ячеек той или иной формы, периодически повторяющихся в одном либо нескольких направлениях. Однако более распространены периодические системы, структура которых имеет периодичность только в одном направлении. В зависимости от ширины высокочастотного диапазона замедляющие системы подразделяют на два класса.

К первому классу относят замедляющие системы, которые представляют собой волноводы, изогнутые по какому-либо периодическому закону.

Такие системы широкодиапазонны, хотя и в них полосы пропускания чередуются с полосами запираания, так как изгиб, например, в системах, которые были показаны на рис. 104, а, б, является точкой отражения. Когда волны, отраженные от последовательных неоднородностей, складываются, система не пропускает суммирующуюся волну. В ленточных спиральных замедляющих системах (см. рис. 104, в), где изгиб непрерывен, запираания не наблюдается. Однако вблизи точек, в которых длина витка спирали равняется длине распространяющейся волны, изменяется фазовая скорость распространяющихся вдоль спирали волн.

Ко второму классу относят замедляющие системы, представляющие собой цепочки связанных резонаторов (см. рис. 104, з). Такие системы относительно узкодиапазонны.

Штыревые и гребенчатые замедляющие системы (рис. 104, а, б) отличаются большим разнообразием конструкций и имеют хороший теплоотвод, что обусловлено их массивностью и сравнительно малой высотой штырей или гребенок. Это является важным преимуществом при использовании штыревых и гребенчатых замедляющих систем во всех приборах, работающих при значительных плотностях потока мощности в электронном пучке. Для штыревых и гребенчатых замедляющих систем характерна мелкая структура: тем более мелкая, чем короче длина рабочей волны. В результате этого к точности и технологическим методам их изготовления предъявляют особые требования.

Штыревые и гребенчатые замедляющие системы изготавливают из меди фрезерованием, штамповкой, выдавливанием, электроэрозионной, электронно-лучевой и лазерной обработкой, а в некоторых случаях — фотокопированием или электролитическим осаждением.

Фрезерованием обычно получают относительно крупногабаритные замедляющие системы. Достоинством фрезерования является то, что поверхности замедляющих систем не загрязняются, как это, например, происходит при электроэрозионной обработке. Это является важным преимуществом данного метода.

Штамповкой получают пластины различной формы, которые являются заготовками, а после совмещения и пайки образуют штыревые и гребенчатые замедляющие системы.

Изготовление замедляющих систем выдавливанием не отличается от изготовления резонаторных систем магнетронов.

Электроэрозионная обработка незаменима при изготовлении замедляющих систем, предназначенных для приборов, работающих в коротковолновых диапазонах. Структуры этих систем очень мелкие, например имеют ширину штырей 10 мкм и менее. При электроэрозионной обработке применяют непрофилированные и профилированные электроды-инструменты (рис. 107, а, б). Поверхность полученных таким образом замедляющих систем шероховата и загрязнена углеродом, поступающим из материала электрода-инструмента и среды, в которой происходит обработка. Для очистки поверхности замедляющие системы подвергают химической обработке и отжигу.

Достоинством новых методов изготовления замедляющих систем — электронно-лучевого и лазерного — является то, что обработка происходит в вакууме и при этом обеспечивается высокая чистота поверхностей. Кроме того, так как электронный пучок может быть сфокусирован до диаметра 0,01 мкм, а луч лазера — до диаметра, близкого половине длины волны излучения, т. е. до 0,2–0,4 мкм, этими методами можно изготавливать замедляющие системы с такой мелкой структурой, которая недостижима при других видах обработки.

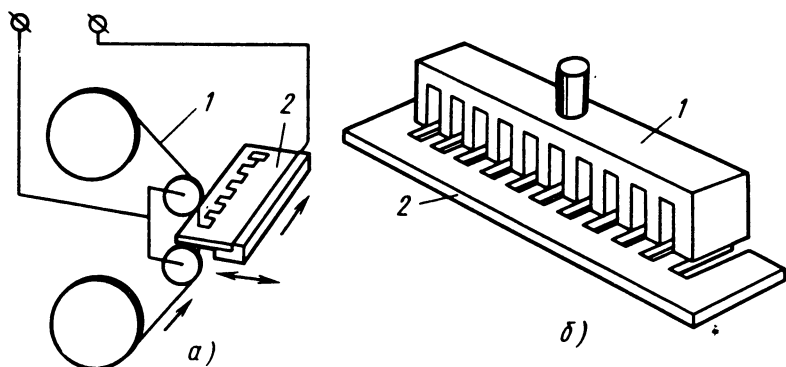


Рис. 107. Изготовление замедляющих систем электроэрозионной обработкой с помощью электродов-инструментов:  
*а* — непрофилированного, *б* — профилированного; 1 — электрод-инструмент, 2 — обрабатываемая деталь

Электронно-лучевые установки размерной обработки материалов отличаются от аналогичных сварочных установок (см. рис. 35) мощностью излучения, диаметром фокусировки электронного пучка, а также системой его сканирования.

Лазерной обработкой замедляющие системы изготовляют с помощью масок, на которые наносят их увеличенные изображения (рис. 108). Маску 3 располагают на большом расстоянии от фокальной плоскости 5 и поэтому она не нагревается лазерным излучением 1, а заготовку 4 для получения необходимой температуры обработки — близко к фокальной плоскости.

Следует отметить, что при электронно-лучевой и лазерной обработке отверстия имеют некоторую конусность, особенно при больших отношениях их глубины к диаметру луча, что позволяет использовать эти методы при изготовлении замедляющих систем не для всех типов приборов.

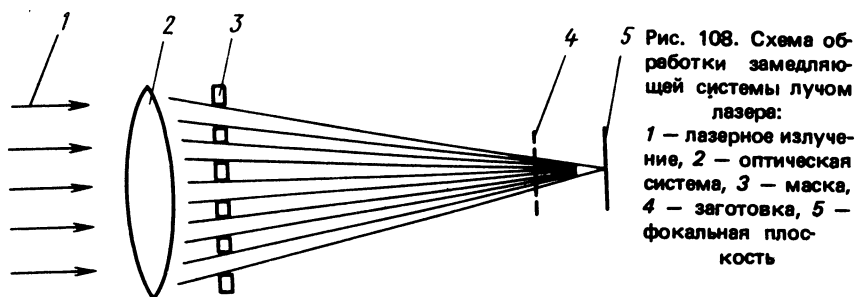


Рис. 108. Схема обработки замедляющей системы лучом лазера:  
 1 — лазерное излучение, 2 — оптическая система, 3 — маска, 4 — заготовка, 5 — фокальная плоскость

## § 67. Спиральные замедляющие системы

Замедляющие системы в виде однозаходных, двухзаходных и концентрических спиралей используются в широкополосных усилителях и широкодиапазонных генераторах. Изготавливаются они из молибденовой или вольфрамовой проволоки диаметром от 0,03 до 0,5 мм, которую иногда для повышения поверхностной электропроводности последовательно горячей металлизацией и гальванически покрывают слоем серебра. При горячей металлизации тонкий слой наносится, когда проволоку протягивают через расплавленную в атмосфере водорода и азота (формиргаза) каплю серебра. Предварительно проволоку очищают.

На рис. 109 показана установка нанесения покрытий горячей металлизацией. На стойке 14 установлены контактный ролик 9 и два зажима 7 для подключения нагревательного элемента в виде молибденовой трубки 6 с графитовым тиглем 5, в котором расплавляют серебро. Водород по трубке 13 поступает в тройник 8, а из него — в камеру 10 и трубки 3 и 15. К укрепленной на стойке 14 плите 12 привинчена коробка 4 с контактными роликами, которыми через трубки 3 и 15 протягивается металлизированная проволока. Трубки 3 и 15 сделаны достаточно длинными для предотвращения воспламенения водорода и снабжены дюзами из высокоуглеродистой стали, что препятствует их быстрому износу при соприкосновении с движущейся проволокой.

Температура нагрева контролируется термопарой 11. Плита 12 закрыта стальным кожухом с застекленными смотровыми отверстиями, позволяющими вести наблюдение за процессом, происходящим в камере. Напряжение к зажимам 7 нагревателя и верхнему контактному ролику 9 подводится по трем изолированным друг от друга трубкам 13, 17 и 18 через контакты 1. На стойке 14 размещены также устройство 2 для очистки проволоки и контактный ролик 16, контролирующий ее обрыв.

После горячей металлизации проволоку покрывают гальваническим способом еще одним слоем серебра, после чего очищают и для получения гладкого покрытия пропускают через алмазную фильеру.

Навивают спирали замедляющих систем на станках с высокой точностью шага. Так, при шаге 0,15—0,16 мм допуск равен 1—5 мкм. Принцип действия станков был рассмотрен в § 65. Обычно для навивки применяют гладкие оправки, но при очень жестких допусках по шагу используют оправки с винтовой нарезкой. Полученные спирали обезжиривают, очищают и для снятия появившихся при навивке напряжений отжигают.

Для обеспечения стабильности электрических параметров приборов спиральные замедляющие системы должны быть надежно закреплены. При наиболее простом способе (рис. 110) спираль 2 крепится тремя электрическими стержнями 1, охватываемыми двумя металлическими поясками 3, и соединяется пайкой с выводом энергии. Вибропрочность

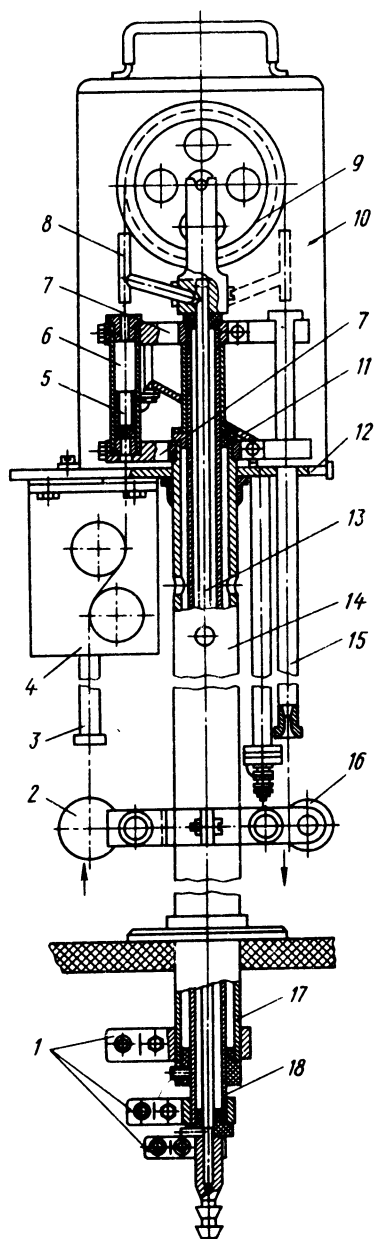


Рис. 109. Установка нанесения покрытий горячей металлизацией:

1 — контакты, 2 — устройство очистки проволоки, 3, 6, 13, 15, 17, 18 — трубки, 4 — коробка с контактными роликами, 5 — тигель, 7 — зажимы, 8 — тройник, 9, 16 — контактные ролики, 10 — кожух, 11 — термопара, 12 — плита, 14 — стойка

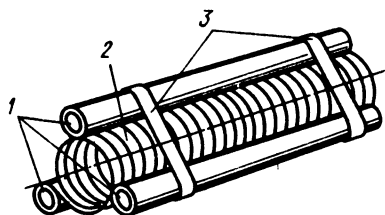


Рис. 110. Крепление замедляющей системы:

1 — стержни, 2 — спираль, 3 — пояски

такой конструкции обеспечивается силами трения, возникающими между витками спирали и стержнями.

В некоторых случаях для крепления спирали используют непосредственно стенки стеклянной колбы. При этом спираль наматывают на керн, диаметр которого меньше внутреннего диаметра колбы, вставляют в колбу и освобождают от керна, в результате чего она слегка раскручивается и плотно прижимается к стенкам колбы. Колбы в этом случае должны быть откалиброваны по внутреннему диаметру с допуском 0,03 мм на специальных установках.

При сборке металлокерамических ламп бегущей волны спираль с тремя диэлектрическими стержнями не охватывают полосками, а вставляют в цилиндр из молибдена или стали, который затем деформируют, прикладывая к нему снаружи усилия. После снятия усилий спираль, окруженная диэлектрическими стержнями, сжимается по всей длине в результате радиальных усилий, возникающих при упругопластической деформации цилиндра.

## § 68. Контроль резонаторных и замедляющих систем

Отличительной особенностью проверки резонаторных и замедляющих систем являются проводимые параллельно контроль их геометрических размеров, чистоты поверхности, микроструктуры, химического состава и радиотехнический контроль или так называемые холодные измерения. Результаты геометрического контроля позволяют лишь с известной степенью достоверности оценивать пригодность высокочастотных систем, тогда как "холодные" радиотехнические измерения позволяют судить об их качестве. При существующем уровне технологии производства оба метода контроля дополняют друг друга.

Наиболее тщательно необходимо контролировать геометрические размеры миниатюрных высокочастотных систем. Главным требованием в этом случае является проведение контроля бесконтактными методами, так как всякое прикосновение может вызвать деформацию и ухудшить параметры системы. Поэтому наибольшее распространение получили методы контроля, при которых используются микроскопы, проекторы. Контактные методы контроля с помощью гладких калибров, микрометров, индикаторов и других измерительных средств применяют лишь в тех случаях, когда высокочастотные системы имеют достаточную прочность и жесткость.

Размеры резонаторных систем контролируют стереоскопическим микроскопом МБС-1, дающим прямое и объемное изображения рассматриваемого предмета как в проходящем, так и отраженном свете при увеличении от 3,5 до 88 раз.

Двойной микроскоп МИС-1 системы Линника применяют для контроля высоты микронеровностей и характера шероховатости резонаторов.

Микроструктуру поверхности резонаторов определяют на металлографических микроскопах по специально изготовленным шлифам.

Шаг навивки спиралей в ленточных и расстояния между штырями в штыревых и гребенчатых замедляющих системах контролируют часовыми проекторами. Изменяя кратность увеличения, просматривают как отдельные участки, так и всю систему. При максимальном увеличении 100–200 раз можно определять искажения порядка 1 мкм.

Для измерения шага спиралей замедляющих систем с точностью до 1 мкм служат также специальные автоматы (рис. 111). Пучок света 5 проходит через эталонную решетку 4, имеющую, например, шаг 2 мкм, и фокусируется оптической системой 3 в плоскости изображения, где расположена вторая решетка 2 с шагом 70 мкм, соответствующим шагу увеличенного изображения решетки 4.

При перемещении решетки 4 совместно с измеряемой спиралью 7 световой пучок 5, прошедший через обе решетки, модулируется и попадает на фотоумножитель 1, электрический сигнал с которого поступает на компаратор 9 и определяет перемещение решетки 4.

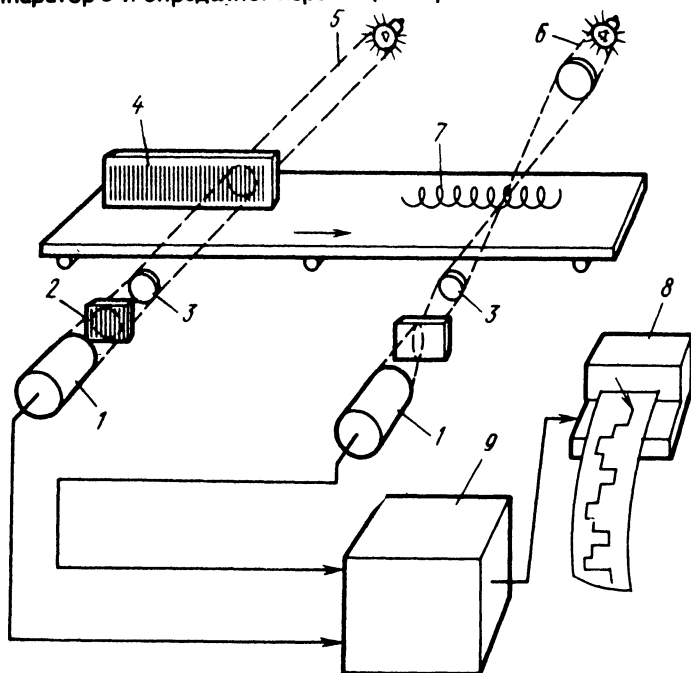


Рис. 111. Автомат контроля шага спиралей замедляющих систем: 1 — фотоумножитель, 2, 4 — решетки, 3 — оптическое устройство, 5, 6 — пучки света, 7 — измеряемая спираль, 8 — записывающее устройство, 9 — компаратор

Второй световой пучок 6 фокусируется на передней (по отношению к источнику освещения) линии витков измеряемой спирали 7 и далее с помощью оптической системы 3 подается на фотоумножитель, электрический сигнал с которого также поступает на компаратор 9. В компараторе происходит сравнение сигналов, поступающих с эталонной решетки 4 и измеряемой спирали 7, и выдача результата на записывающее устройство 8.

#### **Контрольные вопросы**

1. Какие виды резонаторов и замедляющих систем вы знаете?
2. Какие требования предъявляют к материалам для изготовления высокочастотных систем?
3. Как изготавливают резонаторы магнетронов?
4. Каковы особенности изготовления штыревых и гребенчатых замедляющих систем?
5. Как изготавливают и крепят в приборах спиральные замедляющие системы?
6. Каковы особенности контроля высокочастотных систем?
7. Каков принцип действия автомата для контроля шага спиралей?

## **ГЛАВА ЧЕТЫРНАДЦАТАЯ. ТЕХНОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЗАГОТОВИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

### **§ 69. Очистка деталей электровакуумных приборов**

Для очистки стеклянных, керамических и металлических деталей электровакуумных приборов применяют материалы и химические реактивы, содержащие минимальное количество загрязнений. По способу связи с материалом деталей поверхностные загрязнения можно разделить на две основные группы.

К первой группе относятся загрязнения, не образующие с материалом поверхности деталей химических соединений (остатки жиров, масел, шлифовальных и полировальных паст, пыль, копоть, частицы абразивных материалов, а также следы от прикосновения рук).

Ко второй группе относятся загрязнения, образовавшиеся в результате химического взаимодействия материала поверхности детали с окружающей средой. Такими загрязнениями являются оксидные пленки и сернистые соединения на металлических поверхностях, следы выщелачивания стекла.

Загрязнения вызывают повышенный брак на отдельных технологических операциях, уменьшают срок службы и снижают надежность и стабильность работы электровакуумных приборов. Загрязнения на поверхностях деталей изменяют их электрические характеристики, ухудшают



**свойства** изоляторов, снижают эмиссию катода, а также вызывают интенсивное газовыделение при вакуумной обработке приборов.

Для удаления загрязнений применяют химические методы очистки, которые обычно состоят из двух стадий: обезжиривания и травления.

Для обезжиривания используют нейтральные растворители, которые не разрушают молекулы загрязнений, а благодаря сорбционной активности вытесняют их с поверхности в раствор. При этом структура поверхности детали не разрушается. Некоторые загрязнения (жирные кислоты, животные и растительные жиры) химически взаимодействуют с водными растворами щелочей. При этом нерастворимые в воде жировые загрязнения превращаются в мыла и легко смываются с поверхности деталей. Для удаления таких загрязнений достаточно, чтобы обезжиривающий раствор содержал только щелочь и воду.

Однако жировые загрязнения в виде остатков минеральных масел (машинного, вакуумного, трансформаторного), минеральных смазок (технический вазелин, тавот), следов полировальных паст, а также сажа, копоть, пыль и другие твердые частицы не вступают в химическую реакцию со щелочью и не образуют растворимых веществ. При воздействии щелочного раствора эти загрязнения не растворяются, а образуют с ним устойчивую эмульсию или суспензию.

Физико-химический процесс взаимодействия промышленных жидкостей с различными загрязнениями деталей, обуславливающий эффект очистки, весьма сложен. Молекулы моющих жидкостей и загрязнений могут при взаимодействии образовывать гигантские молекулы, состоящие из нескольких десятков отдельных молекул. Взаимодействуя друг с другом и с молекулами как моющих, так и загрязняющих веществ, они непрерывно перестраиваются, изменяя свои размеры и структуру, что влияет на скорость их диффузии в жидкости.

Адсорбированные молекулы могут быть связаны с поверхностью адсорбента в течение определенного времени, а затем отрываются от нее. Процесс удаления поверхностных загрязнений показан на рис. 112, а-в.

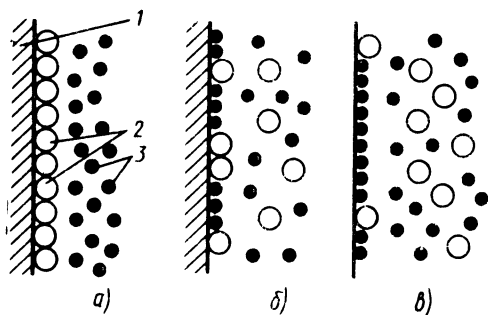


Рис. 112. Процесс удаления поверхностных загрязнений:  
а — начальная стадия, б, в — перемещение молекул загрязнений с поверхности в раствор и обратно;  
1 — деталь, 2, 3 — молекулы загрязнений и моющей жидкости

В начальный период очистки поверхность детали покрыта одним слоем молекул загрязнений (рис. 112, а), часть которых при взаимодействии с моющей жидкостью переходит в ее тонкий приповерхностный слой. На их место сорбируются молекулы моющей жидкости (рис. 112, б). Дальнейшее поведение молекул загрязнений в жидкости целиком определяется диффузией, в результате которой некоторые из них могут снова приблизиться к очищаемой поверхности (рис. 112, в). Эффективность удаления молекул загрязнений с поверхности значительно повышается при добавлении к моющим жидкостям так называемых поверхностно-активных веществ.

При очистке деталей сложной формы — с каналами и отверстиями малых сечений (особенно при значительной их протяженности) используют различные методы интенсификации: подогрев; в струе жидкости; с помощью ультразвука.

В качестве обезжиривающих растворителей в производстве электронных приборов применяют щелочные растворы и такие органические растворители, как трихлорэтилен, четыреххлористый углерод, фреон, ацетон, бензин, спирт, вода.

Для изготовления щелочных растворов используют гидроксиды калия  $\text{KOH}$  и натрия  $\text{NaOH}$ , силикаты  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  и  $\text{K}_2\text{SiO}_3$ , тринатрийфосфат  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ . Обезжиривающие щелочные растворы следует готовить только на дистиллированной или деионизованной воде.

В щелочных растворах обезжиривают детали, изготовленные из стали, никеля, кобальта, молибдена, вольфрама и цветных металлов, стойких к действию щелочей. Эти растворители хорошо удаляют остатки паст и эмульсий с поверхности деталей после механической обработки, сажу, а также используются при обезжиривании влажных деталей, так как органическими растворителями обрабатывают только сухие детали.

При обезжиривании в щелочных растворах нельзя во избежание коррозии совместно обрабатывать детали, изготовленные из разных металлов и сплавов.

Органические растворители по сравнению со щелочными растворами обладают:

большой скоростью и высокой производительностью при очистке сильнозамазанных деталей;

возможностью обезжиривания деталей сложной формы с любыми размерами внутренних полостей (обезжиривающую способность имеют не только жидкие органические растворители, но и их пары, которые легко проникают во внутренние полости деталей);

легкостью удаления с поверхностей деталей (это качество особенно важно для деталей сложной формы, из внутренних полостей которых трудно удалить остатки обезжиривающих веществ);

отсутствием химического взаимодействия с материалом деталей;

возможностью многократного использования после регенерации.

Органические растворители применяются для обезжиривания ответственных деталей из никеля и никелевых сплавов, а также из платинита, цинка, алюминированного железа, нестойких к действию щелочей.

*Трихлорэтилен*  $\text{CHCl}-\text{CCl}_2$  обладает высокой растворяющей способностью (растворяет не только жиры, но и смазки, лаки, краски, смолы), не содержит вредных для электровакуумных приборов примесей, негорюч и не образует взрывоопасных соединений с воздухом. Основным недостатком трихлорэтилена — склонность к разложению под действием влаги, солнечных лучей и кислорода воздуха, а также при соприкосновении с кислотами, щелочами, щелочными и щелочноземельными металлами (калием, натрием, барием, стронцием, кальцием).

Для повышения стабильности (стойкости) трихлорэтилена в него вводят специальные добавки. Стабилизирующее действие на трихлорэтилен оказывают диэтиламин, монобутиламин, уротропин.

В трихлорэтилене нельзя обезжиривать детали, смоченные мыльными растворами и эмульсиями, так как при этом образуется нерастворимая клейкая масса, загрязняющая ванну и детали. Даже в стабилизированном трихлорэтилене не рекомендуется обезжиривать детали из магния, алюминия и их сплавов, алюминированных железа и никеля. Недостатком трихлорэтилена является его высокая стоимость.

*Четыреххлористый углерод*  $\text{CCl}_4$  применяют редко, так как он еще более ядовит и склонен к разложению, чем трихлорэтилен. Кроме того, четыреххлористый углерод обычно содержит примеси сернистых соединений, даже следы которых недопустимы в электровакуумных приборах. Четыреххлористый углерод вызывает сильную коррозию алюминиевых сплавов.

*Фреон-113*  $\text{Cl}_2\text{C}-\text{CF}_3$  (трихлортрифторэтан) в последнее время находит все большее распространение, так как обладает в 1,5—2 раза большей растворяющей способностью, чем трихлорэтилен. Фреон-113 негорюч, устойчив к алюминию и магнию, не боится длительного воздействия солнечного света.

*Ацетон*, применяемый для очистки слабозагрязненных деталей, целесообразно использовать, когда одновременно необходимо снять пленку лака, смолы и др.

*Бензин* применяют для обезжиривания деталей, из сплавов, содержащих щелочные и щелочноземельные металлы. Его целесообразно использовать для удаления с поверхности деталей густого слоя смазки, остающейся после полировки или шлифовки.

*Воду* применяют для промывки деталей электровакуумных приборов, изготовленных из никеля, никелевых сплавов, алюминия и его сплавов. Вода является хорошим растворителем многих минеральных солей. Кроме того, вода удаляет жировые и масляные эмульсии и различные механические загрязнения. Для промывки рекомендуется использовать дистиллированную и деионизованную воду. После промывки не допуска-

ется оставлять на продолжительное время влажные металлические детали на воздухе, так как это может вызвать их коррозию.

*Этиловый спирт* применяют в основном для обезжиривания и протирки деталей.

Качество обезжиривания поверхности деталей часто проверяют, смачивая их дистиллированной водой. Если деталь хорошо очищена, вода растекается по ее поверхности, образуя сплошную пленку. Участки поверхности со следами жировых загрязнений вода не смачивает и собирается на них в виде отдельных шаровидных капелек.

Этот способ проверки качества обезжиривания поверхности деталей наиболее прост, но имеет существенный недостаток. При наличии в обезжиривающем растворе поверхностно-активных веществ они оседают на остатках жировых загрязнений и придают им способность хорошо смачиваться водой. В этом случае даже на плохо обезжиренных поверхностях образуется сплошная водная пленка. Поэтому перед контролем качества очистки поверхностей следует предварительно промыть детали подкисленной водой (например, 2%-ным раствором серной кислоты).

Растекание водной пленки необходимо контролировать немедленно после смачивания детали водой, наклонив проверяемую поверхность под углом  $45^\circ$ . На хорошо обезжиренной поверхности водная пленка не должна разрушаться в течение 1 мин. На сильно загрязненных деталях пленка разрывается сразу после изъятия деталей из воды.

Степень загрязнения поверхности деталей минеральными маслами можно проверить, освещая их кварцевой лампой. При этом остатки минеральных масел флуоресцируют.

**Т р а в л е н и е** состоит из двух стадий:

дробления и разрыхления слоев оксидов или других химических загрязнений;

растворения разрыхленных слоев и удаления их вместе с поверхностными слоями металла детали.

Химическое травление производится в растворах кислот, щелочей, кислых солей или в расплавах этих соединений. Кислота или ее пары, которые образуются при нагревании травильного раствора, через поры и неоднородности в слое оксида проникает к поверхности металла. Между металлом и кислотой происходит химическая реакция, в результате которой образуется соль металла и выделяются пузырьки водорода, разрыхляющие слой оксида (рис. 113).

По мере разрыхления и растворения оксида кислота и ее пары получают все больший доступ к поверхности металла и интенсивно его растворяют. Скорость растворения металла обычно в несколько раз больше скорости растворения оксида. Это является основным недостатком травления в кислотных растворах. Усиленное растворение — перетравливание металлических деталей — приводит к изменению их формы и размеров и нарушению структуры поверхности.

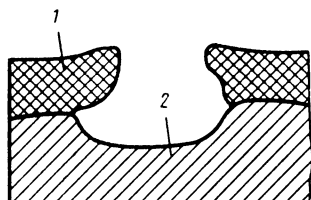


Рис. 113. Процесс травления металлической детали в кислоте:  
1 — слой оксида, 2 — поверхность детали

При малых габаритах деталей даже очень незначительное отклонение их размеров и формы от допустимых сопряжено со снижением механической прочности и изменением электрических параметров приборов. Поэтому составы растворов и режимы травления подбирают так, чтобы создать условия, при которых удаление с поверхности деталей оксидов не сопровождалось заметным растворением и потерей металла. Скорость и качество травления зависят от структуры поверхности деталей, состава травильного раствора, режимов травления и промывки деталей.

На разных деталях или даже на разных участках одной и той же детали слой оксида может иметь неравномерную толщину, неодинаковый размер пор и различный химический состав, что зависит от условий и степени окисления. Поэтому при травлении наступает момент, когда на одних участках детали остаются нетравленные следы оксидов, в то время как на других травильный раствор начинает взаимодействовать с металлом, вызывая местное перетравливание.

Чтобы предупредить перетравливание, в травильные растворы вводят специальные вещества — ингибиторы травления (уротропин,  $M^{10}$ , ПБ-5, И-1-А, КС, ЧМ, Ж-1 и др. Ингибитор не изменяет свойств кислоты и металла, а механически ложится на металл и делает его пассивным к действию кислот. Применение ингибиторов на 40—50% уменьшает потери металла при травлении и на 30—40% снижает расход кислоты.

Газообразный водород, выделяющийся при взаимодействии металлической поверхности с кислотой, не только разрыхляет слой оксида, но и проникает (диффундирует) в его толщу. Это явление, называемое наводороживанием, увеличивает хрупкость и снижает механическую прочность металла, а также приводит к появлению на поверхности деталей так называемых травильных пузырей. Особенно большое количество водорода выделяется в конце процесса травления, когда с поверхности удалены почти все оксиды и травильный раствор непосредственно соприкасается с металлом детали. Ингибиторы, препятствуя контакту травильного раствора и металла, уменьшают количество выделяющегося водорода и препятствуют наводороживанию поверхностей деталей.

При повышении температуры растворов защитное действие ингибиторов ослабляется. Составы кислотных растворов и режимы очистки подбирают так, чтобы травление было как можно более кратковременным. Продолжительность травления, а следовательно, наводороживание

тем меньше, чем более пористую структуру имеют оксиды на поверхности деталей.

Подбирают такую концентрацию кислоты, при которой отношение скорости растворения в ней данного металла к скорости растворения его оксида имеет минимальное значение.

Повышение температуры раствора увеличивает скорость травления. При этом возрастает скорость химической реакции между оксидами и кислотами. Кроме того, при повышенной температуре образуется большое количество паров кислоты, которые проникают через поры оксида к поверхности металла, что увеличивает вероятность перетравливания и наводороживания металла.

Перемешивание и циркуляция раствора обеспечивают соприкосновение новых порций кислоты с оксидами и увеличивают скорость их растворения.

Так как газообразный водород может накапливаться во внутренних полостях полых деталей, эти полости остаются непотравленными. Поэтому полые детали необходимо располагать отверстием вверх, а детали сложного профиля следует при травлении периодически переворачивать. После травления детали необходимо промыть и высушить.

Иногда после травления в кислотах поверхность стальных деталей защищают от коррозии нейтрализацией в горячем 30%-ном растворе кальцинированной соды или в 20%-ном растворе нитрида натрия  $\text{NaNO}_2$ .

Для устранения водородной хрупкости детали после травления иногда выдерживают в сушильных шкафах при  $200^\circ\text{C}$  в течение 2 ч или 0,5 ч кипятят в воде. При этом водород выделяется из деталей и их механические свойства почти полностью восстанавливаются.

Чтобы убедиться в том что на деталях после отмытки не осталось кислотного раствора, в стекающую с них воду помещают лакмусовую бумажку. При наличии следов кислоты в стекающей с деталей воде синяя лакмусовая бумажка становится красной. Это свидетельствует о плохой промывке.

## § 70. Нанесение покрытий

В заготовительном производстве покрытия на детали электровакуумных приборов наносят различными методами: гальваническим осаждением, пульверизацией, электрофорезом, седиментацией, возгонкой, флотацией, намазкой, наполнением и др. Так как пульверизация и электрофорез были рассмотрены в предыдущих главах, рассмотрим здесь остальные методы.

Гальванические покрытия в основном используют для нанесения антикоррозионных защитных покрытий на поверхности деталей приборов. Гальванический процесс представляет собой осаждение металла из водного раствора его соли под действием постоянного элект-

трического тока. Покрываемая деталь является катодом. Пополнение электролита металлом производится в результате растворения анода, изготовленного из металла покрытия. Основными параметрами процесса являются плотность тока, температура и состав электролита и скорость осаждения покрытия.

Плотность тока оказывает большое влияние на структуру покрытия и ее повышение способствует получению мелкокристаллических осадков.

Повышение температуры электролита влечет за собой существенные изменения: увеличиваются растворимость солей и электропроводность электролита, а также анодный выход по току.

Состав электролита оказывает значительное влияние на структуру катодных осадков. Так, добавление в электролит кислот и солей, переносящих ток, но не участвующих в катодном процессе, наряду с увеличением электропроводности раствора повышает катодную поляризацию, что способствует улучшению качества осадка.

Скорость осаждения покрытия зависит от плотности тока, температуры и состава электролита, а также внесенных в него добавок и интенсивности перемешивания.

Перед нанесением гальванического покрытия с поверхности деталей механическим, химическим или одновременно обоими способами удаляют продукты коррозии, жировые загрязнения и механические дефекты. Механическим способом сглаживают поверхность деталей, удаляют с нее царапины, риски, забоины и другие дефекты. Для этой цели применяют полировальные станки и гидроабразивные установки различных типов, в которых пульпа из воды с абразивом подается под давлением 390–490 кПа. Химическим способом в основном удаляют жировые загрязнения.

Для нанесения гальванических покрытий на крупные детали используют стационарные ванны, размеры которых устанавливают исходя из габаритов обрабатываемых деталей, требуемой производительности и возможностей обслуживания. С целью интенсификации процесса нанесения покрытий и повышения их качества ванны оборудуют насосами и фильтрами непрерывной фильтрации электролитов, нагревателями, барботерами (устройствами для перемешивания электролита сжатым воздухом — рис. 114), механизмами для покачивания катодных штанг и бортовыми вентиляционными отсосами для удаления вредных выделений.

Для покрытия небольших партий мелких деталей используют колокольные наливные ванны. Помещенные в колокол детали при его вращении перекачиваются и касаются закрепленных в днище контактов. Анод вводится в электролит через открытую часть колокола. Более производительными являются колокольные погружные ванны (рис. 115), в которых площадь поверхности анодов настолько велика, что обеспечивает стабильность состава электролита, активное состояние

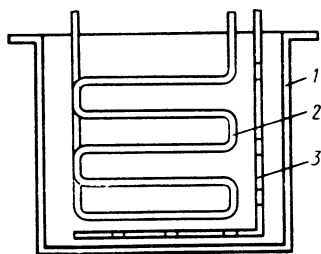


Рис. 114. Гальваническая ванна с нагревателем-змеевиком:  
1 — корпус, 2 — змеевик, 3 — барботер

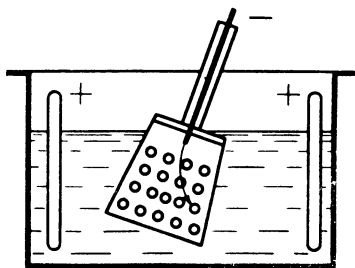


Рис. 115. Колокольная погружная ванна

анодной поверхности и, следовательно, возможность пропускания значительного тока, что, в свою очередь, позволяет вести нанесение покрытий при достаточно большой плотности тока.

Нанесение покрытий на плоские, а также цилиндрические детали несложного профиля (например, цоколи небольших размеров, колбы и шасси металлических ламп) выполняют в ваннах барабанного типа. Изготовленный из перфорированного текстолита, винилпласта и других непроводящих материалов барабан, куда загружены подготовленные для покрытия детали, подъемным механизмом опускается в ванну с электролитом и приводится во вращение. Внутри ванны размещены штанги с подвешенными анодными пластинами. Соединение с отрицательным полюсом источника тока осуществляется через контактные кнопки, расположенные внутри барабана. Для разгрузки и загрузки деталей в одной из стенок барабана имеется люк. Барабан приводится во вращение (5–10 об/мин) механическим приводом.

При крупносерийном производстве для нанесения покрытий используют автоматические линии с жестким циклом, имеющие гидравлический привод и устройства автоматического регулирования температуры, фильтрации электролитов, очистки зеркала раствора. Ванны, в которых в процессе работы образуются вредные выделения, снабжены вентиляционными кожухами.

В условиях мелкосерийного производства при относительно малой производительности по отдельным видам покрытий наиболее эффективны автооператорные многопроцессные линии с программным управлением, осуществляемым командоаппаратом или ЭВМ. Тогда как командоаппарат может управлять только движением автооператоров, переносящих штангу с подвесками или барабан из ванны в ванну, ЭВМ выполняет самые разнообразные функции: управляет автооператорами, режимами работы ванн (температурой, дозированием компонентов, поддержанием уровня), а также находит оптимальные решения по загрузке линий.



Для обслуживания гальванического оборудования применяют тельферные, коксолевые и порталные автооператоры. Тельферные автооператоры перемещаются по монорельсовому пути, прикрепленному к перекрытию цеха, коксолевые — по направляющим, установленным сзади ванн, а порталные — по рельсам, закрепленным на их бортах.

Линии могут быть однорядными или двурядными с загрузкой и разгрузкой с одной или с разных сторон. Обработка деталей производится на подвесках, в барабанах или на подвесках и в барабанах одновременно.

**Метод седиментации (осаждения)** применяют для нанесения люминофора на экраны электронно-лучевых трубок и электронно-оптических преобразователей. Основным преимуществом этого метода является возможность получения люминесцентного покрытия точно заданной толщины и удовлетворительной равномерности. Кроме того, он обеспечивает низкую степень оптического контакта люминофора с подложкой и соответственно более высокую контрастность изображения.

Процесс нанесения люминофора на экраны седиментацией состоит из:  
варки концентрированного раствора силиката калия;  
подготовки рабочих растворов силиката калия и азотнокислого

строения;  
приготовления суспензии из люминофора и рабочих растворов;  
осаждения люминофора из суспензии под действием силы тяжести на поверхность подложек;

закрепления люминесцентного покрытия на подложках под действием химических и физических процессов, происходящих в рабочем растворе;

закрепления люминесцентного покрытия.

Качество люминесцентного покрытия зависит от многих факторов: температуры и влажности окружающей среды; содержания в ней углекислого газа и других агрессивных паров и газов; колебаний количества органических и неорганических примесей в дистиллированной воде и рабочем растворе; изменения температуры стекла колбы и рабочего раствора; качества отмывки колб и др.

**Метод возгонки** также применяют для нанесения люминофора на экраны электронно-лучевых трубок. Люминофор наносят в вакууме на горячую или холодную подложку. При этом он непосредственно из твердого состояния переходит в пар, который конденсируется на подложке и образует тонкое покрытие.

**Метод флотации** применяют для нанесения на люминесцентное покрытие органической пленки (лака), которая является промежуточным слоем между люминофором и пленкой алюминия и в дальнейшем при обработке кинескопа полностью выжигается.

Процесс нанесения органической пленки методом флотации заключается в следующем. Поверхность люминофора покрывают слоем воды толщиной 0,5—2 см, на который из проградуированной пипетки дозируют

ется строго определенное количество лака. Лак под действием сил поверхностного натяжения самопроизвольно растекается по поверхности воды и образует твердую флотирующую (плавающую) целлофаноподобную органическую пленку, которая после удаления воды оседает на экране и формируется (приобретает механическую прочность после испарения органических растворителей).

Метод намазки в основном применяют для нанесения аквадага (графитового покрытия) на стеклянную поверхность колб кинескопов, которые укрепляют в специальном станке вакуумным присосом или механическим держателем. Для намазки аквадага обычно применяют рычажную щетку, изготовленную из конского волоса. Щетку опускают в емкость с суспензией, пропитывают аквадагом, вводят внутрь колбы, устанавливают под определенным углом к оси и прижимают к поверхности стекла.

При избытке аквадага на щетке он будет стекать со стенок колбы, что приводит к неравномерности толщины покрытия, повышенному газовыделению и браку в виде аквадаговых пузырей и отслоений. При недостатке аквадага на щетке получается очень тонкое покрытие с круговыми просветами. Это вызывает увеличение электрического сопротивления покрытия, нарушение симметричности электрического поля, плохой контакт и изменение электрических параметров прибора.

При нанесении аквадага вначале, установив колбу неподвижно в положение выводом вниз, намазывают участок, лежащий у анодного вывода. Затем приводят колбу во вращение с частотой 20–40 об/мин и намазывают аквадаг на остальную поверхность колбы в соответствии с чертежом. Во всех случаях ось колбы должна совпадать с осью вращения, что исключает биеение и позволяет получить ровные края покрытия.

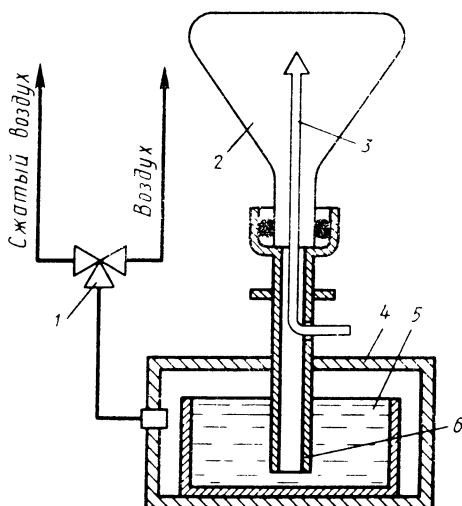


Рис. 116. Нанесение графитового покрытия на колбы методом наполнения:

1 — трехходовой кран, 2 — колба, 3 — трубка для удаления воздуха из колбы, 4 — герметичная камера, 5 — бак с аквадагом, 6 — трубка подъема аквадага

Метод наполнения (рис. 116) применяют для нанесения аквадага на внутреннюю поверхность колб сложной формы. Для этого колбу 2 устанавливают в гнездо установки, зажимая ее горловину резиновым кольцом, препятствующим вытеканию аквадага, который заливают в бак 5. Под напором воздуха, поступающего в бак, аквадаг поднимается по трубке 6 вверх и заполняет колбу до определенного уровня. Затем подачу воздуха прекращают, а бак соединяют с вакуумной линией и создают в нем вакуум. Под действием атмосферного давления (колба связана с атмосферой через трубку 3) аквадаг стекает из колбы обратно в бак. При этом на внутренней поверхности колбы остается тонкий слой графитового покрытия. Скорость вытекания аквадага из колбы, определяемая степенью вакуума в баке, подбирают в зависимости от формы колбы.

Недостаток метода наполнения — необходимость очистки от аквадага той части горловины колбы, которая, согласно конструкции электровакуумных приборов, должна быть свободна от покрытия.

В массовом производстве для нанесения графитового покрытия методом наполнения применяют семипозиционный полуавтомат карусельного типа, на котором последовательно осуществляются операции наполнения колбы аквадагом, его слива из колбы, подсушки и зачистки горловины.

#### **Контрольные вопросы**

1. Какие существуют виды загрязнений деталей электровакуумных приборов?
2. Как очищают детали электровакуумных приборов от жировых загрязнений?
3. Какие растворители применяют для очистки деталей электровакуумных приборов?
4. Каков механизм образования гальванических покрытий?
5. Какое оборудование применяют для нанесения гальванических покрытий на детали электровакуумных приборов?
6. Какими методами наносят неметаллические покрытия на детали электровакуумных приборов?
7. Как проверяют качество нанесения покрытия на детали электровакуумных приборов?

## **ГЛАВА ПЯТНАДЦАТАЯ. АВТОМАТИЗАЦИЯ ЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ**

### **§ 71. Автоматизация технологических процессов и оборудования**

Автоматизация технологических процессов возможна при соблюдении следующих условий: технологичности конструкции изделий, введе-

202

ния операции автоматического контроля при их изготовлении, а также стабилизации источников питания оборудования. С точки зрения выбора средств автоматизации оборудование может быть разделено на три группы.

К первой группе относят главным образом механическое оборудование, при использовании которого технологические операции осуществляются в результате выполнения совокупности движений инструмента и обрабатываемой детали. Примером может служить подавляющее большинство оборудования металлозаготовительных, стекольных и технологических цехов. Автоматизация оборудования этого типа сводится к управлению движением исполнительных органов и изделия.

Ко второй группе относят оборудование, в котором отсутствуют какие-либо движения исполнительных органов, а технологические операции осуществляются в результате выполнения комплекса физико-химических процессов. Примером могут служить установки напыления тонких пленок термическим испарением в вакууме или ионной бомбардировкой, а также нанесения катафорезных, гальванических и других покрытий. Автоматизация этого оборудования сводится к управлению параметрами происходящих физико-химических процессов и чаще всего осуществляется применением средств автоматизации и электроники.

К третьей группе относят оборудование, сочетающее признаки первой и второй групп, например многопозиционные напылительные установки с автоматическими шлюзовыми загрузочными устройствами и механизмами перемещения подложек, а также механизированные электронно-лучевые электроэрозионные и лазерные установки. Автоматизируют это оборудование, сочетая средства механики, автоматики и электроники.

В последние годы большое распространение получило оборудование с программным управлением. Недостатком различных систем программного управления является то, что они не могут самонастраиваться, т. е. реагировать на отклонения при выполнении заданных операций и восстанавливать функции исполнительных механизмов.

Применение электронно-вычислительных и кибернетических машин для управления технологическими процессами позволяет создать свободные от этого недостатка автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП), которые значительно превосходят по информационной емкости, быстродействию, логическим и вычислительным возможностям системы программного управления и являются эффективным средством совершенствования производства, обеспечивают резкое увеличение производительности труда, снижение трудоемкости, повышение надежности и качества изделий.

## § 72. Автоматизированные системы управления технологическими процессами

Применение автоматизированных систем управления в электронной промышленности, в том числе при заготовительном производстве деталей электровакуумных приборов, позволяет:

выполнять операции с максимальной производительностью, автоматически учитывая отклонения технологических параметров, свойств исходных материалов и полуфабрикатов, ошибки операторов и др.;

управлять технологическими процессами, постоянно учитывая сортament, номиналы, точность и качество выпускаемой продукции и своевременно перестраивая режимы работы оборудования, а также перераспределяя операции на однотипном оборудовании;

осуществлять автоматическое управление по оптимальному алгоритму в условиях, вредных или опасных для жизни человека.

Внедрение АСУТП дает прямой экономический эффект, позволяет получить большой вторичный эффект, поскольку требует повышения общего уровня производства, и поэтому наиболее целесообразно для управления сложными технологическими процессами.

Так, эффективность применения АСУТП особенно показательна на примере производства цветных кинескопов — сложнейших электровакуумных приборов, при изготовлении которых выполняется 6326 технологических операций со 170 контролируемыми параметрами. Большое количество этих операций основано на сложнейших трудно управляемых и контролируемых физико-химических процессах. Такими операциями, например, являются получение теневого масок методом фотолитографии, вакуумно-термическая обработка катодов и нанесение люминоформных покрытий на экраны.

Автоматизированные системы управления позволяют назначать с помощью ЭВМ при сложных технологических процессах оптимальные режимы каждого последующего этапа обработки в зависимости от результатов предыдущего.

Одним из примеров оборудования, управляемого ЭВМ, является 400-позиционная полуавтоматическая линия изготовления теневого масок цветных кинескопов (рис. 117), имеющая четыре участка.

На I участке происходят промывка и очистка с двух сторон стальной металлической ленты-заготовки толщиной 150 мкм, а на II участке на нее наносят светочувствительный слой, который экспонируют и проявляют. На III участке по заданному рисунку вытравливают отверстия, а на IV — ленту-заготовку разрезают на отдельные маски. На участке I роликовый конвейер перемещается непрерывно, на участке II — периодически, а на участках III и IV — снова непрерывно. При экспонировании конвейер должен быть остановлен на время выполнения этой операции, а затем он ускоренно протягивается.

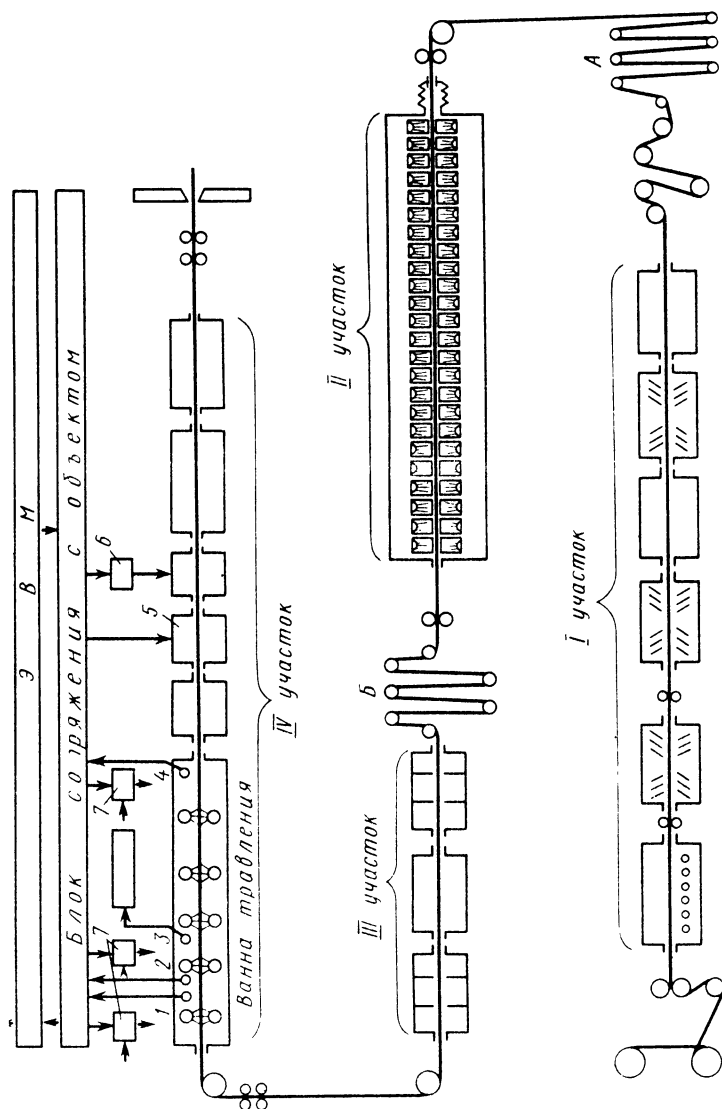


Рис. 117. Автоматическая линия изготовления теневых масок цветных киноскопов:

1, 2, 3, 4 — датчики, 5 — измерительный блок, 6 — блок регулирования скорости перемещения ленты, 7 — электромагнитные краны

Между I, II и III участками предусмотрены соответственно накопители А и Б, создающие заделы и позволяющие осуществить дискретно-непрерывный ритм работы линии. Накопители необходимы для перехода от одной скорости перемещения конвейера к другой. При этом в течение времени экспонирования накопитель А временно накапливает ленту, которую отдает при очередной ускоренной подаче на экспонирование, а накопитель Б во время экспонирования обеспечивает на участке III перемещение ленты с прежней скоростью.

На металлической ленте толщиной 150 мк на участке III фотохимическим травлением получают отверстия сложной конфигурации с изменением диаметра по заданному закону, причем допуск на диаметр равен 10 мкм. Количество отверстий в масках равно 500 000 и соответствует количеству трехцветных элементов на экранах. Качество полученных масок определяется степенью их прозрачности. При постоянно поддерживаемой концентрации травителя прозрачность маски будет зависеть от температуры травителя и времени обработки, т.е. скорости прохождения ленты через ванну с травителем. Оптимальная скорость движения ленты задается автоматически и является лимитирующей для всего конвейера.

Автоматическое регулирование режимов травления и скорости движения ленты осуществляется ЭВМ, которая обеспечивает также автоматизацию контроля прозрачности масок. Для контроля концентрации хлорного железа и соляной кислоты в травителе, а также его температуры и плотности служат соответственно датчики 1, 2 и 3, 4. Поддерживается необходимая концентрация травителя в ванне дозированной подачей его компонентов электромагнитными кранами 7.

Прозрачность масок определяется измерительным блоком 5, датчики которого выполнены на фотоэлементах. Сигнал, поступающий с измерительного блока, подается на блок сопряжения с объектом, который выдает команду на блок 6 регулирования скорости перемещения ленты.

Другим примером оборудования, управляемого ЭВМ, является 136-позиционная полуавтоматическая конвейерная линия нанесения люминофоров на экраны цветных кинескопов (рис. 118). Позиция 1 служит для загрузки и съема экранов. На позиции 2 на внутреннюю поверхность экрана наносятся подложки, на которые на позициях 11, 57 и 102 подается и равномерно распределяется люминофорная суспензия. Слив суспензии и центрифугирование покрытия выполняются на позициях 12, 13, 58, 59, 103, 104 и 126, а сушка — на позициях от 4 до 10, от 14 до 17, от 60 до 63, от 105 до 108 и от 127 до 130.

Для нагрева люминофорного покрытия до 35°С служат позиции 122—123, для охлаждения — позиции 10, от 18 до 24, 31, от 41 до 55, от 64 до 69 и от 109 до 115, а для полубужига — позиции от 32 до 40, от 77 до 85. Зачистка бортов экранов производится на позициях 29, 30, 74, 75, 120, 121, 131 и 134, экспонирования и проявления — на позициях

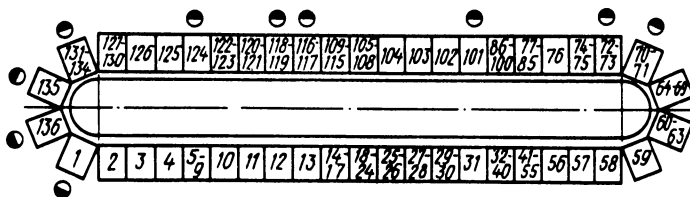


Рис. 118. Полуавтоматическая 136-позиционная конвейерная линия для нанесения люминофоров на экраны цветных кинескопов

от 25 до 28, от 70 до 73 и от 116 до 119, нанесение лака — на позиции 125, а нанесение и сушка аквадага — на позициях 135 и 136. На позициях 56, 101 и 124 осуществляется промежуточный контроль.

Создание мозаичного экрана — сложный технологический процесс, требующий качественного нанесения и последующей фотохимической обработки каждого слоя люминофора. Методом фотопечати через специальное оптическое устройство, воспроизводящее будущие траектории электронных потоков на экране, получают строго коррелированные с отверстиями маски 1,5 млн. точек с допуском 20 мкм, образующие мозаичное поле цветного кинескопа.

Так как качество покрытия зависит от вязкости и плотности люминофорной суспензии, позиции ее нанесения подключены к автоматизированной системе управления (рис. 119). Эта система автоматически измеряет и регулирует вязкость и плотность, а также верхний и нижний уровни суспензии каждого цвета в расходных 5 и питающих 1 и 4 баках.

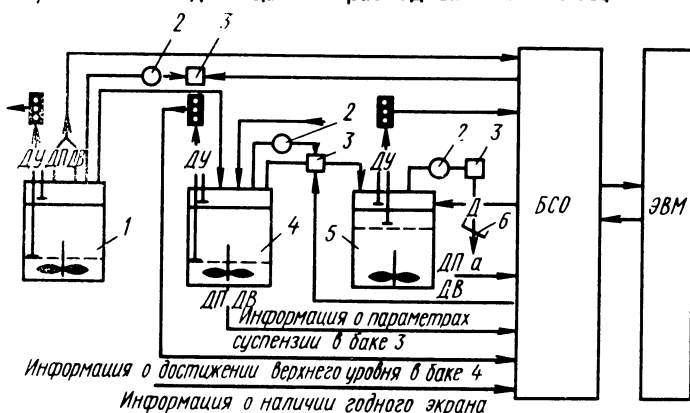


Рис. 119. Функциональная схема автоматизированной системы управления процессом нанесения люминофора:

1, 4 — питающие баки, 2 — насосы, 3 — электромагнитные краны, 5 — расходный бак, 6 — дозатор



При отклонении вязкости, плотности или уровней суспензии в баках сигнал от датчика *ДВ*, *ДП* или *ДУ* поступает на блок связи с объектом *БСО*, выдающий команды на срабатывание соответствующих электромагнитных кранов *З*, которые включают насосы *2*, и происходит автоматическая добавка корректирующей суспензии из баков *1* в баки *5* или доливка баков *5* до необходимого уровня из баков *4*. Информация о ходе технологического процесса поступает на ЭВМ, которая выдает оперативные сводки на центральный пульт управления и подает аварийный сигнал при отклонении режимов.

Дальнейшим развитием АСУТП являются системы комплексного управления технологическими процессами (СКУТП), которые: контролируют точность проведения технологических процессов во времени; выполняют статистическую обработку результатов межоперационного контроля; управляют исполнительными механизмами; регистрируют ход технологического процесса и оперативно оповещают об аварийных ситуациях; ведут учет брака по операциям и агрегатам; контролируют состояние оборудования и учитывают время и причины простоев; выдают сводные данные о технико-экономических показателях производства за смену.

Примером такой системы может служить СКУТП в гальванических цехах, которая рассчитывает оптимальные значения основных параметров технологического процесса осаждения покрытий, управляет механизмами перемещения деталей вдоль технологической линии с места загрузки до места выгрузки. Система рассчитана на управление 4—5 гальваническими автоматами или 35—40 электролитическими ваннами.

### § 73. Гибкие производственные системы

На современном этапе автоматизация технологических процессов охватывает все новые и новые звенья производства и характеризуется широким использованием автоматических манипуляторов, промышленных роботов и ЭВМ, на основе которых создаются автоматизированные технологические комплексы, участки, цехи, заводы.

Увеличение номенклатуры изделий электронной техники, усложнение конструкций и непрерывно повышающиеся требования к точности и стабильности их параметров требуют от электронной промышленности перестройки производства в условиях массового и мелкосерийного выпуска приборов. Решение этой задачи возможно благодаря созданию и внедрению в производство гибких производственных систем (ГПС) на основе комплексной роботизации и автоматизации основных операций с широким использованием вычислительной техники (микропроцессоров, мини-ЭВМ и вычислительных комплексов).

Комплексная автоматизация позволяет наиболее эффективно использовать оборудование и трудовые ресурсы, улучшает условия труда.

В заготовительном производстве деталей и сборочных единиц электровакуумных приборов принципы ГПС наиболее полно реализованы на металлообрабатывающих операциях. Действующие гибкие производственные системы механообработки деталей электровакуумных приборов имеют различные структуры и технические возможности.

Варианты построения ГПС механообработки на основе металлорежущих станков с ЧПУ показаны на рис. 120, а—г. Вариант построения ГПС, показанный на рис. 120, а, представляет собой участок станков с ЧПУ, работой которых управляет центральная ЭВМ. Эта же ЭВМ планирует загрузку станков и управляет работой ремонтной службы. Для транспортирования заготовок, деталей, инструментов и их складирования используются обычные неавтоматические средства. Устанавливают заготовки на станки и снимают изготовленные детали рабочие.

Вариант построения ГПС, показанный на рис. 120, б, отличается от рассмотренного только наличием автоматической транспортно-складирующей системы для заготовок и деталей, а в варианте построения ГПС, показанном на рис. 120, в, вместо операторов используются промышленные роботы.

В варианте построения ГПС, показанном на рис. 120, г, реализованы все функции развитой системы: управление станками и предварительным проектированием и программированием процессов обработки; автоматическое транспортирование, установка и снятие заготовок; планирование работы участка; автоматическое обеспечение станков инструментами с помощью еще одной транспортно-складирующей системы.

Таким образом, технологические возможности ГПС в значительной степени определяются технологическими, конструктивными и компоновочными принципами. Специализированные ГПС строятся на единой элементной базе (датчиках, приводах, информационно-измерительных системах, микропроцессорной технике и ЭВМ). Основой гибких производственных систем является гибкий производственный модуль, который должен выполнять в автоматическом режиме следующие функции:

- переналадку оборудования и системы управления на изготовление новых изделий;

- загрузку заготовок в технологическое оборудование и выгрузку готовых изделий;

- очистку установок от отходов предшествующего процесса и удаление продуктов очистки;

- восстановление требуемых параметров;

- контроль ориентации и базирования изделий относительно функциональных узлов оборудования или инструмента;

- контроль и корректировку состояния технологических сред, исполнительных устройств, инструмента;

- восстановление или замену рабочих сред и инструмента;

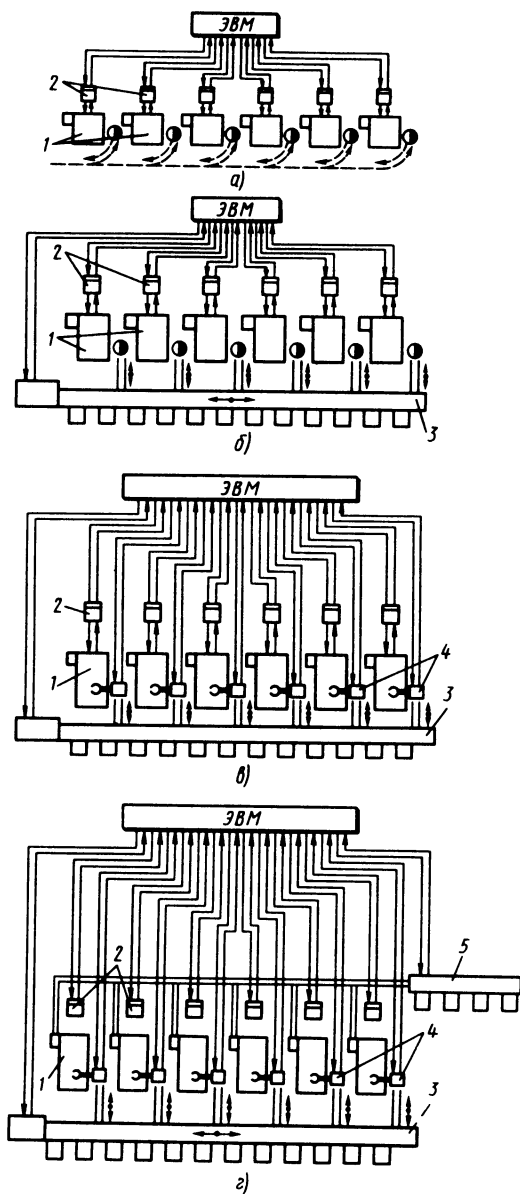


Рис. 120. Гибкие производственные системы механообработки на основе станков с ЧПУ:

а — участка, б, в, г — участков, оснащенных транспортно-складирующей системой заготовок и деталей с дополнительным использованием промышленных роботов и системы обеспечения инструментом; 1 — станки с ЧПУ; 2 — пульты управления, 3 — транспортно-складирующая система, 4 — промышленные роботы, 5 — система обеспечения инструментом

контроль и корректировку параметров процесса или обрабатываемых изделий;

диагностику технического состояния и поиск неисправностей в функциональных исполнительных устройствах.

Как правило, гибкий производственный модуль состоит из автоматизированного технологического оборудования, промышленного робота, накопительных и ориентирующих устройств и системы управления.

Гибкие производственные системы, выполненные на основе современных средств вычислительной техники, не исключают участия человека в управлении процессами производства. В зависимости от степени автоматизации изменяются только задачи и характер деятельности оператора, в результате чего увеличивается "цена" ошибки, которую он может допустить.

Рабочим местом оператора ГПС является пульт, на котором располагаются средства отображения оперативной информации о состоянии процесса и оборудования, а также органы управления. Основными функциями оператора являются:

- контроль работы средств автоматического управления;
- оперативное вмешательство в процесс управления при неисправности системы;

- связь с другими службами и регистрация информации;

- обеспечение продолжения рабочего процесса при полном или частичном отказе системы автоматического или автоматизированного управления.

Для организации ГПС в заготовительном производстве деталей и сборочных единиц электровакуумных приборов необходимо высокопроизводительное автоматизированное быстроперенастраиваемое оборудование, автоматические линии, промышленные роботы, инструмент и технологическая оснастка и транспортно-складские системы.

Существующее автоматическое оборудование, например для изготовления сеток, литья керамических деталей, нанесения покрытий, изготовления теневых масок цветных кинескопов, может служить основой для создания гибких автоматизированных производств.

В электронной промышленности наиболее подготовленным к созданию гибких автоматизированных систем является производство кинескопов.

## § 74. Промышленные роботы

Промышленные роботы являются универсальным средством автоматизации в условиях большой номенклатуры производства. Промышленные роботы позволяют автоматизировать производство без коренной его перестройки и могут выполнять как основные, так и вспомогательные операции по обслуживанию технологического оборудования. Это делает их незаменимыми при создании ГПС.

Исходя из потребностей ГПС, промышленные роботы должны: выполнять все действия в автоматическом режиме как на основных, так и на вспомогательных операциях; автоматически перенастраиваться по управляющим командам при смене изделий; соответствовать параметрам оборудования, которое они должны обслуживать; быть надежными. Основными характеристиками промышленных роботов являются: грузоподъемность; число степеней подвижности; точность позиционирования; форма рабочей зоны; быстродействие; тип системы управления.

В заготовительном электровакуумном производстве используют сверхлегкие и легкие роботы грузоподъемностью соответственно до 1 и до 10 кг, а в редких случаях — средние грузоподъемностью до 100 кг.

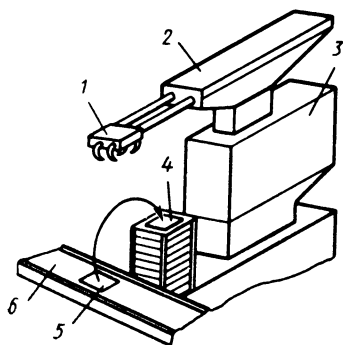


Рис. 121. Робот-перекладчик: 1 — схват, 2, 3 — механизмы горизонтального и вертикального перемещений, 4 — тар, 5 — деталь, 6 — конвейер

На рис. 121 показан простейший робот для перекладки деталей 5 с конвейера 6 в технологическую тару 4, оснащенный механизмами 2 и 3 горизонтального и вертикального перемещений и схватом 1.

В автоматизированном производстве роботы входят в состав робототехнологических комплексов (РТК), которые могут быть выполнены в виде робототехнологической позиции или линии.

Робототехнологический комплекс на основе робота "Ритм-01" оснащается прессами открытого типа, имеющими усилие от 61,7 до 245 кН, и подающими устройствами, обеспечивающими непрерывную работу.

Робототехнологическая позиция может быть выполнена в двух вариантах: из одного робота-загрузчика и устройства автоматического удаления отштампованной заготовки (рис. 122, а) и из двух роботов — загрузчика и разгрузчика (рис. 122, б). Такие позиции служат для операционной штамповки заготовок массой до 0,1 кг, имеющих размеры от 10×20 до 130×130 мм.

Робототехнологическая линия (рис. 122, в) предназначена для двух- и многооперационной штамповки заготовок. При двухоперационной штамповке используются четыре робота. Один робот загружает заготовки из подающего устройства в зону выполнения первой операции, два передают полуфабрикат с первого пресса на второй и один разгружает штамп, укладывая штампованную деталь в тару.

Робототехнологический комплекс на основе робота "Ритм-05.01" используют применительно к однокривошипным открытым прессам простого действия, имеющим усилие от 98 до 980 кН.

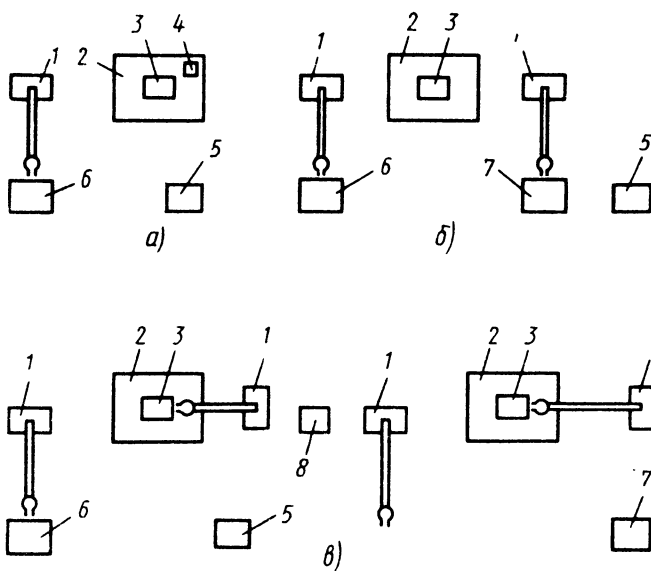


Рис. 122. Робототехнологические позиции (а, б) и робототехнологическая линия (в) на основе робота "Ритм-01":  
1 — робот, 2 — пресс, 3 — штамп, 4 — система автоматического удаления штампуемой детали, 5 — пульт управления, 6, 8 — подающее и приемно-передающее устройства, 7 — тара

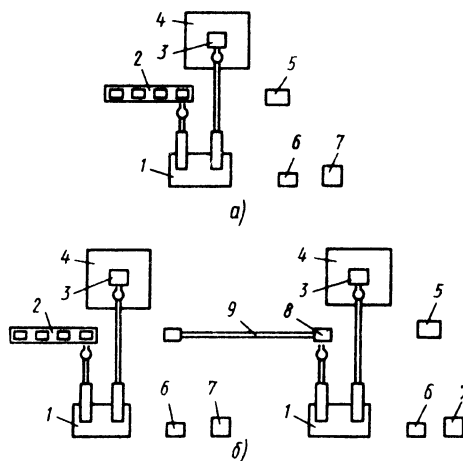


Рис. 123. Робототехнологическая позиция (а) и робототехнологическая линия (б) на основе робота "Ритм-05.01":  
1 — робот, 2 — подающее устройство, 3 — штамп, 4 — пресс, 5 — тара, 6 — шкаф электроавтоматики, 7 — пульт управления роботом, 8 — приемно-передающее устройство, 9 — конвейер

Робототехнологическая позиция (рис. 123, а) служит для однооперационной штамповки деталей массой до 0,5 кг, имеющих размеры от 50×50 до 250×250 мм. Для обеспечения непрерывной работы РТК, учитывая высокое быстродействие промышленного робота, позицию оснащают поворотным двухместным подающим устройством.

Робототехнологическая линия (рис. 123, б) служит для двух- и многооперационной штамповки аналогичных деталей и состоит из отдельных позиций, связующим звеном между которыми служит специальное

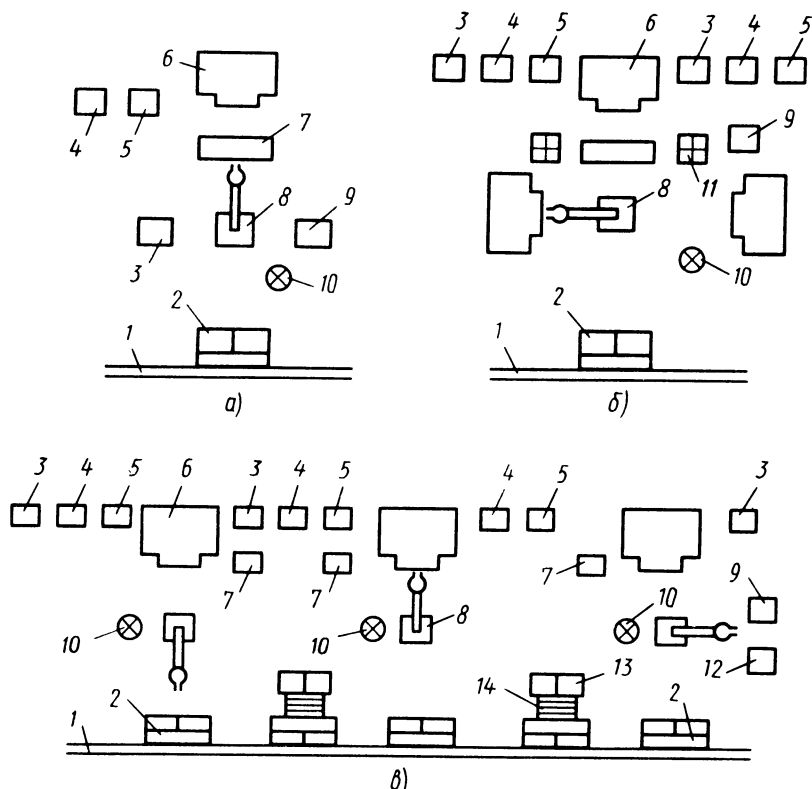


Рис. 124. Типовые схемы робототехнологических позиций (а), участка (б) и линии (в) на основе станков с ЧПУ:

1 — автоматизированная транспортно-складская система (АТСС), 2 — приемный стол, 3 — система управления роботами, 4 — устройство управления РТК, 5 — пульты управления станками, 6 — станки, 7 — кантователь-ориентатор, 8 — робот, 9 — моечная машина, 10 — магазин схватов, 11 — накопитель, 12 — контрольно-измерительное устройство, 13 — промежуточный приемно-передающий стол, 14 — направляющие

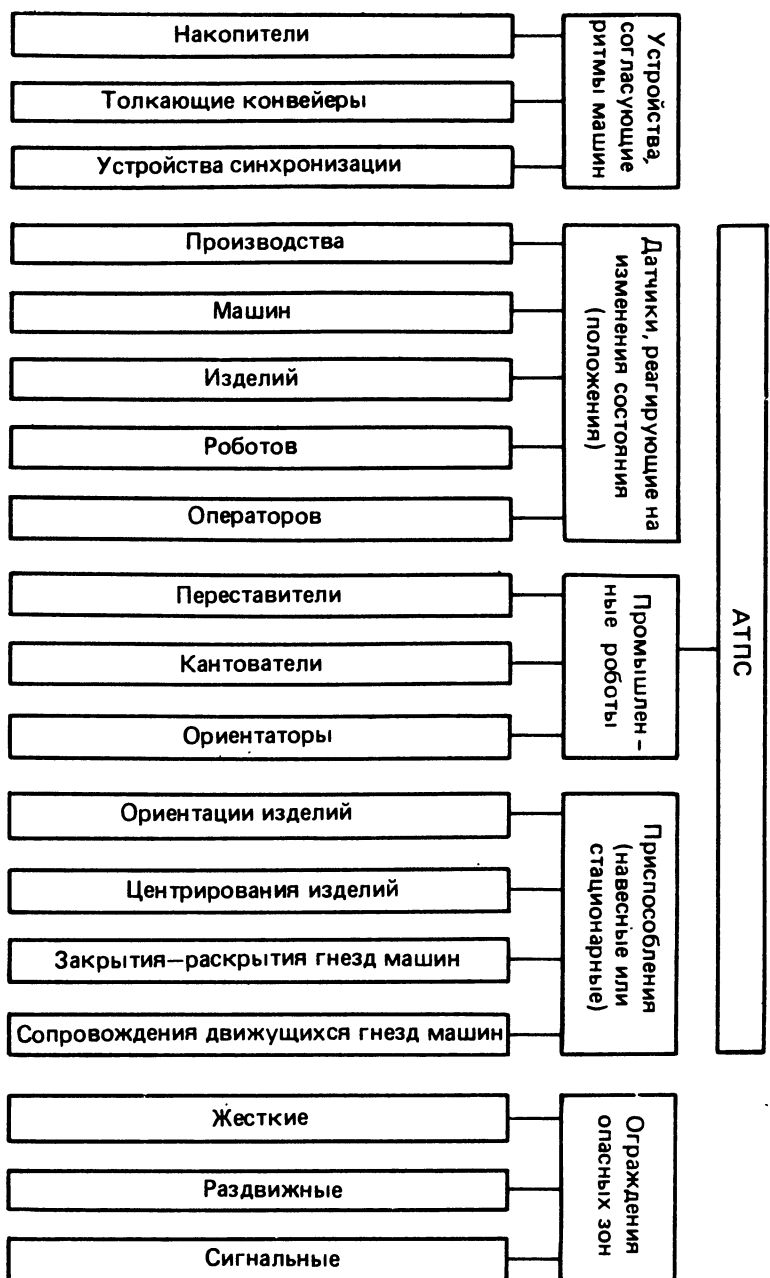


Рис. 125 Схема автоматической транспортно-перегрузочной системы (АТПС), используемой в производстве кинескопов



передающее устройство, обеспечивающее прием и фиксацию детали после съема ее первым роботом, передачу в зону захвата второго робота и т.д.

Комплектуют робототехнологические комплексы из модернизированных серийных станков или станков с ЧПУ, которые должны обеспечивать высокую производительность. В станках должна быть предусмотрена автоматическая смена инструмента, совмещенная во времени с выполнением холостых ходов, и условия хорошего отвода стружки из зоны резания.

На рис. 124, а—в показаны типовые схемы робототехнологических позиций, участка и линии на основе станков с ЧПУ. Характерной особенностью этих схем является наличие следующего вспомогательного оборудования: магазина схватов 10 (обеспечивающего автоматическую замену захватных устройств при подаче на обработку новых деталей), кантователя-ориентатора 7 (обеспечивающего непрерывный комплекс движений по загрузке-разгрузке оборудования), накопителя 11 (для складирования полуфабрикатов в тару), моечной машины 9 и контрольно-измерительного устройства 12.

Промышленные роботы широко применяются в производстве кинескопов, что вызывает необходимость использования в РТК накопителей, питателей, специализированных приспособлений или инструментов, датчиков и ограждений. Для комплексной автоматизации вспомогательных работ в производстве кинескопов, кроме того, используются автоматические транспортно-перегрузочные системы АТПС (рис. 125). Таковыми системами оснащаются наиболее тяжелые и трудоемкие процессы изготовления стеклоизделий, требующие манипулирования при температуре до 600°С.

Примером комплексной автоматизации в производстве стеклоизделий может служить автоматическая транспортно-перегрузочная система, используемая на участке варки фиксаторов в экраны цветных кинескопов (рис. 126). Назначением АТПС является обслуживание прессы для экранов, трех установок варки фиксаторов и печи отжига. При этом полностью исключается ручной труд при перегрузке экранов. Рассматриваемая АТПС состоит из конвейера 4, по которому перемещаются горячие экраны, трех манипуляторов 3 для перегрузки их на установки 7 варки фиксаторов и обратно, двух промышленных роботов 1 для перегрузки в печь отжига 8 и трех устройств для автоматической подачи и загрузки фиксаторов в установки варки.

Автоматическая транспортно-перегрузочная система, используемая на участке склейки колб кинескопов, показана на рис. 127. Промышленные роботы, входящие в эту АТПС, имеют подвесные монорельсовые пневматические программируемые автоматические манипуляторы. Система управления и программирования собрана на струйных логических элементах и мембранно-механических модулях. Автоматическое согласование работы промышленных роботов с работой технологического и

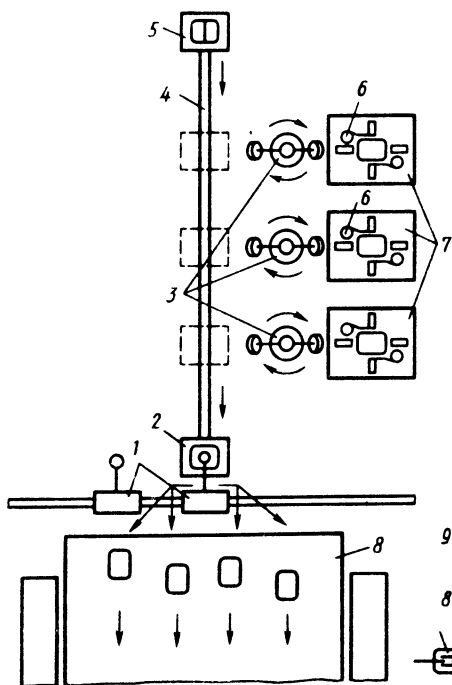


Рис. 126. Автоматическая транспортно-перегрузочная система, используемая на участке сварки фиксаторов в экраны цветных кинескопов:

1 — роботы, 2, 5 — тележки конвейера, 3 — манипуляторы, 4 — конвейер, 6 — устройства автоматической загрузки фиксаторов, 7 — установки сварки фиксаторов, 8 — печь отжига

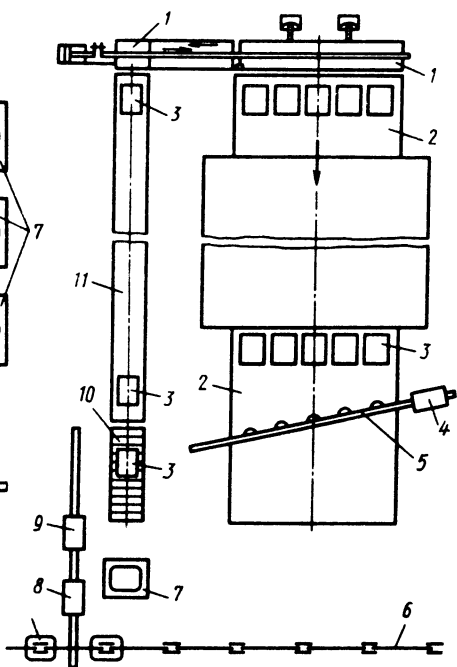


Рис. 127. Автоматическая транспортно-перегрузочная система, используемая на участке склейки колб кинескопов:

1 — накопитель, 2 — печь склейки колб, 3 — контейнер с колбой, 4 — робот-ориентатор, 5 — направляющая, 6, 11 — конвейеры, 7 — пост контроля шва, 8, 9 — роботы-переставители, 10 — рольганг

транспортного оборудования обеспечивается пневматическими датчиками.

Использование таких АТПС в массовом производстве цветных кинескопов освобождает рабочих-операторов от тяжелой, монотонной физической работы, связанной с переносом тяжестей, и повышает производительность труда, а также качество изделий.

Кроме того, для межучастковых и межоперационных связей в условиях гибкого автоматизированного производства применяют транспортные роботы, которые подразделяют на напольные и подвесные. Подвесные монорельсовые роботы рассмотрены на примерах АТПС. Наряду с

ними широкое распространение получили напольные безрельсовые автоматические тележки.

Автоматическая тележка "Электроника" имеет: электроприводы движения и поворота с питанием от аккумулятора; механизм подъема грузовой платформы; устройство управления движением и подъемом на основе микро-ЭВМ; устройство маршрутослежения; датчики контроля. Для обеспечения безопасности в эксплуатации предусмотрена механическая система отключения привода от дуги безопасности, срабатывающая при соприкосновении с препятствием.

Дальнейшим развитием напольного автоматического транспорта является тележка, в которой функции погрузо-разгрузочного устройства выполняет промышленный робот.

### **Контрольные вопросы**

1. Каковы особенности автоматизации технологических процессов современного производства электровакуумных приборов?
2. Какие средства автоматизации технологических процессов и оборудования вы знаете?
3. Каковы преимущества АСУТП и для управления какими процессами их применяют?
4. В чем преимущества ГАП?
5. Каковы особенности структурного построения ГАП?
6. Как используются промышленные роботы в современном автоматизированном производстве электровакуумных приборов?

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

С электровакуумными приборами вы сталкиваетесь повседневно. Это — осветительные лампы, в баллоне которых ярко светится вольфрамовая спираль, радиолампы и кинескопы телевизионных приемников, светящаяся реклама кинотеатров и магазинов, сигнализационная система турникетов метро.

Изучив эту книгу, вы узнали, что при изготовлении даже самого простого электровакуумного прибора необходимо выполнить сотни и тысячи ответственных операций. Авторы, стремясь при описании заготовительных процессов производства электровакуумных приборов уложить в сравнительно небольшой объем, старались при этом раскрыть суть происходящих физико-химических явлений.

Когда закончив учебу, вы станете активными участниками производства электровакуумных приборов, эта книга останется вашим помощником при решении различных технических и технологических задач, которые будут появляться по мере дальнейшего совершенствования электровакуумного производства. И хотя вам на первых порах придется выполнять только одну-две технологические операции, знание свойств применяемых материалов и методов их обработки, технологии сборочных работ и изготовления таких наиболее важных элементов, как катоды, подогреватели, газопоглотители, сетки, резонаторы, замедляющие системы, поможет лучше понять требования, предъявляемые к каждому этапу производства, и не допускать ошибок, которые могут оказаться роковыми в готовых приборах.

При работе на производстве вам придется освоить микропроцессоры и ЭВМ, контролирующие сегодня технологические процессы и управляющие производством, использовать промышленные роботы, которые позволяют повысить качество продукции и освобождают от физически тяжелого, малоквалифицированного и монотонного труда.

## **РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

Ш е х м е й с т е р Е.И. Общая технология электровакuumного производства. — М.: Высш. шк., 1984.

В а р л а м о в В.А., Ш е х м е й с т е р Е.И. Сборочные операции в электровакuumном производстве. — М.: Высш. шк., 1979.

Производство цветных кинескопов/ Под ред. Барановского В.И. — М.: Энергия, 1978.

Гибкое автоматизированное производство/ Под ред. Майорова С.А., Орловского Г.В. — Л.: Машиностроение, 1985.

Е р м а к о в Е.С. Роботы и манипуляторы электронной техники. — М.: Высш. шк., 1983.

Е р м а к о в Е.С. Робототехнологические комплексы электронной техники. — М.: Высш. шк., 1985.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|   |           |
|---|-----------|
| Предисловие . . . . .   | 3         |
| Введение . . . . .  | 5         |
| <b>Глава первая. Заготовительные процессы в производстве электровакуумных приборов . . . . .</b>                    | <b>7</b>  |
| § 1. Классификация заготовительных процессов . . . . .  | 7         |
| § 2. Виды и назначение деталей сборочных единиц электровакуумных приборов . . . . .                                 | 10        |
| § 3. Требования, предъявляемые к материалам электровакуумных приборов . . . . .                                     | 11        |
| <b>Глава вторая. Взаимозаменяемость. Допуски, посадки и технические измерения . . . . .</b>                         | <b>14</b> |
| § 4. Понятие о взаимозаменяемости . . . . .   | 14        |
| § 5. Система допусков . . . . .   | 16        |
| § 6. Отклонения формы поверхностей и допуски на них . . . . .   | 20        |
| § 7. Понятие о посадках . . . . .   | 21        |
| § 8. Измерительные средства и методы измерений . . . . .  | 22        |
| <b>Глава третья. Электронно-вакуумная гигиена и промышленная санитария в заготовительном производстве . . . . .</b> | <b>31</b> |
| § 9. Параметры технологической среды . . . . .  | 31        |
| § 10. Методы и средства обеспечения электронно-вакуумной гигиены . . . . .  | 33        |
| § 11. Промышленная санитария . . . . .  | 35        |
| <b>Глава четвертая. Обработка деталей холодной штамповкой . . . . .</b>   | <b>36</b> |
| § 12. Основы процессов холодной штамповки . . . . .   | 36        |
| § 13. Штамповочные разделительные операции . . . . .  | 39        |
| § 14. Брак при разделительных операциях и методы его устранения . . . . .   | 42        |
| § 15. Штамповочные формоизменяющие операции . . . . .   | 43        |
| § 16. Брак при формоизменяющих операциях и методы его устранения . . . . .  | 50        |
| § 17. Применение холодной штамповки для соединения деталей . . . . .  | 51        |
| § 18. Механизация и автоматизация штамповочных работ . . . . .  | 52        |
| § 19. Техника безопасности при работе на штамповочном оборудовании . . . . .  | 55        |
| <b>Глава пятая. Изготовление деталей электровакуумных приборов на металлорежущих станках . . . . .</b>              | <b>57</b> |
| § 20. Режущий инструмент . . . . .  | 57        |

|  |            |
|--|------------|
| 21. Детали электровакuumных приборов, обрабатываемые на металлорежущих станках . . . . .       | 58         |
| 22. Режимы резания на токарных, фрезерных и сверлильных станках . . . . .                      | 59         |
| 23. Металлообрабатывающее оборудование . . . . .   | 61         |
| 24. Техника безопасности при работе на металлорежущих станках . . . . .                        | 64         |
| <b>Глава шестая. Сборочные работы в заготовительном производстве . . . . .</b>                 | <b>66</b>  |
| 25. Основные сведения о сварке . . . . .   | 66         |
| 26. Аргондуговая сварка . . . . .  | 68         |
| 27. Электронно-лучевая сварка . . . . .  | 71         |
| 28. Лазерная и микроплазменная сварка . . . . .  | 73         |
| 29. Электродугонная сварка . . . . .   | 76         |
| 30. Диффузионная сварка . . . . .  | 80         |
| 31. Основные сведения о пайке . . . . .  | 82         |
| 32. Прецизионная пайка на оправках . . . . .   | 84         |
| 33. Припои и флюсы . . . . .   | 85         |
| 34. Оборудование, применяемое для пайки . . . . .  | 87         |
| 35. Техника безопасности при сварке и пайке . . . . .  | 90         |
| 36. Высокотемпературные глазури и цементы . . . . .  | 92         |
| 37. Металлостеклянные и металлокерамические соединения . . . . .                               | 94         |
| 38. Сложные сборочные процессы . . . . .   | 96         |
| <b>Глава седьмая. Изготовление термокатодов и катодно-подогревательных элементов . . . . .</b> | <b>98</b>  |
| 39. Основные сведения о термокатадах . . . . .   | 98         |
| 40. Металлические термокатады . . . . .  | 100        |
| 41. Оксидно-бариевые и оксидно-ториевые термокатады . . . . .                                  | 101        |
| 42. Оксидные термокатады . . . . .   | 102        |
| 43. Нанесение оксидных покрытий на керны термокатадов . . . . .                                | 107        |
| 44. Специальные катады . . . . .   | 111        |
| <b>Глава восьмая. Изготовление подогревателей катодов . . . . .</b>                            | <b>112</b> |
| 45. Основные сведения . . . . .  | 112        |
| 46. Петлевые и спиральные подогреватели . . . . .  | 114        |
| 47. Нанесение изоляционных покрытий на спирали подогревателей . . . . .                        | 121        |
| 48. Армирование подогревателей и сборка их с катадами . . . . .                                | 126        |
| <b>Глава девятая. Изготовление газопоглошителей . . . . .</b>                                  | <b>128</b> |
| 49. Основные сведения . . . . .  | 128        |
| 50. Распыляемые и нераспыляемые газопоглошители . . . . .                                      | 131        |
| <b>Глава десятая. Изготовление деталей электровакuumных приборов из стекла . . . . .</b>       | <b>137</b> |
| 51. Основные сведения . . . . .  | 137        |
| 52. Формообразование изделий из жидкой стекломассы . . . . .                                   | 140        |
| 53. Формообразование изделий из стекла термопластической обработкой . . . . .                  | 145        |
| 54. Резка и механическая обработка стекла . . . . .  | 149        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>Глава одиннадцатая. Изготовление изоляторов . . . . .</b>   | <b>151</b> |
| § 55. Основные сведения . . . . .  | 151        |
| § 56. Керамические изоляторы . . . . .   | 154        |
| § 57. Слюдяные изоляторы . . . . .   | 161        |
| § 58. Виды брака и контроль качества изоляторов . . . . .  | 162        |
| <b>Глава двенадцатая. Изготовление сеток . . . . .</b>   | <b>164</b> |
| § 59. Основные сведения . . . . .  | 164        |
| § 60. Спиральные сеточные полосы . . . . .   | 166        |
| § 61. Обработка спиральных сеточных полос . . . . .  | 171        |
| § 62. Плетеные, сотовые, ленточные и петлевые сетки . . . . .  | 174        |
| § 63. Изготовления сеток электроэрозионной обработкой . . . . .  | 177        |
| <b>Глава тринадцатая. Изготовление резонаторов и замедляющих систем . . . . .</b>                                    | <b>181</b> |
| § 64. Основные сведения . . . . .  | 181        |
| § 65. Резонаторы магнетронов . . . . .   | 182        |
| § 66. Штыревые и гребенчатые замедляющие системы . . . . .   | 184        |
| § 67. Спиральные замедляющие системы . . . . .   | 187        |
| § 68. Контроль резонаторных и замедляющих систем . . . . .   | 189        |
| <b>Глава четырнадцатая. Технохимические процессы в заготовительном производстве . . . . .</b>                        | <b>191</b> |
| § 69. Очистка деталей электровакуумных приборов . . . . .  | 191        |
| § 70. Нанесение покрытий . . . . .   | 197        |
| <b>Глава пятнадцатая. Автоматизация заготовительных процессов в производстве электровакуумных приборов . . . . .</b> | <b>202</b> |
| § 71. Автоматизация технологических процессов и оборудования . . . . .   | 202        |
| § 72. Автоматизированные системы управления технологическими процессами . . . . .                                    | 204        |
| § 73. Гибкие производственные системы . . . . .  | 208        |
| § 74. Промышленные роботы . . . . .  | 211        |
| <b>Заключение . . . . .</b>  | <b>219</b> |
| <b>Рекомендуемая литература . . . . .</b>  | <b>220</b> |



*Учебное издание*

**Ариадна Тимофеевна Александрова,  
Глеб Авксентьевич Полотай**

**ЗАГОТОВКА ДЕТАЛЕЙ  
ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ**

Зав. редакцией *С.В. Никитина*  
Редактор *А.Ш. Долгова*  
Мл. редакторы *Г.П. Каневская, Л.Н. Щелкова*  
Художник *И.Н. Тыртычный*  
Художественный редактор *Е.Д. Косырева*  
Технический редактор *Ю.А. Хорева*  
Корректор *Т.Д. Венедиктова*  
Оператор *В.Н. Думбар*

**ИБ № 5009**

Изд. № ЭГ-127. Сдано в набор 05.02.86. Подп. в печать 12.05.86. Т—07811.  
Формат 60х84 1/16. Бум. офс. № 1. Гарнитура Универс. Печать офсетная.  
Объем 13,02 усл. печ. л. 13,25 усл. кр.-отт. 14,98 уч.-изд. л. Тираж 2500 экз.  
Зак. № 2540 Цена 35 коп.  
Издательство "Высшая школа", 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., д. 29/14

**Набрано на наборно-пишущих машинах издательства.**

**Отпечатано в Московской типографии № 9 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли.  
Москва, 109033, Волочаевская, 40.**

