

М. М. Золотарев

# МЕТАЛЛИЗАТОР- ВАКУУМЩИК

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



МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1978

ББК 32.851

3-80

Со всеми замечаниями и предложениями просим обращаться по адресу: Москва, К-51, Неглинная ул., 29/14, издательство «Высшая школа».

**Золотарев М. М.**

3-80 **Металлизатор-вакуумщик: Учебник для техн. училищ.** — М.: Высш. школа, 1978. — 239 с, ил. — (Профтехобразование. Вакуумная техника).

В пер.: 45 к.

В книге рассмотрены основные виды вакуумного и технологического оборудования, объяснена сущность технологических процессов металлизации деталей и узлов электровакуумных приборов (ЭВП). Особое место в книге занимают вопросы производственной гигиены, механизации и автоматизации технологических процессов, техники безопасности, стандартизации и контроля качества на предприятиях электронной промышленности.

Книга предназначена для подготовки металлизаторов-вакуумщиков в технических училищах.

3  $\frac{30407-456}{052(01)-78}$  БЗ № 7-6-78

ББК 32.851  
6Ф0 31

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Развитие советской науки и техники, широкое применение научно-технических достижений неразрывно связаны с дальнейшим ростом электронной промышленности, находящейся на переднем крае научно-технического прогресса.

В электронной промышленности, как опережающей отрасли народного хозяйства страны, дальнейшее развитие получит такое важное направление, как разработка и изготовление новых, более совершенных электронных приборов.

Десятая пятилетка — это пятилетка качества и эффективности.

Для решения задач, поставленных перед электронной промышленностью десятым пятилетним планом по увеличению производительности труда, автоматизации технологических процессов и повышению надежности выпускаемых электронных приборов, необходимы кадры высококвалифицированных металлизаторов-вакуумщиков, способных управлять сложным вакуумным оборудованием.

Металлизатор-вакуумщик — это наиболее массовая профессия на предприятиях электронной промышленности. Его задача — выполнять сложные технологические операции по металлизации деталей, узлов, приборов химическими, гальваническими и вакуумными способами, описание которых приведено в V, VII, VIII, IX, X главах книги.

За последнее время в электронной технике нашло широкое применение новое направление — микроэлектроника, которая является высшей, качественно новой ступенью микроминиатюризации.

Микроэлектроника характеризуется изготовлением микросхем или интегральных схем, являющихся мини-

турными функциональными узлами электронной аппаратуры.

Широкое применение в производстве электронных приборов (электроннолучевые трубки, электронные лампы и многие другие изделия) нашли также пленочные покрытия. Пленочные покрытия выполняют напылением в вакууме или другими способами.

Распространение промышленного освоения пленочной микроэлектроники требует подготовки квалифицированных, технически грамотных рабочих для выполнения технологических операций металлизации в вакууме, сущность которых изложена в VI главе данной книги.

В связи с тем что в настоящем учебном пособии подробно изложены различные способы металлизации (металлизация в вакууме, химический способ металлизации, гальванические покрытия, металлизация керамики для спаев с металлами, нанесение антиэмиссионных покрытий), оно может быть полезным и для рабочих таких смежных профессий электронного производства, как карбидировщик, люминофорщик-экранировщик, матировщик-вакуумщик, заготовщик химических полуфабрикатов, мойщик колб, промывщик деталей.

## ГЛАВА I

### ОСНОВЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ (ЭЛЕКТРОННО-ВАКУУМНОЙ) ГИГИЕНЫ

#### § 1. СОСТОЯНИЕ КУЛЬТУРЫ ПРОИЗВОДСТВА НА ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Чистота исходных материалов и высокое качество очистки поверхности деталей и узлов электронных приборов значительно влияют на электрические параметры, надежность и долговечность приборов. Даже мельчайшие загрязнения поверхности деталей и узлов в электронных приборах органическими и неорганическими веществами (пот, жиры, масла, соли, пары, газы, окислы и др.) или посторонними микроскопическими частицами пыли, ворсинок, волокон и т. д. вызывают ухудшение вакуума в приборе, отравление катода, токи утечки по изоляторам и короткие замыкания в радиолампах, в особенности сверхминиатюрных, в которых весьма малы межэлектродные расстояния, что приводит к сокращению срока службы прибора и выхода его из строя.

Изготовление качественных и надежных электронных приборов требует соблюдения производственной гигиены, т. е. совокупности мероприятий, обеспечивающих защиту деталей и узлов от загрязнений. Благодаря производственной гигиене обеспечиваются необходимые параметры в помещениях производства электронных приборов — чистота, влажность, подвижность и температура воздуха. Очень важны также меры по очистке технологических газов, воды, поступающих материалов и полуфабрикатов, деталей и узлов, а также соблюдение работающих персоналом правил личной гигиены.

Контроль за соблюдением производственной гигиены на электровакуумных предприятиях возлагается на служ-

бу производственной гигиены. Она еженедельно проверяет состояние культуры производства в каждом подразделении и оценивает его по пятибалльной системе.

## § 2. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Производственные помещения для изготовления электронных приборов делятся на три категории.

В помещениях I категории выполняют наиболее ответственные технологические операции, не допускающие попадания на поверхность деталей пыли, органических продуктов, окислов, пота и других веществ; сборку электронных приборов, изготовление и хранение составов для покрытия внутриламповых деталей, финишную обработку и очистку внутриламповых деталей, контроль и хранение очищенных деталей; сборку, сварку и пайку приборов повышенной надежности и долговечности; химическую, термическую и другую обработку внутриламповых деталей, нанесение на них специальных покрытий, контроль, хранение покрытых и очищенных деталей и сборочных единиц, вакуумное напыление, очистку подложек и т. д.

В помещениях II категории изготавливают детали из стекла, производят спай стекла с металлом, керамики с металлом, металлизацию керамики; изготавливают специальные материалы; наносят гальванические и химические покрытия, выполняют карбонизацию деталей; производят сварку, отжиг, откачку, герметизацию приборов обычного применения, механическое изготовление внутриламповых деталей повышенной надежности с боксированием рабочих мест, резку, сварку и сборку подложек и т. д.

В помещениях III категории выполняют металлозаготовительные операции (штамповку и токарную обработку деталей, ковку, горячий прокат, горячее волочение и т. д.); составление шихты, варку стекла, изготовление керамики, цоколевку и другие операции.

Категории помещений определяются главным инженером предприятия по представлению службы контроля производственной гигиены. Для каждой категории установлены соответствующие требования по чистоте и параметрам микроклимата, допустимой концентрации вредных примесей, требования к оборудованию и обслуживающему персоналу.

В помещениях I категории: содержание пыли — не более 50 частиц в 1 л воздуха; окружающая температура в пределах  $22 \pm 2^\circ \text{C}$ ; относительная влажность  $55 \pm 10\%$ ; отсутствие вредных примесей серу- и углеродсодержащих соединений.

В помещениях II категории: содержание пыли — не более 500 частиц в 1 л воздуха; окружающая температура  $22 \pm 4^\circ \text{C}$ ; относительная влажность не выше 70%; содержание вредных примесей серу- и углеродсодержащих соединений — в пределах санитарных норм.

Требования, предъявляемые к чистоте помещений III категории, регламентируются общими санитарно-гигиеническими нормами. Категории помещений производственной гигиены, как правило, указываются в операционных технологических картах на каждый технологический процесс.

Контроль за соблюдением установленных норм и требований возложен на службу электронно-вакуумной гигиены.

В целях улучшения организации и контроля электронно-вакуумной гигиены на предприятиях выпускается «Ведомость операций по условиям производственной гигиены» (приложение 1).

## § 3. ТРЕБОВАНИЯ К ТЕРРИТОРИИ ПРЕДПРИЯТИЙ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОМЕЩЕНИЙ

Все проезды, тротуары, пешеходные дорожки должны иметь твердое покрытие. Незастроенные участки территории озеленяют травой, деревьями и кустарниками, которые не выделяют при цветении пыльцу или пух.

Подъездные и внутризаводские пути во избежание запыления должны иметь малонстирающееся покрытие (бетон, асфальт).

Для обеспечения чистоты территории цехов нужно систематически очищать от мусора; мусорные бункера, ящики и урны — очищают ежедневно. Не допускается хранение оборудования, строительных материалов на территории подразделений.

Поскольку металлизаторы-вакуумщики выполняют операции в производственных помещениях I и II категорий, рассмотрим подробно требования, которые предъявляются к последним.

Производственные помещения I и II категорий оборудуют в полном соответствии с условиями проведения технологических процессов и требованиями, предъявляемыми к микроклимату помещений установленной категории.

При размещении нескольких помещений разных категорий в одном производственном корпусе помещения I категории отделяются от других герметичными стенками. Помещения I категории не должны быть проходными, количество входов и выходов — минимальное, обязательно наличие запасных выходов.

Все коммуникации и вентиляционные воздуховоды прокладывают на технических этажах, в чердачных или подвальных помещениях; их подводка к оборудованию осуществляется с помощью коротких стояков.

Электропроводка должна быть обязательно закрытой. Система освещения во всех производственных помещениях комбинированная. Стены, потолки и колонны выполняют сплошными гладкими, выкрашенными краской светлых тонов. Стены помещений гальванических участков облицовывают кафелем.

Материалы, применяемые для внутренней отделки производственных помещений I и II категорий, должны обладать следующими свойствами:

- высокой стойкостью к эрозии и разрушениям от механических воздействий (вибрация, истирание);
- максимальной пылеотталкивающей способностью;
- высокой влагостойкостью.

В помещениях I категории полы покрывают специальной мастикой или линолеумом, II категории — метлахской плиткой, линолеумом или полимер-цементом.

Бытовые помещения размещают вблизи производственных участков. Они состоят из общего гардероба, а также гардероба для домашней и технологической одежды, комнаты личной гигиены, душевых и санузлов.

Бытовые помещения для работающих в производственных помещениях II категории состоят из общего гардероба, гардероба для домашней и технологической одежды, умывальников, душевых и санузлов.

Внутри помещений I категории запрещается производить работы, связанные с выделением дыма, копоти, различных испарений и пыли, а в помещениях II категории такого типа работы производят только в специальных вытяжных вентиляционных устройствах.

На одном производственном участке, как правило, не совмещаются операции, вызывающие загрязнение деталей и материалов, с операциями сборки, монтажа, приготовления паст и т. д.

В помещениях I и II категорий исключается использование занавесок, штор, плакатов, картин, декоративных комнатных растений и других предметов, на которых может скапливаться пыль.

В коридорах и тамбурах нельзя хранить оборудование, материалы, тару, инвентарь для уборки, держать мусор и производственные отходы.

Производственная гимнастика в помещениях I и II категорий не проводится.

Особые требования предъявляют к оборудованию, инструменту и оснастке. Рабочие столы и стулья изготавливают из неворсистого материала, например из алюминия, латуни, пластмассы или стальных хромированных труб. Мебель должна иметь плавные округлые формы. Оборудование не должно иметь углублений и извилин в местах соединений отдельных частей во избежание скопления пыли.

Рабочий стол, на котором собирают внутреннюю арматуру, должен иметь операционную площадку из светло-голубого или светло-зеленого слоистого пластика.

Инструменты и приспособления подлежат периодической очистке путем обезжиривания, промывки, протирки спиртом и другими растворителями.

#### **§ 4. МЕРЫ ПО ЗАЩИТЕ ВОЗДУХА ПОМЕЩЕНИЙ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ**

Одним из наиболее важных условий чистоты является приток высококачественного обеспыленного воздуха в помещения с контролируемой средой.

Очистка воздуха осуществляется путем фильтрации с последующим кондиционированием до необходимой относительной влажности и температуры воздуха и удалением избытков тепла, образующихся внутри помещения.

Наружный воздух проходит через пропитанный маслом фильтр, который задерживает наиболее крупные частицы пыли. Мелкодисперсные частицы пыли величиной в

долю микрона и более удаляют аэроионизационные установки.

Служба производственной гигиены не реже одного раза в неделю в различные часы рабочей смены контролирует состояние воздушной среды в помещениях I и II категорий, пользуясь аспирационным психрометром, гигрометром, микроанометром, анализатором запыленности АЗ-5, а также следит за чистотой технологических газов и сжатого воздуха.

Запыленность помещений определяется количеством пылинок в 1 л воздуха или количеством пылинок, оседаемых на 1 см<sup>2</sup> в час, и отмечается в соответствующей документации и заносится в «Ведомость операций по условиям производственной гигиены» (см. приложения 2 и 3).

Для уменьшения запыленности необходимо, чтобы давление воздуха в помещениях высшей категории превышало давление в смежных помещениях низшей категории на 24,5—49 Па.

Кондиционированный воздухообмен должен обеспечить распределение поступающего в помещение очищенного воздуха с равномерной температурой по всей высоте помещения, исключить конвекцию воздуха, сквозняки и направленные потоки, которые могут привести к усиленному перемещению частиц пыли.

Для передачи деталей с одного участка на другой предусматриваются входные тамбуры со шлюзами. Отсос запыленного воздуха из шлюзов должен преобладать над притоком чистого воздуха. Для защиты деталей от пыли на монтажном столе устанавливают прозрачный колпак, минимально открытый со стороны работающего, а с противоположной стороны оборудованный фильтром для тонкой очистки воздуха.

Во избежание подсоса воздуха из помещения под колпаком монтажного стола должно быть избыточное давление хорошо отфильтрованного воздуха, скорость движения которого на выходе из-под колпака должна составлять 0,3—0,4 м/с.

Немаловажная роль отводится уборке помещений. Мыть полы следует ежедневно за 30 мин до начала каждой смены. Кроме того, ежедневно в обеденный перерыв нужно протирать пол. Мытье, влажную протирку стен, колонн, потолков, светильников проводят 2 раза в месяц.

## § 5. ТРЕБОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ГИГИЕНЫ К РАБОТНИКАМ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Изложенные выше требования к производственным помещениям могут быть обеспечены только при условии знания и соблюдения правил, предъявляемых к работающим в этих помещениях. Эти правила должны строго соблюдаться всеми работающими, так как нарушение их приводит к браку.

Лица, работающие в производственных помещениях I и II категорий, обязаны соблюдать личную гигиену, тщательно следить за чистотой одежды, обуви, рук (ногти должны быть без лака). В бытовых помещениях работающие должны оставить пиджаки, жакеты, личную обувь, надеть соответствующую технологическому режиму одежду и провести комплекс мер по личной гигиене.

Перед началом работы каждый, работающий в помещении I категории, обязан: обеспылить в обдувочном шлюзе рабочую (технологическую) одежду, проверить состояние рабочего места, приспособлений, приборов и инструмента. По окончании работы необходимо убрать свое рабочее место, очистить и убрать приспособления и инструмент.

При сборке приборов пользуются пальчиками и перчатками, которые перед началом работы очищают кипячением в содовом растворе с последующей промывкой в деионизованной очищенной воде.

Для работающих в помещениях I категории определена схема мытья рук: 1) вымыть руки с детским мылом водой 45° С; 2) ополоснуть руки водой 18—20° С; 3) ополоснуть руки дистиллированной водой; 4) вытереть руки насухо полотенцем из неворсистой ткани.

Персонал, работающий в помещениях I категории, проходит санитарно-гигиеническую проверку на потливость рук, отсутствие кожных заболеваний рук, шеи, лица и шелушения кожи в весенне-летний период два раза, в осенне-зимний период — один раз.

Персонал, работающий в помещениях II категории, проходит санитарно-гигиеническую проверку не реже одного раза в год.

Всю технологическую и техническую документацию, которая необходима на рабочих местах в помещениях I и II категорий, выполняют на кальке или фотобумаге и хранят в специальных шкафах.

Лица, работающие в помещениях I и II категорий, должны также знать и выполнять требования к технологической одежде. Ее применяют для предохранения рабочего места от попадания пыли, ворса, волос и тому подобных загрязнений.

Характер технологической одежды определяется категорией производственного помещения, профессией и должностью работающего. Технологическую одежду (халаты, тапочки, косынки, шапочки, костюмы, комбинезоны) закрепляют за каждым рабочим индивидуально. Она должна соответствовать размеру, росту и индивидуальным особенностям фигуры каждого рабочего, не стеснять свободы движений и не затруднять доступ воздуха к кожному покрову. Волосы полностью закрывают шапочкой или косынкой.

#### § 6. ХРАНЕНИЕ ОЧИЩЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ И ИХ ТРАНСПОРТИРОВКА

Изготовление и сборка электронных приборов — сложный и длительный процесс. Детали и узлы приборов перед сборкой хранят в специальных помещениях.

Для транспортировки и хранения чистых деталей применяют специальную тару, которая обеспечивает защиту деталей от механических повреждений, попадания пыли и других загрязнений.

Для хранения и транспортировки деталей, прошедших окончательную очистку, применяют тару светлого тона, а для неочищенных деталей — темного, из стекла, пластмассы типа фторопласта и не окисляющегося на воздухе металла.

Перед применением крытую тару очищают горячей водой и капроновыми щетками с последующей промывкой чистой, а затем дистиллированной водой, сушат горячим очищенным воздухом, упаковывают в полиэтиленовые пакеты и направляют на рабочее место. Чистую тару во избежание попадания пыли хранят в закрытых чистых шкафах (медицинские шкафы, термостаты и др.). Готовые сборочные единицы и детали хранят в чистых шкафах с защитной атмосферой. Для передачи деталей с одного участка на другой предусматриваются входные тамбуры со шлюзами.

#### Контрольные вопросы

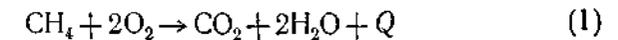
1. Что такое производственная (электронно-вакуумная) гигиена?
2. Какие технологические операции выполняют в помещениях I, II и III категорий?
3. Какие требования предъявляются к помещениям различных категорий?
4. Какие меры применяются по защите воздуха помещений от загрязнений?
5. Каковы требования производственной гигиены к работникам электронных предприятий, работающим в помещениях I и II категорий?
6. Какие должны быть условия для хранения очищенных деталей и их транспортировки?

## ГЛАВА II ГАЗОВОЕ ХОЗЯЙСТВО

#### § 7. ГАЗЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Горючие газы, применяемые в производстве электронных приборов, разделяются на природные и искусственные, а природные, в свою очередь, — на газы чисто газовых и нефтяных месторождений. Особую группу искусственных горючих газов составляют сжиженные газы.

**Природные газы.** Природные газы чисто газовых месторождений — это наиболее распространенный вид газообразного топлива. Они состоят из метана с незначительным содержанием других примесей. При полном сгорании метана образуются пары воды, двуокись углерода и выделяется большое количество тепла:



В производстве электронных приборов применяют следующие природные газы:

саратовский газ (Ершано-Курдюмского месторождения) содержит 94% метана, ~4% тяжелых углеводородов, 2% азота и следы сероводорода. Наличие вредной примеси — сероводорода требует особо тщательной очистки этого газа, так как при сгорании образуется сернистый газ, который корродирует детали машин и горелок, отравляет окисные катоды и отрицательно действует на здоровье работающих с ним людей;

львовский газ (Дашавский) содержит 98% метана, 1% тяжелых углеводородов, 1% азота. В нем почти нет примесей сероводорода;

московский городской газ состоит из смеси нескольких природных и искусственных газов

**Искусственные газы.** Искусственными газами являются водяной газ, пропан-бутановые смеси или сжиженные газы и т. д.

*Водяной газ* получают в газогенераторах путем пропускания водяного газа над раскаленным до 1200°С углем:



Состав водяного газа: 50% окиси углерода и 50% водорода с небольшими примесями азота и метана. Состав газа зависит от сорта угля, его температуры и условий газификации.

Водяной газ не имеет запаха и весьма ядовит. Его смесь с воздухом взрывоопасна при содержании газа 12,5—66,5% (нижний и верхний предел взрывоопасности). В целях увеличения количества тепла в состав водяного газа иногда вводят метан (метанированный газ) или нефть (карбюрированный газ).

Водяной газ все более вытесняется природными газами.

*Пропан-бутановые смеси, или сжиженные газы,* состоят из пропана (от 30 до 60%), бутана от (35 до 65%) и незначительного количества этана, этилена, пропилена, бутилена и пентана. В обычных условиях они находятся в газообразном состоянии, но при незначительном повышении давления или снижении температуры превращаются в жидкость. Сжиженные газы вырабатывают на газolinных и нефтеперерабатывающих заводах. Транспортируют их в жидком состоянии в специальных цистернах с хорошей теплоизоляцией. На электровакуумных предприятиях их сливают в стационарные резервуары и перекачивают насосами в испаритель, из которого газ поступает в газовые магистрали.

*Искусственный газ, состоящий из смеси водорода с кислородом,* применяют почти на всех электровакуумных предприятиях для обеспечения наиболее высокотемпературного пламени газовых горелок.

Основные свойства горючих газов: теплотворная способность, теоретическая температура горения, температура воспламенения и пределы воспламенения, скорость распространения пламени (табл. I).

**Теплотворная способность.** Теплотворная способность (калорийность) горючего газа определяется количеством тепла (в джоулях), выделяемого при полном сгорании 1 м<sup>3</sup> газа.

**Температура горения.** Температура, которую приобретают продукты сгорания при сжигании газообразного топлива, называется *температурой горения*. Если процесс сжигания газа осуществляется при полном отсутствии потерь тепла, то достигается максимально возможная температура, которая называется *теоретической температурой горения*.

Практически при сжигании газообразного топлива часть выделившегося тепла рассеивается в окружающую среду, а также тратится на процессы, протекающие с поглощением тепла (на нагрев негорючего балласта и т. д.). По этой причине действительная температура горения несколько ниже теоретической.

**Температура воспламенения и пределы воспламенения.** Минимальная температура, до которой необходимо нагреть газ, чтобы начался процесс горения, называется *температурой воспламенения*.

Температура воспламенения газа в кислороде несколько ниже, чем в воздухе, так как в этом случае тепло не расходуется на непроизводительный нагрев балластных газов, содержащихся в воздухе.

Температура воспламенения колеблется в зависимости от состава, давления и способа нагрева газозвдушной или газокислородной смеси, которая может воспламениться, если содержание газов в ней находится в определенных концентрациях.

Различают нижний и высший пределы воспламенения газа.

*Высшим пределом воспламенения газа* называется то наибольшее процентное содержание его в газозвдушной или газокислородной смеси, при котором еще может произойти воспламенение. *Нижним пределом* — наименьшее процентное содержание горючего газа в газозвдушной

Таблица 1. Основные свойства газов

Газ	Требуемое для сгорания одного объема газа число объемов		Теплотворная способность, Дж/м³	Теоретическая температура горения, °С	Относительная масса (воздух = 1)	Скорость распространения пламени, м/с	Температура воспламенения в воздухе, °С	Пределы горючести газа в смеси с воздухом (в % по объему газа в смеси) при нормальном давлении и температуре 15—20 °С	
	кислорода	воздуха						нижний	верхний
Природный (Саратовский) . . . . .	2	9,8	34,95·10 <sup>6</sup>	1850	0,57	0,7	700	5	14
Природный (Дашавский) . . . . .	2	9,6	35,58·10 <sup>6</sup>	1850	0,56	0,7	700	5	17
Водяной генераторный . . . . .	—	2,2	10,78·10 <sup>6</sup>	1900	0,52	3	680	7	72
Пропан . . . . .	5	23,8	95,25·10 <sup>6</sup>	2155	1,56	0,8	510	2,4	9,5
Бутан . . . . .	6,5	31	118,63·10 <sup>6</sup>	2130	2,07	0,8	490	1,9	8,4
Водород . . . . .	0,5	2,4	10,10·10 <sup>6</sup>	2210	0,07	4,9	510	4,0	74,2

или газокислородной смеси, при котором еще может произойти воспламенение газа.

**Скорость распространения пламени.** Знание скорости распространения пламени необходимо для обеспечения нормальной работы газовых горелок. Скорость распространения пламени определяется опытным путем.

### § 9. ГАЗОВЫЕ ГОРЕЛКИ

В производстве электронных приборов для сжигания горючих газов и смесей применяют различные газовые горелки, которые можно классифицировать по следующим признакам: по способу сжигания в горелках горючих смесей — пламенные (факельные) и беспламенные (бесфакельные), по роду сжигаемой смеси — газоздушные, газокислородные и водородно-кислородные.

**Пламенные (факельные) горелки.** Пламенные (факельные) горелки характеризуются наличием светящегося пламени — факела с определенной зоной нагрева.

В зависимости от способа получения газовой смеси горелки подразделяются на диффузионные, атмосферные (или инжекционные) и горелки предварительного смешения.

*В диффузионных горелках* горючий газ смешивается с воздухом на выходе из них за счет диффузии, т. е. проникновения в него атмосферного воздуха. Перемешивание газа с воздухом и его горение происходят медленно, с получением длинного светящегося пламени.

Преимуществом диффузионных горелок является простота конструкции, возможность работы при низких давлениях газа и отсутствие обратного проскока пламени внутрь горелки (обратный удар пламени). Пламя диффузионных горелок почти всегда коптящее вследствие неполного сгорания газа, особенно при сжигании газов высокой calorийности.

Диффузионные горелки применяют в шкафных печах, в машинах сушки цоколеванных ламп, в печах отжига стеклянных деталей, в карусельных полуавтоматах огневой и вакуумной обработки.

*В атмосферных горелках* горючий газ с атмосферным воздухом смешивается непосредственно в самой горелке. Такие горелки не дают коптящего пламени и более экономичны по сравнению с диффузионными, так как сгорание газа происходит более полно и при меньших избытках воздуха.

Однако существенным недостатком атмосферных горелок является возможность обратного проскока пламени. Проскок пламени происходит, если скорость распространения пламени окажется больше скорости истечения струи горючей смеси. Отрыв пламени может произойти, когда скорость истечения горючей смеси больше скорости распространения пламени.

Для горелок предварительного смешения смесь горючих газов готовят заранее в специальных смесителях. Эти горелки получили наибольшее распространение в электровакуумном производстве.

Конструктивное различие газозвудушных, газокислородных и водородно-кислородных горелок заключается в наличии или отсутствии запального факела (пламени), в величине запала в размерах основных рабочих отверстий.

В электровакуумном производстве применяют следующие конструкции пламенных горелок: барабанные и трубчатые газозвудушные и газокислородные, угловые газозвудушные, коробчатые газозвудушные, щелевые газокислородные, веерные газокислородные и водородно-кислородные, ленточные газозвудушные, ручные стеклодувные горелки типа «лушка» и др.

Горелки бывают одноотверстные, в которых рабочий факел пламени создается струей горючей смеси, выходящей из одного отверстия в сопле горелки, и многоотверстные — выходящей из нескольких отверстий в сопле горелки.

Применение горелок с несколькими отверстиями позволяет получить короткий рабочий факел. Эти горелки имеют высокую теплопроизводительность вследствие хорошего перемешивания газа с воздухом.

Рассмотрим некоторые конструкции пламенных горелок.

Наиболее распространенными являются барабанные газозвудушные горелки предварительного смешения с тремя отверстиями (рис. 1). Горелка состоит из корпуса 3 с запрессованным соплом 2, который кроме основных (рабочих) отверстий имеет цилиндрические поперечные пазы для укладки сеточного валика 1 и отверстия для подачи газовой смеси на запал, хвостовика 8 (через отверстие шаровой части хвостовика горючая смесь из смесителя подается в корпус горелки); гаек 4 и 6, контрящих корпус, и регулирующего винта 7 на хвостовике 8:

сетки 9 (латунная № 0,5), предназначенной для фильтрации механических примесей, имеющихся в горючей смеси, и предохранения от обратного проскока пламени (обратного удара) в трубопровод, подводящий газозвудушную смесь; сеточного валика 1 (из никромовой про-

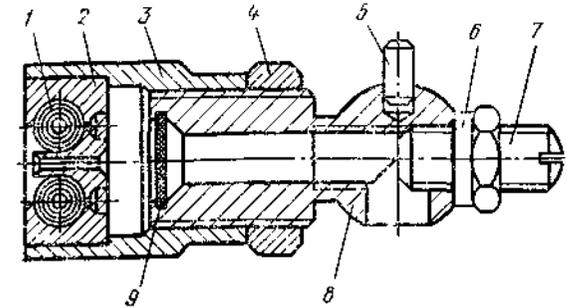


Рис. 1. Барабанная газозвудушная горелка с тремя отверстиями:

1 — сеточный валик, 2 — сопло, 3 — корпус, 4 и 6 — гайки, 5 — ограничительный штифт, 7 — регулирующий винт, 8 — хвостовик, 9 — сетка

волоки), предназначенного для разделения потока газовой смеси на ряд струек, для обеспечения более равномерного и устойчивого запального пламени; винта 7, с помощью которого регулируют подачу смеси в корпус горелки; штифта 5, предназначенного для ограничения поворота шаровой части горелки при ее монтаже на оборудовании.

Барабанные горелки получили наибольшее распространение на подогревных и основных операциях обработки стеклянных изделий, а также на огневых работах по металлизации (приварка навесок сурьмы для напыления и др.).

Другим наиболее распространенным типом пламенных горелок, применяемых при отжачке и отпайке электронных приборов, являются коробчатые.

Коробчатая горелка (рис. 2) состоит из следующих деталей: корпуса 1, сопла 3, экрана 5, обеспечивающих стабильное горение и предохраняющих пламя от колебаний окружающего воздуха; сеток 4, разбивающих газовый поток на ряд струй и обеспечивающих устойчивое

запальное пламя; сетки 2, являющейся ловушкой, предохраняющей от обратного проскока пламени в горелку. Одной из разновидностей газокислородных горелок

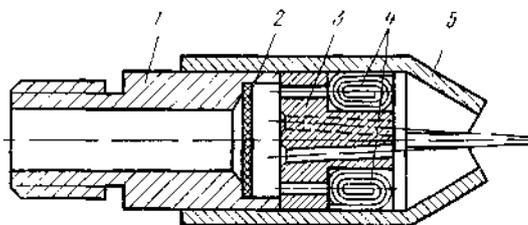


Рис. 2. Коробчатая отпаячная горелка:  
1 — корпус, 2 и 4 — сетки, 3 — сопло, 5 — экран

является веерная (рис. 3), которая позволяет получать весьма большое количество тепла на небольшой площади. Она состоит из коллектора 1 с приваренными к нему семью соплами 2. Через штуцер 4 газовая смесь поступает в коллектор, а затем в рабочие отверстия сопел. Стабильное горение обеспечивается поступлением части газовой смеси на запальное пламя через боковые отверстия 3 и кольцевую зону между соплом и головкой, наведенной на сопло.

При огневых обработках деталей и приборов широкое применение нашли стеклодувные горелки «пушка» (большая и малая). В этих горелках горячая смесь получается непосредственно в самой горелке.

На рис. 4 представлена схема горелки «пушка», которая имеет три крана: для подачи воздуха, кислорода и газа.

**Беспламенные (бесфакельные) горелки.** Беспламенные (бесфакельные) горелки — это газовые горелки инфракрасного излучения, работающие по принципу поверхностно-беспламенного сжигания газа.

Источником инфракрасного излучения в таких горелках служит раскаленная поверхность огнеупорной керамики, вблизи которой и происходит горение газа.

Беспламенные горелки применяются на многих термических операциях обработки изделий из стекла, особенно толстостенных, где требуется широкая зона нагрева (предварительный подогрев, отжиг изделий и т. д.).

В беспламенных горелках происходит полное сгорание горючей смеси, что исключает потери газа от хими-

ческого недожога при минимальном (почти теоретически необходимом) количестве воздуха по сравнению с пламенными горелками. Горение в беспламенных горелках происходит мгновенно, с образованием прозрачных продуктов полного сгорания газа, чем объясняется отсутствие пламени и меньшее отравление атмосферы производственных помещений.

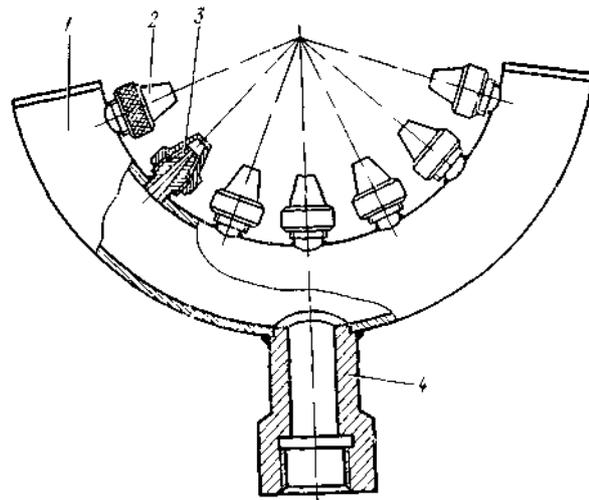


Рис. 3. Веерная газокислородная горелка:  
1 — коллектор, 2 — сопло, 3 — боковые отверстия, 4 — штуцер

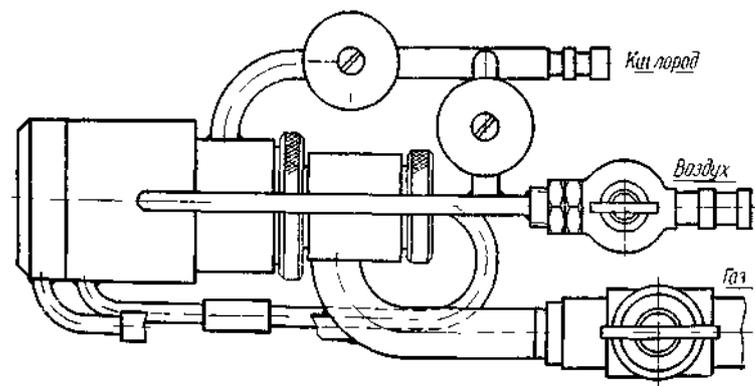


Рис. 4. Схема газокислородной горелки «пушка»

Одной из разновидностей беспламенных горелок являются радиационные, в которых горючая смесь поступает на предварительно разогретую сферическую поверхность керамической чаши и после сжигания значительная часть тепла передается за счет радиации (излучения) обрабатываемому изделию и нагревает его до требуемой температуры. В качестве материала для керамических чаш чаще всего используют такие дешевые огнеупоры, как шамот, диас, глину с небольшой добавкой окиси железа (до 4%) для увеличения каталитических свойств керамики.

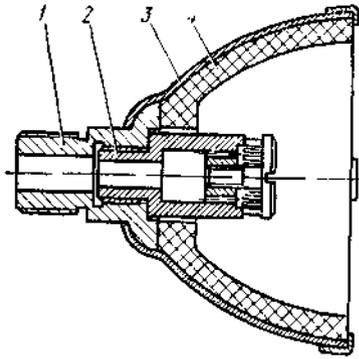


Рис. 5. Радиационная горелка для природного газа и пропан-бутановой смеси:

1 — корпус, 2 — сопло, 3 — кожух, 4 — керамическая чаша

На рис. 5 показана схема радиационной горелки для природного газа и пропан-бутановой смеси. В горелку под определенным давлением подается газ или газовоздушная смесь, которые, проходя через щели сопла 2, вмонтированного в корпус 1, попадают на поверхность керамической чаши 4 и сгорают на ней. Выделяемое при этом значительное количество тепла раскаляет керамическую чашу до высоких температур (900—1000°С). Кожух 3 обеспечивает работу горелки даже в случае растрескивания керамической чаши, что позволяет увеличивать работоспособность горелки.

Сгорание газовоздушной смеси происходит на плоской поверхности керамического диска, имеющего множество мелких отверстий для уменьшения сопротивления керамики.

Беспламенная атмосферная горелка для природного газа работает по методу сжигания заранее подготовленной горючей смеси на плоской поверхности керамического диска (рис. 6). Газ в горелку подается через сопло 5, а воздух поступает из окружающей среды через щели в стенках всасывающей камеры 4, и в смесительной камере 3 образуется однородная по составу горючая смесь. Далее она через диффузор 2 поступает в керамическую

головку 1, выполненную в виде керамического диска (диафрагмы) с множеством отверстий для создания стабильного горения, где и происходит сжигание.

Процесс беспламенного сжигания газа наиболее благоприятно протекает в том случае, когда газовоздушная смесь поступает в зону горения предварительно нагретой до 500—600°С.

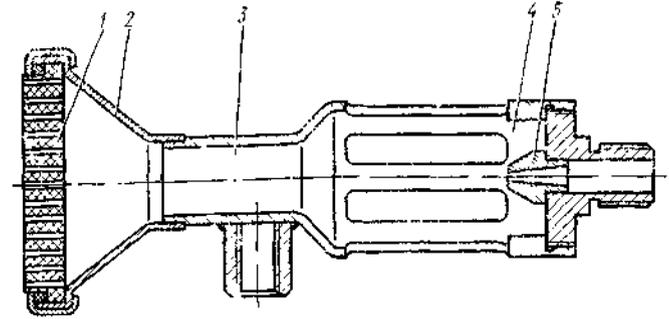


Рис. 6. Атмосферная беспламенная горелка для природного газа: 1 — керамическая головка, 2 — диффузор, 3 — смесительная камера, 4 — всасывающая камера, 5 — сопло

Беспламенные горелки дают широкую зону нагрева, работают как на горючей смеси, полученной непосредственно в горелке, так и на заранее подготовленной смеси и применяются главным образом для подогрева и отжига стеклоизделий; их удельная тепловая мощность значительно меньше радиационной.

#### § 10. ГАЗОВАЯ И КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА. ГАЗОПРОВОДЫ

**Краны и вентили.** Для регулирования подачи и расхода газов, а также для прекращения его подачи к оборудованию применяют пробковые краны (натяжные, сальниковые, пружинные или самоуплотняющиеся) и вентили (игольчатые и тарельчатые).

Наиболее распространенным является натяжной пробковый кран (рис. 7), который используют для подачи газа к оборудованию.

Коническая пробка 2 с прорезью вставлена в коническое отверстие корпуса 1 и уплотнена с помощью натяжной гайки 4, навинчиваемой на резьбовую часть пробки.

Шайба 3 предотвращает возможность самоотвертывания гайки во время эксплуатации крана. Пробка крана поворачивается с помощью накидного ключа. Каждый кран должен иметь свой накидной ключ.

В качестве регуляторов газа чаще всего используют игольчатые вентили (рис. 8). Их недостаток — возможность утечки газа между корпусом и клапаном.

**Регуляторы давления.** От стабильности давления газа и воздуха в газоздушных

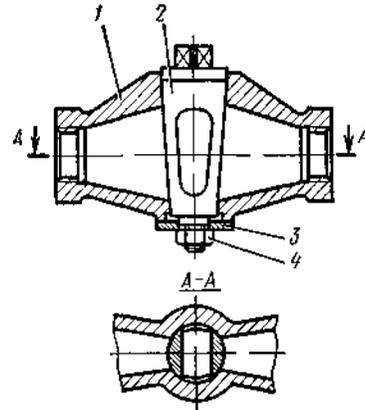
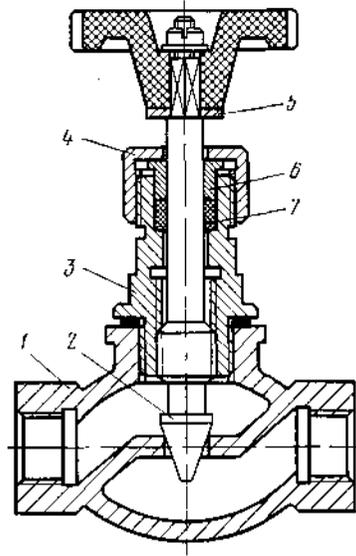


Рис. 7. Натяжной пробковый кран: Рис 8 Игольчатый вентиль:

1 — корпус, 2 — пробка, 3 — шайба,  
4 — натяжная гайка

1 — корпус, 2 — конический клапан, 3 —  
сальниковое устройство, 4 — накидная  
гайка, 5 — маховик, 6 — сальник, 7 —  
сальниковая набивка



магистралях предприятия в значительной степени зависит качество обработки деталей.

Отсутствие стабильного давления приводит к колебаниям температуры пламени и изменению его химической характеристики, что весьма нежелательно при выполнении огневых операций с помощью газовых горелок в производстве электронных приборов.

Для исключения этих отрицательных факторов обычно применяют на каждом оборудовании индивидуальный регулятор давления.

По принципу действия регуляторы давления подразделяются на регуляторы прямого и косвенного действия.

24

**Смесители.** Большое разнообразие конструкций газовых горелок в зависимости от назначения, состава горючей смеси и способа ее сжигания потребовало применения соответствующих смесителей группового и индивидуального назначения.

Качество перемешивания газа с необходимым количеством воздуха или кислорода существенно влияет на полноту сгорания смеси и на химические свойства пламени горелки, так как при горении газа с недостаточным количеством воздуха получается восстановительное пламя, а при горении с избытком воздуха — окислительное.

Для приготовления горючей смеси применяют в основном смесители инжекционного типа (рис. 9), где ин-

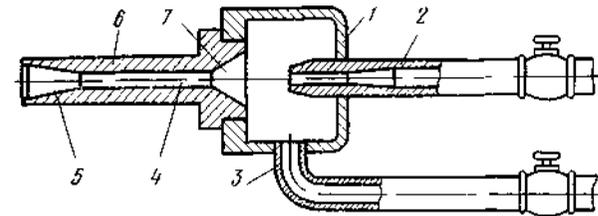


Рис. 9 Смеситель инжекционного типа:

1 — корпус, 2 — воздушное сопло с трубопроводом подвода воздуха, 3 — трубопровод подвода газа, 4 — камера смешения, 5 — диффузор, 6 — смесительное сопло, 7 — конфузор

жектирующим компонентом является воздух, а инжектируемым — газ, причем оба смешиваемых компонента (газ, воздух или кислород) подаются в смеситель под избыточным давлением для обеспечения необходимого факела газовых горелок.

В этом смесителе инжектирующий воздушный поток, проходя через сужающуюся и цилиндрическую части воздушного сопла 2, увеличивает скорость до определенной величины. Аналогично увеличивается скорость потока газа. При этом давление воздуха и газа уменьшается. На выходе из сопла в корпусе 1 оба потока расширяются, перемешиваются, причем струя воздуха, обладающая большей скоростью, увлекает под действием поверхностного трения и удара молекул некоторое количество газа. Затем газоздушная смесь поступает в смесительное сопло 6, в конфузоре 7 и камере смешения 4 которого происходит дальнейшее ее перемешивание. Далее в диф-

25

фузоре 5 скорость потока газовой смеси падает и происходит окончательное перемешивание за счет молекулярной диффузии.

**Фильтры.** Для предохранения от засорения и закупоривания газопроводов, устройств и элементов газовой аппаратуры различными посторонними частицами (пыль, окалина, смола, масло и др.), которые обычно содержатся в газе, применяют фильтры. Принцип работы их заключается в задержании и улавливании посторонних частиц различными фильтрующими материалами, имеющими поры меньшего сечения, чем размер загрязняющих частиц. За счет резкого изменения объема газа или воздуха при его прохождении из трубопровода с малым сечением в корпус фильтра значительно уменьшается скорость потока и взвешенные частицы оседают. Чаще всего применяют следующие фильтры: тканевые, наполнительные (сухие и смачиваемые) и масляные.

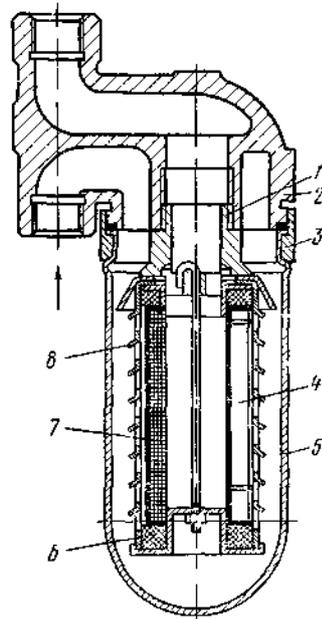


Рис. 10. Тканевый фильтр:  
1 — патрубок, 2 — корпус, 3 — накидная гайка, 4 — фильтрующая часть, 5 — кожух, 6 — войлочная прокладка, 7 — сетка, 8 — отражатель

Тканевый фильтр (рис. 10) является механическим очистительным устройством, состоящим из трех основных частей: корпуса 2, кожуха 5 и фильтрующей части 4, закрепленной в корпусе на трубке 1. Фильтрующая часть включает в себя отражатель 8, сетку 7, покрытую шерстяной тканью или тканью Петрянова (слой ультратонких волокон, нанесенных на марлевую подложку), и войлочную прокладку 6. Кожух крепится к корпусу при помощи накидной гайки 3.

Принцип очистки воздуха и газа в таком фильтре заключается в том, что под действием резкого изменения направления газового потока и последовательного прохождения через жалюзи отражателя и ячейки фильтрующего материала умень-

шается его скорость. Взвешенные механические примеси осаждаются на дне кожуха и на наружной поверхности фильтрующего материала. Фильтр применяется для очистки газов и воздуха от твердых (сухих) аэрозольных (радиоактивных, токсических и бактериальных) частиц. По мере загрязнения фильтры периодически очищают от пыли, а фильтрующий материал заменяют новым.

**Газопроводы.** Газовая подводка в цехах электровакуумных заводов осуществляется в основном двумя видами газопроводов: среднего давления (от  $19,6 \cdot 10^2$  до  $9,8 \cdot 10^4$  Па) и высокого давления (от  $9,8 \cdot 10^4$  до  $29,4 \cdot 10^4$  Па). Эти газопроводы изготовляют из стальных бесшовных труб, соединяемых между собой сваркой. Фланцевые и резьбовые соединения допускаются только в местах установки арматуры и газооборудования.

Различают верхнюю и нижнюю (скрытая прокладка) разводку газовой воздушных линий. Чаще всего применяют верхнюю разводку, так как при скрытой прокладке затрудняется обнаружение мест утечки газа.

Газопроводы после монтажа испытывают на герметичность повышенным давлением воздуха или инертного газа.

После испытания газопроводы окрашивают в соответствующие цвета: красный — газ природный или искусственный; светло-серый — воздух при  $P \leq 19,6 \cdot 10^4$  Па; светло-серый с красными кольцами — воздух при  $P > 19,6 \cdot 10^4$  Па; голубой — кислород; зеленый — водород; черный с коричневыми кольцами — азот; оранжевый — аргон; зеленый с черными кольцами — формириаз (препариргаз).

**Коллекторы.** Коллектор — это газопровод, предназначенный для распределения газа или горючей смеси в группе смесителей. По форме коллектор может быть прямой, круглый или согнутый по дуге окружности, П-образный и др.

Материалом для изготовления коллектора служат стальные бесшовные трубы, которые окрашивают так же, как и газопроводы, в различные цвета соответственно роду пропускаемого газа.

Газ к коллектору рекомендуется подводить в середине, чем достигается более равномерное распределение давления газа по длине коллектора. Длина коллектора определяется по количеству устанавливаемых на нем смесителей, причем смесители ставятся на расстоянии не

менее чем на 60—70 мм один от другого. Для периодической очистки коллекторов от возможных загрязнений на концах их ставят заглушки.

**Шланги и трубки.** Подачу горючего газа от смесителей к горелкам осуществляют через медные или латунные трубки или резиновые шланги в металлической оплетке (газопроводы смеси). Подводящий газопровод уплотняют с помощью штуцера и накидной гайки в местах подключения во избежание утечки газа. Резиновые шланги

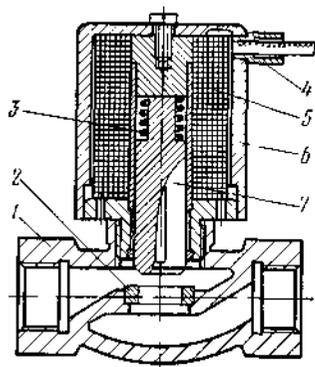


Рис 11. Предохранительный клапан (блок-клапан):  
1 — корпус, 2 — гнездо, 3 — пружина, 4 — втулка, 5 — катушка электромагнита, 6 — каркас, 7 — сердечник

применяют только в местах, не имеющих повышенной температуры, так как резина при высокой температуре теряет эластичность. Подвижные горелки присоединяют к газопроводам с помощью резиноканевых (дюритовых) рукавов. Концы рукавов должны быть надежно закреплены на газопроводе и горелке хомутами.

**Предохранительные клапаны.** Предохранительные клапаны устанавливают обычно на газопроводе сжатого воздуха. Они предназначены для отключения подачи сжатого воздуха к горелкам при нарушении режима их работы. Наибольшее применение нашел электромагнитный предохранительный клапан (блок-клапан), изображенный на рис. 11. Клапан состоит из следующих основных узлов и деталей: корпуса 1, гнезда 2, пружины 3, осуществляющей поджатие сердечника 7 к гнезду, втулки 4, к которой крепятся подводящие провода в металлической оплетке, конец которой запаивается, катушки электромагнита 5 и каркаса 6.

На сердечнике 7, который является клапаном, перекрывающим гнездо, имеются два продольных паза, соединяющих верхнюю полость каркаса с корпусом. В нормальном рабочем состоянии (при замкнутой электрической цепи магнита) сердечник-клапан втянут в катушку, тем самым проход воздуха открыт; при аварийном состоянии цепь размыкается и сердечник под дейст-

вием пружины выталкивается из катушки электромагнита до соприкосновения с гнездом корпуса; доступ воздуха до коллекторы прекращается. Так как клапан не может обеспечивать герметичного перекрытия воздушной магистрали, необходимо после окончания работы перекрывать входной кран или вентиль на подводящем трубопроводе сжатого воздуха перед клапаном.

**Манометры.** Давление в газо- и воздухопроводах чаще всего измеряют жидкостным (для небольших давлений от 0,1—100 кПа) и пружинным манометрами.

На рис. 12 показан U-образный жидкостный манометр, который измеряет разность давлений величиной столба жидкости

$$\Delta P = P_1 - P_2 = H\gamma, \quad (3)$$

где  $\Delta P$  — разность большего ( $P_1$ ) и меньшего ( $P_2$ ) давлений (перепад);  $H$  — разность уровней перемещения жидкости правого и левого колена манометра;  $\gamma$  — плотность рабочей жидкости манометра.

При измерении небольшой разности давлений в качестве рабочей жидкости в манометре используют воду, спирт, ртуть и т. п. Для удобства наблюдения и отсчета жидкость обычно подкрашивают.

**Расходомеры.** По принципу действия расходомеры подразделяют на две группы: 1) расходомеры, измеряющие поток газа, т. е. расход газа в единицу времени (реометры, ротаметры); 2) расходомеры, измеряющие общее количество прошедшего через них газа (счетчики расхода газа).

**Реометры.** Реометр (рис. 13) представляет собой стеклянный сосуд, измерительная часть которого состоит из трубки 2 с впаиваемой диафрагмой 3. Стеклянная трубка дифференциального жидкостного манометра 6 имеет в левой части внизу камеру расширения 1, а в правой наверху — камеру расширения 4, предотвращающую выплескивание рабочей жидкости при резком изменении давления газового потока. Стеклянные части реометра монтируют на деревянном штативе 5.

Принцип действия реометра следующий: диафрагма 3, создавая определенное сопротивление газовому потоку, вызывает местное увеличение скорости потока. За диафрагмой скорость потока снова уменьшается. В результате этого получается определенная разность давлений до диафрагмы и после нее. Измеряя эту разность манометром, определяют расход газа.

метром, определяют количество газа, протекающего через реометр в единицу времени. Поток газа, проходящий через реометр, определяется по шкале, отградуированной в  $\text{см}^3/\text{мин}$  или  $\text{л}/\text{мин}$ .

Для измерения расхода газа от  $10 \text{ см}^3/\text{мин}$  до  $10 \text{ л}/\text{мин}$  применяют реометр, дросселирующим органом которого вместо диафрагмы служит капиллярная трубка (рис. 14)

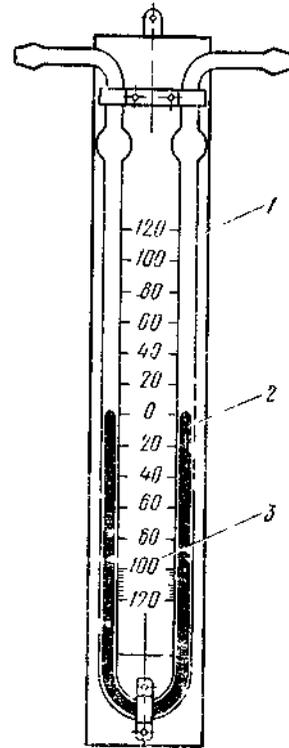


Рис 12 Жидкостный U-образный манометр  
1 — штатив, 2 — U-образная стеклянная трубка, 3 — шкала

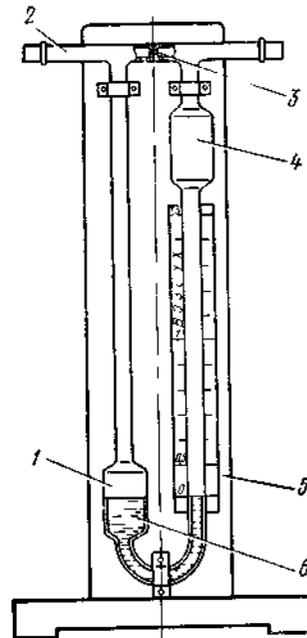


Рис 13 Реометр для измерения расхода газовых потоков

1 и 4 — камеры расширения, 2 — стеклянная трубка, 3 — диафрагма, 5 — штатив, 6 — дифференциальный жидкостный манометр

определенного диаметра и длины. Такие капилляры делаются как постоянные, наглухо впаивные, так и съемные, присоединение которых к трубке дифференциального манометра осуществляется резиновыми трубками. С помощью таких реометров производится измерения с

30

повышенной точностью в большом диапазоне расходов благодаря применению набора съемных капилляров различной величины.



Рис 14 Капиллярная трубка

Реометры периодически следует контролировать по следовательным подключением к газовым часам или градуировкой по эталонным реометрам

Ротаметры. Конструкция ротаметра (рис. 15) проще реометра. Он состоит из вертикальной, слегка конусной снизу стеклянной трубки 1 и поплавка 2 (из нержавеющей стали, алюминия, пластмассы, резины и т. д.), который свободно перемещается вдоль трубки. Газ

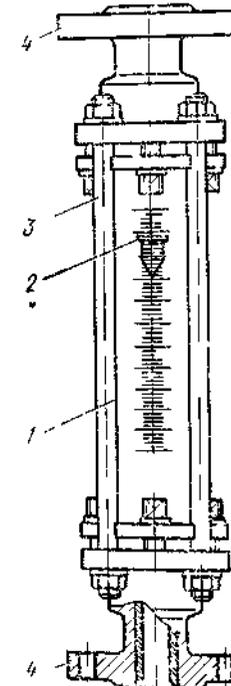


Рис 15 Ротаметр

1 — конусная стеклянная трубка, 2 — поплавок (показан условно в рабочем положении), 3 — корпус, 4 — присоединительные фланцы

через ротаметр пропускают снизу вверх. Расход газа фиксируется на шкале прибора положением верхнего торца поплавка по высоте трубки. Отсчет расхода газа производят по делениям, нанесенным на наружной поверхности трубки. Внутреннюю поверхность трубки пе-

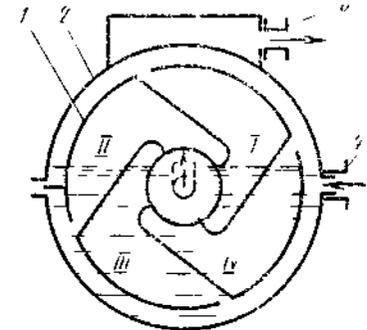


Рис 16 Счетчик расхода газа (газовые часы)

1 — барабан, 2 — корпус, 3 — верхний патрубок, 4 — горизонтальный патрубок, I, II, III, IV — камеры

риодически прочищают во избежание прилипания поплавок к стенкам трубки.

Счетчики расхода газа. Измерение общего количества газа, прошедшего через газопроводы, производят счетчиком расхода газа (газовыми часами). Он состоит из барабана 1, являющегося измерительным органом, и корпуса 2, в который заливается вода и устанавливается счетный механизм (рис. 16).

Лопасты барабана имеют изогнутую форму и делят внутреннюю полость на четыре камеры I, II, III, IV. Внутренний объем заполняется водой так, чтобы уровень ее располагался несколько выше оси прибора, при этом каждая из камер отделена от других гидравлическим затвором. Газ в камеры прибора поступает через горизонтальный патрубок 4, а выходит через верхний патрубок 3. Стрелка, насаженная на ось барабана, показывает количество газа, прошедшего через счетчик за время вращения барабана. Пропускная способность газовых часов — до 6 м<sup>3</sup>/ч.

#### Контрольные вопросы

1. Какие виды газообразного топлива вы знаете?
2. Назовите основные свойства горючих газов.
3. Перечислите основные типы газовых горелок.
4. Назовите контрольно-измерительную и газовую аппаратуру.

### ГЛАВА III

#### ДОПУСКИ, ПОСАДКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

##### § 11. ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ ДЕТАЛЕЙ. ДОПУСКИ И ПОСАДКИ

Взаимозаменяемыми могут быть самые разнообразные детали, которые при сборке занимают свои места в механизмах и машинах без каких-либо дополнительных операций механической или слесарной обработки, подбора или регулировки. Такие детали называются *полностью взаимозаменяемыми*.

Для деталей с неполной или ограниченной взаимозаменяемостью при сборке необходимы дополнительные работы по подбору или регулировке, но не требуется обработки.

При сборке входящих одна в другую сопрягаемых деталей различают охватывающую и охватываемую поверхности и соответственно охватывающий и охватываемый размеры (рис. 17).

Для того чтобы изделие отвечало своему целевому назначению, необходимо, чтобы его размеры выдерживались между двумя допустимыми предельными размерами, разность которых образует *допуск*.

Для удобства указывают номинальный размер детали, а каждый из двух предельных размеров определяют по его отклонению от этого номинального размера. Абсолютную величину и знак отклонения получают вычитанием номинального размера из соответствующего предельного размера.

При соединении двух деталей образуется  *посадка*, определяемая разностью их размеров до сборки, т. е. величиной получающихся зазоров или натягов в соединении. Посадка характеризует свободу относительного перемещения соединяемых деталей или степень сопротивления их взаимному смещению.

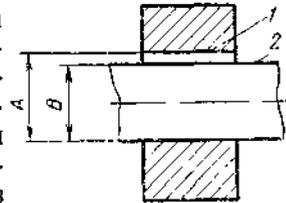


Рис 17. Соединение сопрягаемых деталей:

1 — охватывающая поверхность (отверстие); 2 — охватываемая поверхность (вал); A — охватывающий размер, B — охватываемый размер

##### § 12. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА И ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ

Контроль геометрических размеров деталей и узлов сводится к измерению длин (диаметры наружных и внутренних поверхностей, расстояние между поверхностями, плоскостями, осями, отклонения от правильной геометрической формы и др.) и углов.

Средства измерения можно разделить на меры, эталоны, калибры и универсальные измерительные средства.

*Меры* — это тела и устройства, непосредственно воспроизводящие единицу измерения. Меры могут быть с постоянным или переменным значением. К первым относятся концевые меры (плитки), ко вторым — штриховые меры (линейки, рулетки, микрометры, штангенциркули, глубиномеры и т. д.).

Плоскопараллельные концевые меры длины применяются для хранения и передачи единицы длины, для поверки и градуировки различных мер и приборов, для поверки калибров, а также для измерения размеров изделий и приспособлений для точных разметочных и координатно-расточных работ, для наладки станков и т. п.

Точные штриховые меры длины (шкалы) предназначены для шкал приборов, станков и машин, для непосредственного измерения линейных размеров.

*Эталоны* — образцовые меры и измерительные приборы, с помощью которых осуществляется воспроизведение и хранение единиц измерения, т. е. периодическая проверка используемых в работе измерительных средств.

*Калибры* — бесшкальные измерительные инструменты, предназначены для измерения деталей в пределах установленных размеров — наибольшего и наименьшего.

*Универсальные измерительные средства* — шкальные инструменты и приборы, с помощью которых можно определять различные значения измеряемых величин.

Универсальные измерительные средства делятся на штриховые нониусные инструменты (штангенинструменты), микрометры, рычажно-зубчатые, проекционные, пневматические, электрические приборы и др.

Измерительные инструменты подразделяются на инструменты непосредственного измерения и инструменты, измеряющие способом сравнения. При непосредственном (абсолютном) методе измерения определяют значение (отсчет) всей измеряемой величины, а при сравнительном (относительном) методе измерения определяют отклонения измеряемой величины от установочной меры (эталоны).

Разность между полученным при измерении значением и действительным значением измеряемой величины называется *погрешностью*, или *ошибкой измерения*, которая возникает вследствие несовершенства измерительных приборов (погрешность прибора), из-за несоблюдения условий, в которых производятся измерения (температура, чистота мерительных поверхностей), или в результате ошибок измеряющего и т. д.

Точность отсчета зависит от цены деления и интервала деления шкалы измерительного прибора.

*Цена деления шкалы* — это значение измеряемой величины, соответствующее одному делению шкалы.

*Интервал деления шкалы* — расстояние между осями (центрами) двух соседних штрихов.

Оптимальной считается шкала с интервалом деления 1—2,5 мм при ширине штриха 0,1 длины интервала. Отсчет показаний со шкал, имеющих более частые деления, производят с помощью оптического увеличения.

Для измерительных приборов важными являются такие параметры, как предел измерения и порог чувствительности.

*Пределом измерения* называют диапазоны измерения измеряемой величины, при котором показания прибора соответствуют определенным нормам

*Порогом чувствительности* называют то наименьшее изменение измеряемой величины, которое способно вызвать фиксируемое изменение показаний прибора.

### § 13. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ И ПРИБОРЫ

К измерительным инструментам относят штангенинструменты и микрометрические инструменты.

**Из штангенинструментов** наиболее распространены штангенциркули, штангенрейсмусы и штангенглубиномеры.

*Штангенциркули* с величиной отсчета по нониусу 0,02, 0,05 и 0,1 мм используют для измерения наружных и внутренних размеров. Основные части штангенциркуля: штанга с нанесенными на ней миллиметровыми делениями, имеющая неподвижную губку; подвижная рамка с губкой; нониус и механизм микрометрической подачи рамки. Штангенциркули изготовляют трех типов:

ШЦ-I — с двусторонним расположением губок — для наружных и внутренних измерений и с линейкой для измерения глубин; ШЦ-II — с двусторонним расположением губок — для измерения и разметки; ШЦ-III — с односторонними губками.

*Штангенрейсмусы* с величиной отсчета по нониусу 0,02, 0,05 и 0,1 мм предназначены для измерения высоты деталей, определения точности взаимного положения деталей по высоте и для разметки деталей.

*Штангенглубиномеры* с величиной отсчета по нониусу 0,02; 0,05 и 0,1 мм предназначены для измерения глубины и расстояний между двумя плоскостями до 500 мм.

**Микрометрические инструменты**, в первую очередь микрометры, дают возможность производить измерения с точностью 0,01 мм при непосредственных измерениях на-

ружных размеров деталей и узлов, а также при валадке других измерительных устройств.

**Микрометр** (рис. 18) состоит из следующих частей: скобы 1, в которой соосно расположены на одном конце неподвижная закаленная шлифованная пятка 2, а на другом — подвижный микровинт 4, между которыми зажимается измеряемая деталь 3. Чтобы получить одинаковую точность при измерении микрометром, необходимо всегда с одинаковой силой прижимать микровинт к измеряемому изделию — для этого служит механизм трещотки 7. Микровинт 4 имеет резьбу с мелким шагом (0,5 мм). С микровинтом вместе вращается отсчетный цилиндр (барабан) 6, внутри которого находится неподвижный цилиндр-стебель с продольной шкалой. Так как осевое перемещение среза отсчетного цилиндра (барабана) равно 0,5 мм, то шкала разделена на две части — на нижней указаны целые миллиметры, а на верхней — половинки. Средняя продольная линия на неподвижном цилиндре служит для отсчета сотых долей миллиметра. На барабане нанесена по окружности шкала с 50 делениями, цена каждого из них 0,01 мм.

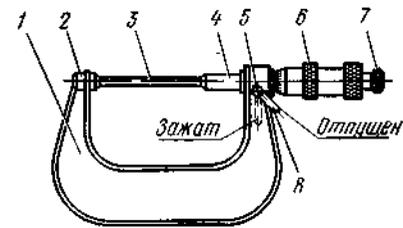


Рис 18 Микрометр с пределом измерения 75—100 мм:

1 — скоба, 2 — пятка, 3 — измеряемая деталь, 4 — микровинт, 5 и 8 — стопор, 6 — цилиндр (барабан), 7 — трещотка

Для закрепления микровинта в нужном положении имеется стопор 5. Для проверки микрометра предусмотрена так называемая установочная мера.

Часто применяют микрометры со вставками с ценой деления 0,01 мм: МВМ — для измерения среднего диаметра метрических и дюймовых резьб; МВТ (с шаровыми вставками) — для измерения среднего диаметра трапецеидальных резьб, а также для измерения фасонных деталей; МВП (с плоскими вставками) — для измерения деталей из мягких материалов.

**Микрометрические нутромеры** предназначены для измерения внутренних размеров.

**Микрометрическими глубиномерами** с ценой деления 0,01 мм и с верхними пределами измерений до 100 мм

пользуются для измерения глубины пазов, глубоких отверстий, высоты уступов и др.

Принцип измерения и работа с этими микрометрическими инструментами аналогичны описанному выше микрометру.

**Рычажно-механические приборы** — это большая группа разнообразных по назначению и конструкции приборов, имеющих сравнительно небольшие пределы измерения по шкале.

**Рычажные и индикаторные скобы** с ценой деления 0,01 мм предназначены для измерения наружных диаметров цилиндрических изделий сравнительным методом.

**Индикаторный нутромер** с ценой деления 0,01 мм служит для измерения внутренних размеров деталей машин.

**Индикаторные глубиномеры** с ценой деления индикатора 0,01 мм предназначены для измерения глубины пазов, отверстий, высоты уступов и т. д.

**Проекторы** — оптические измерительные устройства. Они широко применяются в производстве электронных приборов, так как позволяют производить контроль деталей с малыми размерами (аноды, катоды, подогреватели) с достаточной точностью.

Рассмотрим устройство проектора (рис. 19). Источник света 7 через два конденсатора — по-

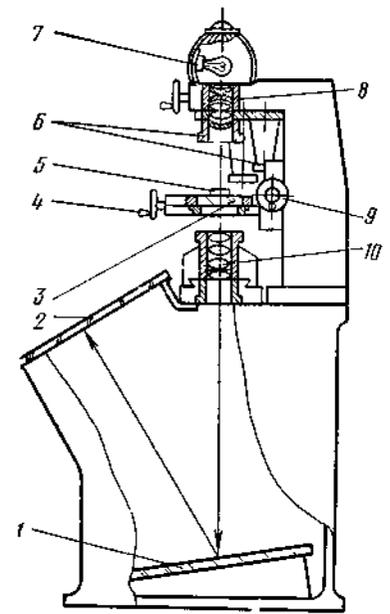


Рис 19. Общий вид (а) и упрощенная оптическая схема (б) проектора:

1 — зеркало, 2 — экран, 3 — предметный столик, 4 и 9 — маховички, 5 — измеряемая деталь, 6 и 8 — конденсоры, 7 — источник света, 10 — объект,  $X_1/X_2$  — кратность увеличения

стоянный 8 и сменный 6 — освещает рабочее поле, соответствующее необходимому коэффициенту увеличения. Чем больше увеличение, тем меньше рабочее поле, в которое должна укладываться измеряемая деталь 5. Тень от детали проектируется объективом 10 на зеркало 1, а оттуда — на экран 2. Изображение увеличивается в 10, 20, 50, 100 и 200 раз, соответственно уменьшается поле зрения.

Увеличенное изображение детали контролируют с помощью стальной линейки с делениями, специальных шаблонов или микровинтов, перемещающих измерительный столлик.

Под экраном проектора установлены две взаимно перпендикулярные струны, видимые на экране как тонкие линии. С помощью маховичков поперечного 4 или продольного 9 перемещений предметного столика 3 последовательно совмещают с одной из линий изображения двух точек детали, расстояние между которыми нужно измерить. Разность двух соответствующих показаний на шкалах микровинтов с точностью 0,001 мм и является измеряемой величиной.

Высокопроизводительными приборами для контроля размеров массовых деталей, например анодов для приемно-усилительных ламп, для которых недопустим контакт с измерительным инструментом, являются пневматические. Наиболее широко распространен *пневматический поплавковый длиномер* (рис. 20) с основным элементом стеклянной трубкой 4 с точной внутренней конусностью, в которой находится калиброванный поплавок 2. Подающийся в прибор с постоянным давлением воздух поднимает поплавок вверх, при этом увеличивается зазор между стенками трубки и поплавком до значения, при котором через трубку проходит (расходуется) нужное количество воздуха. Величина расхода воздуха зависит от условий на выходном сопле 5: чем меньше размер  $l$  детали 6, тем меньше расход, и наоборот. Перед работой прибор настраивают по эталонным деталям или специальным скобам (дюзам). За трубкой помещена шкала 3, на ней имеются два ограничителя 1, определяющие поле допуска годных по размеру деталей. Детали бракуются, если поплавок выходит за пределы нижнего и верхнего ограничителей.

Длиномер можно использовать не только для контроля раствора анодов, но и для калибровки внутренних

размеров (диаметра, конусности) стеклянных колб для сверхминиатюрных приемно-усилительных ламп. Точность измерения при этом составляет 0,001 мм.

**Приборы для контроля шероховатости поверхности.** Шероховатость поверхности часто имеет важное значение при подготовке деталей к сварке или пайке. Качество

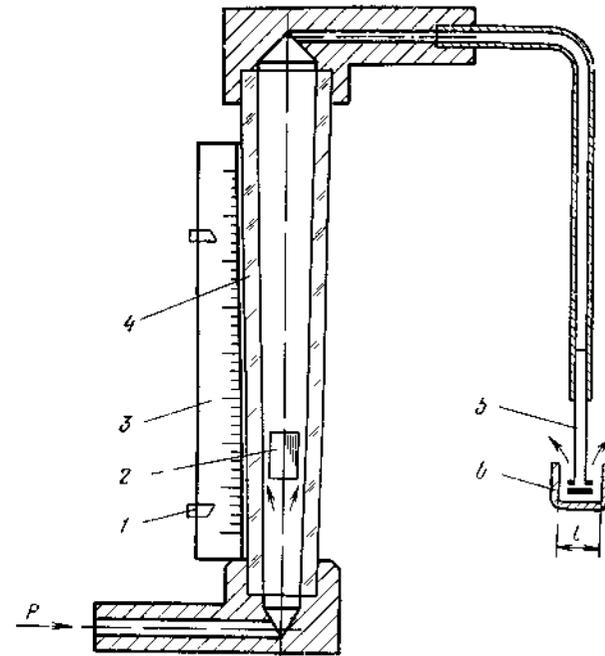


Рис. 20. Схема пневматического поплавкового длиномера:

1 — ограничитель, 2 — поплавок, 3 — шкала, 4 — стеклянная трубка, 5 — сопло, 6 — проверяемая деталь;  $l$  — размер детали

венная оценка проводится путем сравнения с образцом (эталоном шероховатости). Наборы этих эталонов обычно выпускают отдельными комплектами для каждого вида обработки.

Для повышения точности сравнения шероховатости поверхности детали с эталоном применяют специальные микроскопы (оптические устройства), которые обеспечивают увеличение от 15 до 200.

Количественная оценка осуществляется как с помощью профилографов и профилометров, так и с помощью

оптических устройств, использующих интерференционный метод (метод светового сечения). Этот метод основан на явлениях, возникающих при сложении световых лучей, имеющих разную длину пути (фазовые расхождения). Он применен в микроскопе МИС-11 (рис. 21).

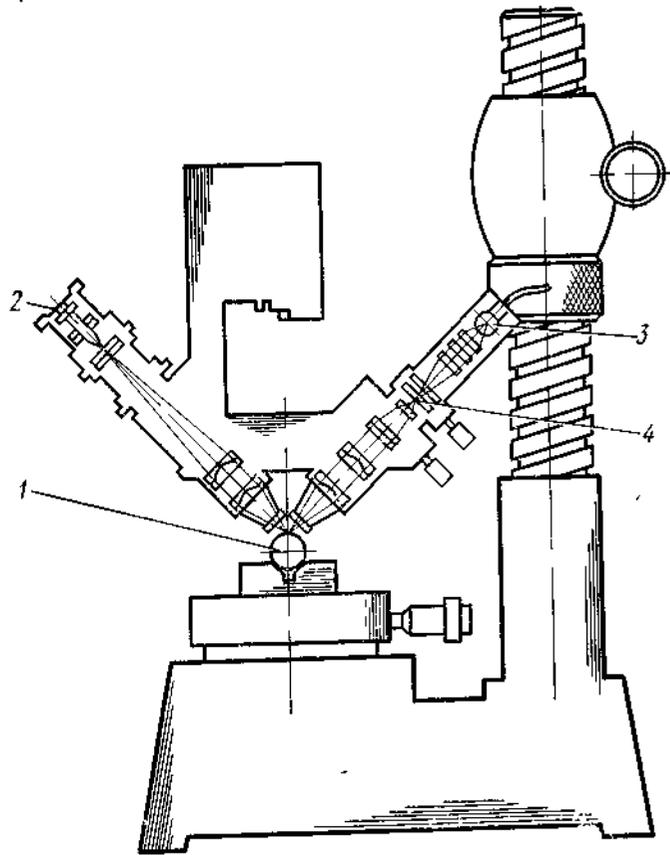


Рис. 21. Микроскоп МИС-11:

1 — объект, 2 — окуляр, 3 — источник света, 4 — диафрагма

Объект 1 освещается узким лучом, падающим под углом  $45^\circ$ . Узкий луч создается с помощью щелевой диафрагмы 4, находящейся перед источником света 3. Определение высоты микронеровностей производится путем непосредственного отсчета по шкале окуляра 2.  
За последнее время инструментальной промышленно-

стью начат серийный выпуск ряда приборов с применением механотронных преобразователей. Среди этих приборов следует отметить прежде всего профилометр 253, выпускаемый московским инструментальным заводом «Калибр».

В качестве контрольно-измерительных инструментов для линейных измерений широко применяются калибры нормальные и предельные, предназначенные для проверки обрабатываемых изделий (валов и отверстий). Нормальные калибры предназначены для проверки одного какого-либо размера и имеют один рабочий конец. Проверка размеров отверстий производится пробкой, а проверка наружных размеров (диаметров) кольцом или скобами. Проверка действительных размеров изделий, которые не должны выходить за пределы допускаемых, производится при помощи предельных калибров — пробок для отверстий и скоб для валов.

Предельный калибр сходен с нормальным и отличается от него тем, что имеет два рабочих конца, один из которых служит для измерения наибольшего (непроходной конец), а другой — наименьшего (проходной конец) предельного диаметра. Измерение диаметров наружных поверхностей производится при помощи предельных двусторонних скоб. Одна сторона служит для промера наибольшего (проходная сторона), а другая — наименьшего (непроходная сторона) предельного диаметра изделий.

При проверке размеров изделий предельными калибрами проходные калибры (Р-ПР) должны свободно проходить под действием собственной массы калибра, а непроходные калибры (Р-НЕ) не должны проходить. При этом должны соблюдаться условия, обеспечивающие правильность проверки, как-то: температура не должна значительно отклоняться от  $20^\circ\text{C}$ , измерительные поверхности должны быть чистыми от пыли и смазки, промер не должен производиться при нагретом состоянии изделия и т. п.

#### Контрольные вопросы

1. Что такое допуск и посадка?
2. Какие измерительные средства вы знаете?
3. Расскажите о методах измерения, измерительных инструментах и приборах
4. Как контролируется шероховатость поверхности?
5. Перечислите контрольно-измерительные инструменты для линейных измерений.

## ГЛАВА IV

### ОЧИСТКА ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ

#### § 14. НАЗНАЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ

Большое влияние на качество, надежность и долговечность электронных приборов оказывает чистота их деталей и узлов. Во время технологического процесса изготовления деталей для электронных приборов исходные материалы подвергаются механической обработке (штамповка, формовка и др.) с применением различных смазок, жидкостей, растворов, а также сварке, отжигу в различных средах, хранению и т. д. В результате этого на деталях обычно остается некоторое количество поверхностных загрязнений. К загрязнениям относятся любые вещества, имеющие химический состав, отличающийся от химического состава материала детали.

По способу связи с материалом детали, характеру и природе поверхностные загрязнения можно разделить на две основные группы. К I группе относятся загрязнения, приставшие к поверхности детали. Эти загрязнения находятся на поверхности, но не образуют с материалом детали химических соединений. К ним относятся:

механические — остатки шлифовальных и полировальных паст, пыль из окружающей среды, волокна от тары, ворсинки, окалина, абразивные частицы, мельчайшие металлические стружки, остатки графитовых смазок, рыхлые окислы;

неорганические — растворимые в воде соли, остатки растворов ванн травления, полирования и гальванических ванн, следы пота от прикосновения рук;

органические — пленки жира, масла, сала, воска, образующиеся при использовании различных смазок и эмульсий во время механической обработки деталей;

газообразные — адсорбированные инертные газы (растворенные) и образуемые летучими веществами.

Ко II группе относятся загрязнения, образующиеся в результате химического взаимодействия материала поверхности деталей с окружающей средой. Это окисные пленки — окислы, сульфиды, хроматы и т. д.

Наличие загрязнений на поверхности деталей приводит к ухудшению изоляционных свойств изоляторов, что служит причиной появления токов утечки.

Частицы пыли, волокна, ворсинки могут закоротить электроды и вызвать пробой или обуглиться с последующим выделением больших количеств газа, что приводит к ухудшению вакуума. Загрязнения вызывают изменение электрических характеристик поверхности деталей и их размеров, трудности при сварке деталей и появление посторонних частиц в готовых электронных приборах.

Если загрязнения (сера, хлориды и др.), которые в нормальном состоянии нелетучи, попадут на нагретый катод, работающий в вакууме, то они могут быть источником большого количества газа и пара в разреженной атмосфере электронного прибора и могут вызвать «отравление» (т. е. снижение эмиссии) катода за счет его быстрого разрушения при электронной и ионной бомбардировке и восстановлении окислов. Другие загрязнения могут оказывать влияние на такие электрические свойства, как контактный потенциал, вторичная эмиссия и т. д., так как вследствие своей летучести ухудшают вакуум внутри запаянного прибора.

Окислы (ржавчина, окалина и т. д.), пленки масла и жира на деталях препятствуют равномерному осаждению и прочному сцеплению осадков с материалами при химических и гальванических покрытиях.

В целях удаления всех видов загрязнений поверхность деталей электронных приборов, как правило, подвергают тщательной очистке, которая обычно состоит из двух операций: обезжиривания и травления.

Операцию обезжиривания производят в органических растворителях или щелочных растворах. При обезжиривании удаляют загрязнения, химически не связанные с материалом детали, при этом структура поверхности детали не нарушается.

Операцию травления производят в растворах серной, азотной, соляной кислот и их смесей с добавками солей, реже — в растворах щелочей. При травлении удаляются загрязнения, химически связанные с материалом детали, при этом нарушается структура поверхности и вместе с загрязнениями удаляются поверхностные слои материала детали.

Для удаления механических загрязнений применяют обдувку очищенным воздухом, окислительно-восстановительный (или только восстановительный) отжиг в водородной и ультразвуковую очистку.

Неорганические соединения, растворимые в воде, удаляют путем промывки деталей в проточной холодной или горячей деионизированной воде, циркулирующей по принципу противотока, с последующим ополаскиванием в ацетоне или спирте и сушкой теплым воздухом.

Газы освобождаются из деталей путем вакуумного отжига (обезгаживания) или термической обработки в водороде или в формирующем газе при повышенных температурах.

В производстве электронных приборов применяют следующие основные способы очистки деталей: химическую, электрохимическую и ультразвуковую.

Принципиальная технологическая схема этих способов одна и та же:

- 1) приготовление рабочих растворов для удаления загрязнений определенного вида;
- 2) обезжиривание деталей в холодном или горячем растворе или растворителях;
- 3) отмывка деталей проточной водопроводной водой от остатков раствора;
- 4) травление или полирование деталей;
- 5) отмывка с поверхности деталей остатков травильного раствора проточной водопроводной водой;
- 6) дополнительная промывка деталей водой на фонтанных устройствах или в ультразвуковых установках;
- 7) нейтрализация следов моющего раствора и пассивация поверхности деталей;
- 8) промывка деталей в дистиллированной или деионизированной воде;
- 9) обезвоживание деталей в ацетоне или спирте и обдувка теплым воздухом;
- 10) сушка деталей и контроль качества очистки.

На каждой операции технологического процесса должен соблюдаться принцип противотока, при котором детали движутся навстречу движению раствора или воды или последовательно погружаются в ванны с более чистым раствором.

#### § 15. ХИМИЧЕСКОЕ ОБЕЗЖИРИВАНИЕ В ЩЕЛОЧНЫХ СОСТАВАХ И ОРГАНИЧЕСКИМИ РАСТВОРИТЕЛЯМИ

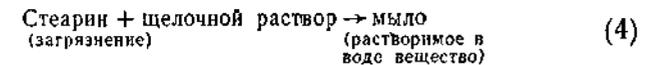
Все химические методы очистки деталей можно разделить на две основные группы:

1. Методы, основанные на применении химически активных жидкостей (кислот и щелочей) и электрохимических процессов, которые разрушают молекулы загрязне-

ний и одновременно воздействуют на материал самой детали.

2. Методы, основанные на применении нейтральных растворителей (бензина, трихлорэтилена, воды и др.), которые не разрушают молекул загрязнений, а благодаря сорбционной активности вытесняют их с поверхности в раствор, т. е. происходит замена органических веществ с более длинной углеродной цепочкой (например, масел) на органические вещества с более короткой цепочкой (например, бензин), которые, в свою очередь, легко удаляются при термической обработке детали.

**Химическое обезжиривание в щелочных составах.** Загрязнения в виде жирных кислот, жиров животного и растительного происхождения легко удаляются с поверхности деталей в горячих водных щелочных растворах, превращаясь при этом в растворимые в воде мыла:



В настоящее время применяют преимущественно минеральные смазочные вещества (технический вазелин, тавот) и минеральные масла (машинное, трансформаторное), которые не растворяются в щелочном растворе, а образуют масляную пленку (устойчивую эмульсию).

Для дробления и отрыва от поверхности деталей масляной пленки и перехода в щелочной раствор с образованием эмульсии необходимо резко снизить поверхностное натяжение на границе между пленкой и щелочным раствором. Для этой цели применяют поверхностно-активные вещества, или эмульгаторы, например мыла, лигнинсульфоновые кислоты, сиптанол ДС-10, препараты ОП-7 и ОП-10 и др.

При выборе щелочного состава и технологического режима исходят из того, что на качество обезжиривания влияют такие факторы, как щелочность раствора, температура, способ перемешивания, структура и геометрическая форма обезжириваемой поверхности, режим промывки и сушки деталей. Для обезжиривающих растворов щелочность рН должна быть в пределах 8,5—12. При рН ниже 8,5 химической реакции между щелочным раствором и жировым загрязнением не происходит, что затрудняет удаление жирных кислот и жиров растительного и животного происхождения. При рН выше 12 затрудняется действие поверхностно-активных веществ, что тормо-

злит разрушение и удаление жировой пленки, а также может вызвать образование оксидной пленки на металле, которая будет препятствовать в дальнейшем осаждению металлических покрытий. Наибольшую щелочность растворов имеют такие компоненты, как гидроксиды калия и натрия (KOH, NaOH) и силикаты ( $K_2SiO_3$ ). Наименьшей щелочностью обладают тринатрийфосфат ( $Na_3PO_4$ ) и сода ( $Na_2CO_3$ ).

С повышением температуры раствора улучшается качество обезжиривания. Происходит размягчение некоторых твердых веществ и снижается вязкость жиров, увеличивается скорость химических реакций, облегчается удаление загрязнений и смываемость щелочных растворов. Практика показывает, что температура обезжиривающих растворов не должна превышать  $70^\circ C$ , а концентрация щелочного раствора — 15%, чтобы не повышалась вязкость слоя жидкости.

Механическое перемешивание растворов (сжатым воздухом, мешалками, качанием корзин, вращением в барабанах и т. д.) способствует быстрому разрушению (разрыву) жировой пленки и защищает поверхность деталей от выпадения на них различных осадков. Раствор в ванне необходимо постоянно очищать от всплывших на его поверхность жиров.

После обезжиривания в щелочных растворах с добавкой ОП-7 и ОП-10 детали нужно тщательно промывать сначала горячей, а затем холодной водой. Качество обезжиривания оценивается по смачиванию поверхности металла водой. При хорошем обезжиривании вода покрывает металл сплошной пленкой. Во избежание коррозии не рекомендуется влажные детали оставлять длительное время на воздухе. Сушка проводится в два этапа. На первом этапе детали обезвоживаются путем последовательного погружения в несколько ванн с ацетоном или этиловым спиртом; второй этап — окончательная сушка в электрических шкафах при температуре  $100-150^\circ C$  или в вытяжных шкафах под зеркальносушильными лампами с инфракрасным излучением. В последнее время применяют вакуумную сушку, которая обеспечивает быстрое и равномерное удаление следов влаги в вакуумных шкафах с разрежением порядка  $1,33 \cdot 10^2 - 39,9 \cdot 10^2$  Па.

Обработка в щелочных растворах применяется для обезжиривания колб металлических ламп, наружных и других менее ответственных деталей.

Растворы для химического обезжиривания содержат щелочь (едкий натр или едкое кали), легко гидролизующиеся соли щелочных металлов (кальцинированный соду, тринатрийфосфат, жидкое стекло). В таких составах омыляются, эмульгируются и разрушаются жиры и минеральные масла.

Обезжиривание деталей из нержавеющей и легированной стали, цветных металлов и сплавов никеля, кобальта, молибдена, вольфрама и других производят в растворах, указанных в табл. 2.

Таблица 2. Составы растворов для обезжиривания деталей

Состав раствора, г/л	Вариант раствора					
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
Едкий натр или едкое кали	10	—	—	20—30	—	—
Тринатрийфосфат	10	30	5—10	—	30—35	20—25
Сода	20	—	5—10	30—50	20—50	20—25
Жидкое стекло	25—50	—	25—50	3—5	5—10	—
Поверхностно-активные вещества ОП-7, ОП-10 или снитанол	2	3	1—3	5—7	3—5	5—7

Растворы № 1, 2 и 4 используют для обезжиривания стали и других черных металлов, растворы № 3 и 5 — для цветных металлов и сплавов, № 6 — для алюминия и его сплавов. Полированные изделия рекомендуется обезжиривать в растворах № 4, 5 и 6.

Продолжительность обезжиривания деталей зависит от характера и степени загрязнения, состава раствора.

**Обезжиривание органическими растворителями.** Детали перед обезжириванием и отжигом подвергают обезжириванию для удаления с поверхности растительных и животных жиров, а также остатков минеральных масел. В противном случае вследствие термического разложения указанных загрязнений на поверхности этих деталей может образоваться углерод. Кроме того, очистка поверхности вызывается тем, что во время работы прибора может происходить разложение загрязнений под воздействием нагрева или электронной бомбардировки, приводящее к ухудшению вакуума и работоспособности прибора.

Все детали перед их сваркой или нанесением химических и гальванических покрытий также подвергают обезжириванию.

Обезжиривание органическими растворителями основано на том, что растворитель занимает место загрязнения на поверхности детали, вытесняя его, а сам потом легко испаряется при сушке и отжиге детали. Обычно растворитель образует однородную смесь и раствор с загрязнением, которое он растворяет.

Органические растворители не удаляют твердых загрязнений (пыли, остатков шлифовальных и полировальных паст, копоти и т. д.), хуже удаляют остатки мыльных растворов и мыльных эмульсий, применяемых при механической обработке.

Не рекомендуется обезжиривать влажные детали, так как влага вызывает разложение большинства органических растворителей.

Для обезжиривания деталей электронных приборов применяют органические растворители.

*Трихлорэтилен*  $\text{CHCl}_2\text{—CCl}_2$  используют для обезжиривания деталей из никеля, железа, меди, молибдена, вольфрама и их сплавов. Плотность его 1,465—1,471 кг/м<sup>3</sup>, пределы кипения — 85—88°С. Трихлорэтилен хорошо растворяет жиры, смазки, лаки, краски, смолы, ацетилцеллюлозу, не горит и невзрывоопасен. К недостатку трихлорэтилена относится его способность к разложению под действием влаги, солнечных лучей, температуры выше 125°С, кислорода воздуха и при контакте с кислотами, щелочами, щелочными щелочноземельными металлами — калием, натрием, барием, стронцием, кальцием, а также с магнием и алюминием (алюминированное железо, алюминированный никель). При этом образуется свободная соляная кислота, а при повышенной температуре (>125°С) — фосген — ядовитое вещество. Нельзя обезжиривать детали в разложившемся трихлорэтилене, так как продукты разложения вызывают коррозию деталей, оборудования и аппаратуры.

Для предохранения трихлорэтилена от разложения (для стабилизации) в него вводят небольшое количество специальных добавок диэтиламина (70 мл на 100 л трихлорэтилена), который связывает образующуюся соляную кислоту, или уротропина (1 г на 100 л). Стабилизированный трихлорэтилен должен иметь щелочную реакцию, т. е.  $\text{pH} = 7$ .

Для обезжиривания деталей из алюминированного железа и алюминированного никеля применяется *тетрахлорэтилен*  $\text{CCl}_2\text{—CCl}_2$ , обладающий большей устойчивостью, чем трихлорэтилен.

В последнее время широкое распространение находит *фреон-113*  $\text{Cl}_2\text{C—CF}_3$  (трихлортрифторэтан), который обладает лучшей растворяющей способностью, чем трихлорэтилен.

*Ацетон, бензин, бензол, петролейный эфир* применяют для очистки слабозагрязненных деталей, удаления небольших количеств жировых загрязнений и пленок лака, смолы и т. д., а также для обезжиривания щелочноземельных металлов.

#### § 16. УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ОБЕЗЖИРИВАНИЕ

Принцип ультразвукового обезжиривания основан на механическом действии ультразвуковых волн на загрязнение, находящиеся на поверхности деталей.

Установка для ультразвукового обезжиривания обычно состоит из трех основных узлов: высокочастотного генератора, преобразователя электрической энергии генератора в механическую энергию ультразвуковых волн и ванны или сосуда.

Применяют ультразвуковые генераторы различных систем: УЗГ-10; УЗГ-2,5; УЗГ-1 и др. Генераторы предназначены для создания электромагнитных колебаний ультразвуковой частоты обычно в диапазоне 18—25 кГц.

Для преобразования высокочастотного электрического тока в высокочастотные механические колебания жидкости применяют чаще всего магнитострикционные вибраторы (излучатели) с высокой частотой колебания.

На рис. 22 показана схема ультразвуковой ванны с магнитострикционным преобразователем, рассчитанная для работы на частотах 18—36 кГц. Ванна состоит из резервуара 2, который служит для охлаждения укрепленного на его дне двухстержневого магнитострикционного вибратора 3. Над вибратором устанавливается специальный стакан 1 с деталями и промывочной рабочей жидкостью.

На рис. 23 представлена схема широко применяемой полуавтоматической ультразвуковой установки для очистки деталей ЭВП. Установка конвейерного типа включает в себя ультразвуковой генератор УЗГ-10 М и установку регенерации трихлорэтилена УР-2.

Ванны 2, 3, 6, 7, 8, 9 — изготовлены из нержавеющей

стали. В их днищах смонтированы магнитоэстрикционные преобразователи ПМС-6М.

Ванны 2 и 3 наполняют горячим трихлорэтиленом до уровня переливных карманов. Непрерывную перегонку отработанного трихлорэтилена из этих ванн осуществляет установка УР-2.

Ванну 6 наполняют моющим раствором, для приготовления которого в горячей водопроводной воде растворяют тринатрийфосфат из расчета 30 г/л и поверхностно-активное вещество синтанол ДС-10, ОП-7 или ОП-10 из расчета 5 г/л.

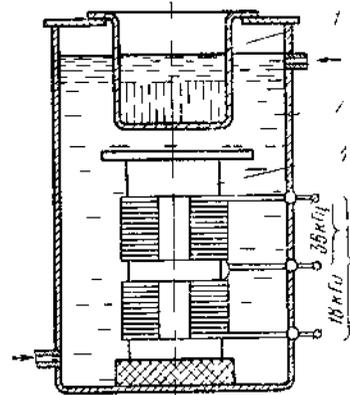


Рис 22 Схема ультразвуковой ванны с магнитоэстрикционным преобразователем:

1 — стакан, 2 — резервуар, 3 — вибратор

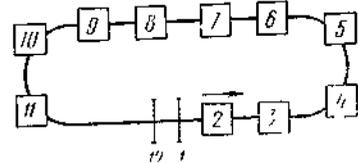


Рис 23 Схема полуавтоматической ультразвуковой установки для очистки деталей

1 — загрузка, 2 и 3 — ванны для очистки в горячем трихлорэтилене, 4, 5, 10 и 11 — сушка, 6 — ванна для очистки в щелочном растворе, 7 — ванна с душем, 8 — ванна с горячей водой, 9 — ванна с дистиллированной водой, 12 — разгрузка

Ванна 7 оборудована душем с подачей горячей водопроводной воды для отмычки деталей от моющего раствора.

Ванны 8 и 9 заполнены соответственно горячей водопроводной и дистиллированной водой с температурой в пределах 45—60° С.

Обрабатываемые детали загружают в специальные корзины из нержавеющей стали с сетчатым дном и закрывают крышкой. Корзины по конвейеру перемещают с позиции на позицию С помощью пневмоцилиндра корзина опускается поочередно в каждую ванну.

Сушка деталей производится на позициях 4, 5, 10 и 11 очищенным воздухом, выходящим из калориферов с температурой 120—125° С.

Скорость осушающего воздуха должна быть не ниже 3,6 м/с для сушки деталей после промывки в воде и 2,6 м/с для сушки деталей после промывки в трихлор-

этилене. Проверку скорости воздуха производят с помощью анеометра.

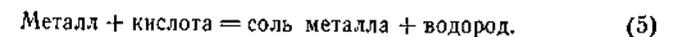
Время обработки деталей на каждой позиции 3 мин. Производительность — 30 корзин в смену.

## § 17. ХИМИЧЕСКОЕ ТРАВЛЕНИЕ. СОСТАВЫ ТРАВИЛЬНЫХ РАСТВОРОВ

Химическим травлением называется процесс очистки поверхности деталей от загрязнений, образовавшихся путем химического превращения слоев металла. Эти загрязнения представляют собой в основном продукты коррозии (окалина, окислы, ржавчина и др.), которые удаляют путем частичного растворения поверхности химическим или электрохимическим способом.

Химическое травление производят в растворах серной, азотной, соляной кислот и их смесей с добавками солей или в расплавах этих соединений, реже — в растворах щелочей.

Кислота и особенно ее пары (образующиеся при нагревании травящего раствора) через поры и неоднородности в слое окисла проникают к поверхности металла. Между металлом и кислотой происходит химическая реакция.



Кислота и ее пары по мере разрыхления и растворения окисла получают все больший доступ к поверхности металла и интенсивно его растворяют. Выделяющийся при этом водород разрыхляет слой окисла, уменьшает силы сцепления его с поверхностью детали и повышает скорость растворения окисла. Но одновременно водород проникает (диффундирует) в металл и вызывает водородную хрупкость и снижение его механической прочности.

Скорость растворения металла обычно больше скорости растворения окисла — это основной недостаток травления в кислотных растворах. Поэтому составы травильных растворов и режимы травления подбирают так, чтобы создать условия, при которых удаление с поверхности деталей окислов не сопровождается заметным растворением и потерей самого металла детали.

Для уменьшения контакта травящего раствора с металлом, замедления скорости растворения металла, а также для предотвращения перетравливания основного металла в травильные растворы добавляют специальные

вещества — ингибиторы травления (уротропин, уникол, МН-10, ПБ-5, сульфошлам, ЧМ, КС, ПЖ и др.).

Травление деталей производят после их тщательной очистки от жиров, масел и других загрязнений, чтобы обеспечить лучший контакт травящего раствора с поверхностью.

Скорость растворения окислов зависит от выбора кислоты и ее концентрации. Так, при одинаковой концентрации окислы лучше растворяются в соляной, чем в серной кислоте.

Скорость травления возрастает с повышением температуры травильного раствора. При этом увеличивается скорость химической реакции между окислами и кислотами.

Перемешивание и циркуляция травильного раствора лучше обеспечивают его контакт с окислами, что увеличивает скорость их растворения. После травления детали промывают в горячей, а затем в дистиллированной воде и обязательно обезживают в спирте или ацетоне, так как присутствие на деталях влаги может вызвать их окисление во время сушки, особенно при повышенной температуре.

Выбор состава раствора (табл. 3) для химического травления зависит от материала детали, степени окисления и толщины снимаемого слоя металла.

Для химического травления вольфрамовых прутков и проволоки применяют горячий раствор, состоящий из

Таблица 3. Составы растворов для химического травления некоторых металлов

Металл	Состав раствора
Вольфрам	HF + HNO <sub>3</sub> или NaNO <sub>2</sub> (горячий раствор)
Молибден	Расплавленный KOH с добавлением 10% NaNO <sub>2</sub>
Тантал	HF или расплавленный KOH
Платина	Горячая «царская водка» (3 объема HCl + 1 объем HNO <sub>3</sub> )
Никель	30—50%-ная HNO <sub>3</sub> , HCl, CH <sub>3</sub> COOH
Железо	15—20%-ная HCl или 10—20%-ная H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Титан	HCl, HF, 40%-ная H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Алюминий	10—20%-ный горячий раствор NaOH с последующим осветлением в 20%-ной HNO <sub>3</sub>

200 мл дистиллированной воды, 500 мл азотной и 300 мл серной кислоты. Для улучшения спая вольфрамовых деталей со стеклом их пассивируют в растворе хромового ангидрида для образования окисной пленки.

Травление хромоникелевых сталей и сталей с присадкой молибдена производят в растворе, содержащем по 100 г/л серной и плавиковой кислот, без подогрева.

Травление платинитовых выводов сверхминиатюрных ламп производят в растворе, содержащем 300 г хлористого аммония, 1 л дистиллированной воды и 20 мл соляной кислоты (чаще применяют 20—30%-ный раствор лимонной кислоты).

Химическое травление деталей из стали, меди, кобальта, вольфрама, молибдена, никеля, а также вытравливание молибденовых и стальных сердечников из вольфрамовых нагревателей производят в смеси муравьиной кислоты, перекиси водорода и дистиллированной воды в соотношении 1:1:1 с продолжительностью травления 5—10 мин. Смешивают муравьиную кислоту и перекись водорода непосредственно перед травлением.

Химическая очистка поверхности деталей из нихрома от графита и окислов осуществляется в травильном растворе 40%-ной соляной кислоты, на 1 л которого добавляют 25 г двуххромовокислого калия. Температура травления 60—70°С.

Тонкие пленки окислов титана удаляют в 3%-ной соляной или 2%-ной плавиковой кислоте, в которую добавляют небольшое количество азотной кислоты с целью уменьшения наводороживания титана.

Мелкие молибденовые детали (крючки, подвески, отрезки, испарители и др.) травят в растворе азотной кислоты в течение 20—40 с, а затем после промывки в растворе серной кислоты в течение 10—20 с.

Для химического травления помимо кислот применяют также щелочи, но значительно реже.

Так, для травления алюминия применяют 20—25%-ные щелочные растворы едкого натра или едкого кали с продолжительностью травления 2—3 мин с подогревом до 60—70°С.

Для нейтрализации остатков щелочи и создания на поверхности алюминиевых деталей тонкой окисной пленки производят пассивирование азотной кислотой.

Для травления мелких вольфрамовых деталей (испарители, спирали, крючки, пружины и др.) применяют го-

рячую 10—20%-ную щелочь с целью снятия окислов, масла и графита, а затем обрабатывают в кипящей смеси, состоящей из 4 объемов азотной кислоты, 1 объема серной и 2 объемов воды в течение 10—15 мин.

#### § 18. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА. СОСТАВЫ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

Электрохимическая очистка имеет ряд преимуществ перед химической: процесс травления становится управляемым; увеличивается скорость травления; скорость травления и температура меньше зависят от состава травильных растворов; улучшается качество очистки; возможно травление хромистых нержавеющей сталей, которые не поддаются химическому травлению; снижается расход химических материалов.

В основе электрохимической очистки лежат процессы электролитической диссоциации и электролиза. Очищаемые детали подвешивают или подсоединяют к одному из электродов: аноду или катоду, которые погружены в раствор кислоты или щелочи.

При катодной очистке (когда деталь подвешена на катод) можно затормозить растворение металла и таким образом обеспечить более полное растворение окислов (за счет выделяющегося водорода, который восстанавливает окисел металла).

Катодной очистке подвергают детали из углеродистой стали, кобальта, вольфрама, молибдена, сплава Н47ХБ, цветных металлов, которые не боятся хрупкости вследствие наводораживания. Для получения хорошего качества и избежания хрупкости катодную очистку производят при больших плотностях тока с продолжительностью не более 3 мин.

При анодной очистке (когда деталь подвешена на анод) скорость растворения металла возрастает, так как кроме самопроизвольного добавляется анодное растворение. В этом случае удаление окислов происходит вследствие их химического растворения в электролите и отслоения пузырьками выделяющегося кислорода.

При анодной очистке одновременно с удалением загрязнений происходит частичное растворение металлов, а также увеличивается вероятность его окисления за счет выделяющегося кислорода.

Для исключения недостатков как катодной, так и анодной очистки применяется реверсивный ток, при кото-

ром детали сначала очищаются на катоде, а затем на аноде.

Процесс очистки с применением реверсивного тока обеспечивает высокую скорость, уменьшает вероятность перетравливания и наводораживания деталей и устраняет возможность появления у последних хрупкости.

Поверхностно-активные вещества ОП-7 и ОП-10 позволяют ускорить электрохимическую очистку и производить ее с применением переменного тока без увеличения продолжительности процесса.

Для предотвращения образования пены на поверхности электролита в него иногда добавляют 0,02—0,04 г/л пеногасителя — силоксана.

Следует отметить недостатки электрохимической очистки: необходимость применения специального электрооборудования для питания ванн электрическим током; вероятность наводораживания деталей; трудность и неравномерность очистки сложнопрофилированных деталей с малыми диаметрами внутренних плоскостей; изменение в процессе работы концентрации отдельных компонентов электролита (щелочи и соды); вероятность диффундирования в очищаемую деталь примесей хлора, серы, сурьмы, фосфора и др.

Для электрохимического обезжиривания деталей применяют те же вещества, что и для химического (соду, тринатрийфосфат, ОП-7, ОП-10 и др.). Применение щелочей (едкое кали и едкий натр) значительно повышает электропроводность электролита.

При электрохимическом обезжиривании обычно применяют катодную очистку.

Для электрохимического травления вольфрамовых и молибденовых выводов и проволок применяют 20—25%-ный раствор щелочи при температуре 70—80°С в течение 45—60 с. Плотность тока подбирают опытным путем. Тонкие проволоки травят только при переменной полярности во избежание перетравливания.

Электрохимическое травление молибдена производится в 60%-ном растворе серной кислоты. В этом случае применяется катодная очистка.

Для электрохимического травления применяют стальные ванны, футерованные изнутри кислотостойкими материалами (винилпластом, резиной, хлорвиниловым пластиком), керамические или стеклянные. Ванны снабжают катодными и анодными штангами, к которым подключа-

ют очищаемые детали. Иногда очищаемую деталь зажимают алюминиевыми или медными щипцами (или другими специальными контактными приспособлениями), соединенными гибкими проводами с источником тока (анодом или катодом), и погружают в электролит.

### § 19. ПОЛИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ

Полирование производят для удаления окислов, загрязнений, различных заусенцев, шероховатости с целью получения поверхности с пониженным коэффициентом излучения (уменьшение тепловых потерь) или для увеличения отражательной способности.

Полирование осуществляется механическим\*, химическим и электрохимическим способами.

**Химическое полирование** — результат взаимодействия полирующего раствора с материалом детали. Поверхность металла или сплава, находящегося под слоем окисла, обладает большей или меньшей шероховатостью, т. е. состоит из отдельных выступов и впадин. Поэтому растворение и удаление окислов на выступах происходит быстрее, чем в углублениях, за счет диффузии ионов металла от выступов в раствор и свежего раствора к выступам, что приводит к сглаживанию поверхности детали без изменения ее формы.

Химическое полирование по сравнению с электрохимическим способом не требует применения сложного оборудования, источника постоянного тока и контактов, позволяет полировать детали сложной формы и любых размеров и более производительнее.

К недостатку химического способа полирования относится сравнительно небольшой срок службы травильного раствора и малый коэффициент отражения отполированной поверхности.

**Электрохимическое полирование.** Сущность электрохимического полирования заключается в пропускании постоянного тока через электролит, в котором подвешена на аноде полируемая деталь. В результате анодного растворения металла удаляются микроскопические выступы на поверхности детали, заусенцы, различные по-

\* О механическом полировании подробно будет рассказано в гл. VII.

верхностные аморфные пленки и обеспечивается более высокий коэффициент отражения, а также хорошее сцепление поверхности с гальваническими и другими покрытиями.

Для электрохимического полирования применяют электролиты, способные к образованию на деталях вязкой пленки с большим поперечным электросопротивлением в местах впадин и с меньшим на выступах, что приводит к растворению выступов с большей скоростью, чем впадин, и тем самым обеспечивается сглаживание поверхности.

Электрохимическое полирование деталей обычно производят в ванне (изготовленной из винипласта, керамики, стекла или стальной гуммированной), куда помещают анод (на котором подвешивают или закрепляют в специальном приспособлении деталь) и катод и заливают электролит.

Для предупреждения химического разъедания поверхности полируемых деталей при отсутствии электрического тока в электролит вводят присадки: глицерия, эфиры, различные ингибиторы в виде лимонной или уксусной кислоты, которые снижают электропроводность вязкой пленки и позволяют получать блестящую поверхность на деталях при меньших плотностях тока. Для этой же цели добавляют в электролит хромовый ангидрид.

Для приготовления электролитов применяют концентрированные серную и фосфорную кислоты, для улучшения электропроводности добавляют небольшое количество дистиллированной воды, что позволяет снизить напряжение и уменьшить время полирования.

Для полирования никелевых деталей применяют электролит, содержащий 60—70 мас. % серной кислоты и 30—40 мас. % воды, при температуре 40—50°С в течение 30—60 с и плотности тока 0,4 А/м<sup>2</sup>.

Алюминиевые детали полируют в растворе, содержащем 15% углекислого натрия, 5% фосфата натрия, при температуре 80°С и начальной плотности тока 0,05—0,06 А/м<sup>2</sup>, которая затем падает до 0,02—0,03 А/м<sup>2</sup> по мере образования пленки на поверхности детали. Продолжительность процесса 5—8 мин.

После полирования детали нейтрализуют в 5—20%-ном растворе соды, промывают в проточной холодной и горячей воде и сушат.

Кристаллическая структура поверхности металлов при электрохимическом полировании остается неизменной в отличие от механической. В то же время при электрохимическом полировании происходит сглаживание острых углов, так как плотность тока на остриях детали значительно больше, чем на остальной поверхности, что приводит к более быстрому растворению острых углов.

#### § 20. ОЧИСТКА ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫМ ОТЖИГОМ

Окислительно-восстановительный отжиг является эффективным способом очистки поверхности металлических деталей от жировых загрязнений и производится в два этапа.

Первый этап — окислительный отжиг (окисление) деталей при температуре от 400 до 600°C в течение 5—15 мин. При этом образующиеся окислы металлов являются катализаторами окисления органических соединений.

Перед окислением детали подвергают обработке в горячей или кипящей дистиллированной воде для удаления различных солевых загрязнений, чтобы исключить после сушки возможность образования на поверхности деталей различных белесых пятен.

Окисление обычно проводят в муфельных или конвейерных печах с достаточно хорошим доступом воздуха к деталям, так как при неполном сгорании жировых загрязнений происходит образование малолетучих смолистых веществ.

Второй этап — восстановительный отжиг в водородных электропечах, проводимый при температуре от 500 до 1000°C в течение 5—10 мин для полного восстановления окислов металла и удаления летучих продуктов разложения жировых загрязнений.

Для окислительно-восстановительного отжига подбирают температуру и продолжительность процесса определяется характером материала, толщиной детали и степенью загрязненности.

Весьма эффективен способ очистки деталей путем отжига в вакууме, при этом происходит разложение поверхностных загрязнений и удаление ранее поглощенных газов. Вакуумный отжиг по продолжительности

является более длительным, чем отжиг в водороде, за счет большего времени на откачку, медленного разложения окислов и охлаждения деталей. Обычно вакуумный отжиг применяют для таких металлов, как тантал, титан, цирконий и их сплавы, так как они образуют с водородом химические соединения.

#### § 21. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ОЧИСТКИ ДЕТАЛЕЙ

Поверхности деталей с крупными частицами загрязнений, механической деформацией, а также поверхностно-структурными изменениями контролируют с помощью микроскопов МБС-1, М1, шатографа или часового проектора.

Практически обнаружение следов органических загрязнений (жиров и масел) на поверхности деталей производят методами «водяной пленки» и «распыления».

Метод «водяной пленки» заключается в погружении контролируемой детали в сосуд с дистиллированной водой, переливающейся через край сосуда. Вынимают деталь из сосуда в вертикальном положении. Оценкой хорошей очистки деталей от жиров и масел является хорошая смачиваемость их поверхности водой.

При методе «распыления» испытываемую поверхность детали опрыскивают тонкой струей дистиллированной воды из пульверизатора. При отсутствии загрязнений капли будут смачивать поверхность и покрывать ее сразу непрерывным слоем водяной пленки. Там, где есть загрязнения, распыленные капли не будут смачивать поверхность и покрывать ее, а останутся в виде разрозненных капель, как бы в виде сыпи.

Загрязненность деталей минеральными маслами проверяют с помощью кварцевой лампы, дающей ультрафиолетовое облучение, под действием которого остатки минеральных масел флюоресцируют (с излучением видимого света).

В последнее время для проверки очистки деталей широко применяют прибор ПИЧ-1. Он предназначен для оценки количества микрозагрязнений на простых и фасонных поверхностях металлических изделий в пределах  $10^{-6}$ — $10^{-9}$  г/см<sup>2</sup> в лабораторных и заводских условиях.

### Контрольные вопросы

- 1 Для чего нужна очистка деталей?
- 2 Какие методы очистки деталей вы знаете?
- 3 Расскажите о химической очистке деталей.
4. Расскажите, в чем заключается принцип ультразвуковой очистки деталей.
5. С какой целью применяется травление деталей? Приведите примеры составов травильных растворов
6. В чем заключается процесс травления?
7. Для чего нужно полирование деталей?
8. Что такое электрохимическая очистка?
9. Какие способы контроля качества очистки деталей вы знаете?

## ГЛАВА V

### ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ И ПОНЯТИЯ ВАКУУМНОЙ ТЕХНИКИ

#### КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ. ВАКУУМНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

#### § 22. ВАКУУМ. ГАЗ. ПАР. ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ГАЗОВ

Законы и понятия вакуумной техники определяют состояние и поведение газообразных веществ в условиях пониженного давления, т. е. в вакууме.

*Под вакуумом* следует понимать такое состояние газа, при котором его давление ниже атмосферного.

Существующие в природе вещества состоят из мельчайших частиц — молекул, которые, в свою очередь, состоят из более мелких частиц — атомов. Молекула — это наименьшая частица вещества, которая может существовать самостоятельно и обладает при этом всеми свойствами данного вещества.

Молекулы любого вещества находятся в непрерывном хаотическом движении и связаны между собой силами сцепления. От величины сил сцепления молекул зависит состояние вещества: твердое, жидкое или газообразное.

В твердых веществах молекулы совершают колебательные движения, в жидкостях они движутся поступательно, непрерывно меняя направление движения, а в газообразных веществах молекулы перемещаются сво-

бодно в любых направлениях и занимают весь предоставленный им объем.

Все газообразные вещества в зависимости от температуры могут быть газом и паром. *Критическая температура вещества* есть такая температура, выше которой оно может находиться только в газообразном состоянии. Газообразное вещество называется *газом*, если его температура выше критической, *паром* — если его температура ниже критической. В табл. 4 даны критические температуры некоторых газообразных веществ.

Таблица 4. Критические температуры некоторых веществ

Вещество	Критическая температура, °C	Вещество	Критическая температура, °C
Азот . . . . .	-147	Двуокись углерода . . . . .	+31
Кислород . . . . .	-118	Вода . . . . .	+365
Водород . . . . .	-241	Железо . . . . .	+3700

При комнатной температуре (+20° C) азот, кислород, водород являются газами, а двуокись углерода к газам отнести нельзя, так как ее критическая температура почти равна комнатной. Если нагреть воду или железо до температуры выше критической, мы получим пар водяной или пар металла.

Непрерывное хаотическое движение молекул зависит от температуры вещества и называется поэтому *тепловым*.

*Давлением газа P* называется усилие, которое оказывают молекулы газа на 1 см<sup>2</sup> стенки замкнутого объема в течение 1 с. Оно зависит от массы и тепловой скорости движения молекул и определяется по формуле

$$P = \frac{1}{3} N m v^2, \quad (6)$$

где *N* — число молекул газа в единице объема; *v* — скорость теплового движения молекул газа; *m* — масса молекулы газа.

Число ударов молекул газа в единицу времени о единицу поверхности объема  $A$  определяется по формуле

$$A = \frac{Nv}{4}, \quad (7)$$

где  $N$  — число молекул газа в единице объема;  $v$  — скорость теплового движения молекул газа.

**Основное уравнение состояния газов.** Состояние газов определяется тремя параметрами: давлением  $P$ , объемом  $V$  и температурой  $T$ . Большую роль играет и масса газа  $m$ .

Если представить себе идеальный газ, в котором молекулы соударяются между собой только упруго, объем, занимаемый ими, намного меньше объема, свободного от молекул, то основное уравнение состояния газа принимает вид

$$PV = \frac{Nm}{M} RT, \quad (8)$$

где  $N$  — число молекул газа;  $m$  — масса одной молекулы;  $M$  — масса одной грамм-молекулы;  $R$  — газовая постоянная.

Для одной грамм-молекулы газа уравнение (8) примет вид

$$PV = RT. \quad (9)$$

Отношение  $\frac{M}{m}$  постоянно для любого газа и называется числом Авогадро  $\frac{M}{m} = N_A = 6,02 \cdot 10^{26}$  1/кмоль, тогда уравнение (8) можно написать в виде

$$PV = \frac{N}{N_A} RT = NkT, \quad (10)$$

где  $k = \frac{R}{N_A}$  — постоянная Больцмана, равная  $1,380622 \cdot 10^{-23}$  Дж/К.

### § 23. ОСНОВНЫЕ ГАЗОВЫЕ ЗАКОНЫ

Из уравнения состояния идеальных газов (8) выводятся основные газовые законы.

**Закон Бойля—Мариотта.** При постоянной температуре  $T$  и массе газа  $Nm$  произведение давления газа  $P$  на его объем  $V$  есть величина постоянная:

$$PV = \text{const}. \quad (11)$$

В общем случае, когда масса газа меняется, а постоянной является только температура, уравнение (11) принимает вид

$$PV = \text{const} \cdot Nm. \quad (12)$$

Из уравнения (12) следует, что при постоянной температуре количество газа определяется произведением его давления на объем —  $PV$ . На практике при расчетах вакуумных систем количество газа всегда выражается в  $PV$  единицах, например л·мм рт. ст., см<sup>3</sup>·мм рт. ст. и т. д.

**Закон Гей-Люссака.** При постоянной массе  $Nm$  и давлении  $P$  газа объем  $V$  прямо пропорционален его температуре  $T$

$$V = \text{const} T. \quad (13)$$

**Закон Шарля.** При постоянной массе  $Nm$  и объеме  $V$  газа давление газа пропорционально его температуре

$$P = \text{const} T. \quad (14)$$

**Закон Авогадро.** В одинаковых объемах  $V$  различных газов при одинаковом давлении  $P$  и температуре  $T$  содержится равное число молекул.

**Закон Дальтона.** Полное давление смеси нескольких газов, химически не взаимодействующих между собой, равно сумме парциальных давлений этих газов:

$$P_{\text{см}} = P_1 + P_2 + \dots + P_n. \quad (15)$$

*Парциальным* давлением газа, входящего в смесь, называется такое давление, которое имел бы этот газ, если бы он один занимал весь заполненный смесью объем.

Газовые законы, выведенные для идеальных газов, достаточно хорошо определяют поведение реальных га-

зов в вакууме, так как при низких давлениях силы взаимодействия между молекулами малы, а объем занимаемый молекулами, также значительно меньше объема, в котором они заключены.

Справедливы ли газовые законы для пара? Если в замкнутом объеме поместить источник пара, то в этом объеме происходят несколько процессов: испарение вещества, образование пара и осаждение (конденсация) пара на стенках объема. Так как объем замкнут, то через некоторое время наступит равновесие, иначе говоря, насыщение. Это значит, что число испаряющихся молекул с источника пара становится равным числу конденсирующихся на стенках объема молекул, а давление пара над источником испарения устанавливается постоянным и называется *давлением насыщенного пара или упругостью пара*.

Для насыщенных паров справедливы только законы не связанные с изменением основных параметров состояния, т. е.  $P, V, T$ . К таким законам относятся законы Дальтона и Авогадро.

#### § 24. СРЕДНЯЯ ДЛИНА СВОБОДНОГО ПУТИ МОЛЕКУЛ

Как уже сказано выше, молекулы газа в вакууме находятся в постоянном тепловом движении. При движении молекулы соударяются друг с другом и о стенку сосуда, в котором они заключены. Это движение молекул хаотично, поэтому путь любой молекулы газа представляет собой ломаную линию. На рис. 24 прямолинейные участки соответствуют свободному пути молекулы между столкновениями.

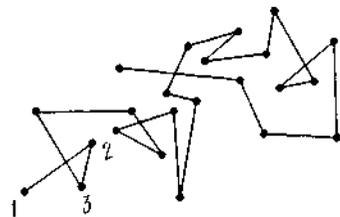


Рис. 24 Тепловое движение молекулы газа:

1, 2, 3 — места столкновения с другими молекулами

Поскольку тепловое движение молекул беспорядочно, то пути молекул между столкновениями неодинаковы. Для удобства решения практических задач вакуумной техники вводится понятие о средней длине свободного пути молекул газа  $\lambda$

как о среднем расстоянии, пройденном молекулами между двумя столкновениями.

Величина  $\lambda$  обратно пропорциональна давлению газа  $P$  и прямо пропорциональна его температуре  $T$ , т. е.

$$\lambda = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi P\sigma^2}, \quad (16)$$

где  $k$  — газовая постоянная,  $T$  — абсолютная температура, К;  $P$  — давление газа, Па;  $\sigma$  — эффективный диаметр молекулы газа, см.

Для воздуха при  $T=20^\circ\text{C}$  формула (16) имеет вид

$$\lambda = \frac{5 \cdot 10^{-8}}{P(1,33 \cdot 10^{-2})}. \quad (17)$$

Из формулы (17) следует, что по мере удаления воздуха из объема, т. е. по мере уменьшения давления,  $\lambda$  увеличивается.

В табл. 5 приведены значения  $\lambda$  для воздуха при различных давлениях и температуре  $25^\circ\text{C}$ .

Таблица 5. Значения  $\lambda$  молекул воздуха

Давление воздуха, Па	Значение $\lambda$ при температуре воздуха $25^\circ\text{C}$	
$0,98 \cdot 10^5$	$6,2 \cdot 10^{-8}$ м	0,006 мкм
$1,33 \cdot 10^2$	$4,72 \cdot 10^{-5}$ м	4,7 мкм
$1,33 \cdot 10^1$	$4,72 \cdot 10^{-4}$ м	0,5 мм
$1,33 \cdot 10^0$	$4,72 \cdot 10^{-3}$ м	4,7 мм
$1,33 \cdot 10^{-1}$	$4,72 \cdot 10^{-2}$ м	47 мм
$1,33 \cdot 10^{-2}$	$4,72 \cdot 10^{-1}$ м	0,47 м
$1,33 \cdot 10^{-3}$	4,72 м	—

По мере уменьшения давления и увеличения  $\lambda$  может наступить момент, когда  $\lambda$  будет намного больше расстояния между стенками сосуда  $d$ . Молекулы газа при  $\lambda \gg d$  практически не сталкиваются и движутся по прямой линии. Следовательно, чем меньше  $d$ , т. е. размеры сосуда, тем при большем давлении наступит момент прямолинейного движения молекул.

Соотношение между величинами  $\lambda$  и  $d$  положено в основу определения степени вакуума:

низкий вакуум — это состояние газа, при котором  $\lambda \ll d$ ,

Средний вакуум — это состояние газа, при котором  $\lambda \approx d$ ,

высокий вакуум — это состояние газа, при котором  $\lambda \gg d$ .

Соотношением  $\lambda/d$  определяют важнейшие свойства и поведение газов. Оно имеет большое практическое значение в технике напыления тонких металлических пленок, обработке электровакuumных приборов, вакуумных насосов и т. п.

### § 25. СВОЙСТВА ГАЗОВ

К важнейшим свойствам газов относятся: путь молекул газа при тепловом движении; скорость испарения и поток пара; взаимная диффузия газов.

**Путь молекул газа при тепловом движении.** При низком вакууме  $\lambda \ll d$  молекулы газа испытывают постоянные столкновения друг с другом, вследствие чего путь молекулы представляет собой ломаную линию (рис. 25, а). При столкновении со стенками сосуда молекулы газа удерживаются на ней, иначе говоря адсорбируются. Адсорбированные молекулы газа непрерывно испаряются со стенки сосуда, но так как  $\lambda$  очень мала, они вновь возвращаются на стенки сосуда. Это значит, что в условиях низкого вакуума на стенках сосуда постоянно поддерживается слой адсорбированных молекул. При высоком вакууме  $\lambda \gg d$  молекулы движутся прямолинейно (рис. 25, б), столкновения между молекулами практически отсутствуют.

Ударившись о стенку сосуда и пробыв очень малое время в адсорбированном состоянии, молекула отрывается и летит в случайном направлении. Поэтому некоторые части стенки сосуда могут быть свободны от слоя адсорбированных молекул газа.

**Скорость испарения и поток пара.** Если в сосуд помещен источник пара, то при нагревании молекулы (или атомы), покидая поверхность источника, совершают тепловое движение, попадают на стенки сосуда и конденсируются на них в виде тонкой пленки.

Если  $\lambda \ll d$  (низкий вакуум) (рис. 26, а), то движение молекул беспорядочно вследствие многочисленных столкновений и вся поверхность сосуда окажется покрытой пленкой независимо от того, имеется или нет на пути молекул экран (рис. 26, б). Кроме того, часть молекул из-за столкновений может вернуться на поверх-

ность источника, т. е. скорость испарения паров в условиях низкого вакуума мала.

Если  $\lambda \gg d$  (высокий вакуум), то движение молекул пара прямолинейно из-за отсутствия столкновений,

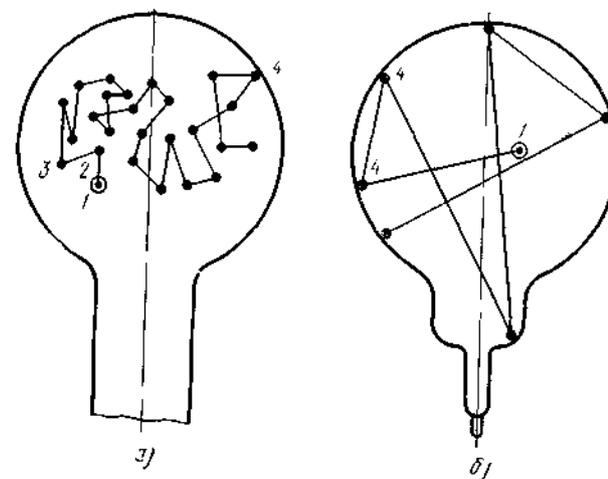


Рис 25 Путь молекул газа при тепловом движении: а — в условиях низкого вакуума ( $\lambda \ll d$ ), б — в условиях высокого вакуума ( $\lambda \gg d$ ), 1 — молекула, 2 и 3 — места столкновения с другими молекулами, 4 — место удара молекул о стенку

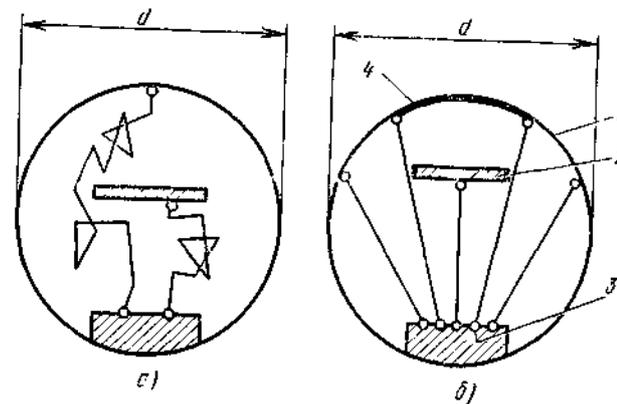


Рис. 26 Скорость испарения источника пара в условиях низкого (а) и высокого (б) вакуума  
1 — вакуумный объем, 2 — экран, 3 — источник пара, 4 — молекулярная «тень»

возврат молекул на поверхность источника невозможен. Следовательно, скорость испарения велика. Движущиеся молекулы, не меняя своего направления, достигают стенки сосуда и конденсируются на ней.

Если на пути этих молекул установить экран, то молекулы конденсируются на его поверхности, а поверхность сосуда за экраном окажется непокрытой пленкой.

Испарение вещества в условиях высокого вакуума имеет большое практическое значение в технологии покрытия различных поверхностей тонкими пленками.

**Взаимная диффузия газов.** *Взаимной диффузией газов* называется свойство проникновения одного газа в другой.

Представим себе замкнутый сосуд, в котором помещены два различных газа, разделенные непроницаемой перегородкой. Если перегородку удалить, то молекулы газа, находясь в тепловом движении, распространяются по всему объему сосуда, взаимно проникая, т. е. диффундируя друг в друга; скорость диффузии тем выше, чем больше температура и меньше давление и масса газа.

В условиях  $\lambda \ll d$  взаимная диффузия происходит с малой скоростью из-за столкновений молекул, при

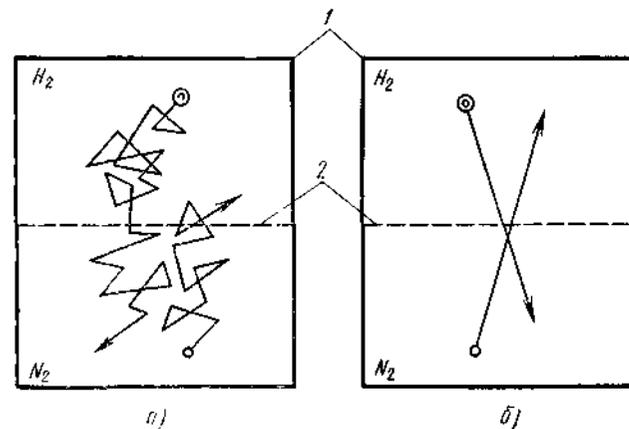


Рис 27 Взаимная диффузия газов в условиях низкого (а) и высокого (б) вакуума:

1 — вакуумные объемы, 2 — условные перегородки

$\lambda \gg d$  взаимная диффузия проходит практически мгновенно (рис. 27, а, б).

Явление диффузии газов находит большое применение в вакуумной технике при конструировании диффузионных насосов.

## § 26. РЕЖИМЫ ТЕЧЕНИЯ ГАЗОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СТЕПЕНЯХ ВАКУУМА

В вакуумной технике мы имеем дело с движущимися газами, поведение которых зависит от степени вакуума. Движение газов возникает в процессе их удаления из какого-либо объема по трубопроводу с помощью вакуумного насоса. Процесс удаления газов в этом случае называется *откачкой*, а совокупность трубопроводов, насосов, вентилях, кранов и т. п. — *вакуумной системой*.

Степень вакуума в трубопроводе определяется отношением  $\lambda/d$ , где  $d$  — диаметр трубопровода.

В условиях низкого вакуума при  $\lambda \ll d$  газ ведет себя как сплошная сжимаемая вязкая среда. При высоких давлениях и больших скоростях откачки (начало откачки) в газовой среде возникают разрывы и завихрения. Такой режим течения газа называют *турбулентным*, который постепенно переходит в *ламинарное*, т. е. упорядоченное движение. При дальнейшей откачке, когда еще сохраняются условия низкого вакуума и  $\lambda \ll d$ , режим течения газа определяется только вязкостью газа и поэтому называется *вязкостным*.

В условиях среднего вакуума  $\lambda \approx d$  по мере уменьшения давления на течение газа влияют как его вязкость, так и тепловое движение молекул газа. Такое течение газа называется *молекулярно-вязкостным*.

В условиях высокого вакуума при  $\lambda \gg d$  течение газа определяется только тепловым движением отдельных молекул и поэтому называется *молекулярным*.

При практических расчетах вакуумных систем обязательно надо знать режим течения газа в трубопроводах, для чего пользуются установленными критериями соотношения между давлением газа в трубопроводе  $P$  и его диаметром  $d$ :

режим течения молекулярный, если  $Pd \leq 0,02$  Па·м;  
режим течения вязкостный, если  $Pd \geq 1,33$  Па·м;

режим течения молекулярно-вязкостный, если  $0,02 \text{ Па} \times \text{м} \leq Pd \leq 1,33 \text{ Па} \cdot \text{м}$ .

### § 27. ПРОЦЕСС ОТКАЧКИ И ЕГО ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ. ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ ВАКУУМНОЙ ТЕХНИКИ

Простейшая вакуумная система, изображенная на рис. 28, состоит из откачиваемого объема  $I$ , вакуумного трубопровода  $2$  и насоса  $3$ .

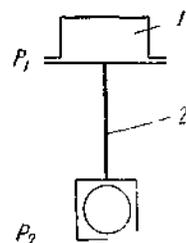


Рис. 28. Простейшая вакуумная система:

1 — откачиваемый объем, 2 — трубопровод, 3 — насос

До включения насоса давление  $P$  во всей вакуумной системе одинаково, газ остается неподвижным. С включением насоса газ начинает перемещаться по трубопроводу в сторону насоса, который выбрасывает поступающий газ в атмосферу. На место выброшенной порции газа благодаря тепловому движению поступает новая и т. д., следовательно, количество газа в вакуумной системе непрерывно уменьшается. Согласно закону Бойля — Мариотта уменьшение количества газа при постоянных объеме и температуре сопровождается уменьшением давления. Та-

ким образом, в вакуумной системе создается вакуум. Понижение давления газа в вакуумной системе не является равномерным, в откачиваемом объеме давление  $P_1$  всегда выше, чем давление  $P_2$  у входа в насос, т. е. возникает разность давлений на концах трубопровода, соединяющего откачиваемый объем и насос. Разность  $P_1 - P_2$  называется *движущей разностью давлений*.

Процесс откачки газов из любого объема характеризуется следующими параметрами: быстротой откачки, быстротой действия насоса, потоком газа, сопротивлением или пропускной способностью трубопровода.

Понятия быстрота откачки объекта  $S_0$  и быстрота действия насоса  $S_n$  возникли в связи с неравномерностью снижения давления в откачиваемом объеме и у входа в насос.

*Быстротой откачки объекта*  $S_0$  называется объем газа, поступающий из откачиваемого объекта в трубопровод в единицу времени при давлении  $P_1$  в откачиваемом объекте.

*Быстротой действия вакуумного насоса*  $S_n$  называется объем газа, поступающий в единицу времени из

трубопровода в насос при давлении  $P_2$  у входа в насос.

Количество газа, проходящее через поперечное сечение трубопровода в единицу времени, называется *потоком газа*  $Q$ .

Поток газа в любом сечении постоянен и равен произведению давления газа в этом сечении  $P_i$  на скорость откачки  $S$  в данном сечении, т. е.

$$Q = P_i S_i = \text{const}, \quad (18)$$

где  $S_i$  — быстрота откачки в рассматриваемом сечении вакуумной системы;  $P$  — давление в рассматриваемом сечении вакуумной системы.

$$S_n = \frac{Q}{P_2}. \quad (19)$$

Потоку газа, проходящему из откачиваемого объема в насос, все элементы вакуумной системы оказывают сопротивление, благодаря которому и возникает разность давлений  $P_1 - P_2$ . Аналогично закону Ома, *сопротивление трубопровода* вакуумной системы определяется соотношением

$$Q = \frac{P_1 - P_2}{W} = U(P_1 - P_2), \quad (20)$$

где  $W$  — сопротивление трубопровода потоку газа;  $U$  — проводимость или пропускная способность трубопровода.

Из равенства (20) следует, что

$$U = \frac{Q}{P_1 - P_2}. \quad (21)$$

Для реальной вакуумной системы быстроту откачки объекта чаще называют *эффективной скоростью откачки*  $S_s$ . Это значит, что эффективная скорость  $S_s$  является той скоростью, с которой насос, обладающий быстротой действия  $S_n$ , откачивает заданный объем через все элементы вакуумной системы с суммарной пропускной способностью  $U$ .

Соотношение между  $S_n$  и  $U$  вакуумной системы называется *основным уравнением вакуумной техники*, которое имеет вид

$$\frac{1}{S_s} = \frac{1}{S_n} + \frac{1}{U} \quad (22)$$

или

$$S_3 = \frac{U}{1 + U/S_0}, \quad (23)$$

Из уравнения (23) следует, что  $S_3$ , как правило, меньше  $S_0$ , равенство  $S_3 = S_0$  возможно лишь в случае непосредственного присоединения насоса к откачиваемому объекту.

Из уравнений (22) и (23) следует, что режим откачки вакуумной системы в значительной степени зависит от пропускной способности трубопроводов  $U$ , поэтому необходимо достаточно точно определять величину проводимости для различных режимов течения газов по трубопроводу.

В условиях вязкостного течения газов

$$U = 0,18 \frac{d^4}{L} P_{cp}, \quad (24)$$

где  $d$  — диаметр трубопровода, см;  $L$  — длина трубопровода, см;  $P_{cp}$  — среднее давление в трубопроводе ( $1,33 \cdot 10^2$  Па), причем

$$P_{cp} = \frac{P_1 + P_2}{2}.$$

В условиях молекулярно-вязкостного течения газа

$$U = 12,1 \frac{d^3}{L} K, \quad (25)$$

где  $K$  — коэффициент, равный  $1 \div 9,9$ .

В условиях молекулярного течения газа

$$U = 12,1 \frac{d^3}{L}. \quad (26)$$

### § 28. КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ВАКУУМНОМ ОБОРУДОВАНИИ

Основные контрольно-измерительные приборы, применяемые в электровакуумном оборудовании, — это приборы для измерения давления, тока, напряжения, температуры, а в вакуумных напылительных установках — приборы измерения толщины и скорости нанесения тонких пленок.

**Приборы для измерения давления.** Приборы для измерения давления разреженных газов называются *ма-*

*нометрами.* Манометры очень часто применяют совместно с измерительным блоком. Тогда они называются *вакциметрами.*

По принципу действия приборы для измерения давления делятся на несколько типов:

1. Жидкостные манометры, измеряющие давление путем уравнивания его давлением столба жидкости (U-образные стеклянные манометры).

2. Компрессионные манометры (манометры Мак-Леода), действие которых основано на изотермическом сжатии разреженного газа в рабочем капилляре.

3. Деформационные манометры, действие которых основано на деформации.

4. Тепловые манометры, основной принцип работы которых основан на зависимости теплопроводности газов от давления. Это манометры терморные и манометры сопротивления.

5. Ионизационные манометры, принцип работы которых основан на ионизации газов. Сюда относятся манометры электроразрядные (магнитные), измеряющие давление в зависимости от параметров электрического разряда в разреженном газе, и манометры ионизационные, в которых ионизация газа осуществляется потоком электронов, ускоряемых электрическим полем.

Все перечисленные приборы делятся на манометры *прямого и косвенного действия.*

К манометрам прямого действия относятся приборы, непосредственно измеряющие давление газа в оборудовании. Эти приборы работают в диапазоне  $1,01 \cdot 10^5 \div 1,33 \cdot 10^{-3}$  Па; отсчет давления в них не зависит ни от состава газа, ни от его температуры. К манометрам прямого действия относятся жидкостные, компрессионные и деформационные.

Манометры косвенного действия измеряют не само давление, а параметры, пропорциональные ему. Они, как правило, состоят из датчика (манометрического преобразователя) и измерительного блока. Шкалы этих приборов отградуированы в единицах давления или электрических единицах. К приборам всегда прилагается переводная градуировочная кривая. Измерение давления ниже  $1,33 \cdot 10^{-3}$  Па практически возможно только манометрами косвенного действия.

Рассмотрим некоторые виды манометров косвенного действия,

Тепловые манометры. К тепловым манометрам относятся манометры сопротивления и термопарные. Манометр сопротивления представляет собой стеклянную или стальную трубку, внутри которой натянута вольфрамовая нить накала. Температура нити поддерживается постоянной, например для манометра ПМТ-6 она равна  $220^{\circ}\text{C}$ . При изменении давления меняется теплопроводность газа, а следовательно, и температура нити.

Для сохранения температуры нити осуществляется регулировка тока через нее. По изменению тока нити накала можно определить величину давления разреженного газа.

Отечественной промышленностью в настоящее время выпускаются манометры сопротивления ПМТ-6 или МТ-6Ф в металлическом корпусе с измерительным блоком ВСБ-1.

Термопарный манометр (рис. 29) состоит из стеклянного или металлического корпуса, в котором смонтированы платиновый или никелевый подогреватель 3 и термопара 4 из хромель — копелья или хромель — алюминия. Подогреватель и термопара сварены перемычкой в виде «термокреста». Подогреватель нагревается током, который регулируется реостатом 5 и измеряется миллиамперметром. Спай термопары, нагреваемой от подогревателя, является источником э. д. с., которая измеряется милливольтметром. Принцип работы термопарного манометра заключается в следующем: при понижении давления газа теплопроводность его уменьшается, следовательно, повышается температура перемычки, изменяется э. д. с., по величине которой можно по градуировочной кривой определить давление газа в системе.

В настоящее время выпускаются манометры ПМТ-2, ПМТ-8 с измерительным блоком ВТ-3.

Большим достоинством тепловых манометров является простота конструкции, применимость ко всем газам и парам, они не боятся прорыва воздуха атмосферы и практически имеют неограниченный срок службы. Недостатком тепловых манометров является их инерционность и изменение тока накала нити во времени, что требует периодической проверки тока накала.

Ионизационные манометры. Ионизационные манометры применяют при измерении давлений в

диапазоне  $1,33 \cdot 10^2$  до  $1,33 \cdot 10^{-8}$  Па. Манометр представляет собой стеклянный баллон 1, в котором смонтирован вольфрамовый катод 4, анодная сетка 3 и цилиндрический коллектор ионов 2 (рис. 30). На анод

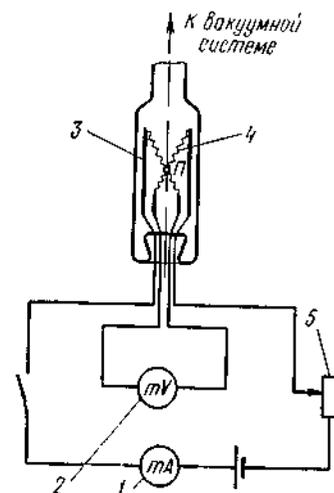


Рис. 29 Термопарный манометр с измерительным блоком

1 — миллиамперметр, 2 — милливольтметр, 3 — подогреватель, 4 — термопара, 5 — реостат, П — перемычка подогревателя и термопары

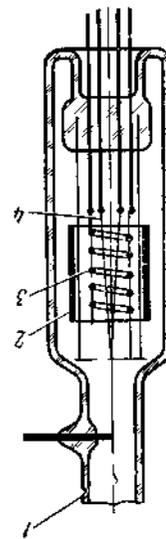


Рис. 30 Ионизационный манометр:

1 — баллон, 2 — коллектор ионов, 3 — анодная сетка, 4 — катод

относительно катода подается положительный потенциал, а на коллектор — отрицательный. При нагреве катод испускает электроны, часть которых при движении к анодной сетке пролетает между витками сетки, ионизирует газ и образующиеся при этом положительные ионы газа собираются на коллекторе. По величине ионного тока коллектора судят о давлении остаточных газов. В настоящее время выпускаются для измерения давлений в диапазоне от  $1,33 \cdot 10^2$  до  $1,33 \cdot 10^{-3}$  Па манометры МИ-10; в диапазоне  $1,33 \div 1,33 \cdot 10^{-5}$  Па манометры ПМИ-2, ЛМ-3, ЛМ-3-2 с измерительным блоком ВИТ-3. Измерительный блок ионизационно-термопарный, т. е. соединяет термопарную и ионизационную часть.

Для измерения давления в диапазоне от  $0,33$  до  $1,33 \cdot 10^{-8}$  Па применяют манометры МИ-27; в диапазоне от  $1,33 \cdot 10^{-2}$  до  $1,33 \cdot 10^{-8}$  Па — манометры ПМИ-12, ПМИ-12-8 с измерительным блоком ВИ-14.

Ионизационные манометры пригодны для измерения давления всех газов и паров, однако показания манометров зависят от рода газов.

Перед началом измерения ионизационные манометры необходимо обезгаживать. Прорыв атмосферного воздуха в работающий манометр разрушает его катод и окисляет сетку и коллектор.

Магнитные электроразрядные манометры. Магнитные электроразрядные манометры применяют для измерения давления в диапазоне от  $1,33 \times 10^2$  до  $1,33 \cdot 10^{-11}$  Па. Манометр представляет собой металлический корпус — катод, внутри которого в виде металлического кольца расположен анод вся система помещена в поле постоянного магнита 4 (рис. 31). При подаче высокого напряжения между анодом 2 и катодом 1 возникает самостоятельный тлеющий разряд. Электроны в этих условиях, двигаясь по сложной длинной траектории, ионизируют газ. Регистрируя ионный и электронный токи, можно определить величину давления газа.

Магнитное поле стабилизирует разряд в промежутке анод—катод, чем повышается чувствительность прибора.

Выпускается магнитный электроразрядный манометр ПММ-28 с датчиком 13МЭБ-1 для измерения давления в диапазоне  $1,72 \cdot 10^4$ — $1,33 \cdot 10^{-1}$  Па и ММ-14М с датчиком ВИМ-2 — в диапазоне  $1,33 \cdot 10^4$ — $1,33 \times 10^{-2}$  Па.

Магнитные электроразрядные манометры удобны тем, что не содержат в своей конструкции накаливаемых элементов, например катодов, поэтому могут быть включены при любом давлении разреженных газов.

Манотроны. В настоящее время разработаны новые датчики для измерения давления газа в диапазоне  $1,33$ — $6,65 \cdot 10^4$  Па. Этими датчиками являются механотронные преобразователи давления — манотроны. Принцип работы манотронов заключается в том, что при воздействии внешнего механического сигнала в датчике происходит перемещение одного или нескольких подвижных электродов, что вызывает изменение анод-

ного тока механотрона, т. е. механический сигнал преобразуется в электрический (рис. 32).

Под воздействием давления  $P$  мембрана 1 манотрона прогибается, чем вызывает смещение подвижного анода 2 относительно катода 3, который жестко связан с внешней оболочкой 4 механотрона.

Преимуществом манотрона является независимость его показаний от рода газа или пара, давление которых измеряется.

Масс-спектрометры. Для контроля технологических процессов получения тонких пленок

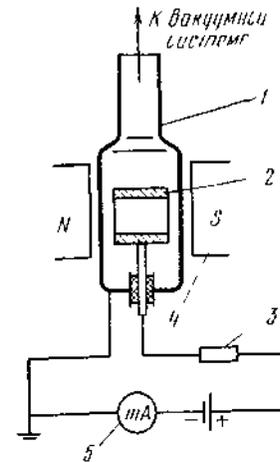


Рис 31 Магнитный электроразрядный манометр с измерительным блоком

1 — катод, 2 — анод, 3 — балластное сопротивление, 4 — постоянный магнит, 5 — измерительный прибор



Рис 32 Механотронный преобразователь давления

1 — мембрана 2 — анод, 3 — катод, 4 — оболочка

нок в вакууме часто требуется знание состава и парциальных давлений газов, выделяющихся при этом.

Величина парциальных давлений газов измеряется различными масс-спектрометрами: это — омегатроны, квадрупольные, монополярные и панорамные масс-спектрометры (фарвитроны). Простейшими из них являются омегатроны РМО-4С с измерительным блоком ИПДО-1 или ИПДО-2А. Они работают при давлении разреженных газов от  $1,33 \cdot 10^{-3}$  до  $1,33 \cdot 10^{-8}$  Па.

Омегатронная лампа обычно присоединяется непосредственно к исследуемому участку вакуумной установки. Конструкция омегатрона и распределение электромагнитных полей в нем таковы, что позволяют произ-

водить разделение различных газов по массам и фиксировать коллектором омегатрона сначала легкие, а затем более тяжелые массы газа последовательно.

**Приборы измерения тока.** Для измерения тока в электрических цепях откачного оборудования используют амперметры, которые в зависимости от измеряемого диапазона тока подразделяются на микроамперметры, миллиамперметры, килоамперметры. При измерении слабых токов ( $1 \cdot 10^{-6}$ ) пользуются гальванометрами.

Все амперметры имеют маленькое внутреннее сопротивление и включаются в измеряемую электрическую цепь последовательно. Амперметры могут измерять электрический ток как в цепях постоянного (статические), так и переменного (астиатические) тока.

**Приборы измерения напряжения.** Для измерения напряжения в электрических цепях используют приборы — вольтметры, которые в зависимости от величины измеряемого напряжения называются милливольтметрами, вольтметрами, киловольтметрами.

Все вольтметры включаются в измеряемую цепь параллельно, так как они имеют большое внутреннее сопротивление и не изменяют режима работы цепи. Вольтметры применяют в цепях постоянного и переменного тока.

**Приборы измерения температуры.** В откачном и вакуумном напылительном оборудовании для измерения температуры применяют приборы, которые по принципу работы разделяются на:

жидкостные (ртутные) термометры, применяемые для измерения температур от  $-200$  до  $+500^\circ\text{C}$ ;

оптические пирометры, применяемые для измерения температур от  $+600$  до  $2500^\circ\text{C}$ ;

термоэлектрические (термопарные) пирометры, применяемые для измерения температур от  $-200$  до  $+1600^\circ\text{C}$ .

В откачном и особенно напылительном оборудовании широко применяют термоэлектрические пирометры, поэтому рассмотрим подробнее принцип их действия. В основу работы этих приборов положен термоэлектрический эффект, который заключается в том, что если два разнородных металла в виде проволоки спаять одними концами в одной точке и место спая нагревать, то на других двух свободных концах этих проволок возникнет э.д.с., величина которой будет зависеть от

температуры места спая и от рода металла проводников.

Для измерения температур в вакууме используют термопары: медь — константан до  $+300^\circ\text{C}$ , хромель — копель до  $+600^\circ\text{C}$ ; хромель — алюмель до  $1300^\circ\text{C}$ \*; платина — платинородий до  $1000^\circ\text{C}$ . Для регистрации термо- э.д.с. термопары свободными концами соединяют с термомизмерительными приборами — милливольтметрами.

## § 29. ВАКУУМНЫЕ НАСОСЫ

Для создания требуемой степени разрежения в вакуумных установках применяют разнообразные вакуумные насосы.

Вакуумные насосы можно классифицировать по следующим признакам: назначению, принципу действия, конструкции, характеру воздействия на откачиваемые газы и диапазону рабочих давлений.

Классификация современных вакуумных насосов представлена в табл. 6.

**Основные параметры.** При расчете вакуумных систем для обеспечения необходимого вакуума очень важно правильно выбрать тип требуемого насоса. Для этого прежде всего необходимо знать основные параметры насоса: предельное давление насоса, наибольшее выпускное (или начальное) давление; наибольшее впускное давление; быстроту действия и производительность насоса.

*Предельным давлением насоса* называется предельно низкое (минимальное) давление, которое может быть достигнуто насосом при длительной работе без нагрузки, т. е. когда насос работает в стационарном режиме и на вход его не поступают газы или пары. Величина предельного давления зависит от конструкции насоса, его герметичности и способа измерения давления.

*Наибольшим выпускным давлением насоса* называется максимальное давление в выпускном патрубке, при котором насос еще может работать нормально.

\* Хромель — алюмелевая термопара предварительно нагревается на воздухе до образования тонкой защитной окисной пленки

Таблица 6. Классификация вакуумных насосов

По назначению	По принципу действия и характеру воздействия на откачиваемые газы		Диапазон рабочих давлений, Па	
	насосы объемного действия	насосы поверхностного действия	предельное	начальное
Форвакуумные	<b>Механические:</b> а) поршневые: с твердым поршнем; с жидкостным поршнем; б) вращательные: многопластинчатые пластинчатороторные пластинчатороторные золотниковые  двухроторные  <b>Эжекторные:</b> а) водоструйные б) пароводяные в) парортутные г) паромасляные		1,33 · 10 <sup>1</sup>	1,013 · 10 <sup>6</sup>
			1,33 · 10 <sup>-1</sup>	1,013 · 10 <sup>6</sup>
			1,33 · 10 <sup>1</sup>	1,013 · 10 <sup>6</sup>
			6,65 · 10 <sup>0</sup> —	1,013 · 10 <sup>6</sup>
			6,65 · 10 <sup>-1</sup>	1,013 · 10 <sup>6</sup>
			6,65 · 10 <sup>0</sup> —	1,013 · 10 <sup>6</sup>
			6,65 · 10 <sup>-1</sup>	1,013 · 10 <sup>6</sup>
			6,65 · 10 <sup>0</sup> —	1,013 · 10 <sup>6</sup>
			6,65 · 10 <sup>-1</sup>	1,013 · 10 <sup>6</sup>
			1,33 · 10 <sup>-2</sup>	1,33 · 10 <sup>3</sup>
Высоковакуумные	<b>Диффузионные пароструйные:</b> а) бустерные: паромасляные парортутные	Адсорбционные	1,33 · 10 <sup>0</sup> —	1,013 · 10 <sup>6</sup>
			1,33 · 10 <sup>2</sup>	
			1,33 · 10 <sup>-4</sup>	1,33 · 10 <sup>4</sup>
			1,33 · 10 <sup>-3</sup>	1,33 · 10 <sup>3</sup>

Продолжение табл. 6

По назначению	По принципу действия и характеру воздействия на откачиваемые газы		Диапазон рабочих давлений, Па	
	насосы объемного действия	насосы поверхностного действия	предельное	начальное
Сверхвысоковакуумные	<b>б) высоковакуумные:</b> паромасляные парортутные  <b>Турбомолекулярные</b>	Адсорбционные Ионные Геттерные или сублимационные  Электрофизические: а) геттерноионные б) магниторазрядные Криогенные или конденсационные Комбинированные: а) криосорбционные б) криогенный + магниторазрядный в) магниторазрядный + геттерный	1,33 · 10 <sup>-6</sup>	1,33 · 10 <sup>1</sup>
			1,33 · 10 <sup>-5</sup>	1,33 · 10 <sup>3</sup>
			1,33 · 10 <sup>-6</sup>	1,33 · 10 <sup>0</sup>
			1,33 · 10 <sup>-5</sup>	1,33 · 10 <sup>-2</sup>
			1,33 · 10 <sup>-6</sup>	1,33 · 10 <sup>-1</sup>
			1,33 · 10 <sup>-7</sup>	1,33 · 10 <sup>-2</sup>
			1,33 · 10 <sup>-8</sup>	1,33 · 10 <sup>1</sup>
			1,33 · 10 <sup>-10</sup>	1,33 · 10 <sup>-1</sup>
			1,33 · 10 <sup>-10</sup>	1,33 · 10 <sup>-2</sup>
			1,33 · 10 <sup>-8</sup>	1,33 · 10 <sup>0</sup>
Диффузионные пароструйные:	а) паромасляные с многоярусной прогреваемой ловушкой б) парортутные с многоярусной прогреваемой ловушкой	1,33 · 10 <sup>-6</sup>	1,33 · 10 <sup>1</sup>	
		1,33 · 10 <sup>-10</sup>	1,33 · 10 <sup>3</sup>	

Наибольшим впускным давлением насоса называется наибольшее давление во входном патрубке, при котором насос начинает работу.

Быстротой действия насоса называется тот объем газа, который проходит через поперечное сечение входного патрубка за одну секунду.

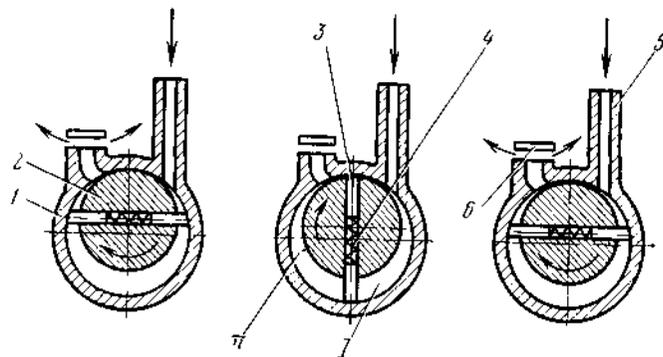


Рис. 33. Схема пластинчато-роторного насоса:

1 — камера, 2 — ротор, 3 — пластина, 4 — пружина, 5 — патрубок, 6 — клапан, I — область всасывания, II — область сжатия

Производительностью насоса называется количество газа, которое удаляет насос из входного патрубка в одну секунду.

**Конструкции некоторых вакуумных насосов.** Рассмотрим конструкции и принципы действия некоторых наиболее часто применяемых насосов.

Механические насосы с масляным уплотнением. К группе механических насосов с масляным уплотнением относятся пластинчато-роторные, пластинчато-статорные и золотниковые.

Пластинчато-роторный насос (рис. 33) представляет собой цилиндрическую камеру 1, в которой вращается эксцентрично расположенный ротор 2; в прорези ротора вставлены пластины 3 с пружиной 4. Пластины при вращении в направлении, указанном стрелкой, образуют две области переменного объема: область всасывания I и область сжатия II. Область всасывания увеличивает свой объем при вращении ротора, и в нее поступает газ из впускного патрубка 5 насоса, соединенного с откачиваемым объемом. При этом область

сжатия уменьшается и происходит сжатие газа, находящегося в ней. Эта область соединена с выходным клапаном 6. Через клапан и выпускной патрубок насоса происходит выхлоп газа в атмосферу.

Для смазки трущихся поверхностей насоса и уплотнения зазоров в роторном механизме насос погружен в масляную ванну. Выхлопной клапан также находится под уровнем масла, что не позволяет попадать атмосферному воздуху в насос.

Лучшие конструкции пластинчато-роторных насосов обеспечивают давление разреженных газов  $1,33 \cdot 10^0$  Па. Для получения давления ниже  $1,33 \times 10^{-1}$  Па применяют двухступенчатые пластинчато-роторные насосы с масляным уплотнением. В этих насосах последовательно соединены ступени I и II.

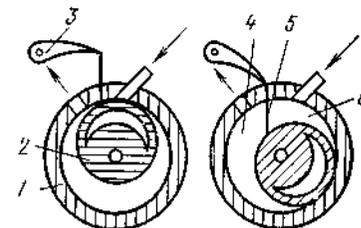


Рис. 34. Схема пластинчато-статорного насоса:

1 — статор, 2 — эксцентрик, 3 — рычажно-пружинное устройство, 4 — полость сжатия, 5 — статорная пластина, 6 — полость всасывания

Ступень I является чистой и служит для удаления газа из откачиваемого объема через входной патрубок насоса, а ступень II — черновой и служит для откачки газа из чистой ступени и выталкивания его в атмосферу через выходной клапан и выпускной патрубок.

Пластинчато-статорный насос (рис. 34) представляет собой цилиндрическую камеру — статор 1, в котором вращается эксцентрик 2, внешняя поверхность которого свободно скользит по внутренней поверхности камеры. С помощью подвижной статорной пластины 5, рычажно-пружинного устройства 3 и скользящего контакта эксцентрика камера разделяется на две рабочие полости — полость всасывания 6 и полость сжатия 4. При вращении эксцентрика по часовой стрелке объем полости всасывания увеличивается и через впускной патрубок насоса в нее поступает газ из откачиваемого объема. Объем полости сжатия в это время уменьшается, газ, находящийся в ней, сжимается и выталкивается через выхлопной клапан в атмосферу. Для обеспечения смазки трущихся поверхностей и уплотнения

мест разделения рабочих полостей насос помещают в масляную ванну.

Отечественная промышленность выпускает пластинчато-статорные двухступенчатые насосы ВН-461М, РВН-20, ВН-0,8Г с быстротой действия 2,6 и 0,78 л/с.

Золотниковый (плунжерный) насос (рис. 35) представляет собой цилиндрический корпус 1 с вращающимся эксцентриком 2, на который надет плунжер 3. Газ

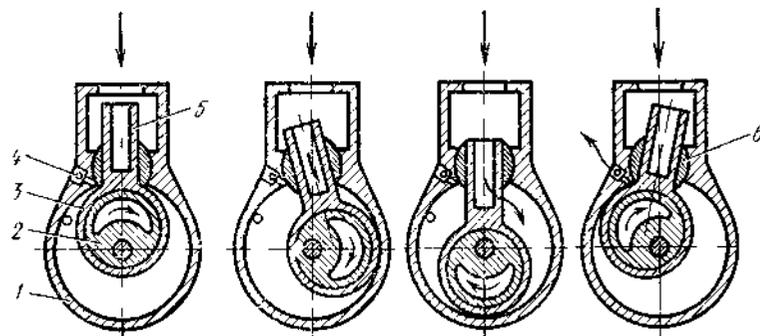


Рис. 35. Схема золотникового насоса:

1 — корпус, 2 — эксцентрик, 3 — плунжер, 4 — выхлопной клапан, 5 — окно, 6 — направляющая

из откачиваемого объема попадает в полость всасывания через окно 5 прямоугольной части плунжера. При вращении эксцентрика окно по направляющей 6 попадает вниз, полость всасывания соединяется с впускным патрубком насоса и газ поступает в полость всасывания, которая увеличивает свой объем до тех пор, пока окно опять не окажется перекрытым. Одновременно полость сжатия уменьшается и газ выталкивается через выхлопной клапан 4. Для смазки трущихся частей и уплотнения в золотниковые насосы подается небольшое количество масла.

Отечественная промышленность выпускает одно- и двухступенчатые золотниковые насосы.

В насосах с масляным уплотнением в качестве рабочей жидкости используются масла ВМ-4 и ВМ-6, имеющие низкое давление паров при рабочей температуре, высокую вязкость, чтобы обеспечить хорошую смазку, не взаимодействующие с водой и т. п.

**Газобалластные насосы.** В вакуумной технике часто приходится иметь дело с технологическими процессами (сушка, пропитка), которые сопровождаются выделением больших количеств влаги и различных конденсирующихся паров. Откачка таких легко конденсирующихся парогазовых смесей невозможна обычными масляными насосами, так как конденсат смешивается с маслом, ухудшает его свойства и затрудняет откачку.

Особенно вредно отражается на свойствах масла вода. Эффективным методом предупреждения конденсации вредных паров в масле насоса может служить так называемый балластный газ, который специально вводится в камеру насоса дополнительно к поступающему в нее пару. В качестве балластного газа обычно применяется атмосферный воздух, а насос с устройством для напуска балластного газа называется *газобалластным*.

Промышленность выпускает насосы с масляным уплотнением с быстротой откачки до 300 и 500 л/с, например насосы ВН-300 и ВН-500.

**Двухроторные вакуумные насосы.** Двухроторные вакуумные насосы отличаются высокопроизводительной откачкой в диапазоне давлений разреженных газов  $1,33 \cdot 10^2$  Па— $1,33 \cdot 10^{-2}$  Па. В рабочей камере насоса расположены два ротора в виде цифры 8, которые синхронно вращаются навстречу друг другу. При вращении роторы не касаются друг друга и стенок камеры, т. е. трение в роторном насосе совершенно отсутствует.

Для нормальной работы на выходе насоса обычно устанавливается насос предварительного разрежения— с масляным уплотнением.

Промышленность выпускает насосы ДВН-5-2, ДВН-50, ДВН-150, 2ДВН-500, 2ДВН-1500, 2ДВН-1509 с быстротой действия от 2 до 1500 л/с.

Небольшой двухроторный насос с быстротой действия от 150 л/с выпускаются совместно с форвакуумным насосом в виде агрегата, например, АВМ-50.

**Пароструйные насосы.** Принцип действия пароструйного насоса (рис. 36) основан на откачивающем действии паровой струи рабочей жидкости насоса (ртути или масла). Жидкость заливается в кипятильник 2 и нагревается до рабочей температуры нагревателем 1; образующийся пар через пароподводящую трубку 3 и сопло 5 поступает в рабочую камеру 6, захватывая

при этом из впускного патрубка газ. В холодильнике рабочей камеры пар конденсируется и по сливной трубке 8 попадает обратно в кипятыльник 2, а газ сжатой струей выбрасывается через выпускной патрубок в форвакуумный насос. По виду применяемой рабочей жидкости пароструйные диффузионные насосы можно разделить на паротутные и паромасляные.

Высоковакуумные паромасляные насосы. Паромасляные диффузионные насосы наиболее часто применяют для создания высокого вакуума в вакуумных напылительных установках. Эти насосы имеют несколько ступеней откачки (в отличие от паромасляных бустерных насосов с одной ступенью откачки). В паромасляных насосах используют в основном три типа масел:

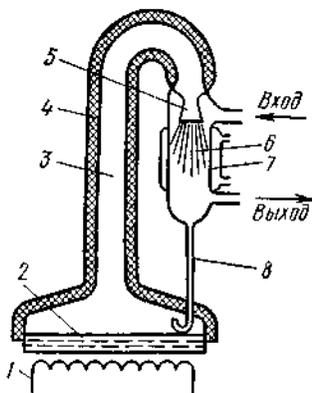


Рис 36 Схема пароструйного насоса:

1 — нагреватель, 2 — кипятыльник, 3 — пароподводящая трубка, 4 — теплоизоляция, 5 — сопло, 6 — рабочая камера, 7 — холодильник, 8 — трубка для слива конденсата в кипятыльник

Каждый тип масла создает оптимальный режим откачки в определенной конструкции насоса и определенном температурном режиме кипятыльника насоса. Паромасляные насосы эксплуатируются только с рекомендованной для них рабочей жидкостью, для которой завод-изготовитель определил критические проходные сечения сопел и режим их работы.

Отечественная промышленность выпускает паромасляные насосы НВО-40, Н-015С, УВЛ-100С, Н-005, Н-2Т-3, Н-ЯН-20Т, Н-40Т с быстротой действия от 50 до 38 000 л/с. На базе этих насосов выпускают также вакуумные агрегаты общего назначения ВА-01-1; ВА-05-4,

ВА-8-4; ВА-8-9М, которые состоят из диффузионного паромасляного насоса, конденсационной ловушки и вакуумного затвора, смонтированного на общей раме.

Турбомолекулярные насосы. Турбомолекулярные насосы относятся к группе механических сверхвысоковакуумных насосов объемного действия, позволяющих производить практически безмасляную откачку вакуумных систем.

Схематическое устройство турбомолекулярного насоса изображено на рис. 37.

минеральные, получаемые из продуктов переработки нефти, например ВМ-1, ВМ-2, ВМ-7;

кремнийорганические, представляющие собой соединения кремния, кислорода с углеводородами, например ПФМС-1, ПФМС-2/5л, ФМ-1;

эфирь, представляющие собой сложные соединения органических кислот, например 5Ф4Э, продукт ОФ, продукт ОС

Схематическое устройство турбомолекулярного насоса изображено на рис. 37.

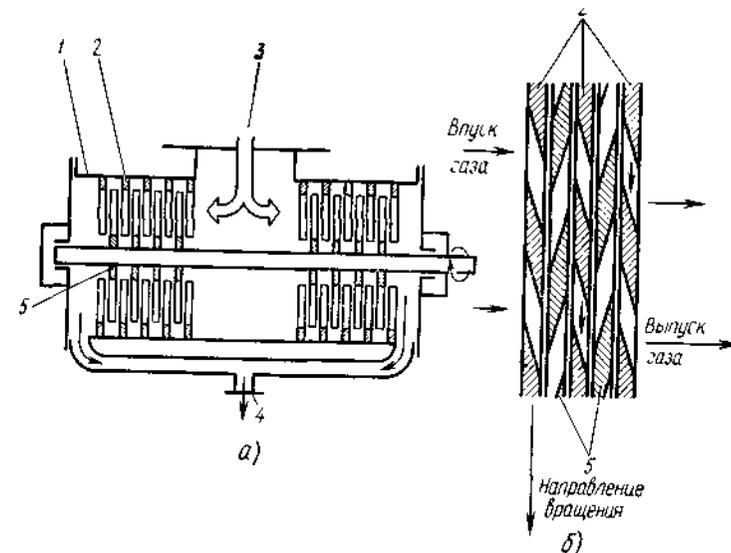


Рис 37. Схема турбомолекулярного насоса:

а — общий вид, б — расположение прорезей в роторных и статорных дисках; 1 — корпус, 2 — статорные диски, 3 — входной патрубок, 4 — выходной патрубок, 5 — роторные диски

В корпусе 1 насоса с жестко закрепленными статорными дисками 2 вращается ротор, на котором закреплены роторные диски 5. Как статорные, так и роторные диски имеют пазы, при этом пазы статорных дисков являются зеркальным отражением роторных пазов; зазоры между ними составляют ~1 мм.

Газ, поступающий из откачиваемого объема во входной патрубок 3 насоса, сталкивается с быстро движущимися поверхностями роторных дисков, благодаря чему пере-

мещается в направлении от середины к краям насоса. Каждая пара роторного и статорного дисков создает определенное сжатие газа. Так как количество пар велико, на выходе насоса получается высокий коэффициент сжатия газа.

Особенно эффективно действие турбомолекулярного насоса при молекулярном режиме течения газа, поэтому для обеспечения нормальной работы его используют совместно с форвакуумным насосом.

Турбомолекулярные насосы применяют в основном в установках высоковакуумной и сверхвысоковакуумной откачки с длительным циклом работы. Большим достоинством насосов этого типа является возможность получения высокого и сверхвысокого вакуума без применения ловушек, постоянство скорости откачки во всем диапазоне рабочих давлений, малое время запуска и обеспечение практически безмасляной откачки.

Отечественная промышленность выпускает турбомолекулярные насосы ТМН-200, ТМН-100, ТВН-200 со скоростью откачки 250, 130 и 220 л/с соответственно.

Турбомолекулярные насосы с быстротой действия до 800 л/с выпускают часто в виде агрегатов, имеющих форвакуумный насос, автоматический электромагнитный клапан, пульт управления и питания, например агрегат ТВА-200.

**Адсорбционные насосы.** Адсорбционные насосы являются насосами поверхностного действия. Принцип их действия основан на явлениях физической адсорбции, т. е. на способности некоторых твердых пористых тел — адсорбентов — поглощать пары или газы при пониженных температурах. В качестве адсорбента обычно используют цеолиты, иногда активированный древесный или торфяной уголь.

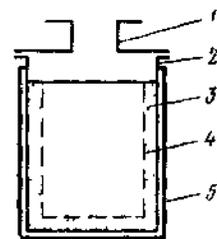


Рис. 38 Схема адсорбционного насоса

1 — входной патрубок, 2 — корпус, 3 — адсорбент, 4 — кассета, 5 — сосуд Дьюара

Схематическая конструкция адсорбционного насоса дана на рис. 38. В цилиндрический корпус 2 из нержавеющей стали помещена перфорированная трубка — кассета 4. Пространство между ними заполняется цеолитом в количестве около 100 г. Для охлаждения цеолита на насос надевают сосуд Дьюара 5, в который заливают жид-

кий азот. По окончании работы обязательно перекрывают клапан на входе насоса, снимают сосуд Дьюара и прогревают насос. Так как при физической адсорбции процесс поглощения газов полностью обратим, то при прогреве цеолита происходит интенсивное выделение газа и давление его в объеме насоса может превысить атмосферное. В связи с этим в верхней части насоса предусмотрен специальный клапан. Такой обогрев с выпуском газов в атмосферу вполне достаточен, чтобы считать насос готовым к следующему циклу откачки.

Адсорбционные насосы используют в основном для газов давлением  $1,33 \cdot 10^0$ — $1,33 \cdot 10^{-2}$  Па с предварительной безмасляной откачкой объемов от атмосферного до  $1,33 \cdot 10^0$ — $1,33 \cdot 10^{-2}$  Па. Однако они могут использоваться и как самостоятельные средства безмасляной откачки для создания высокого и сверхвысокого вакуума ( $1,33 \cdot 10^{-6}$  Па) в объемах с малым газовыделением.

К преимуществам адсорбционных насосов относится простота их конструкции, обеспечение безмасляной откачки. Недостатком их является необходимость применения больших количеств азота, регулярного обезгаживания цеолита, избирательное поглощение газов.

Отечественная промышленность выпускает насосы ЦВН и на их основе агрегаты ЦВА.

**Геттерные и геттерно-ионные насосы.** Принцип действия геттерных насосов основан на поглощении инертных газов пленками расплавленных активных металлов (геттеров) с образованием различных химических соединений и твердых растворов. В качестве геттерных металлов могут быть использованы барий, титан, молибден и др.

В промышленных установках нашел наибольшее применение титан, который при комнатных температурах образует прочные нелетучие соединения почти со всеми газами, за исключением инертных газов и углеводородов. Для улучшения поглощения пленкой титана инертных газов используется ионизация их потоком электронов, поэтому в насосы с термическим испарением титана вводят ионизаторы с накаливаемым катодом. Такие геттерно-ионные насосы достаточно эффективно поглощают активные газы и создают условия для связывания инертных газов. В этих насосах применяют испарение титана путем пропускания тока через титано-

молибденовую проволоку или под действием электронного луча.

На рис. 39 дана схема геттерно-ионного насоса ГИН-05М1. На охлаждаемый водой корпус 4 насоса титан испаряется с двух молибденовых U-образных проволок, на которые он нанесен в виде слоя иодидного титана толщиной 0,5 мм. Ионизация газа осуществляется электронами, эмиттируемыми с вольфрамового катода 1. Анод 3 изготовлен из молибденовой проволоки Ø0,8 мм и дополнительно используется в насосе в качестве нагревателя для обезгаживания корпуса при подготовке его к работе. Коллектором ионов является корпус насоса с напыленной пленкой титана.

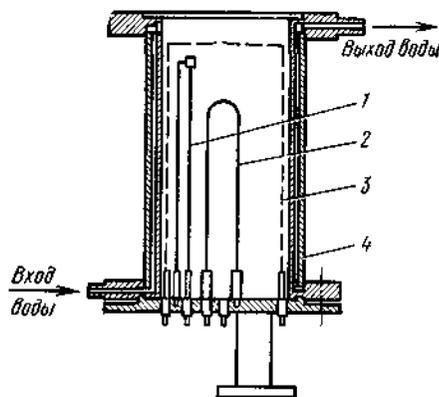


Рис. 39. Схема геттерно-ионного насоса ГИН-05М1.

1 — катод, 2 — титановый испаритель, 3 — анод, 4 — корпус

Основным достоинством геттерно-ионных насосов является обеспечение безмасляной откачки и создание высокого и сверхвысокого вакуума при давлении  $1,33 \times 10^{-7} - 1,33 \cdot 10^{-10}$  Па. Насосам не требуется ловушки, они часто подсоединяются к откачиваемому объему без промежуточного вентиля, благодаря чему эффективность действия насосов чрезвычайно велика. Геттерно-ионные насосы бесшумны, не создают вибраций.

Недостатками геттерно-ионных насосов, препятствующими их широкому применению, является их малая надежность в длительной работе из-за нестабильности горячего вольфрамового катода, низкая скорость откачки инертных газов и т. п.

Отечественная промышленность выпускает геттерно-ионные насосы ГИН-05М1, ГИН-2, ГИН-5 с быстротой действия 450, 1800 и 4500 л/с соответственно, а также автоагрегаты АВТО-20М с быстротой действия 4500 л/с. Существуют конструкции насосов, имеющих скорость откачки до 100 000 л/с.

Магниторазрядные насосы. Магниторазрядные насосы относятся к геттерно-ионным, но отличаются тем, что испарение геттера и ионизация газа в них происходит за счет газового разряда в магнитном поле. Следовательно, магниторазрядные насосы не имеют накаленного вольфрамового катода.

На рис. 40, а и б изображены схемы простейших магниторазрядных насосов. Анод 2 насоса, изготовлен-

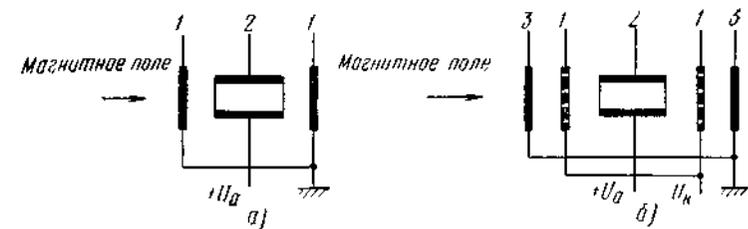


Рис. 40. Схемы магниторазрядных насосов:

а — диодного; б — триодного; 1 — катод, 2 — анод, 3 — дополнительный электрод

ный из нержавеющей стали, состоит из отдельных ячеек, катод 1 — из титана. Диодная система анод — катод помещена в магнитное поле, при подаче напряжения в ней возникает газовый разряд. Положительные ионы, появляющиеся в разряде, движутся в направлении к катоду и распыляют титан, который осаждается на всех внутренних поверхностях электродов, но в основном на аноде.

Механизм откачки газов существенно зависит от рода откачиваемого газа. Активные газы ( $N_2$ ,  $O_2$ ), попадая на свеженанесенную пленку титана, образуют с ним устойчивые химические соединения. Инертные газы, а также пары воды, углеводороды, углекислый газ откачиваются за счет диссоциации молекул в разряде и внедрения ионов этих газов в материал катода.

В описываемом диодном магниторазрядном насосе скорость откачки инертных газов очень мала. Этот недостаток ликвидирован в триодном магниторазрядном насосе, в котором корпус насоса, напыленный пленкой

титана, используется в качестве коллектора ионов инертных газов.

Магниторазрядные насосы используют в системах высокого и сверхвысокого вакуума для обеспечения давлений в диапазоне  $1,33 \cdot 10^{-7}$ — $1,33 \cdot 10^{-11}$  Па.

Достоинством магниторазрядных насосов является простота их обслуживания, надежность и большой срок службы, быстрое восстановление работоспособности при прорывах атмосферного воздуха.

К недостаткам магниторазрядных насосов относятся небольшая скорость откачки инертных газов, необходимость применения постоянных магнитов и высокого напряжения (до 7 кВ), большая чувствительность к парам органических веществ и влаги.

Отечественная промышленность выпускает магниторазрядные насосы НЭМ-30, НЭМ-100, НЭМ-300 с быстротой действия до 30, 100, 300 л/с соответственно, магниторазрядные диодные насосы с охлаждаемым водой блоком анодов НОРД-10, НОРД-25, НОРД-100, НОРД-250 с быстротой откачки 10, 28, 100, 280 л/с соответственно; магниторазрядные триодные насосы с охлаждением анода и коллектора водой или жидким азотом ТРИОН-150 с быстротой откачки 130 или 300 л/с.

На базе насосов НЭМ выпускают агрегаты ЭРА-30-2, ЭРА-100-2, ЭРА-300-2, в которых для предварительной откачки используют адсорбционные цеолитовые насосы ЦВН-1-2.

### § 30. ВАКУУМНЫЕ СИСТЕМЫ

Вакуумная система представляет собой совокупность вакуумных насосов, соединительных трубопроводов, откачиваемого объема, приборов измерения давления и элементов, необходимых для создания вакуума, ловушек, кранов, вентилях, затворов, натекаелей и др.

Все вакуумные системы должны обеспечивать возможность получения требуемого давления в откачиваемом объеме и необходимую быстроту откачки объема.

Вакуумные системы классифицируются следующим образом:

по величине получаемого давления разреженных газов — низкого, высокого и сверхвысокого вакуума;

по виду применяемых средств откачки — вакуумные системы с масляной или безмасляной откачкой,

иначе говоря, системы с паромасляными, парортутными, турбомолекулярными, магниторазрядными насосами и т. д.;

по виду материалов, применяемых для изготовления основных элементов, — стеклянные и металлические. В крупном серийном производстве применяют в основном металлические вакуумные системы.

**Элементы вакуумных систем.** Устройство вакуумных насосов и приборов изменения давления разреженных газов рассмотрено в § 28 и 29.

**Ловушки.** Ловушки представляют собой вакуумные устройства, которые предназначены, во-первых, для улавливания паров рабочей жидкости (масла, ртути) насосов и снижения возможности проникновения их в откачиваемый объем или любой элемент вакуумной системы; во-вторых, для снижения парциального давления этих паров или газов путем конденсации их на охлажденной (по сравнению с другими элементами системы) рабочей поверхности ловушки. Ловушки должны обладать хорошей защитной способностью, высокой удельной проводимостью (правильно сконструированная ловушка снижает быстроту откачки насоса только на 30—40%), быть легко разборными.

По принципу действия ловушки можно разделить на механические, конденсационные, адсорбционные и электрические.

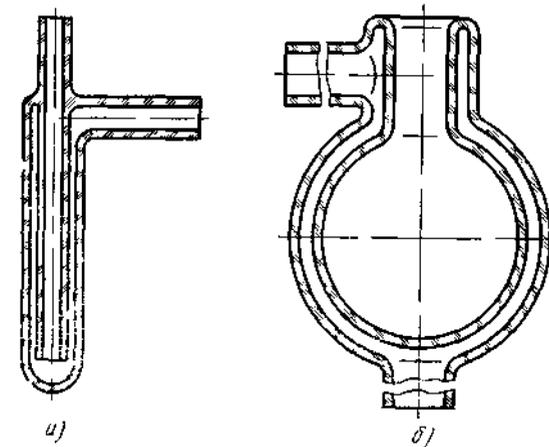


Рис 41. Конденсационные азотные ловушки:  
а — цилиндрическая, б — шаровая

Механические (маслоотражатели) чаще всего изготовляют в виде охлаждаемого водой колпачка, который устанавливается над верхним соплом паромасляного диффузионного насоса.

Конденсационные (или вымораживающие) ловушки изготовляют обычно из стекла в виде цилиндра или шара (рис. 41, а, б), которые охлаждают жидким азотом ( $-196^{\circ}\text{C}$ ), ацетоном, эфиром. Пары или газы в вакуумной системе, попадая на охлажденную поверхность, конденсируются на ней. К конденсационным ловушкам относятся и термоэлектрические. Температура  $-30$ — $-40^{\circ}\text{C}$  в них создается специальной термоэлектрической полупроводниковой батареей.

Для улавливания паров и газов в адсорбционных ловушках (рис. 42) используется высокая адсорбционная способность некоторых пористых веществ — адсорбентов, которые закладываются в полости ловушек на пути паров или газов.

В высокомолекулярных адсорбционных ловушках адсорбентами могут быть цеолит, активированный древесный или торфяной уголь, активированная окись алюминия.

В форвакуумных адсорбционных ловушках в качестве адсорбента может применяться активированный уголь, окись алюминия, силикагель.

Электрическая (ионная) ловушка (рис. 43) представляет собой цилиндрический корпус 1 из немагнит-

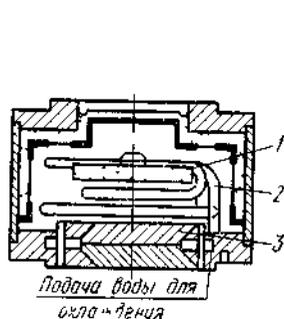


Рис. 42 Схема адсорбционной цеолитовой ловушки:

1 — цеолит, 2 — трубка-нагреватель цеолита, 3 — маслоотражатель

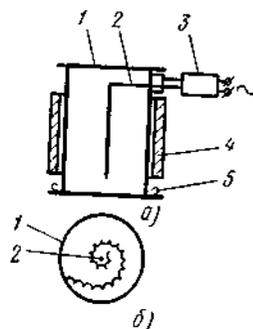


Рис. 43 Схема ионной ловушки.

а — общий вид, б — траектория электрона: 1 — корпус, 2 — анод, 3 — выпрямитель, 4 — соленоид, 5 — водяное охлаждение

ного металла — катод, в центре которого расположен анод 2. При подаче напряжения до  $3,5$  кВ в магнитном поле соленоида 4 движется электрон, который на своем пути многократно сталкивается с молекулами пара, расщепляет их, часть из них откачивается, часть конденсируется на стенках ловушки.

В вакуумных системах низкого вакуума устанавливают простейшие конденсационные, адсорбционные или ионные ловушки; в вакуумных системах высокого вакуума — конденсационные, адсорбционные, маслоотражатели.

Краны, вентили, затворы, клапаны, натекатели и вспомогательные устройства. Краны, вентили, затворы, клапаны, натекатели позволяют производить всевозможные манипуляции по соединению и разделению различных участков вакуумных систем, иначе говоря, являются коммуникационной аппаратурой. Они должны обладать высокой герметичностью, максимальной проводимостью в открытом положении, минимальным собственным газовыделением, незначительной адсорбционной способностью и возможностью многократного прогрева до  $300$ — $700^{\circ}\text{C}$  в системах сверхвысокого вакуума.

В коммуникационной аппаратуре, предназначенной для работы в условиях среднего и высокого вакуума, стремятся уменьшить величину поверхности резиновых уплотнений или заменить резину другими материалами (индий, фторопласт).

В вакуумных лабораторных стеклянных системах с давлением остаточных газов до  $1,33 \cdot 10^{-3}$  Па нашли широкое применение стеклянные краны.

В металлических вакуумных системах используют металлические краны золотникового типа, вентили с винтовым приводом, клапаны с эксцентриковым, пневматическим или гидравлическим приводами; при перекрытии трубопроводов больших сечений чаще всего применяют затворы и задвижки. Устанавливаемые в системах сверхвысокого вакуума (давление меньше  $6,65 \cdot 10^{-5}$  Па) затворы обычно обезгаживаются при температурах  $300$ — $700^{\circ}\text{C}$ ; в них применяются уплотнения из индия, алюминия, золота.

При изготовлении газонаполненных электровакуумных приборов, а также при производстве тонкопленочных изделий необходимо создавать условия для дози-

рованной подачи газа в вакуумную систему. Устройства, с помощью которых возможно осуществление дозировки, называются *натекателями*.

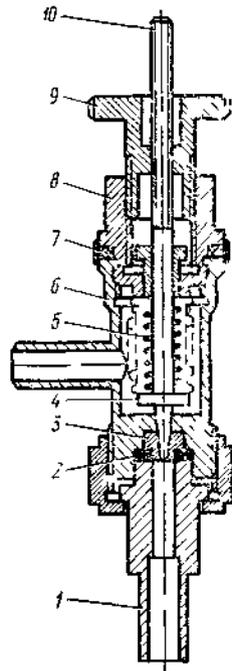


Рис 44 Игольчатый натекатель с ручным приводом

1 — штуцер, 2, 7 — резиновые уплотнения, 3 — медное седло, 4 — металлический сиффон, 5 — пружина, 6 — корпус, 8 — втулка, 9 — гайка, 10 — игла

В откачном вакуумном оборудовании применяют диффузионные и термодиффузионные натекатели, а в напылительном вакуумном оборудовании — игольчатые натекатели.

Принципиальная схема игольчатого натекателя изображена на рис. 44.

В лабораторной практике или мелкосерийном производстве применяют стеклянные порционные краны (рис. 45).

К вспомогательным устройствам вакуумных систем относятся электрические вакуумные вводы, вводы вращения в вакуум, смотровые окна и т. п. Некоторые примеры их приведены на рис. 46—48.

Неразъемные соединения элементов вакуумных систем. В стеклянных вакуумных системах неразъемные соединения элементов осуществляются путем изготовления спаев стекло — стекло или стекло — металл. Для получения высококачественного спая необходимо подбирать стекла и металлы так, чтобы их коэффициенты термического расширения не отличались более чем на 5%.

В металлических вакуумных системах неразъемные соединения осуществляют различными методами сварки или пайки.

Металлокерамические узлы вакуумных систем изготовляют чаще всего методом бесфлюсовой пайки в вакуумных или водородных печах.

Разъемные соединения элементов вакуумных систем. Разъемные соединения элементов вакуумных систем осуществляют с помощью специальных уплотнителей, неметаллических или металли-

ческих в зависимости от диапазона рабочих давлений.

Элементы низковакуумных систем соединяют с помощью гибких шлангов (резиновых, металлических) или упругих колец (резиновых, фторопластовых).

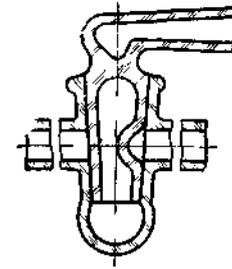


Рис 45 Порционный стеклянный кран:

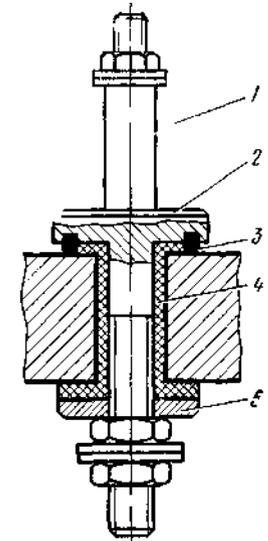


Рис 46 Токовый ввод:

1 — металлический стержень, 2 — изоляционная втулка, 3 — резиновый уплотнитель, 4 — изоляционная шайба, 5 — металлическая шайба

В высоковакуумных системах с давлением до  $\sim 6,65 \cdot 10^{-5}$  Па разъемные соединения изготовляют с металлическими уплотнителями. Металлические уплотнительные прокладки практически газонепроницаемы, газовыделение их приблизительно в 1000 раз меньше, чем у лучших сортов резины. В качестве прокладки применяют медь, алюминий, свинец, индий.

**Требования, предъявляемые к материалам, применяемым в вакуумных системах.** К материалам, применяемым в вакуумных системах, предъявляют строго определенные требования, как-то:

минимальное газосодержание и высокая скорость откачки; высокая коррозионная стойкость; минимальная газопроницаемость; механическая стойкость; термическая стойкость; минимальная пористость; химическая стойкость по отношению к органическим маслам и растворителям; минимальная упругость пара при рабочей температуре.

В вакуумных системах применяют металлы (медь, никель, алюминий, железо), сплавы (X18H9T, X18H10T) и сталь вакуумной плавки (000X18H12), а также неметаллические материалы; стекло (С40-1, С47-1, С49-1, С89-6), резину (марок 7899, 9024,

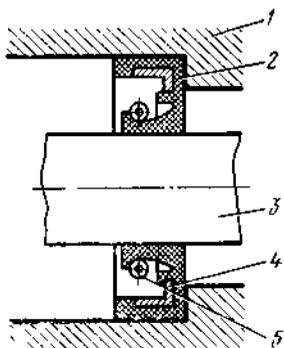


Рис. 47. Вращающийся вал:

1 — корпус, 2 — резиновая манжета, 3 — вал, 4 — металлическое кольцо, 5 — пружинное кольцо

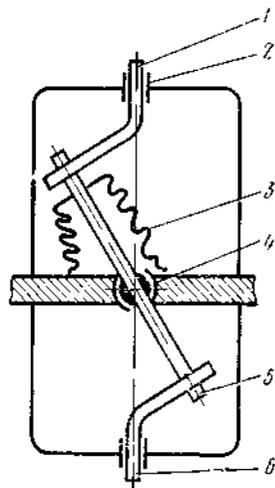


Рис. 48. Ввод вращения в вакуум.

1 — вал, 2 — опора, 3 — сильфон, 4 — шарнир, 5 — шток, 6 — вращающийся вал

ИРП-1015, ИРП-1368, ИРП-2043), форстеритовую и алюмооксидную, а также специальную бериллиевую (брокерит-9) керамику.

Для уменьшения коэффициента трения трущихся поверхностей и повышения герметической надежности шлифовых соединений вакуумных систем применяют смазку: в условиях низкого вакуума смазку типа Рамзая, в условиях высокого вакуума — дисилицид молибдена ( $\text{MoS}_2$ ), нитрид бора (BN) и др. Работоспособность этих смазок сохраняется до  $800^\circ\text{C}$ .

Лаки — кремнийорганические с максимальной рабочей температурой до  $200^\circ\text{C}$  в высоковакуумных системах и глифталевые — в низковакуумных системах используют для устранения обнаруженной течи.

Примеры вакуумных систем оборудования для нанесения тонких пленок. Вакуумная система, изображенная на рис. 49, применяется в установках для производства интегральных схем. Предварительная откачка объема рабочей камеры 14 до давления  $6,65 \cdot 10^0$  Па осуществляется механическим насосом 7 через клапан 4. Диффузионный насос 11 в это время отсечен от вращательного клапаном 8. Высоковакуумный затвор 13 закрыт и насос 11 работает на форвакуумный баллон 9. После предварительной откачки осуществляется высоковакуумная откачка до давления  $1,33 \cdot 10^{-4}$ — $1,33 \cdot 10^{-5}$  Па через водоохлаждаемую ловушку 12, причем клапан 4 закрыт, а клапан 8 открыт. При выключении насоса 7 через натекатель 6 в него напускается воздух. Давление в вакуумной системе измеряется манометрами 2 и 10. Для напуска воздуха или газа в рабочую камеру имеются электромагнитный или игольчатый натекатель 5 и ручной натекатель 3.

В вакуумных напылительных установках колпакового типа с резиновыми уплотнителями не может быть получен высокий вакуум, так как невозможно проведение высокотемпературного прогрева камеры с целью ее обезгаживания. Применение металлических прокладок не всегда удобно. Поэтому для получения высокого вакуума используют вакуумные установки с дуэстанными рабочими камерами, выполненными по системе вакуум в вакууме. Внешняя толстостенная камера с резиновым уплотнением охлаждается водой, а внутренняя тонкостенная камера прогревается путем пропускания через нагревательные элементы 1 электрического тока; уплотнение внутренней камеры осуществляется по притертым поверхностям.

На рис. 50 изображена вакуумная система установки для производства многослойных микросхем методом ионного распыления материалов. Бустерный насос 16 с криогенной ловушкой 17 откачивает рабочую камеру 1 до давления  $\sim 6,65 \cdot 10^{-3}$  Па через затвор 19. Затем через игольчатые натекатели 2, 3 и 4 из смесительного бака 5 подается рабочий газ в рабочую камеру до давления  $1,33 \cdot 10^1$ — $6,65 \cdot 10^0$  Па. Положение заслонки 20 также меняет скорость откачки системы.

Предварительная откачка рабочей камеры 1 и бустерного насоса 16 производится механическим насосом 13 (с маслоотражателем). Для напуска воздуха в на-

сос 13 служит натекагель 12, а в систему — натекагель 14. Давление в системе измеряется манометрами 6, 7 и 18.

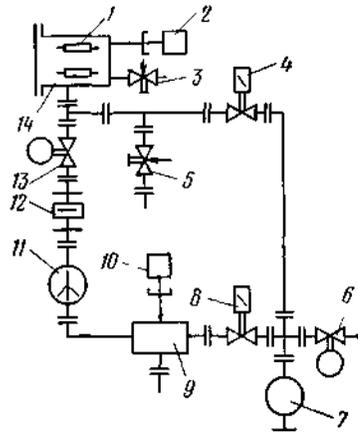


Рис 49 Схема вакуумной системы установки напыления в вакууме:

1 — нагревательные элементы, 2 и 10 — манометры, 3 — натекагель с ручным приводом, 4 и 8 — клапаны с электромагнитным приводом, 5 — игольчатый натекагель, 6 — натекагель с приводом от электродвигателя, 7 — механический насос, 9 — форвакуумный баллон, 11 — диффузионный насос, 12 — водоохлаждаемая ловушка, 13 — высоковакуумный затвор от электродвигателя, 14 — разъемная вакуумная камера

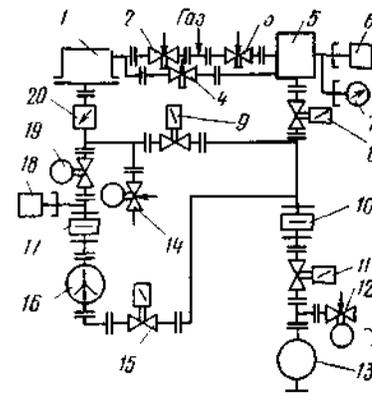


Рис 50 Схема вакуумной системы установки ионного распыления металлов:

1 — рабочая камера (вакуумная разъемная), 2, 3, и 4 — игольчатые натекатели с ручным приводом, 5 — смесительный бак, 6, 7, и 18 — манометры, 8, 9, 11 и 15 — клапаны с электромагнитным приводом, 10 и 17 — ловушки, 12 и 14 — натекатели с приводом от электродвигателя, 13 — механический насос, 16 — бустерный насос, 19 — высоковакуумный затвор с приводом от электродвигателя, 20 — заслонка

### § 31. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ОТКАЧКИ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ

Откачкой электровакуумных приборов называется процесс удаления основной массы газов из объема ЭВП и получение низких рабочих и остаточных давлений газа в нем для создания условий нормальной работы прибора.

В вакуумных напылительных установках (камерах напыления) высокий вакуум обеспечивает получение чистых без газовых примесей тонких пленок, обладающих хорошим сцеплением с подложкой, строгой струк-

турой и стабильными электрическими, механическими и химическими свойствами\*.

Процесс откачки состоит из двух основных этапов. Первый этап — это удаление атмосферного воздуха из объема прибора и камеры вакуумной установки; второй этап — удаление воздуха и любых газов, адсорбированных на поверхности различных элементов арматуры прибора, камеры вакуумной установки и т. п.

Второй этап является очень важным моментом откачки; если не удалить, не обезгазить детали прибора — металлические, стеклянные, слюдяные — газы будут выделяться в объем работающего прибора, ухудшат вакуум в нем и выведут прибор из строя. Поэтому во время откачки обязательно удаляются растворенные и адсорбированные газы из металлов деталей прибора.

Длительность процесса откачки определяется как конструкцией вакуумной системы, применяемой для откачки, так и конструкцией и материалами откачиваемого прибора. Так, процесс удаления атмосферного воздуха из объема ЭВП длится от нескольких секунд до десятков минут, а процесс обезгаживания прибора может продолжаться в течение нескольких часов.

Состав и количество газов, выделяющихся при обезгаживании ЭВП, зависит от рода материалов деталей прибора, их количества и размеров.

**Виды откачки.** По способу соединения электровакуумного прибора с откачной вакуумной системой различают следующие основные виды откачки:

штенгельная откачка — соединение через штенгель; скорость откачки при этом невелика, так как ограничена малой проводимостью штенгеля;

бесштенгельная, или камерная, откачка — откачка через камеру, в которой расположен откачиваемый прибор, разделенный на несколько частей. По окончании процесса откачки прибор герметизируется с помощью специальных приспособлений непосредственно в камере. Эта откачка применяется в случае, когда внутренние коммуникации прибора сложной конструкции,

\* Степень разрежения в камере напыления должна соответствовать условиям, при которых имеют место молекулярные потоки испаренных атомов и молекул. В этом случае атомы напыляемого вещества, покинув поверхность испарителя, летят по прямолинейным траекториям без взаимных столкновений между собой и не меняют своего направления вплоть до конденсации на поверхности (см гл VI)

не позволяют понизить давление остаточных газов до  $1,33 \cdot 10^{-3} - 1,33 \cdot 10^{-4}$  Па.

**Контроль процесса откачки.** Величину газоотделения электровакуумных приборов на различных этапах процесса откачки контролируют с помощью двух параметров: динамического давления  $P_d$  в вакуумной системе и скорости газоотделения  $Q$ , которая замеряется в динамическом  $Q_d$  и статическом  $Q_{ст}$  режимах.

Как известно, для измерения давления в вакуумных системах применяют различные манометры, а в откачных постах — в основном термоманометры и ионизационные. При откачке приборов, особенно сопровождающейся прогревом, давление  $P_{пр}$  в приборе всегда выше, чем в остальных частях системы из-за сопротивления, оказываемого потоку газа штенгелем, внутренними коммуникациями прибора и т. п. В зависимости от конструктивных особенностей системы разница между  $P$  и  $P_{пр}$  может быть очень велика, но пропорциональность между ними сохраняется на всех этапах откачки однотипных ЭВП на конкретной вакуумной системе. Поэтому, установив однажды расчетным или экспериментальным путем соотношение  $P_d / P_{пр}$ , всегда можно

рассчитать давление  $P_{пр}$  в приборе по измеренному давлению  $P_d$  в выбранном заранее участке вакуумной системы.

Для измерения потока газоотделения  $Q_d$  в динамическом режиме применяют калиброванные сопротивления: капилляр, диафрагма, заслонка, пневматический кран (рис. 51).

Наиболее удобными из перечисленных устройств являются пневматический кран и заслонка с ручным или электрическим приводом, так как они могут изменять достаточно точно величину сопротивления потоку газа.

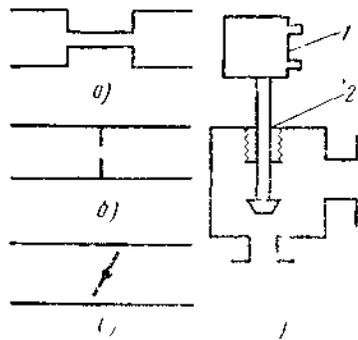


Рис 51 Устройства для измерения потока газоотделения в динамическом режиме

а — калиброванный капилляр, б — калиброванная диафрагма, в — заслонка с ручным или электрическим приводом, г — пневматический кран с ограничителями хода штока пневмоцилиндра, 1 — пневмоцилиндр крана, 2 — шток пневмоцилиндра

Измерение газоотделения в динамическом режиме проводится следующим образом: на первом этапе откачки, когда поток газоотделения максимален, заслонка или кран открыты максимально, имеют наибольшую проводимость, поэтому не изменяют режима течения газа из прибора по трубопроводу. В конце откачки, когда газоотделение прибора очень мало, чтобы обеспечить перепад давления на калиброванном сопротивлении, заслонку ставят под определенным углом.

Величину  $Q_d$  определяют по формуле

$$Q_d = U \Delta P_d, \quad (27)$$

где  $U$  — проводимость калиброванного сопротивления, л/с;  $\Delta P_d$  — перепад давления на калиброванном сопротивлении, Па.

Для измерения газоотделения  $Q_{ст}$  прибора статическим методом используют высоковакуумный кран вакуумной системы. На некоторых этапах откачки кран перекрывают и определяют зависимость изменения давления в отсеченном объеме от времени.

Величина  $Q_{ст}$  определяется по формуле

$$Q_{ст} = \frac{V \Delta P}{\Delta t}, \quad (28)$$

где  $V$  — замкнутый (отсеченный краном) объем, л;  $\Delta P$  — перепад давления на выбранном участке, Па;  $\Delta t$  — время измерения, с.

Точность измерения  $Q_d$  и  $Q_{ст}$  зависит от состава газов, выделяющихся из ЭВП при откачке. Учитывая, что при отработанном технологическом режиме откачки для каждого типа ЭВП состав газов практически одинаков, контроль за процессом откачки можно вести путем измерения  $Q_d$  и  $Q_{ст}$ .

Контроль качества процесса откачки, иначе говоря, контроль герметичности электровакуумного прибора и вакуумного оборудования ведется с помощью масс-спектрометрических теческателей ПТИ-6 и ПТИ-7.

## § 32. ВАКУУМНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ЕГО ОБСЛУЖИВАНИЕ

Вакуумное оборудование, применяемое в производстве электронных приборов, подразделяется на следующие основные виды.

1) вакуумное откачное оборудование, предназначенное для откачки, обезгаживания и тренировки собранных приборов;

2) вакуумное оборудование, предназначенное для напыления тонких пленок;

3) вакуумное термическое оборудование, предназначенное для отжига и обезгаживания деталей и узлов приборов, вакуумного плавления металлов, термической обработки исходных материалов и т. п.

В массовом производстве электронных приборов, таких, как приемно-усилительные лампы, кинескопы, некоторые газоразрядные и генераторные лампы, в качестве вакуумного откачного оборудования используют полуавтоматы откачки. На них загрузка приборов, а иногда и отпайка производится вручную; весь остальной цикл откачки автоматизирован.

Вакуумное оборудование, предназначенное для напыления тонких пленок, классифицируется по следующим основным признакам:

по степени вакуума, получаемого в рабочей камере установки, различают установки высоковакуумные и сверхвысоковакуумные;

по числу операций осаждения тонких пленок, возможных на установке за один вакуумный цикл, различают установки однооперационные и многооперационные;

по методу и источнику образования пленок различают установки термического испарения материалов в вакууме с помощью резистивных и электронных испарителей; установки катодного распыления материалов; установки ионно-плазменного распыления материалов.

Типы вакуумного напылительного оборудования изложены в гл. VI.

Примеры применения вакуумно-термического оборудования даны в гл. IV.

Обслуживающему персоналу как при работе на вакуумном откачном оборудовании, так и при работе на вакуумном напылительном оборудовании необходимо знать следующие основные положения:

технологические характеристики оборудования, данные в прилагаемом к нему паспорте и техническом описании, должны соответствовать условиям технологического процесса, проводимого на данном оборудовании;

оборудование должно быть надежным и безотказным в работе;

надежность оборудования обеспечивается при его конструировании и в большей мере определяется условиями и правильностью его эксплуатации;

конструкция оборудования должна обеспечивать безопасные условия труда, максимально возможное число автоматизированных операций;

вакуумное оборудование должно соответствовать требованиям технической эстетики, электронно-вакуумной гигиены согласно действующим инструкциям.

#### *Контрольные вопросы*

1. Что такое «газ» и что такое «пар»?
2. Какие основные газовые законы вы знаете?
3. Каково основное уравнение вакуумной техники?
4. Перечислите основные свойства газов
5. Перечислите типы вакуумных насосов
6. Назовите основные элементы вакуумной системы
7. Что такое технологический процесс откачки?
8. Как осуществляется контроль процесса откачки?

## ГЛАВА VI

### МЕТАЛЛИЗАЦИЯ В ВАКУУМЕ

#### § 33. МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК

В технологии изготовления пленок принято условное разделение пленочных покрытий на «тонкопленочные» и «толстопленочные». Толщина пленок измеряется в микронах (мкм).

Тонкими условно считаются пленки, имеющие толщину до нескольких микрон. Толстые пленки имеют толщину от нескольких микрон до десятков микрон. Тонкие и толстые пленки различаются также по способу их получения.

Впервые тонкие пленки стали применяться в оптической промышленности для изготовления оптических зеркал и просветляющих покрытий линз и объективов. В настоящее время находят применение следующие способы получения тонких пленок: термическое вакуумное напыление, катодное вакуумное распыление, ионно-плазменное распыление, анодное электрическое окисление, эпит-

таксиальное наращивание, осаждение пленок из паровой и газовой фаз, термическое окисление и электрохимическое осаждение.

Выбор того или иного способа зависит от нескольких факторов: природы наносимого вещества и покрываемого материала, строения пленки, ее толщины и требуемого распределения последней. Например, электрохимическое осаждение используется главным образом для получения металлических покрытий толщиной порядка десятков микрон и его нельзя применять для металлизации материалов, если только предварительно на эти материалы не нанесен проводящий слой.

Рассмотрим три первых способа получения тонких пленок, так как они достаточно хорошо исследованы и успешно внедрены в промышленность.

**Термическое вакуумное напыление.** Схема процесса термического напыления. Рабочую камеру вакуумной установки (рис. 52) выполняют, как правило, в виде металлического или стеклянного колпака 1, который устанавливают на опорной плите 7. Между колпаком и плитой находится прокладка, обеспечивающая вакуумноплотное соединение, выполненная из резины, фторопласта, меди, золота и других материалов.

Внутри рабочей камеры располагают подложку 4, закрепленную на держателе 3, нагреватель 2 подложки и испаритель 6 для нагрева напыляемых веществ. Между испарителем и подложкой устанавливают заслонку 5, которая в нужный момент прекращает процесс попадания испаряемого вещества на подложку. Рабочая камера откачивается вакуумным насосом.

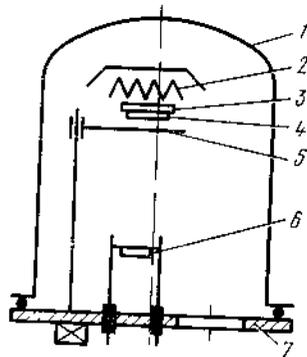


Рис. 52. Схема процесса термического напыления:

1 — колпак, 2 — нагреватель подложки, 3 — держатель, 4 — подложка, 5 — заслонка, 6 — испаритель, 7 — опорная плита

Напыление любой пленки связано с тремя основными процессами: испарением металлов из испарителя, перенесением частиц пара от источника к подложке, конденсацией частиц пара на подложке.

Эти процессы правильно протекают лишь тогда, когда температура подложки значи-

тельно ниже температуры испарителя, а давление остаточных газов и паров материала настолько мало, что испаряемые частицы не теряют своей энергии непосредственно над испарителем вследствие столкновений между собой или с частицами остаточного газа, т. е. тогда, когда существуют условия свободного испарения.

**Испарение металлов.** Испарение производится путем нагревания испаряемого вещества в вакууме. При этом кинетическая энергия молекул и атомов в поверхностном слое увеличивается, они отрываются от поверхности и распространяются в свободном пространстве. С повышением температуры и увеличением энергии молекул возрастает количество частиц, способных оторваться от поверхности испаряемого вещества. Обычно при нагревании вещество сначала плавится, а затем образуется пар. Однако некоторые материалы (Mg, Cd, Cr, Zn, ZnS) при нагревании переходят, минуя жидкую фазу, непосредственно в парообразное состояние. Этот процесс называется *возгонкой*, или *сублимацией*, твердого вещества.

Температура, при которой упругость паров данного вещества достигает значения  $1,33 \cdot 10^0$  Па, называют *температурой испарения* этого вещества.

*Скорость испарения вещества* определяется количеством вещества, испаряемого с единицы площади в 1 с, и выражается формулой

$$V_{\text{исп}} = 0,0585 P_s \sqrt{\frac{M}{T}} \approx 6 \cdot 10^{-4} \sqrt{\frac{M}{T}}, \quad (29)$$

где  $V_{\text{исп}}$  — скорость испарения, г/см<sup>2</sup>·с;  $P_s$  — давление насыщенного пара  $1,33 \cdot 10^0$  Па;  $M$  — молекулярная масса испаряемого вещества, г/моль;  $T$  — температура испарения вещества, К.

Формула для определения скорости испарения справедлива для молекулярного режима испарения. *Молекулярным* называют режим, при котором остаточное давление меньше  $1,33 \cdot 10^{-2}$  Па, а упругость пара не превышает  $1,33 \cdot 10^2$  Па. При упругости пара, большей  $1,33 \cdot 10^{-2}$  Па, над испарителем образуется облако пара, которое препятствует процессу испарения.

В практике при напылении покрытий испаряемые вещества нагревают выше температуры испарения, чтобы увеличить скорость испарения и свести к минимуму вредное влияние остаточных газов в рабочем объеме вакуум-

ной установки на свойства пленки. При этом нужно иметь в виду, что при очень большой скорости испарения давление паров над испарителем возрастает до такой степени, что к подложке направляется не молекулярный поток, а пар, состоящий из мельчайших капелек вещества, при этом условии образование пленки и ее физические свойства резко ухудшаются.

При чрезмерно форсированном режиме испарения на подложку могут попадать и довольно крупные капли вещества. В особенности это относится к материалам с плохой теплопроводностью, как, например, диэлектрикам и полупроводникам. Для испарения этих материалов применяют так называемые диффузные испарители, в которых поток пара выходит из испарителя через узкую щель или небольшие отверстия.

Распространение паров испаряемого вещества. Основным параметром, влияющим на распространение потока пара испаряемого вещества, является степень вакуума в рабочей камере, которая характеризуется средней длиной свободного пробега молекул.

*Длиной свободного пробега молекул* называется расстояние, проходимое молекулой между двумя последовательными столкновениями. Обозначим расстояние между испарителем и подложкой через  $h$ . Считают, что вакуум низкий, когда  $\lambda < h$ , вакуум средний, когда  $\lambda \approx h$ , и вакуум высокий, когда  $\lambda > h$  (см. гл. V).

Поток испаренных атомов или молекул, не претерпевающих на своем пути столкновений и рассеяний и движущихся вследствие этого прямолинейно называется *молекулярным потоком*. Определим, какое давление должно быть в рабочем объеме установки, чтобы поток был молекулярным. Средняя длина свободного пробега молекул  $\lambda$  определяется формулой

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2\pi} N \delta^2}, \quad (30)$$

где  $N$  — число молекул газа в  $1 \text{ см}^3$  при данном давлении и температуре;  $\delta$  — эффективный диаметр молекул, см. (См. аналогичную формулу (16), в которой длина свободного пробега молекул  $\lambda$ , выражена в зависимости от температуры и давления.)

Из условия  $\lambda \gg h$  определяем необходимую степень вакуума, составляющую  $1,33 \cdot 10^{-2}$  Па.

Прямолинейность пути молекулярных потоков в высоком вакууме позволяет установить аналогию между движениями молекулярных и световых потоков и распространить закономерности геометрической оптики, применяемые при расчете освещенности, на закономерности движения молекулярных потоков.

Так, законы Ламберта в применении к молекулярным потокам могут быть записаны следующим образом.

Закон первый. Интенсивность излучения частиц с поверхности испарителя под углом  $\varphi$  к нормали этой поверхности пропорциональна  $\cos \varphi$ .

Закон второй. Количество испарившихся атомов, достигающих поверхности подложки в единицу времени, при точечном испарителе обратно пропорционально квадрату расстояния от испарителя до подложки.

Конденсация паров на подложке при вакуумном испарении. *Конденсацией* называется процесс перехода материала из газообразной фазы в твердую. При конденсации на подложке образуется пленка испаряемого вещества. Конденсация зависит от многих факторов, основными из которых являются температура подложки и плотность атомного пучка испаряемого вещества. При температуре подложки выше критической все атомы испаряемого вещества отталкиваются от подложки и конденсации паров не происходит.

Критической плотностью молекулярного пучка называют такую плотность, при меньших значениях которой конденсации пленки не происходит.

На процесс образования пленки влияет состояние поверхности подложки, а также молекулы остаточных газов.

В вакуумной системе, какой является напылительная установка, в состав остаточных газов входят прежде всего:  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$ . Частицы паров напыляемого материала могут вступать с этими газами в химическую реакцию, но при достаточно большой длине свободного пробега в пространстве источник — подложка это становится маловероятным.

Молекулы остаточного газа, реагируя с напыленным металлом, окисляют его. Тонкий окисный слой, образующийся на границе пленка — подложка, улучшает адгезию пленки, поэтому пленки, которые окисляются лучше (хром, железо, титан), имеют лучшую адгезию, чем пленки, которые плохо поддаются окислению (золото, серебро,

никель, палладий). Такие пленки обычно напыляются с подслоем другого металла, который имеет лучшую адгезию к подложке.

**Выводы.** Одним из основных преимуществ метода термического вакуумного напыления является возможность получения пленок в высоком вакууме ( $1,33 \cdot 10^{-4}$ — $1,33 \cdot 10^{-7}$  Па), что говорит об их минимальной загрязненности молекулами остаточных газов.

Основные требования, которые следует выполнять при получении тонких пленок методом термического вакуумного напыления, можно сформулировать следующим образом:

1. Обязательно выполнение условий свободного напыления, т. е. давление остаточных газов должно быть меньше  $1,33 \cdot 10^{-2}$  Па, а давление собственных паров материала над источником меньше  $1,33 \cdot 10^0$  Па.

2. Пленку, однородную на большой поверхности подложки, можно получить тогда, когда она напыляется с одинаковой и постоянной скоростью, и тогда, когда подложка равномерно нагрета, а углы напыления частиц на подложку будут отличаться незначительно.

3. Физические параметры пленки можно воспроизвести в последующих напылениях только тогда, когда обеспечиваются одинаковые испаряемые металлы и подложка; давление и состав остаточных газов; одинаковая и постоянная скорость напыления и температура подложки.

**Катодное вакуумное распыление.** Схема процесса катодного распыления. Катодное распыление основано на явлении разрушения катода при бомбардировке его ионизированными молекулами разреженного газа. Атомы, вылетающие с поверхности катода при его разрушении, распространяются в окружающем пространстве и осаждаются на приемной поверхности, которой является подложка. Схема процесса катодного распыления изображена на рис. 53.

В рабочей камере 1 установлена двухэлектродная система, состоящая из катода 5 и анода 2. Катод изготовляют из материала, который хотят распылить, а на аноде располагают подложку 3. Иногда катодное распыление называют диодным — по числу электродов. Заслонка 4, расположенная между катодом и анодом, предназначена так же, как и при термическом напылении, для перекрытия потока пара распыляемого вещества по мере надобности.

Из рабочей камеры необходимо откачать воздух, после чего в камеру напускается рабочий газ (чаще всего используется аргон), давление которого устанавливается  $1,33 \cdot 10^1$ — $1,33 \cdot 10^0$  Па. После этого между анодом и катодом подается высокое напряжение (порядка нескольких киловольт), которое вызывает пробой газового промежутка. Форма установившегося после пробоя разряда зависит от величины давления газа, длины разрядного промежутка, геометрии электродов, величины приложенного напряжения и плотности разрядного тока. При относительно малых плотностях тока между электродами возникает тлеющий разряд.

Скорость катодного распыления определяется количеством вещества катода, распыленного в единицу времени. Существенное влияние на скорость распыления оказывают давление газа, величина энергии ионов рабочего газа и расстояние между катодом и подложкой.

Существуют две разновидности катодного распыления: физическое и реактивное.

**Физическое катодное распыление.** Физическим называют такое катодное распыление, при котором состав получаемой пленки не отличается от материала распыляемого катода, т. е. в процессе распыления не происходит химической реакции и не получается новых соединений. Однако это не значит, что в пленке не содержится молекул других веществ, кроме вещества катода. При катодном распылении пленки получаются более загрязненными, чем при термическом напылении, так как распыление производится при более высоких давлениях. Загрязнению пленки способствует также ряд специфических особенностей катодного распыления.

Катодное распыление проводят в атмосфере инертных газов, молекулы которых обладают более высокими энергиями, что увеличивает коэффициент катодного распыления (число атомов, распыляемых под действием одного

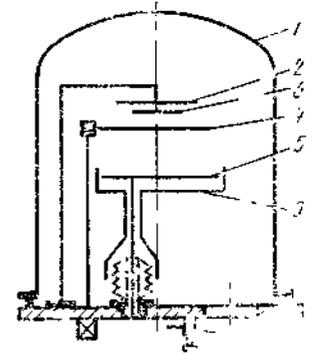


Рис 53. Схема процесса катодного распыления:

1 — рабочая камера, 2 — анод, 3 — подложка, 4 — заслонка, 5 — катод, 6 — экран, 7 — натекатель

иона). На практике чаще всего используют в качестве рабочего газа аргон или азот. Для уменьшения загрязнений рабочую камеру предварительно откачивают до давления  $1,33 \cdot 10^{-3}$ — $1,33 \cdot 10^{-4}$  Па и затем напускают в нее очищенный инертный газ. Таким способом получают пленки тугоплавких металлов: тантала, ниобия, титана.

**Реактивное катодное распыление.** При введении в рабочую камеру какого-нибудь газа, с молекулами которого распыляемое вещество вступает в реакцию, можно получать пленочные соединения с определенными свойствами. Такое катодное распыление называется *реактивным*. Образование химических соединений распыляемого вещества с молекулами реактивного газа может происходить на поверхности катода, в пролетном пространстве между катодом и анодом или на поверхности подложки в процессе конденсации пленки. Предпочтительным является третий путь получения химических соединений. Катодное распыление проводят в атмосфере инертного газа, а реактивный газ вводят в небольшом количестве. Осаждаемая на подложке пленка адсорбирует молекулы реактивного газа, и образуются требуемые химические соединения, свойства которых меняются в зависимости от изменения давления реактивного газа.

Для получения окислов тугоплавких металлов распыление проводят в смеси аргона и кислорода. Распыляя металлы в смеси аргона и азота, получают нитриды. Для получения карбидов в качестве реактивного газа добавляют окись углерода.

**Ионно-плазменное распыление.** В отличие от катодного ионно-плазменное распыление осуществляется не бомбардировкой катода возбужденными ионами тлеющего разряда, а бомбардировкой специальной мишени ионами плазмы газового разряда низкого давления. В отличие от диодного при ионно-плазменном способе распыления система имеет три и более электродов, поэтому ее иногда называют *триодной или тетродной системой распыления*.

Схема процесса ионно-плазменного распыления изображена на рис. 54. Накальный катод 5 (термокатод) служит источником электронов в системе. Мишень 6, которая используется в качестве источника распыляемого материала, является электродом. На подложке 3, расположенной напротив мишени, конденсиру-

ются частицы вещества, распыляемые с ее поверхности.

Перед началом распыления рабочая камера 1 откачивается до давления  $1,33 \cdot 10^{-4}$  Па. Включается ток накала катода и последний разогревается до температуры, достаточной для получения термоэлектронного тока высокой плотности. После разогрева катода между анодом и катодом прикладывается напряжение, а рабочая камера заполняется инертным газом, давление которого с помощью игольчатого натека-теля поддерживается в пределах  $1,33 \cdot 10^{-2}$ — $1,33 \cdot 10^{-1}$  Па.

При достаточно большом термоэлектронном токе между раскаленным катодом и анодом возникает дуговой газовый разряд. Как правило, для зажигания разряда требуется некоторое повышение анодного напряжения. Разрядный ток достигает величин нескольких ампер, а напряжение на разрядном промежутке уменьшается до 60—40 В.

Раскаленный катод испускает электроны, которые при соударении с молекулами инертного газа вызывают их ионизацию. Если теперь подать на мишень отрицательный потенциал, то положительные ионы будут «вытягиваться» из плазмы разряда и бомбардировать поверхность мишени. Под действием бомбардировки положительными ионами при достаточно большой их энергии атомы материала мишени начнут распыляться и могут быть сконденсированы на подложке, расположенной напротив мишени.

Характерной особенностью описанного процесса распыления является его безынерционность. Достаточно снять потенциал с мишени, как распыление мгновенно прекращается.

Способ ионно-плазменного распыления, при котором на мишень подается постоянный (отрицательный) потен-

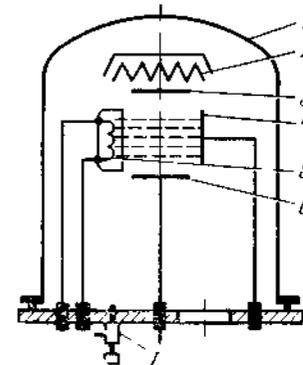


Рис. 54. Схема процесса ионно-плазменного распыления:

1 — рабочая камера, 2 — нагреватель, 3 — подложка, 4 — анод, 5 — накальный катод, 6 — мишень, 7 — натекатель

циал, применим только для распыления проводящих материалов.

**Высокочастотное плазменное распыление (ВПР).** Главной причиной, которая делает невозможным распыление диэлектриков при постоянном потенциале мишени, является накопление электрического заряда на поверхности распыляемого образца в начальный период распыления. Для нейтрализации этого заряда мишень помещается в высокочастотное поле. Находясь под переменным потенциалом, мишень поочередно бомбардируется положительными ионами и электронами плазмы. Бомбардировка мишени ионами приводит к ее распылению, а электроны нейтрализуют образующийся на поверхности положительный заряд.

#### § 34. СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК

Как правило, металлические пленки имеют зернистую структуру. Электрофизические свойства пленки, в частности ее объемное сопротивление и изменение этого сопротивления с изменением температуры и во времени, зависят от размера зерен и наличия дефектов структуры. Сопротивление пленки зависит также от ее толщины, причем при малой толщине оно резко возрастает за счет того, что пленка в этом случае является не сплошной, а состоит из отдельных, изолированных островков. Прхождение электрического тока между изолированными островками обусловлено довольно сложным механизмом переноса зарядов.

От природы распыляемого вещества, температуры и состояния поверхности подложки, а также от скорости осаждения пленки зависит размер зерен, определяющих структуру и электрофизические свойства пленки. В основу теории зарождения и роста пленки положено понятие *критического размера зерна*. При превышении этого размера начинается устойчивый рост пленки. Критический размер зерна, или критический радиус, находится в обратно пропорциональной зависимости от температуры плавления металла. Металлы с высокой температурой плавления, такие, как вольфрам, молибден, тантал, платина, образуют структуры с малой величиной зерна.

В случае напыления металлов с низкой температурой плавления, таких, как кадмий, магний, цинк и др., вели-

чина критического радиуса будет большой и структура образующейся пленки — крупнозернистой.

При повышении температуры подложки критический размер зерна увеличивается. Экспериментально было также доказано, что увеличение скорости напыления снижает критический размер зерен и при большей скорости осаждения получается пленка с более непрерывной структурой. Следовательно, для формирования мелкозернистой структуры пленки желательно снижение температуры подложки и увеличение скорости напыления. В практике температура подложки и скорость напыления выбираются с учетом всех факторов процесса.

На свойства, возникновение дефектов структуры и качество поверхности пленки оказывают влияние загрязнение, температура подложки и скорость осаждения пленки.

Электрофизические свойства пленок отличаются от свойств массивных образцов тех же материалов. Это объясняется зернистостью структуры тонких пленок и наличием дефектов или «рыхлостью» структуры. Наличие в пленке поглощенных молекул остаточных газов, которые осаждаются на подложке вместе с атомами и молекулами испаряемого вещества и оказываются «замурованными» внутри пленки, способствует разрыхлению структуры. Между атомами испаряемого вещества и атомами остаточных газов создаются валентные связи, которые делают эти соединения прочными.

Способность атомов испаряемого вещества вступать в реакции с атомами газов, находящихся в рабочей камере, позволяет сделать вывод о недопустимости эксплуатации вакуумных установок с заметным натеканием воздуха в рабочую камеру даже в том случае, когда благодаря большой производительности насоса можно поддерживать высокую степень вакуума.

Пары примесей, которые находятся в испаряемом веществе, также загрязняют конденсируемую пленку. Поэтому перед испарением вещество обезгаживают при температуре, близкой к температуре испарения. Подложка при этом прикрывается заслонкой, чтобы пары загрязняющих примесей не попадали на нее.

Увеличивая скорость осаждения пленки, мы уменьшаем загрязнение испаряемого вещества молекулами остаточных газов.

Одним из основных требований, предъявляемых к пле-

ночным покрытиям, является хорошая адгезия пленки к подложке. Улучшению адгезии, как упоминалось выше, способствует наличие окисного слоя на поверхности пленки, прилегающей к подложке. Способность к окислению у металлов определяется степенью химического сродства к кислороду. Следовательно, хорошую адгезию имеют металлы с высокой степенью сродства к кислороду, которые легко образуют окисный слой.

Загрязнение поверхности подложки и наличие молекул остаточных газов в составе пленки также оказывают большое влияние на качество адгезии. Загрязнения поверхности подложки, особенно масляные островки, ухудшают адгезию. Соединения распыляемого материала с молекулами остаточных газов в некоторых случаях способствуют улучшению адгезии, хотя и являются нежелательными по другим причинам.

### § 35. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПОДЛОЖКАМ

Как уже было сказано, свойства тонких металлических пленок зависят от свойств подложки. Требования к материалам подложки определяются технологическим режимом нанесения и обработки тонких пленок и условиями работы изготавливаемых элементов в аппаратуре. В основном эти требования следующие: гладкая и плоская поверхность; высокое объемное и поверхностное сопротивление; высокая электрическая прочность; высокая теплопроводность; химическая инертность к пленкам; механическая прочность; максимальная рабочая температура; хорошая способность к обезгаживанию в вакууме; невысокая стоимость.

Важнейшим требованием является хорошее состояние поверхности подложки. Большое влияние на качество тонкопленочных элементов оказывает микрорельеф подложки — высота неровностей, их форма и расположение. Особенно восприимчивы к неровностям тонкопленочные конденсаторы: даже небольшие дефекты поверхности подложки приводят к неоднородности поля в пленочном диэлектрике, снижению его электрической прочности и, как следствие этого, к пробое конденсатора. От микрорельефа подложки также зависит качество пленочных резисторов. Толщина тонкопленочных резисторов лежит обычно в пределах  $1,5 \cdot 10^{-2}$ — $6 \cdot 10^{-2}$  мкм. Ухудшение электрических свойств резистора могут вызвать

неровности, соизмеримые по высоте с толщиной резистивной пленки, которые нарушают ее сплошность.

При недоброкачественном микрорельефе пленки получается большой разброс удельного сопротивления пленки по подложке, например, при напылении пленочных резисторов на алундовую керамику, разброс их сопротивлений составляет от 1 до 30% номинального значения, в то время как при напылении на стекле он равен 1—2%.

Для контроля микрорельефа подложки используется специальный прибор — профилограф-профилометр. Высота неровностей на подложке не должна превышать  $2,5 \cdot 10^{-2}$  мкм.

Практически невозможно выбрать материал для подложек, который удовлетворял бы всем перечисленным требованиям. В зависимости от того, какие требования являются определяющими, применяют тот или иной материал.

Широкое применение в электронной промышленности находят подложки из стекла. Такие подложки имеют достаточно гладкую поверхность и невысокую стоимость. Если требуется особо гладкая поверхность подложки (высота неровностей менее  $10^{-2}$  мкм), то прибегают к полировке поверхности стекла.

### § 36. НАЗНАЧЕНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ ИСПАРИТЕЛЕЙ

**Выбор материала испарителей.** Физико-химические свойства испаряемых материалов, требуемые параметры покрытий, а также конфигурация и размеры металлизированных поверхностей — все это определяет разнообразие конструкций испарителей.

К физико-химическим свойствам испаряемых материалов, влияющим на выбор типа испарителя, относятся прежде всего: упругость пара и диссоциация при рабочих температурах, температура эффективного распыления, химическая активность, фазовое состояние при испарении (жидкое или твердое), смачиваемость материала испарителя, адсорбционная способность к газам и парам и др.

В табл. 7 приводится перечень металлов, наиболее часто применяемых для металлизации поверхностей, и рекомендуемые материалы испарителей.

Таблица 7. Металлы, наиболее часто применяемые для металлизации, и рекомендуемые материалы испарителей

Испаряемый металл	Материалы испарителей
Алюминий	Вольфрам, тантал, молибден, ниобий
Барий	Вольфрам, тантал, молибден, ниобий
Бериллий	Тантал, вольфрам, молибден
Ванадий	Вольфрам, молибден
Висмут	Хромель, тантал, вольфрам
Германий	Тантал, молибден
Железо	Вольфрам
Золото	Вольфрам, молибден
Кадмий	Хромель, ниобий, тантал
Кобальт	Колумбий
Магний	Вольфрам, тантал, молибден, ниобий
Марганец	Вольфрам, тантал, молибден, ниобий
Медь	Ниобий, молибден, тантал
Никель	Вольфрам
Олово	Хромель
Платина	Вольфрам
Свинец	Железо, никель, хромель
Селен	Хромель, железо, молибден
Серебро	Тантал, молибден, ниобий, железо
Стронций	Вольфрам, тантал, молибден, ниобий
Сурьма	Хромель, тантал, вольфрам
Таллий	Никель, железо, ниобий, тантал
Теллур	Вольфрам, тантал, молибден, ниобий
Титан	Вольфрам, тантал
Торий	Молибден
Цинк	Вольфрам, тантал, молибден, ниобий

Примечание. Материалы испарителей расположены по степени их пригодности для испарения данного металла.

Следует отметить, что алюминий в расплавленном состоянии обладает высокой химической активностью и взаимодействует практически с любым из металлов испарителя, чем значительно снижает срок их службы. Наиболее стойкие к воздействию алюминия испарители на основе металлокерамики могут выходить из строя из-за просачивания расплавленного металла по порам сквозь стенки тигля.

**Выбор конструкции испарителя.** На выбор конструкции испарителя в основном влияют параметры покрытий, как толщина, площадь, конфигурация поверхности металлизации, степень чистоты напыляемого слоя и т. д.

**Испарители для получения «тонких» покрытий.** Для получения небольших по площади покрытий толщиной менее 3 мкм могут с успехом применяться обычные резистивные испарители. По способу изготовления такие испарители можно подразделить на проволочные и ленточные. Проволочные испарители, изображенные на рис. 55, а и б, рекомендуются при малых навесках и хо-

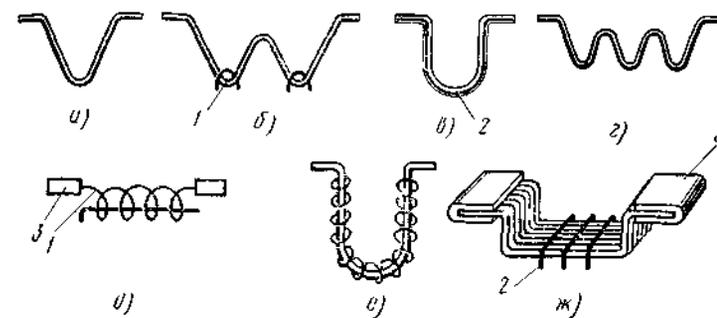


Рис 55 Различные конструкции проволочных испарителей:

1 — проволока испарителя, 2 — навеска испаряемого материала, 3 — медные токоподводящие шины

рошей смачиваемости материала испарителя испаряемым металлом. При недостаточно хорошей смачиваемости поверхность испарителя увеличивается путем намотки на испаритель спирали из тонкой тугоплавкой проволоки, как это показано на рис. 55, е.

Аналогичного эффекта можно добиться и при испарении нескольких больших навесок, используя испарители, состоящие из ряда параллельно упакованных проволочек (рис. 55, д и ж).

Существенным достоинством проволочных испарителей является то, что их конструкции просты, легко модифицируются под конкретные условия напыления. Кроме того, они хорошо компенсируют расширение и сжатие в процессе нагрева и охлаждения (рис. 55, в и г).

Ленточные испарители изготавливают из тонких листов тугоплавких материалов (рис. 56).

Наиболее простыми являются испарители, предназначенные для испарения порошкообразных материалов, подача которых осуществляется непрерывно в течение всего процесса напыления. Конструктивно они выполнены в виде прямоугольной полоски, концы которой могут

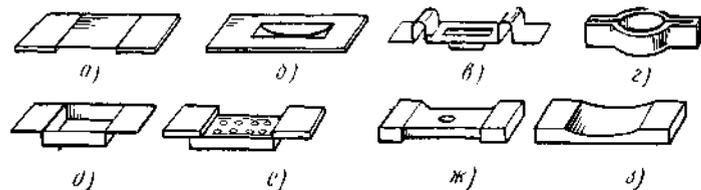


Рис. 56. Различные конструкции ленточных испарителей

быть утолщены для обеспечения хорошего электрического контакта с токоподводами (рис. 56, а, е, ж и з). Утолщения, как правило, создаются приваркой с обеих сторон небольших пластин тугоплавкого материала.

Более универсальным является испаритель, показанный на рис. 56, б, д. Выпрессованное в центре углубление позволяет загружать испаряемый материал в любом виде: кусочки, порошок, гранулы и т. д.

Чтобы компенсировать деформацию испарителя при высоких температурах, профиль его несколько усложняется, например так, как показано на рис. 56, в и г.

**Испарители для получения «толстых» покрытий.** Для напыления металлических покрытий толщиной более 3 мкм или малой толщины, но на большую поверхность, т. е. при необходимости распылять большие количества материала и с высокой скоростью, рационально применять тигельные испарители. Широко используются тигельные испарители из керамики на основе оксидов алюминия, бериллия, циркония, тория. Конструкция этих испарителей (рис. 57) обычно представляет собой вольфрамовую спираль, вмонтированную в керамические стенки тигля 1. Важно, чтобы тигель не имел трещин, так как испаряемый металл, как правило, быстро разрушает вольфрамовую спираль.

Для металлов, испаряющихся при температуре ниже 1600°С (серебро, олово, медь, германий), можно реко-

мендовать тигли из алундовой керамики. Тигли из окиси бериллия можно разогревать до температуры 1750°С. При температуре испарения металлов до 2200°С применяют тигли из окиси тория.

На рис. 58 схематично изображен тигельный испаритель, разогрев которого происходит за счет бомбардировки стенок тигля электронами. Электроны эмитируются катодом, представляющим собой кольцо 3 из вольфрамовой проволоки, опоясывающее тигель. По катоду пропускается ток накала, обес-

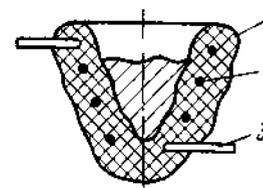


Рис 57. Испаритель для распыления большого количества материала:

1 — керамический тигель, 2 — вольфрамовая спираль, 3 — токоподводы

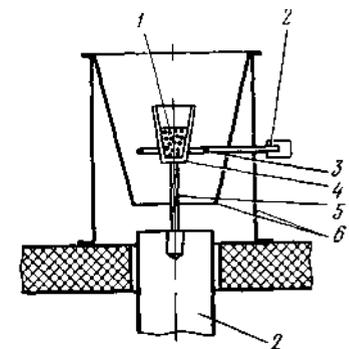


Рис 58. Испаритель с электронным разогревом:

1 — испаряемый металл, 2 — токоподводы, 3 — кольцо из вольфрамовой проволоки, 4 — слой окисла, 5 — тигель-анод, 6 — тепловые экраны

печивающий эффективную эмиссию электронов. На катод подается высокий отрицательный потенциал (несколько киловольт). Тигель, выполненный из токопроводящего материала, заземляется. Тепловые экраны 6 имеют тот же потенциал, что и катод. Созданное таким способом электрическое поле захватывает вылетевшие с поверхности катода электроны и направляет их на тигель — анод, при этом выделяется энергия в виде тепла при торможении электронов и стенки тигля.

С целью уменьшения потерь тепла за счет теплопроводности тигель контактирует с охлаждаемым токопроводом через относительно длинный и тонкий стержень, как правило, вытачиваемый с тиглем как единое целое и обладающий достаточно большим тепловым сопротивлением. Данный испаритель по сравнению с описанным выше имеет ряд преимуществ. Так, например, разогрев до высоких температур происходит намного быстрее и при меньших мощностях источника питания. Этому в значи-

тельной степени способствует возможность применения тонкостенных тиглей. Конструкция тиглей сравнительно проста. Не представляет особой трудности и замена катода в случае выхода его из строя. Практика использования испарителей подобной конструкции для напыления меди и алюминия показала им хорошие эксплуатационные параметры. Тигли для меди, как правило, вытачивают из молибдена, а для алюминия формуют из металлокерамики.

Существует множество разновидностей испарителей, использующих в качестве способа нагрева электронную бомбардировку (рис. 59).

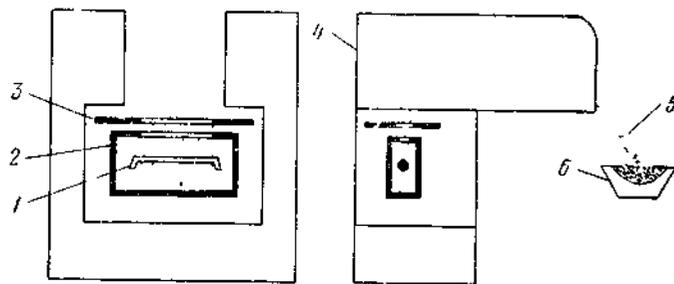


Рис 59 Конструкция электроннолучевого испарителя:

1 — проволочный катод, 2 — диафрагма (сетка), 3 — анод, 4 — магнитопровод электромагнита или постоянный магнит, 5 — электронный пучок, 6 — тигель с испаряемым веществом

Эмиттируемые катодом электроны в виде пучка 5 вытягиваются через отверстие в диафрагме электрическим полем анода 3. Катод 1 и диафрагма 2 находятся под большим отрицательным потенциалом относительно анода. При этом потенциал диафрагмы в сильной степени влияет на величину электронного потока, аналогично сетке в электронной лампе. Сформированный таким образом пучок электронов попадает в сильное магнитное поле, в котором под действием силы Лоренца изгибается на нужный угол для попадания на испаряемое вещество.

**Сверхскоростные испарители.** Высокая скорость испарения необходима не только для создания толстых или больших по площади покрытий. Она нужна и для создания покрытий повышенной чистоты в условиях обычного

вакуума и даже для безвакуумной металлизации поверхностей.

Простейшая конструкция сверхскоростного испарителя показана на рис. 60.

Испаряемое вещество помещают в кварцевую ампулу 1, которую затем откачивают и запаивают. Для испарения ампулу вставляют в нагреватель из вольфрамовой проволоки 3. С его помощью испаряемое вещество доводится до состояния перегретого пара, после чего предварительно надсеченная головка ампулы сбивается бойком 5, работающим синхронно с заслонкой подколпачного устройства вакуумной установки, происходит мгновенное испарение перегретого вещества. Время взаимодействия паров вещества с атмосферой остаточных газов сводится до минимума. Таким способом удается испарять не только простые, но и многокомпонентные вещества со сложным составом.

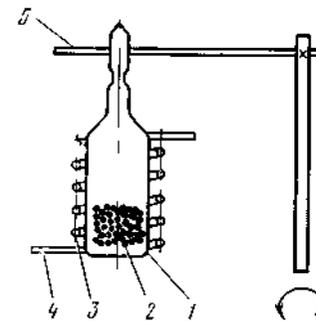


Рис 60 Конструкция сверхскоростного испарителя

1 — кварцевая ампула, 2 — испаряемое вещество, 3 — вольфрамовая проволока, 4 — токовводы, 5 — боек

В последнее время развитие лазерной техники позволило усовершенствовать этот способ. Наличие мощного технологического лазера устраняет необходимость предварительного перегрева вещества в запаивной ампуле. Испарение происходит непосредственно при поглощении световой энергии.

Предпринимаются попытки создания установок для безвакуумного напыления металлов. Взрывной характер испарения обеспечивается за счет пропускания через металл мощного импульса электрического тока. Испаряемый материал имеет форму кусочка проволоки или фольги, которые закрепляются на токовводах. В некоторых случаях испаряемый металл предварительно расплавляют и подают к токовводам в виде струи, через которую затем также пропускают мощный импульс тока. Для улучшения направленности испарения металла в сторону подложки одновременно с пропусканием импульса тока

в зоне пролета паров создается сильное магнитное поле соответствующей формы. Таким способом удается получить на очень небольших по площади подложках металлические покрытия толщиной несколько десятков микрон.

Существует еще один тип испарителей — индукционный, применяемый при испарении металлов, для которых нежелателен контакт в расплавленном состоянии с материалом тигля. Принцип действия этих испарителей

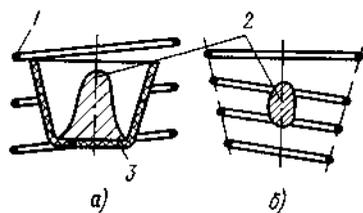


Рис 61 Индукционный испаритель:

а — с тиглем, б — без тигля, 1 — витки индуктора, 2 — испаряемый металл, 3 — керамический тигель

основан на разогреве испаряемого металла высокочастотным электромагнитным полем, создаваемым катушкой-индикатором. Один из вариантов индукционного испарителя изображен на рис. 61, а. Испаряемый металл загружается в тигель 3, изготовленный из диэлектрического материала, который помещается в поле индуктора. При взаимодействии вихревых токов, которые наводятся в расплавленном металле с высокочастотным полем, возникают силы, вытягивающие расплав в столб, так что поверхность соприкосновения металла с тиглем значительно сокращается. Однако при этом все же возможно загрязнение испаряемого металла 2 материалом тигля. Этот недостаток отсутствует в конструкции испарителя, показанного на рис. 61, б. Испаряемый металл удерживается во взвешенном состоянии благодаря взаимодействию вихревых токов, наводимых в нем, с высокочастотным полем. Возникающие при этом взаимодействия силы способны вытеснить навеску вверх за пределы действия электромагнитного поля. Поэтому верхний виток индуктора наматывается в направлении, противоположном направлению намотки остальных витков. Для работы таких испарителей вполне достаточно генератора мощностью 4 кВт частотой 1 мГц. Масса навесок — 0,1 ÷ 1 г. Однако в подобных конструкциях скорость испарения непостоянна, так как по мере уменьшения объема навески уменьшается степень взаимодействия ее с высокочастотным полем и температура испаряемого металла падает.

## § 37. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА

**Очистка подложек.** Существенно влияет на адгезию и химический состав наносимых на подложку тонких пленок наличие на поверхности подложки загрязнений (пыли, пленок жира и влаги, адсорбированных газов), поэтому до установки подложек в вакуумную камеру их подвергают тщательной очистке (см. гл. IV).

В вакуумной камере непосредственно перед нанесением тонких пленок осуществляется окончательная очистка подложек. При этом удаление с поверхности паров воды и адсорбированных молекул газов производится путем нагрева подложек в вакууме до 200—300° С, мономолекулярные слои органических молекул удаляют ионной бомбардировкой поверхности подложки в условиях тлеющего разряда переменного тока, который создают в вакуумной камере при давлении  $1,33 \cdot 10^0$ — $1,33 \cdot 10^1$  Па.

**Очистка резистивных испарителей из тугоплавких металлов.** Как правило, резистивные испарители, изготовленные из тугоплавких металлов (молибдена, тантала, вольфрама, ниобия и др.) путем штамповки или других видов механической обработки, имеют загрязненную поверхность. Перед использованием таких испарителей в вакуумной установке их подвергают очистке. В процессе очистки испарители проходят три стадии: обезжиривание, травление и отжиг (см. гл. IV).

Окончательной стадией очистки испарителей является обезгаживание их путем отжига в вакууме. Испаритель для этого устанавливают на соответствующие позиции в рабочей камере вакуумной напылительной установки. Откачивают рабочую камеру до вакуума  $1,33 \cdot 10^{-2}$  Па и по очереди пропускают через испарители ток, который на 5—10% превышает рабочий ток испарителей.

Отжиг необходимо производить до тех пор, пока вакуум вновь не восстановится до исходного значения.

Очищенные испарители хранят в спирте, а перед использованием высушивают на воздухе до полного высыхания спирта.

**Очистка навесок испаряемых материалов.** Очистка навесок испаряемого материала похожа на очистку испарителей, т. е. сначала навески обезжиривают, затем травят в водных растворах кислот или щелочей и, наконец, непосредственно перед испарением обезгаживают в ва-

кууме. Навески испаряемых материалов также можно хранить в спирте или в эксикаторе с отожженным силикагелем.

**Профилактическая очистка рабочей камеры технологической установки.** Для удаления со стенок камеры и с деталей внутрикамерных устройств технологической установки слоев испаряемых в камере материалов необходимо производить профилактическую очистку камеры не реже одного раза в неделю. Потребность такой очистки вызвана тем, что при каждом вскрытии камеры свежесаженные на стенках рабочей камеры пленки быстро адсорбируют газы из атмосферного воздуха, а так как в процессе осаждения пленок на подложки стенки камеры и внутрикамерная оснастка нагреваются от электронагревателя и от раскаленного испарителя, то адсорбированные газы выделяются из стенок и оснастки, ухудшая вакуум.

Все съемные детали технологической оснастки и внутрикамерных устройств перед очисткой необходимо удалить из камеры. Неразборные устройства и стенки камеры можно очистить от слоев испаряемых в камере материалов скальпелем или шлифовальной шкуркой и протереть бязью, смоченной в спирте.

От пыли и остатков счищенных пленок камеру очищают пылесосом и снова протирают, но уже батистом, смоченным в спирте. Протирку осуществляют, меняя несколько раз батистовые тампоны до тех пор, пока на ткани не будет оставаться следов грязи.

Съемные детали внутрикамерных устройств сначала очищают шкуркой, а затем моют в бензине и подвергают химическому травлению с целью удаления оставшихся следов осажденных пленок. Травильный раствор подбирают таким образом, чтобы он стравливал пленки, но не действовал на материал детали. После травления детали промывают в проточной горячей и холодной воде и сушат в термостате. Перед установкой деталей в камеру можно протереть их тампоном, смоченным в спирте.

Вакуумный отжиг, который проводится с целью обезгаживания рабочей камеры и внутрикамерных устройств технологической установки, является завершающей стадией профилактической очистки. Детали, очищенные химическими средствами, перед отжигом устанавливают в рабочую камеру, после чего камеру закрывают и откачивают до давления  $1,33 \cdot 10^{-3}$  Па. Затем подают горячую

воду в змеевик колпака рабочей камеры и включают электронагреватель подложек. Температура внутри камеры должна быть несколько выше температуры нагрева подложек, при которой обычно проводится технологический процесс осаждения пленок на данной установке, но не ниже  $250^{\circ}\text{C}$ . Камеру рекомендуется прогревать при непрерывной откачке в течение 2—3 ч.

После того как отжиг закончен, прекращают подачу горячей воды и выключают электронагреватель. Когда температура внутри камеры понизится до  $70\text{—}80^{\circ}\text{C}$ , камеру можно вскрыть и начать подготовку к проведению технологического процесса.

### § 38. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ВАКУУМНОГО НАНЕСЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

**Оборудование.** Основное оборудование для нанесения металлических покрытий в условиях вакуума — это установка вакуумного напыления УВН, выпускаемая отечественной промышленностью в различных модификациях. Кроме того, для осуществления вспомогательных операций и хранения деталей каждое рабочее место металлатора-вакуумщика обеспечивается рабочим столом с пылезащитным скафандром. В зависимости от степени предельно достижимого вакуума, типа испарителей, которыми оборудована рабочая камера, а также степени автоматизации все установки указанной серии классифицируют по типам и обозначают соответствующими индексами.

Установка УВН-2М-2 состоит из трех основных частей: рабочей камеры, пульта управления и вакуумной системы. Все это смонтировано на сварном каркасе, закрытом легкоъемными щитками. Пространство рабочей камеры ограничено металлическим водоохлаждаемым колпаком.

Доступ к элементам рабочей камеры осуществляется путем подъема колпака с помощью гидропривода. Для визуального наблюдения за процессом напыления колпак оборудован двумя смотровыми окнами. Пульт управления расположен на лицевой стороне каркаса и содержит контрольно-измерительные приборы, различные переключатели и рукоятки управления системами откачки, водоснабжения собственно процесса напыления и пр.

Подколпачное устройство установки (рис. 62) содержит установленную на базовой плите 6 карусель 7 резистивных испарителей на пять позиций, сильфонный 5 и неподвижный заземленный 4 электровводы, заслонку 1 с электромагнитным приводом 3 и несколько дополнительных вакуум-плотных электровводов 2.

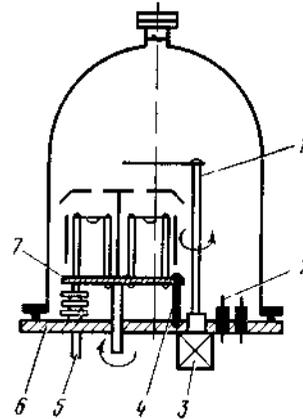


Рис 62. Подколпачное устройство установки УВН-2М-2:

1 — заслонка, 2 — дополнительные электровводы, 3 — электромагнитный привод, 4 — неподвижный электроввод, 5 — сильфонный электроввод, 6 — плита, 7 — карусель

Схема вакуумной системы установки представлена на рис. 63.

Предварительную откачку вакуумной системы осуществляют механическим вращательным насосом 12 типа ВН-7Г. Для обеспечения высокого вакуума используют паромасляный диффузионный насос 11 типа Н-2Т, снабженный с целью предотвращения попадания паров масла в рабочую камеру азотной ловушкой 10. Жидкий азот подается в ловушку по трубопроводу от выносного сосуда Дьюара 13, оборудованного азотным питателем 14.

Все переключения в вакуумной системе осуществляются с помощью клапанной коробки 9 с клапанами 6 и 8, а также высоковакуумным затвором 5. Вакуумная система предусматривает также дозированную подачу в рабочую камеру какого-либо газа. Для этой цели служит игольчатый вентиль-натекатель 2. Напуск воздуха в рабочую камеру перед подъемом колпака осуществляется ручным накателем 3. Вентиль 7 для напуска воздуха в механический насос после его остановки снабжен электромагнитным приводом.

В качестве датчиков давления остаточных газов используются манометрические лампы: две термометрические — на трубопроводах, соединяющих клапанную коробку с диффузионным насосом и с рабочей камерой, и ионизационная — непосредственно под колпаком. Манометрические лампы подключены к вакуумметру ВИТ-1-П, ко-

торый установлен на пульте управления установки. Работа всех средств откачки за время не более 90 мин способна обеспечить вакуум с суммарным давлением остаточных газов не более  $6,65 \cdot 10^{-5}$  Па.

**Технология нанесения металлических покрытий.** Сложность и многообразие физических процессов, протекающих при формировании металлического покрытия методом вакуумного напыления, требует от металлиза-

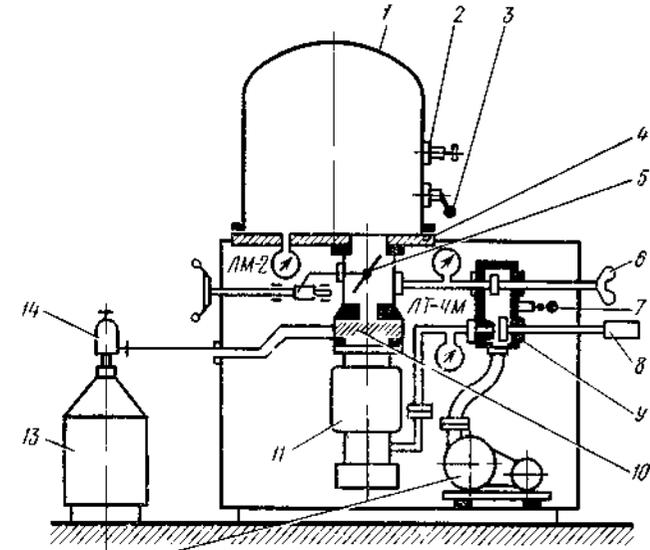


Рис. 63. Схема вакуумной системы установки УВН-2М-2:

1 — корпус, 2 и 3 — накатели, 4 — плита, 5 — затвор, 6 и 8 — клапаны, 7 — вентиль, 9 — клапанная коробка, 10 — азотная ловушка, 11 — диффузионный насос, 12 — механический насос, 13 — сосуд Дьюара, 14 — азотный питатель

тора-вакуумщика высокой культуры производства, которая заключается прежде всего в точном выполнении всех требований технологии. Эти требования содержатся в технической документации, куда входят:

чертеж детали, на котором указываются параметры покрытия (толщина, проводимость и пр.);

операционная карта технологического процесса нанесения данного покрытия, где указан порядок и правила выполнения переходов;

инструкция по эксплуатации установки и приборов;

инструкция по технике безопасности.

Кроме того, на каждом рабочем месте должен находиться рабочий журнал и сопроводительный лист на обрабатываемую деталь, куда после окончания процесса записывают основные данные и результаты.

На примере напыления алюминиевого покрытия на стеклянную подложку рассмотрим более детально действия металлатора-вакуумщика в течение всего процесса.

Перед началом работы следует проверить правильность исходного положения всех рукояток и переключателей установки, отсутствие внешних повреждений; включить электропитание и водоснабжение установки горячей и холодной водой, проконтролировав при этом достаточность давления воды по манометру. Включить механический насос, открыть клапан 8 (см. рис. 63), включить термодатный вакуумметр и откачать рабочий объем паромасляного насоса до давления  $1,33 \cdot 10^0$  Па. Включить электронагреватель паромасляного насоса и прогреть в течение 10 мин. Натекателем 3 напустить воздух под колпак. С помощью гидропривода поднять колпак. Установить чистые испарители на токоподводы. Опустить колпак. Закрыть клапан 8, открыть клапан 6 и, откачав рабочую камеру до давления  $1,33 \cdot 10^0$  Па, переключить клапаны в прежнее положение. Открыть затвор, включить азотный питатель для подачи азота в ловушку, включить ионизационный вакуумметр на прогрев и через 10 мин переключить его на измерение вакуума, предварительно откалибровав.

При вакууме в рабочей камере не более  $6,65 \cdot 10^{-3}$  Па подать холодную воду на колпак и произвести отжиг испарителя, для чего, плавно увеличивая проходящий через испаритель ток, довести его до величины на 20—30 А большей, чем указано в операционной карте, при этом постоянно следить за вакуумом в рабочей камере, не допуская его падения ниже чем  $11,97 \cdot 10^{-3}$  Па. Выдержать испаритель в данном режиме, пока вакуум не повысится до  $6,65 \cdot 10^{-3}$  Па, после чего выключить ток, проходящий через испаритель.

Подать горячую воду на обогрев колпака, закрыть затвор, отключить ионизационный вакуумметр и азотный питатель. Открыв вентиль-натекающий, напустить воздух в рабочую камеру. Поднять колпак, загрузить в испаритель навеску алюминия указанной в операционной карте величины, закрепить чистую подложку в под-

ложкодержателе и установить на рабочую позицию над испарителем. Опустить колпак и произвести откачку рабочей камеры, выполняя уже перечисленные выше переходы, до давления не выше  $2,66 \cdot 10^{-3}$  Па.

Откачку рабочей камеры паромасляным насосом и измерение давления в ней производят в течение всего процесса осаждения пленки и до охлаждения подложек. Включить нагреватель подложек и довести температуру до  $110 \pm 10^\circ \text{C}$ . Подключить кварцевый измеритель толщины КИТ-1, установив заданную технологом и записанную в рабочий журнал частоту генерации, соответствующую требуемой толщине пленки. Подать ток на испаритель и, плавно увеличивая, довести его до величины, при которой происходит отжиг испарителя. После расплавления навески выждать еще около 10 с до удаления белого налета с поверхности алюминия, затем снизить ток на 20—30 А и открыть заслонку.

При достижении заданной толщины покрытия (стрелка КИТ-1 показывает на «0») закрыть заслонку и в течение 15—30 с отжечь испаритель, повысив ток на 20—30 А. Выключить подогрев подложек и ток через испаритель. Закрыть затвор, включить обогрев колпака, отключить азотный питатель, выключить ионизационный вакуумметр. Вентилем-натекающим напустить воздух в рабочую камеру. Поднять колпак, снять остывшую подложку с напыленным покрытием и, оценив визуально качество покрытия, поместить ее в технологическую тару.

Сделать запись в рабочем журнале, где отметить: номер детали, давление в камере в момент напыления, ток испарения, время испарения, величину навески, показания КИТ-1. В сопроводительном листе на деталь записать дату и время проведения операции, фамилию металлатора-вакуумщика.

Для выключения установки нужно сначала выключить электронагреватель паромасляного насоса и после его остывания в течение 40—60 мин закрыть клапан 8, выключить механический насос и напустить в него воздух через вентиль 7. После этого можно отключить электропитание и водоснабжение установки.

Иногда в производственных условиях возникает необходимость аварийного выключения установки. Это необходимо, например, при внезапном отключении электроэнергии или прекращении водоснабжения. Во избежание порчи дорогостоящего оборудования металлатору-ва-

куумщику необходимо четко знать последовательности действий при аварийном выключении.

В случае отключения электропитания в первую очередь перекрываются клапаны, ведущие к механическому насосу и в него напускается воздух, затем закрывается затвор, если он открыт, и выключается общий рубильник электропитания установки, а также все прочие выключатели на пульте установки и на приборах.

При аварийном прорыве атмосферы под колпак в момент откачки рабочей камеры паромасляным насосом необходимо прежде всего закрыть затвор, а затем действовать так же, как и в предыдущем случае.

При отключении холодной воды в первую очередь необходимо выключить нагреватель паромасляного насоса, а затем действовать так же, как при обычном выключении установки, но обязательно проконтролировать перед выключением механического насоса достаточную степень остывания паромасляного.

### § 39. КОНТРОЛЬ ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЯ В ПРОЦЕССЕ НАПЫЛЕНИЯ

Существует немало способов контроля толщины осаждаемого покрытия. Все они основаны на разнообразных физических свойствах напыляемых пленок, таких, как отражение, поглощение и интерференция света, электропроводность, масса и т. д.

**Резистивный метод.** Одним из простейших способов контроля толщины при испарении проводящих материалов является измерение поверхности сопротивления покрытия по контрольному образцу. Контрольный образец представляет собой узкую диэлектрическую пластинку с гладкой очищенной поверхностью, на краях которой имеются контактные площадки 1, обладающие высокой электропроводностью (рис. 64).

Контрольный образец устанавливают вблизи напыляемого покрытия так, чтобы условия напыления были, по возможности, идентичны. К контактным площадкам подсоединяют проводники, которые выводят из рабочей камеры и подключают к омметру. С увеличением толщины покрытия электрическое сопротивление участка между контактными площадками уменьшается. При достижении значения сопротивления контрольного образца,

соответствующего заданной толщине, напыление прекращается.

**Резонансно-частотный метод.** По другому принципу работает прибор КИТ-1 (рис. 65). Датчиком этого прибора является кристалл кварца, который располагают в зоне осаждения паров материала покрытия. Образующаяся на нем пленка испаряемого материала увеличивает массу кристалла и тем самым меняет резонансную частоту колебаний кварца. По изменению этой частоты, фиксируемой прибором, можно судить о толщине напыляемого на деталь покрытия. Этим методом можно контролировать толщины не только проводящих, но и диэлектрических пленок. При использовании данного метода следует учитывать сильное влияние температуры на показания датчика. Чтобы свести к минимуму влияние температуры, применяют кристаллы кварца специальной резки, а также используют водоохлаждаемые экраны. Для увеличения срока службы датчика и расширения диапазона измеряемых толщин поток пара испаряемого материала, попадающего на кристалл, диафрагмируется.

**Ионизационный метод.** Для контроля параметров технологического процесса нанесения тонких пленок в вакууме методом термического испарения широко применяется способ, основанный на измерении ионного тока, который создается путем ионизации части потока паров осаждаемого материала. При этом величина ионного тока оказывается пропорциональной скорости осаждаемой пленки. В устройствах контроля, реализующих данный метод, обязательно должны учитываться тот факт, что наряду с молекулами испаряемого материала, движущимися в определенном направлении, всегда имеются

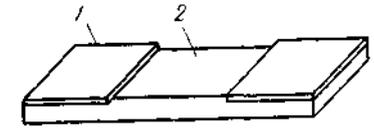


Рис. 64 Контрольный образец:  
1 — контактная площадка, 2 — диэлектрическая поверхность

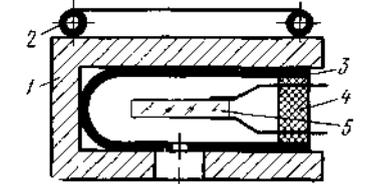


Рис. 65 Прибор КИТ-1:  
1 — держатель, 2 — медная трубка,  
3 — кожух преобразователя, 4 —  
керамический изолятор, 5 — кварцевая  
пластина

хаотически перемещающиеся молекулы остаточных газов, которые тоже ионизируются и тем самым искажают результат измерения. Необходимо произвести выделение из общего ионного тока полезной составляющей, т. е. тока, образованного только ионами испаряемого материала.

Одним из способов выделения полезной составляющей является механическая модуляция молекулярного потока испаряемого материала. Отечественная промышленность выпускает прибор — измеритель скорости и толщины ИСТИ-1. На рис. 66 изображена схема измерительной головки прибора, состоящей из ионизационного преобразователя и модулятора.

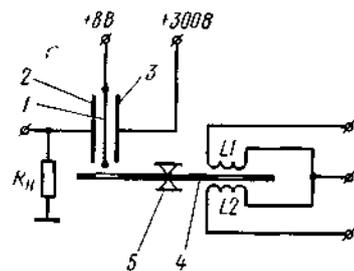


Рис. 66 Схема измерительной головки прибора ИСТИ-1:

1 — катод, 2 — коллектор, 3 — анод, 4 — диск, 5 — опоры,  $R_n$  — резистор,  $L1$  и  $L2$  — катушки

Преобразователь предназначен для ионизации молекул испаряемого материала и формирования ионного тока. Он состоит из прямоканального катода, имеющего потенциал  $+8$  В относительно корпуса, коллектора ионов 2, соединенного с корпусом через резистор  $R_n$ , на котором выделяется сигнал преобразователя, и анода 3, имеющего потенциал  $+300$  В. Преобразователь помещают по возможности вблизи подложки с таким расчетом, чтобы направленный поток молекул испаряемого материала попадал также в пространство ионизации анод — катод, двигаясь параллельно электродам. Ионизация молекул происходит под воздействием электронов, эмиттируемых катодом и разогнанных полем анода до энергий, достаточных для того, чтобы ионизировать молекулы самых различных элементов и соединений. Основным элементом модулятора является алюминиевый диск 4 с двумя отверстиями, который вращается на рубиновых опорах 5. Вращательный момент создается при взаимодействии магнитного поля катушек  $L1$  и  $L2$  с магнитным полем вихревых токов, наводимых в диске. Фазовый сдвиг токов в катушках составляет  $90^\circ$  и обеспечивает достаточную равномерность вращения. Частота питающих токов

10—12 кГц. Прерывание (модуляция) потока испаряемого материала происходит с частотой вращения диска и составляет примерно 40 Гц.

Относительная погрешность измерения толщины и скорости прибором ИСТИ-1 не превышает  $\pm 10\%$ . Он измеряет толщины и скорости осаждения пленок любых материалов, но только при термическом испарении. Его нельзя использовать при ионно-плазменном и катодном распылении. Однако несмотря на это ограничение, прибор находит достаточно широкое применение.

**Фотометрический метод.** Если металлическое покрытие необходимо нанести на прозрачную подложку, то контроль толщины осаждаемой пленки может осуществляться путем измерения ее светопропускания. Серийно выпускаемых отечественных приборов, основанных на этом методе, пока нет. При реализации данного способа в лабораторных условиях следует предусмотреть модуляцию светового потока с целью избежания ошибок в изме-

Таблица 8 Основные характеристики приборов для измерения скорости и толщины напыления

Устройство	Назначение	Характеристика	
		диапазон измерения	точность измерения
Омметр М-218М	Измерение сопротивления высокочувствительным измерителем-логометром	$0,1-10^7$ Ом 8 диапазонов	$\pm 2,5\%$ (на $0,1-10$ м) $\pm 1,5\%$ (на остальных диапазонах)
Измеритель сопротивления КС-1	Измерение сопротивления проводящих пленок в процессе напыления	$0-50$ кОм	5%
Измеритель толщины КИТ-1	Измерение толщины с помощью кварцевого резонатора	$10^{-2}-5$ мкм 5 диапазонов	$\pm 10\%$
Измеритель толщины КИТ-2	Измерение толщины и скорости осаждения с помощью кварцевого резонатора	$10^{-1}-2,4 \times 10^{-4}$ г/см <sup>2</sup>	1%
Измеритель скорости и толщины ИСТИ-1	Измерение толщины и скорости осаждения ионизационным методом	—	$\pm 10\%$

рении из за посторонних источников света (испарителей, свечения газовой плазмы и т. п.).

Описанными выше методами не исчерпываются все возможные способы измерения скорости и толщины напыления. Приведены лишь методы, получившие наибольшее распространение в отечественной промышленности. Основные характеристики некоторых приборов, разработанных на основе этих методов, даны в табл. 8.

#### Контрольные вопросы

- 1 Какие вы знаете способы получения пленок?
- 2 Расскажите о факторах, влияющих на структуру и свойства пленок.
- 3 Для чего предназначены испарители? Приведите примеры конструкции испарителей
- 4 Каков принцип работы установки вакуумного напыления?
- 5 Как осуществляется контроль толщины покрытия в процессе напыления?

## ГЛАВА VII

### ТЕХНОЛОГИЯ ХИМИЧЕСКИХ СПОСОБОВ МЕТАЛЛИЗАЦИИ

#### § 40. ХИМИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ МЕТАЛЛИЗАЦИИ

В производстве электронных приборов широкое применение нашли химические способы металлизации поверхности деталей. Осаждение металлов производится восстановлением их соединений специальными восстановителями или каталитическим воздействием самого металла подложки. Химические способы металлизации позволяют осаждать некоторые металлы на поверхности неметаллических деталей (стекло, кварц, фарфор, керамика, пластмассы и др.). Для лучшей адгезии металлического покрытия с поверхностью неметаллических деталей производят высокотемпературную обработку восстановленного покрытия путем вжигания.

Сущность химических способов нанесения металлических покрытий заключается в проведении процесса без наложения электрического тока (в отличие от электрохимического способа), и интенсивность процесса зависит не от плотности тока, а от температуры, концентрации и т. п.

В зависимости от специфики химического процесса, протекающего при осаждении покрытия, химические способы нанесения металлов подразделяются на контактный; контактно-химический; моноконтактный; термического разложения; собственно химического восстановления.

**Контактный способ** (вытеснения) основан на различной химической активности металлов. Осаждение металла происходит за счет разности потенциалов, возникающей между покрываемым металлом и ионами металла, находящимися в растворе. Для получения плотных покрытий с хорошей адгезией обычно применяют растворы низкой концентрации.

**Контактно-химический способ** (метод внутреннего электролиза) заключается в том, что покрытие происходит за счет разности потенциалов, возникающей при контактировании покрываемой детали с металлом более электроотрицательным, чем осаждаемый металл. В результате более активный металл отдает свои валентные электроны подложке (пokrываемому металлу), которая становится более электроотрицательной. Ионы осаждаемого металла принимают эти электроны и восстанавливаются до элементарного состояния, осаждаясь на подложке.

**Моноконтактный способ** основан на возникновении разности потенциалов между покрываемым металлом и контактирующим металлом в водном растворе его соли. Электроны от металла-контакта переходят на покрываемый металл, вследствие чего образец приобретает более отрицательный заряд. Происходит разрядка катионов покрывающего металла. За счет остаточного потенциала образца возможно покрытие до  $\sim 0,5$ — $1,0$  мкм.

**Способ термического разложения** основан на разложении газообразных соединений покрывающего металла при повышенных температурах; выделяющийся металл осаждается на изделии. Для этой цели чаще всего применяется летучий карбонил никеля, реже карбонилы вольфрама и хрома. Иногда наряду с карбонилами применяют летучие галлоидные соединения. При этом адгезия покрытия с подложкой будет меньше за счет выделяющихся продуктов термического разложения. Скорость и качество покрытия зависят от температуры и скорости газового потока.

**Способ собственно химического восстановления** (из растворов). Покрытие подложек (металлических и неметаллических) различными металлами этим способом осуществляется в кислых или щелочных водных растворах при комнатной или повышенной температуре. Растворы, как правило, содержат следующие компоненты:

соли металла, из которого образуется покрытие;  
восстановители (гипофосфиты, гидразин, формальдегид, сегнетова соль, глюкоза и т. д.);

буферирующие и комплексообразующие добавки (уксусная, муравьиная, лимонная, винная и другие органические кислоты и их соли);

вещества, ускоряющие процесс покрытия, такие, как фториды щелочных металлов, адипиновая и янтарная кислоты и их соли, а также селенаты и тетрабораты;

стабилизаторы процесса (тиомочевина, сульфиды олова и свинца и др.);

блескообразователи и смачивающие вещества. Для этой цели применяются те же вещества, что и для гальванических покрытий (см. гл. VIII).

Восстановление иона металла химическим способом до элементарного состояния может быть представлено следующей схемой:  $Me^{n+} + \text{восстановитель} \rightarrow Me^0 + \text{продукт реакции}$ . Для проведения процесса должны выполняться следующие основные условия:

1. Восстановление должно протекать без наложения электрического тока (основное условие химического способа покрытия). Ион металла восстанавливается до элементарного состояния за счет присоединения необходимого количества электронов, отбираемых у восстановителя.

2. Восстановительное действие применяемого реагента должно быть достаточным для выделения осаждаемого металла по вышеприведенной схеме.

3. Процесс протекает, как правило, в водных растворах. Однако это не исключает возможности применения растворов с другими растворителями и даже расплавов (например, химическое кадмирование в настоящее время известно только из расплавов).

4. Реакция восстановления иона должна протекать у поверхности покрываемого металла (подложки).

При химических способах покрытия необходимо следить за такими параметрами, как pH раствора, температура, соотношение компонентов, присутствие различ-

ных органических добавок, материал реакционного сосуда (ванны) и т. п.

Эффективность восстановителя зависит от pH раствора. Так, например, такие восстановители, как формальдегид (формалин), соли муравьиной кислоты, гидразин (и его производные) достаточно сильны в щелочной среде, а восстановители — гипофосфиты, фосфиты, сульфиты весьма активны в кислых растворах.

На химическую активность большое влияние оказывает температура растворов. Например, химическое восстановление иона меди до металла формалином в щелочной среде протекает уже при комнатной температуре, в то время как химическое никелирование или кобальтирование — только при температуре выше 70°С. Для исключения выпадения осадка продуктов реакции в кислые растворы добавляют комплексообразующие вещества, которые оказывают также и буферирующее действие, что позволяет более рационально использовать растворы. В щелочные растворы комплексообразующие добавки вводят для предотвращения выпадения осадка гидроксида (например, при проведении химического меднения).

Для улучшения некоторых свойств покрытия в растворы вводят также другие добавки: блескообразователи, стабилизаторы и т. п. Одной из особенностей растворов для химических покрытий является их стремление к саморазложению, саморазряду даже при низких температурах. Диапазон времени стабильного существования растворов различен — от 1—2 мин (например, для ванн серебрения) до месяцев и лет (для ванн никелирования). Это объясняется присутствием в растворе восстановителя различных примесей, катализирующих реакцию, а также мельчайших частиц восстановленного металла, которые могут явиться центрами разложения. Процесс разложения является самоускоряющимся процессом (до полного разложения), который не может быть предотвращен, а может быть лишь заторможен. Для этого необходимо выполнять следующие условия:

устранять перегрев отдельных частей раствора (очаги перегрева служат центрами саморазряда);

уменьшать концентрацию восстановителя (влияние закона действующих масс);

избегать слишком быстрого добавления восстановителя, так как это вызывает локальную нестабильность раствора;

при установлении рН раствора постепенно прибавлять кислоту (или щелочь), так как большие количества реактива приводят раствор в нестабильное состояние. Например, при химическом никелировании прибавление раствора щелочи с большой скоростью (или большой концентрации) вызывает выпадение гидроокиси или фосфита никеля, которые могут быть центрами разложения;

материал ванны должен быть стойким (например, стекло, глазурированный фарфор и керамика, пластмассы — винипласт и фторопласт) к воздействию рабочего раствора.

#### § 41. ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

**Серебрение.** Серебро применяется при нанесении покрытий на металлы для увеличения поверхностной электропроводности токонесущих частей высокочастотных установок, уменьшения сопротивления электрических контактов и т. п.

Растворы для химического серебрения обладают одним общим недостатком — неустойчивостью, а потому применяются непосредственно перед процессом.

Для серебрения изделий из железа, меди, никеля, кобальта, платины, магния, алюминия и их сплавов предложен способ с использованием нерастворимых соединений серебра:  $\text{AgCN}$ ,  $\text{CH}_3\text{COOAg}$ ,  $\text{Ag}_2\text{O}$  (частично переводятся в раствор с помощью  $\text{KCN}$  или  $\text{NaCN}$ ). Восстановитель — фосфорноватистая кислота или ее соли (гипофосфиты).

Пример рецепта (г/л):  $\text{AgCN}$ —2,  $\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ —10,  $\text{KCN}$ —0,2, рН—13,5,  $t^\circ\text{C}$ —96. Средняя скорость осаждения — 5,26 мг/см<sup>2</sup> в час.

Серебро нашло широкое применение для нанесения пленок на неметаллические материалы. В настоящее время существует большое количество эмпирически разработанных составов, отличающихся друг от друга главным образом природой применяющегося восстановителя или соотношением компонентов. Серебро используется в виде нитрата или в виде аммиачного комплекса  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$ . В качестве восстановителя чаще всего применяют формалин, сегнетову соль, глюкозу, пирогаллол и т. д. Для серебрения берут растворы химически чистых растворов и дистиллированную воду. Запасные растворы хранят в сосудах темного стекла в прохладном

затемненном месте. Перед серебрением изделие из неметаллического материала подвергается, как правило, обработке в растворе двухлористого олова с целью образования на поверхности изделия центров кристаллизации, на которых осаждаются частицы серебра из раствора. Химическое серебрение может быть осуществлено или путем погружения изделия в раствор или заливки раствора внутрь изделия (колбы). Адгезия пленки к материалу изделия не зависит от толщины слоя серебра, а зависит от состава раствора. Максимальная величина сцепления наблюдается при использовании инвентированного сахара, минимальная — с формалином, промежуточное положение — с сегнетовой солью.

Приведем несколько рецептов для химического серебрения неметаллических деталей.

##### 1-й рецепт

###### Раствор соли серебра:

азотнокислое серебро	— 5 г
едкий калий	— 5 г
или едкий натрий	— 3,5 г
дистиллированная вода	— 1 л

###### Восстановитель:

инвентированный сахар	— 2,5 г
дистиллированная вода	— 1 л

Приготовление Смешивают в одинаковом объемном отношении растворы: 1,5%-ный раствор азотнокислое серебра и 1,5%-ный раствор едкого кали (или эквивалентное количество едкого натра). Образовавшаяся окись серебра растворяется в минимальном количестве аммиака. Для приготовления инвентированного сахара берут 75 г сахара-рафинада, растворяют его в 500—600 мл дистиллированной воды и добавляют 10 мл 10%-ного раствора серной кислоты. Раствор кипятят 5—10 мин, охлаждают, доливают водой до 1 л и разбавляют в 10 раз. Непосредственно перед серебрением два объема свежеприготовленной аммиачной соли серебра смешивают с одним объемом разбавленного раствора сахара.

##### 2-й рецепт

###### Раствор соли серебра:

азотнокислое серебро	— 100 г
дистиллированная вода	— 1 л

###### Восстановитель:

азотнокислое серебро	— 2 г
сегнетова соль	— 1,7 г
дистиллированная вода	— 1 л

Приготовление К раствору азотнокислое серебра осторожно добавляют аммиак до выпадения осадка и последующего его растворения. Раствор разбавляют до 1 л и фильтруют. Раствор восстановителя готовится следующим образом: сначала растворяют азотнокислое серебро и полученный раствор направляют до кипения, затем прибавляют сегнетову соль и раствор кипятят 5 мин при помешивании, охлаждают и фильтруют. Для серебрения смешивают равные объемы растворов.

#### 3-й рецепт

Раствор соли серебра:	
азотнокислое серебро	— 200 г
дистиллированная вода	— 1 л
Восстановитель:	
формалин	— 200 мл
дистиллированная вода	— 1 л

Приготовление Аммиачный раствор серебра готовится аналогично 1-му и 2-му рецепту. Для химического серебрения пять частей раствора серебра смешиваются с одной частью восстановителя.

#### 4-й рецепт

Раствор соли серебра:	
азотнокислое серебро	— 40 г
дистиллированная вода	— 1 л
Восстановитель:	
пирогалловая кислота	— 7 г
лимонная кислота	— 4 г
дистиллированная вода	— 1 л

Приготовление раствора аналогично приведенным выше.

**Никелирование.** В настоящее время способ химического никелирования становится весьма перспективным и находит все более широкое применение для защитных покрытий металлов и металлизации непроводниковых материалов.

Химическое никелирование можно вести в кислых ( $pH=4\div 6$ ) или щелочных ( $pH=8\div 10$ ) растворах.

В кислых растворах обязательными составляющими должны быть следующие реагенты:

соль никеля ( $NiCl_2 \cdot 6H_2O$  или  $NiSO_4 \cdot 7H_2O$ ),  
 гипофосфит натрия (реже кальция или калия),  
 органические добавки (буферизирующие или комплексообразователи или обе вместе),  
 $pH=4\div 6$  Температура  $80-100^\circ C$ .

В щелочных растворах в качестве обязательных составляющих должны содержаться:

соль никеля (обычно хлорид),  
 гипофосфит натрия,  
 хлористый аммоний,  
 органические добавки (обычно лимоннокислый натрий или лимонная кислота),  
 аммиак 25%-ный,  
 $pH=8\div 10$  Температура  $80-90^\circ C$ .

Кислые растворы обладают большой стабильностью при высоких температурах, процесс протекает с большой скоростью, покрытия имеют лучшее качество.

Для химического никелирования стальных, латунных и алюминиевых деталей рекомендуется состав универсальной ванны, которая, в зависимости от необходимости, может применяться как кислая или щелочная (г/л):

хлористый никель	— 30
гипофосфит натрия	— 25
хлористый аммоний	— 30
янтарнокислый натрий	— 100
раствор 25%-ного аммиака	— 35
$pH$ «кислой области»	— 4,5—6,5
$pH$ «щелочной области»	— 7—9

**Никелирование неметаллических материалов.** Иногда необходимо нанесение металлических покрытий на неметаллические поверхности с целью создания электропроводящего слоя или для образования поверхности для нанесения других металлов. Никелевое покрытие может быть нанесено на различные материалы: стекло, кварц, фарфор, керамику, пластмассы и т. п.

Поверхности неметаллических материалов перед химическим никелированием подвергают специальной подготовке. Сначала поверхность изделий подвергают пескоструйной обработке (для глазурованной керамики, что обеспечивает лучшее сцепление). Затем производят обезжиривание в органических растворителях или в растворах ОП-7 или ОП-10 при  $50-60^\circ C$  в течение 5—10 мин с последующей промывкой в горячей и холодной воде и сушкой. После этого изделие подвергают активированию для создания каталитических центров, способствующих осаждению никеля, которое состоит из трех основных операций:

1. Обработка в растворе хлористого олова:

хлористое олово	— 10 г
соляная кислота	— 40 мл
спирт или вода	— до 1 л

После обработки в растворе хлористого олова изделия подвергают сушке при температуре 80—90° С.

2. Обработка в растворе хлористого палладия. Концентрация хлористого палладия в растворе для активирования находится в пределах 0,5—0,6 г/л (в пересчете на  $\text{Pd Cl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

3. Восстановление. Изделия с нанесенным на них хлористым палладием подвергают кратковременной обработке в растворе гипофосфита с целью превращения растворимых соединений палладия в нерастворимую форму, способную катализировать процесс химического никелирования:

гипофосфит кальция (натрия, калия)	— 30 г/л;
температура — комнатная; время	— 2—3 мин

Для никелирования деталей из керамических материалов применяют как щелочные (аммиачные), так и кислые растворы (г/л):

1 Хлористый никель	— 45
гипофосфит натрия (калия)	— 20
хлористый аммоний	— 50
лимоннокислый натрий	— 45
аммиак 25%-ный	
рН=8,0—8,5 Температура 80—85°С.	
2. Хлористый никель	— 20
гипофосфит кальция	— 10
(натрия, калия)	
уксуснокислый натрий	— 8
рН=4,5—5,5 Температура 80—85°С.	

После никелирования детали тщательно промывают и сушат.

Конструкция установки для никелирования керамики с одноразовым использованием раствора (прерывного типа) сравнительно проста (рис. 67). Это стальной сосуд (ванна) 5 цилиндрической или прямоугольной формы, погруженный в другой сосуд (кожух) 4 больших геометрических размеров. Между стенками ванны и кожуха находится жидкость-теплоноситель (вода) 2 или пар. Жидкость (вода) нагревается извне электрическим нагревателем 1 или изнутри (кипятильник). Кожух снаружи термоизолирован листовым асбестом 3 для уменьшения теплотеря. Для поддержания температуры рабочего раствора на заданном уровне в ванну вводится термометр 9.

**Палладиование.** Химическое палладиование возможно на железе, хrome, алюминии, никеле, кобальте, олове, молибдене, вольфраме. Первые же количества палладия, осевшие на этих металлах, действуют как ка-

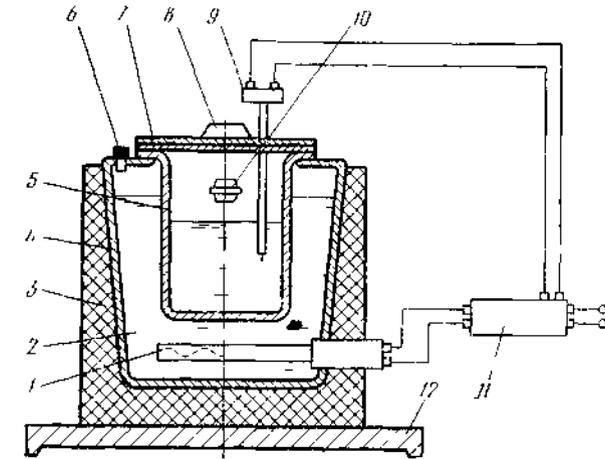


Рис. 67 Установка для химического никелирования деталей:

1 — электронагрев, 2 — теплоноситель, 3 — теплоизолятор (асбест), 4 — кожух, 5 — ванна, 6 — заливочная горловина, 7 — крышка, 8 — ручка, 9 — контактный термометр, 10 — штанга подвесок, 11 — терморегулятор, 12 — подставка

тализаторы и весь процесс осаждения проходит довольно быстро до конца.

В качестве восстановителя применяется гидразингидрат.

Состав для химического палладиования (г/л):

хлористый палладий	— 4,3
этилендиаминтетрауксусный натрий	— 33,6
гидразингидрат	— 0,3
гидроокись аммония	— 350
Температура 30—80°С	Скорость покрытия
25 мкм/ч	

Рабочий раствор обычно готовят непосредственно перед употреблением. Следует соблюдать порядок прибавления реактивов, указанных в составе.

Скорость химического палладиования зависит от концентрации палладия в растворе, от природы амина и

комплексообразователя. При интенсивном перемешивании скорость покрытия увеличивается.

Раствор для покрытия готовят следующим образом: хлористый палладий растворяют при нагревании в дистиллированной воде с добавлением гидроокиси аммония. После растворения вводят натриевую соль этилендиаминтетрауксусной кислоты. Гидразингидрат добавляют в виде 5%-ного раствора непосредственно перед проведением процесса. Через каждые 30 мин работы добавляют 1/2 первоначального количества гидразингидрата. Детали перед процессом должны быть обезжирены. По окончании палладирования детали тщательно промывают дистиллированной водой и высушивают. Повышение прочности адгезии к подложке достигается прогревом покрытия деталей в вакууме при температуре 650°С в течение 10 мин.

**Платинирование.** Процесс нанесения платиновых покрытий осуществляется погружением деталей в ванну с последующей сушкой и обжигом в пламени газовой горелки.

Состав раствора для платинирования:

платинохлористоводородная кислота	— 5 мл
гидроксиламин гидрохлорид	— 0,5 г

Возможно нанесение платины на неметаллические материалы, такие, как керамика, фарфор, кварц, стекло и пластмассы. В этом случае рекомендуется 2 г платины растворить в смеси 35 мл соляной и 5 мл азотной кислот при нагревании, затем раствор упарить до 20 мл.

Для нанесения платинового покрытия к 5 мл раствора прибавляют 0,5 г гидроксиламин гидрохлорида (гидроксиламиносульфата, соли гидразина, формалина).

Перед нанесением платины поверхность детали пескоструят и обезжиривают. Толстые покрытия получают многократным повторением. Платиновое покрытие имеет тусклый цвет и отличается высокой электропроводностью.

Для платинирования электрических контактов в производстве фотоэлементов, молибденовых выводов для ртутнокварцевых ламп и т. п. используют следующий состав (пасту):

платинохлористоводородная кислота	— 10 г
этиловый спирт	— 10 мл
лавандовое масло	— 20 мл
скипидар	— 6 мл

Кислоту растворяют в спирте, затем добавляют масло и скипидар и растирают в ступке в течение 1 ч. Приготовленную пасту выдерживают 5—6 дней. Восстановление платины ведется при нагреве в пламени газовой горелки или в электрическом шкафу при температуре 450—480°С.

**Меднение.** Медные покрытия в основном используют в качестве подслоя при хромировании, никелировании и при получении многослойных покрытий. Кроме того, за последнее время разработаны способы химического меднения неметаллических материалов.

Для химического меднения керамических полированных деталей применяют следующие два раствора:

1. 4%-ный раствор углекислой меди	
2. Виннокислый калий (натрий)	— 80 г
едкий натр	— 35 г
дистиллированная вода	— 1 л

Растворы перед процессом смешивают в соотношении 1 : 1, нагревают до 40°С и добавляют 20 мл/л формалина.

Весьма стабильными растворами химического меднения являются следующие составы (г/л):

<b>Раствор А:</b>	
сульфат меди	— 14
хлорид никеля	— 4
формалин (40% пий)	— 52 мл
<b>Раствор Б:</b>	
сегнетова соль	— 45
едкий натр	— 9
карбонат натрия	— 4

Для получения рабочего раствора смешивают растворы А и Б в соотношении 1 : 1. В смеси рН = 12,1. Скорость меднения — 0,4 мкм/ч. Присутствие ионов никеля дает возможность меднения гладкой поверхности непроводящего материала.

**Бронзирование.** Для образования электропроводящего слоя на поверхности стеклянных баллонов некоторых типов приемоусилительных радиоламп применяют способ бронзирования, т. е. нанесения слоя порошкообразной (пудры) бронзы, реже меднения (порошком).

**Покрyтия оловом (лужение)** применяют в некоторых областях электротехники (лужение контактов для пай-

ки, в резьбовых соединениях и т. п.) и в электронике (лужение платинитовых выводов сверхминиатюрных радиоламп и тиратронов, а также для пайки выводов, т. е. соединения выводов с контактами кололек). В последнем случае применяют оловянно-свинцовые припои ПОС-90, -60, -50 и -40 с применением флюсов для защиты места пайки от окислений на воздухе. Пайку на штырьках кололек производят горячим способом — паяльником или погружением штырьков или выводов в ванну с расплавленным припоем с предварительным нанесением пленки флюса. В качестве флюса применяют канифоль. Для пайки выводов с кололями из латуни применяют флюс следующего состава (в объемных частях):

35%-ный раствор хлористого цинка	— 95,8
диэтиламин	— 3,0
триэтанолламин	— 0,7
20%-ный раствор хлористого аммония	— 0,5

Однако горячий способ не обеспечивает в необходимой степени равномерность покрытия и экономию столь дефицитного и дорогого металла. Поэтому в последнее время стал широко развиваться химический способ покрытия оловом. Предложена следующая прогрессивная технология оловянного покрытия на детали из меди и ее сплавов, а также на омедненные и неметаллические поверхности. Предварительно поверхности деталей обезжиривают в органических растворителях и химически травят (см. гл. IV).

Оловянирование осуществляется в одном из растворов:

	Раствор 1	Раствор 2
Олово двуххлористое, г/л	5,8	5,5
Тиомочевина, г/л	35—45	50
Серная кислота (1,84), г/л	30—40	—
Винная кислота, г/л	—	35
Моющее средство «Прогресс», мл/л	—	1
Время выдержки в растворе, мин	15—30	15—30
Температура раствора, °С	18—25	60—70
Соотношение между площадью покрываемой поверхности и объемом раствора, см <sup>2</sup> /см <sup>3</sup>	1:3	1:3
Толщина покрытия, мкм	до 1	до 1

Раствор 1 рекомендуется для оловянирования печатных схем. Раствор 2 применим для покрытия деталей из

меди и ее сплавов. Растворы стабильны в течение 1 месяца.

**Цинкование.** Нанесение тонкого цинкового покрытия на алюминиевые детали осуществляют в 40—50%-ном растворе едкого натра, к которому добавляют при постоянном перемешивании 30%-ный раствор сернокислого цинка. Детали, предварительно обезжиренные и промытые в воде, для покрытия загружают в данный раствор на 1—3 мин.

**Золочение.** Для химического золочения изделий из железа, никеля, кобальта, серебра, платины, меди, магния и их сплавов предлагается такой состав (г/л):

цианистое золото	— 2
цианистый калий	— 0,2
гипофосфит натрия	— 10
pH=13,5	Скорость осаждения — 9,85 мг/см <sup>2</sup>
	в час. Температура — 96 °С.

Предложен раствор для химического золочения, не содержащий цианистых соединений (нетоксичный):

хлорид золота	— 37,5 г
карбонат натрия	— 100 г
формалин (37%-ный)	— 65 мг/л

В радио- и электронной промышленности значительное применение нашло золочение непроводящих материалов, для которого рекомендуются следующие рецепты, применяемые для изготовления рабочего раствора:

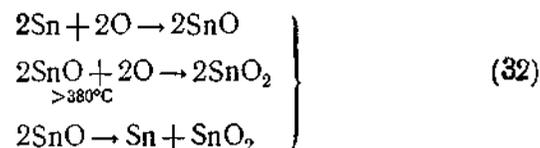
Раствор 1	
Хлористое золото (50—51%)	— 16 г
Дистиллированная вода	— 1 л
Раствор 2	
Едкий натр	— 60 г
Дистиллированная вода	— 1 л
Раствор 3 (восстановитель)	
Глюкоза	— 8 г
Этиловый спирт (80%)	— 100 мл
Формалин (40%)	— 100 мл
Дистиллированная вода	— 100 мл

Рабочий раствор для золочения непроводящих материалов, которые перед процессом тщательно очищаются и обрабатываются раствором двуххлористого олова, готовят путем соединения 64 ч. раствора 1, 16 ч. раствора 2 и 1 ч. раствора 3.

§ 42. НАНЕСЕНИЕ ПОЛУПРОВОДЯЩЕЙ ПЛЕНКИ  
НА СТЕКЛО И СЛЮДУ

В настоящее время для нужд народного хозяйства выпускают большой ассортимент электроннолучевых и фотоэлектрических приборов, в которых значительное место занимают детали с прозрачными электропроводящими полупроводниковыми слоями двуокиси олова  $\text{SnO}_2$ .

**Методы нанесения.** 1. Окисление слоя металлического олова. Полупроводниковый слой на различных подложках (стеклянных и слюдяных) получают испарением олова в вакууме с последующим его термическим окислением. Образование окисного слоя можно представить следующими основными реакциями, происходящими одновременно:



Образующаяся в первой стадии моноокись олова  $\text{SnO}$  представляет собой непрочное соединение и при температуре  $380^\circ\text{C}$  диссоциирует на олово  $\text{Sn}$  и двуокись олова  $\text{SnO}_2$  с примесью  $\text{Sn}$  и  $\text{SnO}$ . Испарение металлического олова производится в вакууме при давлении остаточных газов  $1,33 \cdot 10^{-3} - 1,33 \cdot 10^{-4}$  Па.

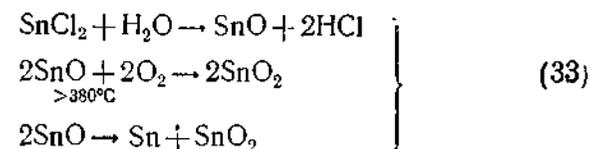
По данному методу получают рыхлые высокоомные слои  $\text{SnO}_2$  с сопротивлением  $10^5 - 10^8$  Ом.

2. Реактивное катодное распыление металлического олова. Сущность этого способа, являющегося одним из прогрессивных способов получения слоев  $\text{SnO}_2$ , состоит в том, что распыление  $\text{Sn}$  ведется в атмосфере кислорода, смешанного с инертным газом (например, смесь аргон — кислород), в результате чего на подложке образуются пленки окислов распыляемого олова вида  $\text{SnO}_2$  и  $\text{SnO}_x$ , где  $x < 2$ .

Этот метод позволяет получать не только чистые слои  $\text{SnO}_2$ , но с добавкой сурьмы: в этом случае получают слои с высокой электропроводностью.

3. Пиролиз кристаллического хлористого олова. Пиролиз  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  позволяет получать слои  $\text{SnO}_2$  по следующей схеме. Подложка, предварительно очищенная,

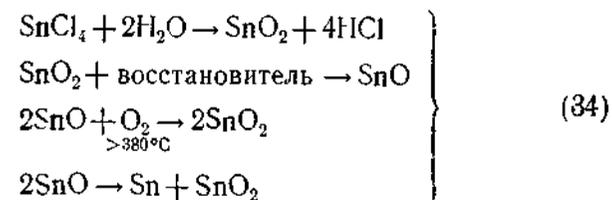
нагревается в печи до температуры  $400 - 500^\circ\text{C}$ . Одновременно нагревается другая печь с повышением температуры на  $30 - 35^\circ\text{C}$  для испарения  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Образующиеся пары, смешиваясь с подводимым воздухом, поднимаются вверх и по шлюзу или трубопроводу попадают в первую печь, где осаждаются на подложке в виде тонкого слоя. Реакция образования слоя может быть представлена в виде следующих основных уравнений:



Пиролиз  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  позволяет получать слои  $\text{SnO}_2$  с сопротивлением от нескольких Ом до сотен тысяч Ом путем добавления в исходный материал примеси в виде треххлористой сурьмы  $\text{SbCl}_3$ .

4. Гидролиз растворов хлорного олова. Этот метод получил наибольшее распространение. Он позволяет получать электропроводящие полупроводниковые слои  $\text{SnO}_2$  путем обработки нагретой до температуры  $500 - 550^\circ\text{C}$  подложки растворами  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .

Реакция образования слоя двуокиси олова идет по следующим основным уравнениям:



Процесс образования слоя протекает в течение нескольких секунд. В образовавшемся слое в основном содержится двуокись олова  $\text{SnO}_2$ , в структуре которой имеются моноокись олова  $\text{SnO}$  и незначительное количество металлического олова  $\text{Sn}$ . Химически чистая без этих примесей  $\text{SnO}_2$  является диэлектриком. Наличие примесей  $\text{Sn}$  и  $\text{SnO}$  вызывает нарушение структуры кристалла  $\text{SnO}_2$  и приводит к появлению электрической проводимости слоя. Применяется несколько способов подачи раствора  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  на поверхность стекла.

1) способ пульверизации холодного (температура 20—30° С) водного или спиртового раствора  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  на стекло, предварительно прогретое до температуры 500—600° С;

2) испарение подогретого до 85° С спиртового раствора  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  на предварительно нагретое до температуры 450—550° С стекло (аэрозольный способ).

Химическая стойкость слоев  $\text{SnO}_2$  весьма высока. Они не разрушаются водой и ее парами и устойчивы к воздействию растворов солей и кислот. Удаляется слой  $\text{SnO}_2$  со стекла достаточно быстро путем протирки ватным тампоном, смоченным смесью соляной кислоты с порошком (пудрой) металлического цинка, с последующей промывкой водой.

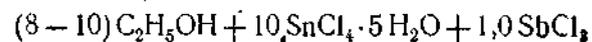
**Технология нанесения.** При массовом производстве электронных приборов для получения слоя двуокиси олова широко применяется метод пульверизации спиртовых растворов  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . Получаемые при этом слои  $\text{SnO}_2$  прозрачны, обладают нужной электропроводностью и адгезией к стеклу.

Сущность метода пульверизации заключается в следующем.

Сначала стеклянную подложку промывают в серно-кислом растворе (на 1 л  $\text{H}_2\text{SO}_4$  плотностью 1,84 100 г  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) в течение 1 мин, затем подогретой проточной водой, ополаскивают дистиллированной водой, обезживают спиртом и сушат путем обогрева теплым воздухом. Такая промывка обеспечивает очистку стекла от различных поверхностных загрязнений, которые отрицательно сказываются на прочности сцепления слоя со стеклом. Затем составляют раствор, в котором от концентрации основного вещества существенно зависят проводимость, прозрачность и цвет слоя двуокиси олова. Для получения низкоомных слоев  $\text{SnO}_2$  применяют водные и спиртовые растворы хлорного олова  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  с добавлением треххлористой сурьмы  $\text{SbCl}_3$ ; для высокоомных слоев  $\text{SnO}_2$  — растворы хлорного олова с добавлением хлоридов  $\text{Bi}$ ,  $\text{Cu}$  и других элементов.

В практике чаще всего применяют спиртовые растворы, так как водные иногда вызывают растрескивание стекла.

Наиболее оптимален раствор следующего состава (в массовых частях):



Обработанные стеклянные подложки помещают в специальные оправы, а слюдяные диски или пластины — в кассеты (для избежания деформации), нагревают в печи до температуры, близкой к температуре размягчения, и в течение нескольких секунд обрабатывают холодным спиртовым раствором хлорного олова, поступающим из пульверизатора под давлением воздуха от  $1,18 \cdot 10^5$  до  $2,94 \cdot 10^5$  Па. При соприкосновении паров раствора с горячей поверхностью стекла на ней образуется слой  $\text{SnO}_2$ . Затем стекло охлаждают и вынимают из печи. Режим нанесения слоя  $\text{SnO}_2$  определяется температурой для каждой марки стекла, которая должна быть близкой к температуре размягчения, величиной давления воздуха, от которого зависит дисперсность получаемых при пульверизации паров (чем выше давление, тем выше степень дисперсности, тем лучше качество слоя), длительностью пульверизации, определяющей толщину слоя.

**Оборудование и автоматизация технологических процессов нанесения слоев двуокиси олова методом пульверизации.** Для нанесения слоев двуокиси олова методом пульверизации широко применяется стационарная установка, которая состоит из двух основных частей: пульверизатора и электропечи для прогрева стекла, подлежащего покрытию слоем.

К пульверизатору подводится раствор хлорного олова и сжатый воздух. Пульверизатор обычно изготавливают из титана, который не подвергается воздействию хлорных соединений олова, сурьмы, хлористого водорода и т. п. Это очень важно в условиях массового производства, так как не требуется ремонта или замены пульверизатора вследствие коррозии. Давление воздуха контролируется манометром на входе в пульверизатор.

В зависимости от условий нанесения слоя  $\text{SnO}_2$  и величины покрываемой поверхности применяются различные конструкции пульверизаторов. Для покрытия больших поверхностей применяют мощные форсунки, работающие при давлении сжатого воздуха  $4,9 \cdot 10^5$ — $5,9 \cdot 10^5$  Па. При нанесении слоя на небольшие поверхности обычно пользуются пульверизаторами конструкции Де-Вильбис (рис. 68) или А. И. Земскова (рис. 69). Эти пульверизаторы дают струю достаточной дисперсности при давлении  $1,47 \cdot 10^5$ — $2,94 \cdot 10^5$  Па.

Установление определенных режимов нанесения на стекло слоев  $\text{SnO}_2$  методом пульверизации позволяет ав-

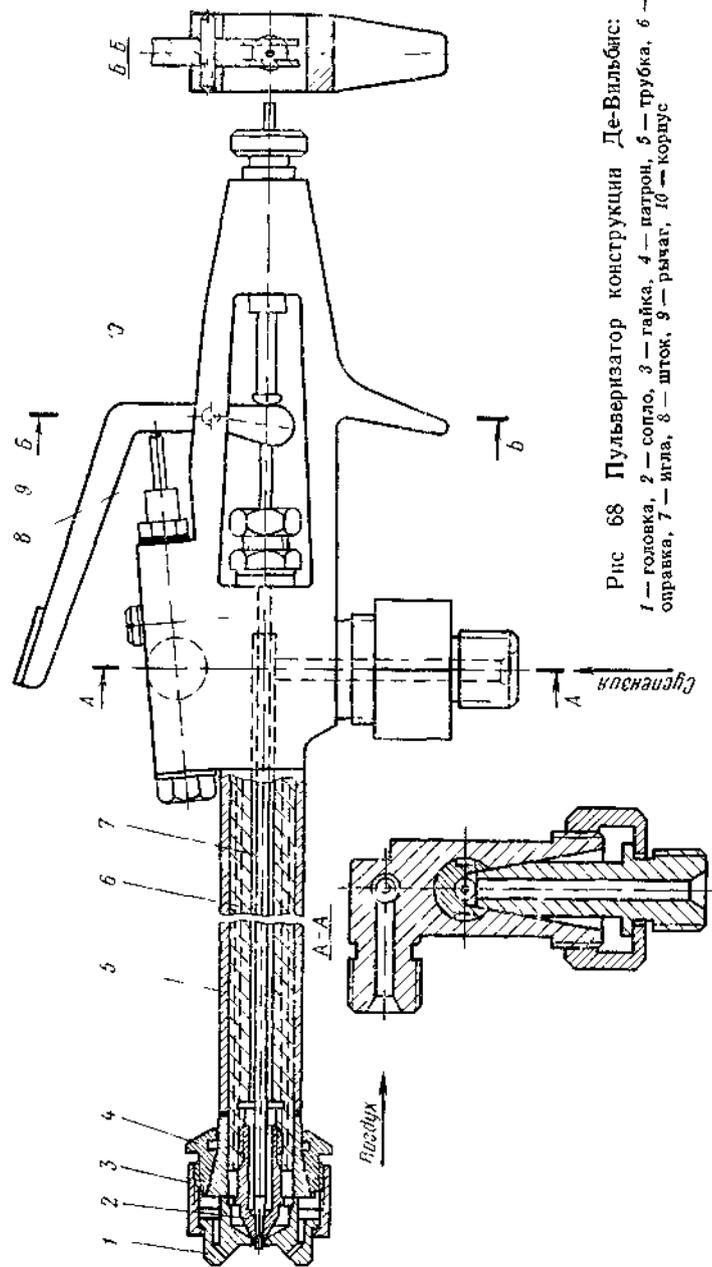


Рис 68 Пульверизатор конструкции Де-Вильбисс:

1 — головка, 2 — сопло, 3 — гайка, 4 — патрон, 5 — трубка, 6 — оправка, 7 — игла, 8 — шток, 9 — рычаг, 10 — корпус

томатизировать этот процесс. В настоящее время существует несколько конструкций полуавтоматических устройств. Наиболее широко применяемая конструкция кон-

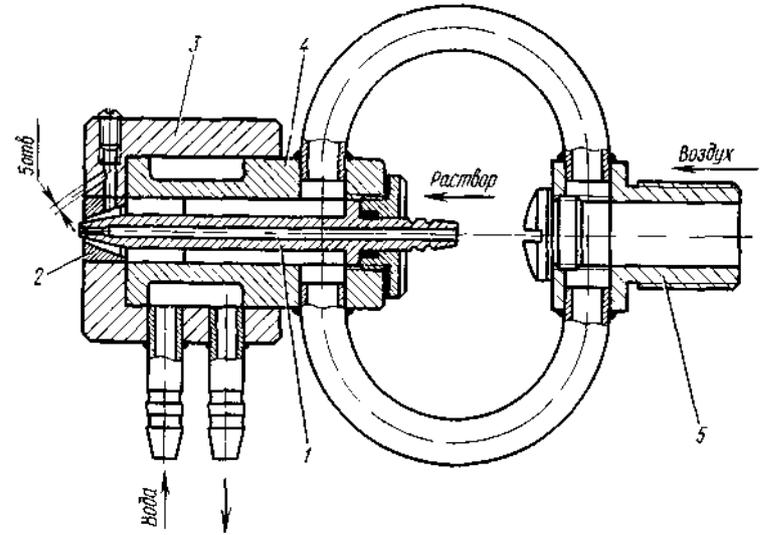


Рис 69. Пульверизатор для нанесения раствора хлорного олова к полуавтомату (подача воздуха с двух сторон) конструкции А И Земскова:

1 — сопло, 2 — втулка, 3 — кожух, 4 — корпус, 5 — ниппель

вейерного полуавтомата (рис. 70) включает печь, состоящую из трех секций. Первая секция предназначена для нагрева стекла до рабочей температуры; вторая, расположенная под камерой нанесения пленки, поддерживает рабочую температуру стекла во время пульверизации; третья — служит для плавного охлаждения стекла. Контроль за температурой стекла осуществляется с помощью термопар, установленных во всех трех секциях. Для сообщения с камерой, где установлен пульверизатор и происходит нанесение слоя, в кожухе печи имеется дверца, автоматически открывающаяся в момент пульверизации. Через всю печь проходит конвейерная лента, на которую укладываются стеклянные детали в оправках. Лента натянута между двумя барабанами (ведущим и натяжным) 6 и 13, установленными на станине полуавтомата. Барабаны приводят в движение ленту и предохраняют ее

от провисания. На ведущем барабане 6 установлены кулачки для включения и выключения электромагнита 8, с помощью которого под действием сжатого воздуха происходит автоматическое синхронное включение pulverизатора 10 и открывание крышки 11 печи в момент прохождения детали под pulverизатором. В полуавтомате применен pulverизатор конструкции А. И. Земскова, снабженный охлаждающей водяной рубашкой, которая предохраняет pulverизатор от нагревания. В камере на-

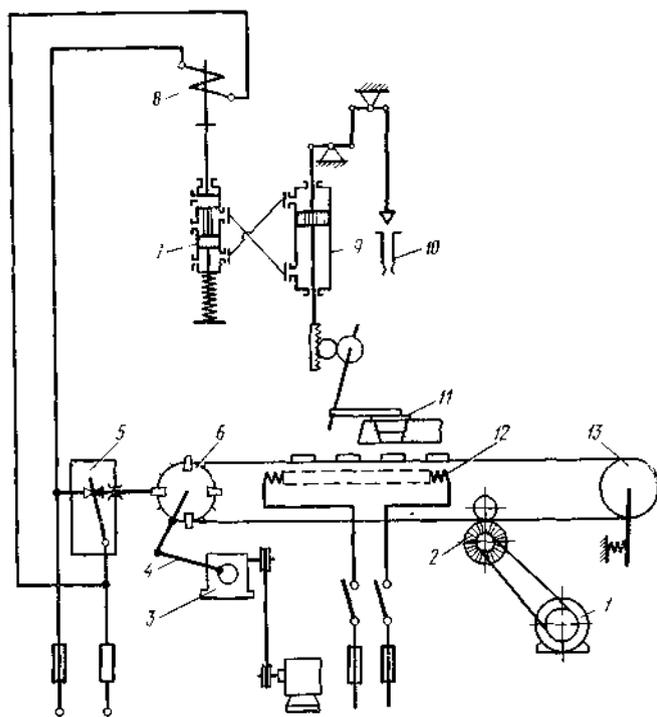


Рис 70 Кинематическая схема конвейерного полуавтомата для нанесения слоев двуоксида олова на стеклянные детали:

1 — электродвигатель, 2 — очиститель, 3 — редуктор, 4 — кривошип, 5 — переключатель типа МП-1, 6 — ведущий барабан, 7 — золотник, 8 — электромагнит, 9 — рабочий цилиндр, 10 — pulverизатор, 11 — крышка, 12 — подогреватель, 13 — натяжной барабан

несения установлены два pulverизатора — один для распыления раствора сверху, другой — сбоку.

Учитывая агрессивное действие среды, части полуавтомата, соприкасающиеся с раствором хлорного олова, изготовлены из антикоррозионного материала: лента и pulverизатор из титана, остальные детали из стали марки Х18Н9Т. Для очистки конвейерной ленты от попадающего на нее раствора хлорного олова под печью установлена вращающаяся латунная дисковая щетка-очиститель. Для удаления вредных продуктов реакции камера для нанесения слоя соединена с вентиляционным вытяжным устройством.

Работа на полуавтомате производится следующим образом. Сначала включают нагрев печи и двигатель, приводящий в движение конвейерную ленту. После прогрева печи до рабочей температуры на конвейерную ленту укладывают стеклянные детали в оправках. Pulverизатор в это время не работает. В тот момент, когда первая деталь, прогретая до рабочей температуры, попадает в камеру, срабатывает электромагнит, открывающий дверцу печи и включающий pulverизатор. Опыскивание производится в течение нескольких секунд при давлении  $1,47 \cdot 10^5$  Па. После этого pulverизатор отключается, дверца закрывается и стекло попадает в третью секцию конвейера для охлаждения.

Полуавтомат позволяет получать слои  $\text{SnO}_2$  на стеклянных и слюдяных деталях и стаканах диаметром до 120 мм, на более мелких деталях 5—10 шт. одновременно. В зависимости от этого производительность полуавтомата колеблется от 27—28 до 130—250 деталей в час.

**Способы осуществления контакта со слоями  $\text{SnO}_2$ .** Создание надежного электрического контакта с полупроводниковым слоем  $\text{SnO}_2$  является одним из наиболее важных моментов его применения в электронных приборах, в которых слой прозрачной проводящей подложки предназначается для снятия паразитного статического заряда. В литературе имеется ряд рекомендаций по составлению контактных паст и методике нанесения контактной полосы под слой двуоксида олова или на него, например напыление металла в вакууме, химическое вжигание паст, гальваническое осаждение и т. п.

В производстве электронных приборов наиболее подходящим оказался метод вжигания серебряной, платиновой и графитовой паст. Технология нанесения контакта

заключается в следующем: на слой двуокиси олова наносят кисточкой контактную пасту в виде тонкой полосы, которая с одной стороны тежит на полупроводниковом слое, а с другой — на электрическом вводе прибора. Электрический ввод вваривается в стекло предварительно и обычно представляет собой штырек с торцом 3—6 мм. Затем паста в течение 1—2 ч подсыхает на воздухе, после чего поступает на отжиг с постепенным подъемом температуры в течение 1,5—2 ч до 400—500° С и выдерживается в течение 30—60 мин. Более форсированный подъем температуры снижает прочность контактной полосы, появляются трещины.

В электронных приборах практически нашли применение следующие пасты (состав в массовых частях):

- 1) 100 окись серебра + 50 смолянокислосое серебро + 65 скипидар;
- 2) 20 окись серебра + 1 борнокислый свинец + 2,5—2,7 канифоль + 8—10 скипидар;
- 3) 10 дисперсное серебро + 1 флюс + 0,25 канифоль + 1,5 скипидар;
- 4) 10 платинохлористоводородная кислота + 10 спирт ректификат + 20 масло лавандовое + 1 скипидар;
- 5) аквадаг (водноколлоиднографитовый препарат) — графитовая паста

**Измерение электросопротивления слоя SnO<sub>2</sub>.** Одним из основных параметров качества стеклянной или слюдяной подложки с нанесенным слоем SnO<sub>2</sub> является его электросопротивление. Контроль электросопротивления слоя двуокиси олова на подложках осуществляется с помощью прижимных контактов, подключенных к любому измерительному прибору типа универсального моста УМ-2. Измерение электросопротивления слоя можно осуществлять также методом вольтметра — амперметра, когда собирается обычная электрическая схема, причем пределы измерения схемы практически не ограничены.

Стеклянные изделия со слоем SnO<sub>2</sub> не требуют особых условий для хранения. Их можно хранить в сухом чистом помещении в течение нескольких месяцев, причем отклонения в величине электросопротивления не наблюдаются.

#### § 43. РАЗНЫЕ ПОКРЫТИЯ

В производстве электронных приборов применяется химическое серебрение на стеклянных колбах для полу-

чения подложек светочувствительных катодов фотоэлементов и фотоэлектронных умножителей, отражающих поверхностей специальных ламп накалывания, проводящих слоев, маркировки и т. п.

Технология приготовления серебрильного раствора следующая: в колбу наливается 30 см<sup>3</sup> раствора азотнокислого серебра и добавляется 500 см<sup>3</sup> дистиллированной воды (содержание азотнокислого серебра из расчета 20 г на 1 л). Затем добавляется 25%-ный аммиак небольшими порциями до полного исчезновения помутнения (раствор № 1). В другой колбе растворяется 24 ч. едкого кали в 500 см<sup>3</sup> дистиллированной воды (раствор № 2). Оба раствора сливаются в бутылку. Полученный раствор имеет бурый цвет. Затем в эту смесь добавляют небольшими порциями аммиак (15—20 мл) до ее полного осветления и исчезновения помутнения и отфильтровывают через вату.

Восстановительный раствор готовят путем растворения в подкисленной азотной кислотой (1,5 см<sup>3</sup>) дистиллированной воде (объемом 1 л) 100 г сахара-рафинада. Для полной инверсии глюкозы необходима выдержка восстановительного раствора 2—3 дня.

Перед серебрением колбы промывают снаружи и внутри горячей (40—50° С) водопроводной водой и обрабатывают хромовой смесью или раствором едкого кали для удаления жировых загрязнений с последующей промывкой водой. Затем колбы промывают 0,2%-ным раствором двухлористого олова с целью получения лучшей адгезии слоя серебра со стеклом и увеличения его прочности. В зависимости от вида покрытий колбу устанавливают вертикально, горизонтально или под определенным углом в специальных оправках, вливают сначала серебрильный раствор, а затем восстановительный. При этом происходит химическое восстановление серебра и осаждение его на стенках колбы. Подравнивание слоя производится 5%-ным раствором азотной кислоты путем протирки слоя или наполнения колбы. После покрытия колбы промывают струей водопроводной и дистиллированной воды и сушат при температуре 120—130° С в электрическом шкафу, устанавливая их горловиной вниз.

Развитие радиопромышленности и электроники требует применения деталей из непроводниковых материалов, на поверхность которых должен быть нанесен слой металла, в частности серебра. Для этих целей широкое

распространение получил способ «вжигания серебра», основанный на термическом восстановлении окислов серебра, нанесенных вместе с флюсами и пластификаторами на их поверхность. Распространенность этого способа вызвана хорошей адгезией покрытия с подложкой и сравнительно хорошей прочностью самого слоя покрытия.

Для нанесения контактных колец и полосок на стеклянных изделиях в ЭВП применяют серебряную пасту, которую готовят по следующей технологии: 7 г едкого натра или 10 г едкого кали растворяют в 40 мл дистиллированной воды. 50 г канифоли заливают приготовленным раствором щелочи. Затем 28 г азотнокислого серебра растворяют в 100 мл воды и доводят до кипения, добавляют ранее приготовленный раствор и разбавляют до 400 мл водой. Полученное смолянокислое серебро отфильтровывают и сушат.

Состав пасты:

смолянокислое серебро	— 200 г
окись серебра	— 400 г
скипидар	— 260 мл

Маркировочная мастика для нанесения на стекло имеет следующий состав:

окись серебра	— 13 г
борнокислый свинец	— 5,5 г
глицерин	— 5,7 мл

Окись серебра получают осаждением из раствора азотнокислого серебра едким натром. Осадок окиси серебра тщательно отмывают от щелочи и сушат до постоянного веса. Борнокислый свинец получают при взаимодействии растворенных в дистиллированной воде азотнокислого свинца с тетраборнокислым натрием. Наносят пасту и мастику намазкой с прогревом слоя для восстановления серебра при температуре 475—500° С в течение 10—15 мин.

В последнее время в животноводстве для стимулирования роста молодняка стали применять инфракрасные лампы накаливания (ИКЗ), для которых применяется рубиновая масса.

Состав рубиновой массы для окрашивания стекла:

хлористое серебро	— 400 г
сернокислая медь	— 300 г
окись железа	— 15 г

каолин	— 690 г
этиловый спирт	— 1250 мл
дистиллированная вода	— 650 мл

Нанесение этой массы на внешний купол колбы производится способом пульверизации или способом окунания, что более экономично.

Вязкость до рабочего состояния доводится путем разбавления водно-спиртовым раствором в соотношении 1 : 2. Температура прокаливания при обжиге должна быть в пределах 475—510° С в течение 30 мин.

В настоящее время разработан состав для окрашивания автомобильных ламп в желтый цвет в целях улучшения видимости на дорогах при тумане и в дождь.

Обеспечение стойкости окраски бариево-доломитового стекла колб автомобильных ламп в желтый цвет достигается тем, что состав содержит следующие компоненты (%):

хлористое серебро	— 4—6
сернокислая медь	— 3—4
этиловый спирт	— 40—50
вода	— 25—30
окись железа	— 3—4,5
каолин	— 12—16
углекислый никель	— 2—5

Состав наносят на купол колбы автомобильных ламп методом обмакивания. Затем колбы подсушивают около 1 ч на воздухе и обжигают при температуре 540—560° С в течение 20—30 мин в печи. В процессе обжига при температуре, близкой к температуре размягчения стекла, происходит разложение солей и выплавление красящих окислов в поверхностные слои стекла, что обеспечивает равномерную и стойкую желтую окраску.

Для создания надежного электрического контакта в электронных приборах также широко применяют следующие составы:

1. Окись серебра	— 20 г
борнокислый свинец	— 1 г
канифоль	— 2,5 г
скипидар	— 8—10 мл
2. Дисперсное серебро	— 10 г
флюс	— 1 г
канифоль	— 0,25 г
скипидар	— 1,5 мл

Тонкие покрытия слоя металла (1—1,5 мкм) на проволоку наносят путем протаскивания проволоки через

расплавленную каплю металла или сплава в защитной атмосфере водорода или смеси водорода с азотом (фермиргаза). Этот метод носит название «Горячая металлизация». Перед покрытием проволоку очищают от окислов и аквадага. Таким методом покрывают тонкую проволоку из вольфрама алюминиевой бронзой (3—5% Al) для прямонакальных катодов радиоламп и вольфрамовую или молибденовую проволоку (диаметром до 25 мкм) золотом для изготовления сеток радиоламп.

В настоящее время на предприятиях, изготавливающих электронные приборы, широко применяется эмалирование выводов для их надежной электроизоляции. Данный способ и соответствующее оборудование впервые было разработано автором совместно со специалистами на Московском заводе электровакуумных приборов. Ранее изоляция платинитовых выводов для тиратронов тлеющего разряда и электрометрических ламп осуществлялась стеклянной «соломкой», надеваемой на выводы. Такой способ был малоэкономичным и приводил к повышенному браку готовых изделий по электрическим параметрам.

Эмалирование и изготовление платинитовых выводов осуществляется на автомате с линейной двухручейковой протяжкой неборированной проволоки. Автомат включает в себя следующие механизмы и узлы: механизм натяжения проволоки, механизм правки проволоки, насос-мешалку для размешивания суспензии в камере и подачи ее в ванночку для нанесения эмали на проволоку и печи подсушки и обжига. Процесс эмалирования осуществляется следующим образом: катушка с платинитовой проволокой укрепляется на смоточном приспособлении и через механизм правки протягивается над ванночкой с суспензией и далее через печи подсушки и обжига и закрепляется зажимным устройством.

Нанесение суспензии происходит при периодическом опускании черпачка (лодочки) в ванночку; захватив порцию суспензии, черпачок подносит ее под непрерывно проходящую проволоку, при этом наносится покрытие определенной длины в зависимости от ширины сменного черпачка. Суспензия размешивается и подается в ванночку с помощью насоса-мешалки. Для поддержания стабильности суспензии в ванночку периодически вручную добавляется растворитель (амилацетат).

Слой суспензии подсушивается в печи-сушке, а проходя через электрическую печь обжига, — остекловыва-

ется. По выходе из печи платинитовая проволока, на которой нанесены участки эмали, рубится на мерные отрезки. При необходимости одновременно с рубкой производится формовка конца вывода. После остеклования выводы подвергают травлению в лимонной кислоте с целью снятия окислов с платинита.

Эмалирование анодных чашечных выводов (боковой вывод для электроннолучевых трубок) производится на автомате карусельного типа по такому же принципу — обмакивание торца чашечки (вывода) в суспензии и обжиг для остеклования при температуре 700—800° С.

Суспензия для эмалирования готовится из стеклопорошка того же рецепта (состава) стекла, из которого изготовлено само изделие (прибор), и нитролака (раствор нитроклетчатки в амилацетате). Размол суспензии производится в шаровых мельницах.

#### Контрольные вопросы

1. Какие химические способы металлизации вы знаете?
2. Приведите пример состава для серебрения.
3. Для какой цели наносятся полупроводниковые пленки на стекло и слюду?
4. В чем заключается сущность процесса нанесения слоев SnO<sub>2</sub> методом пульверизации?

## ГЛАВА VIII

### ТЕХНОЛОГИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

#### § 44. ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ

Основное назначение гальванических покрытий — защита от коррозии, повышение поверхностной электропроводности деталей приборов (цоколей, штырьков, вводов) и износостойкости различных пресс-форм. Гальванические покрытия применяют также для никелирования, серебрения, цинкования, хромирования, золочения и т. д. Гальванический процесс — это процесс кристаллизации металлов из водных растворов их солей под действием постоянного электрического тока, при котором положительно заряженные ионы металла превращаются в нейтральные молекулы на поверхности покрываемого изделия. Структура получаемых осадков зависит от скорости образования центров кристаллизации и скорости

роста кристаллов, что достигается замедлением процесса нейтрализации ионов, для чего в состав электролита вводят различные коллоиды или используют комплексные соли осаждаемого металла.

В качестве катодов служат детали, соединяемые с отрицательным полюсом источника постоянного тока. В большинстве гальванических процессов пополнение электролита металлом производится за счет растворения анода, который изготавливается из того же металла, что и осаждаемый. В качестве анодов обычно используют пластины, сетки или прутки, которые, растворяясь при электролизе, поддерживают количество ионов осаждаемых металлов постоянным. Иногда применяют нерастворимые аноды (например, платиновая сетка при золочении), в этом случае необходимую концентрацию ионов осаждаемых металлов в электролите поддерживают добавками растворов солей.

В производстве электронных приборов широкое применение нашли гальванические покрытия металлов никелем (никелирование), медью (меднение), хромом (хромирование), цинком (цинкование), оловом (лужение), серебром (серебрение), золотом (золочение), кадмием (кадмирование), палладием (палладирование), рением (ренийрование), сурьмой (сурьмирование) и др.

Гальванические покрытия проводят в ваннах, изготовленных из материалов, химически стойких к соответствующему электролиту. Для щелочных электролитов в качестве материала ванны применяют сталь, для кислых электролитов стальные ванны гуммируют или обкладывают винипластом, пленками из фторопласта, покрывают изнутри кислотостойкими лаками, эмалями и смолами. Винипласт применим при температуре электролита до 70° С, выше — начинает деформироваться.

Выбор оборудования для гальванических процессов зависит от режимов обработки, состава среды, в которой происходит процесс, размеров и форм обрабатываемых деталей. Гальванические покрытия мелких деталей типа штырьков, стаканов, держателей, колпачков осуществляют в колокольных ваннах (рис. 71). Ванну соединяют с отрицательным полюсом источника тока металлическими щетками, трущимися по кольцу, расположенному по наружной поверхности дна колокола. Медное кольцо болтами соединяют с расположенными на внутренней поверхности дна колокола контактными пластинами, через

которые осуществляется электрический контакт с покрываемыми изделиями.

На вертикальной штанге 3 крепится анод 5 в виде горизонтальной пластины из покрывающего металла, помещаемой в электролит. Перемешивание электролита и изделий для равномерного нанесения покрытия производят вращением колокола 4 с помощью электродвигателя 1 через червячный редуктор 6 и пару конических шестерен. Изделия выгружают с помощью ручного штурвала 2, по-

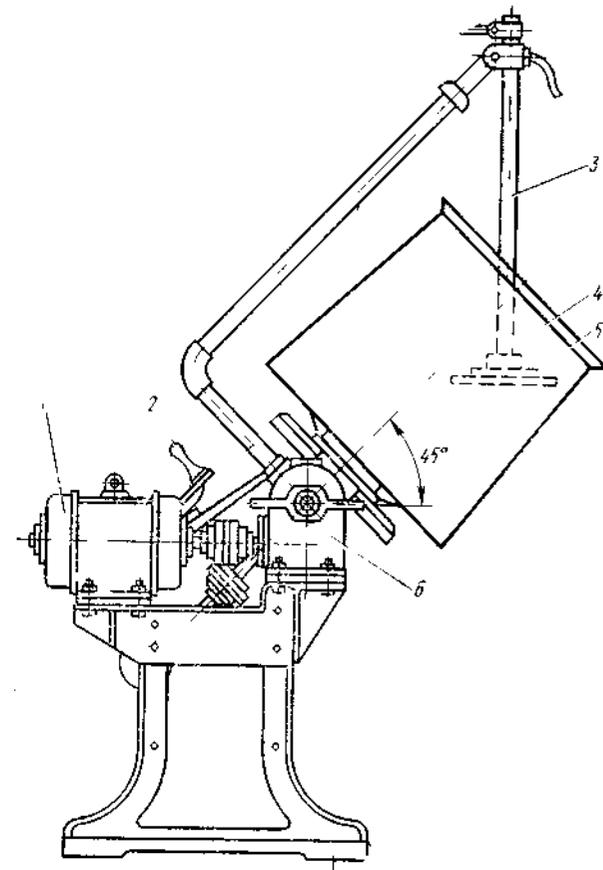


Рис. 71. Колокольная ванна для гальванических покрытий:

1 — электродвигатель, 2 — штурвал, 3 — штанга, 4 — колокол, 5 — анод, 6 — редуктор

вращающегося колокол относительно горизонтальной оси редуктора, при этом изделия высыпаются на сетку, а электролит стекает в специальный бак, откуда вновь перекачивается в колокол.

Гальваническое покрытие плоских и цилиндрических деталей несложного профиля, цоколей со стеклянной изоляцией, крепежных деталей и т. п. производится в ваннах барабанного типа (рис. 72). Барабан 1 изготовляют из перфорированного текстолита, винилпласта, фторопласта и других непроводящих материалов. Для нанесения покрытий барабан с изделиями с помощью подъемного механизма 2 опускают в электролитическую ванну и приводят во вращение от электродвигателя через редуктор, укрепленный на кронштейне стенки ванны.

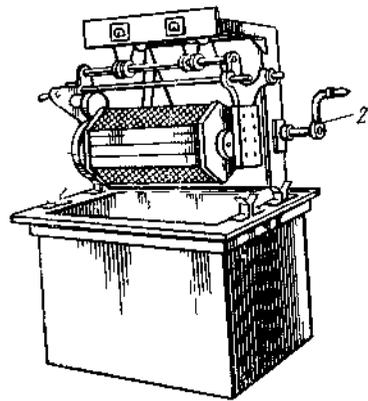


Рис 72 Ванна барабанного типа для гальванических покрытий: 1 — барабан, 2 — подъемный механизм

Частота вращения барабана составляет 5—10 об/мин. Разгрузку и загрузку барабана производят через люк в одной из стенок барабана, а в некоторых конструкциях барабана — с помощью специальных лотков и пневматического подъема барабана.

Внутри ванны размещают штанги с подвешенными анодами. Соединение с отрицательным полюсом источника тока осуществляют через контактные кнопки, расположенные внутри барабана. В некоторых барабанах электрический ток к деталям подводят с помощью помещенного в барабан гибкого катода или через специальные медные пластины, расположенные на плоскостях дна барабана.

Материал и конструкция электролитических ванн зависят от токсичности и степени агрессивности электролитов.

Для регулирования температуры применяются терморегуляторы (рис. 73).

Качество покрытий, полученных гальваническим

осаждением металлов, в большой мере зависит от качества предварительной подготовки поверхности изделий.

С покрываемой поверхности должны быть удалены заусенцы, раковины, царапины, окалина, ранее нанесенные покрытия (в случае исправления брака). Поверхность должна быть абсолютно чистой, т. е. без ржавчины, окислы, следов различных смазок и жира, препятствующих равномерному осаждению покрытий и прочному сцеплению их с материалом. Правильный выбор и соответствующее выполнение подготовительных операций имеют первостепенное значение. К этим операциям относятся механическая подготовка, а также химическое и электрохимическое обезжиривание, травление и полирование.

В зависимости от состояния поверхности и требований, предъявляемых к изделию, механическую подготовку производят шлифованием и полированием на кругах и в барабанах, крацовкой, галтовкой, пескоструйной, дробеструйной и гидроабразивной обработкой. Чаще всего механическую обработку производят шлифованием и полированием.

При шлифовании механически снимаются с поверхности изделия неровности металла (заусенцы, риски, раковины, царапины и пр.), а также удаляется окалина. Шлифование осуществляется на специальных станках при помощи абразивных кругов. Применяют твердые круги, состоящие из зерен абразивного материала на цементирующей связке, и мягкие (гибкие) круги — из эластичных материалов, на шлифовую поверхность которых наклеивают абразивные зерна.

Твердые шлифовальные круги изготовляют из карборунда ( $\text{SiC}$ ), корунда ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) и наждака (60—70%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и 30—40%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Связкой для абразивных зерен слу-

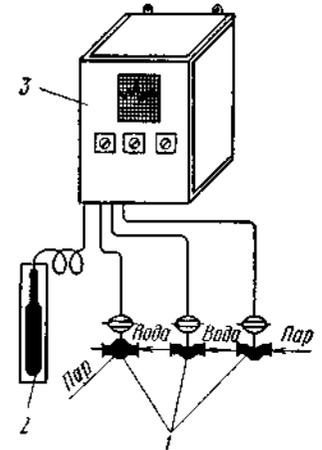


Рис 73 Автоматический терморегулятор:

1 — исполнительные механизмы (мембранные пневматические клапаны), 2 — датчик (термобаллон манометрического термометра), 3 — шкаф управления (с аппаратурой регулировки и воздухоподготовки)

жат каолин, жидкое стекло, бакелитовая смола, резина и каучук. Мягкие шлифовальные круги изготовляют из войлока, фетра и ткани. Абразивные зерна на рабочую поверхность прикрепляют столярным, казеиновым клеем или жидким стеклом.

Хорошо шлифовать поверхность металла, меняя направление шлифования, т. е. последующее шлифование производить под углом к рискам (оставшимся от предыдущего шлифования) или перпендикулярно к ним.

Шлифованный металл имеет ровную и гладкую поверхность без большого блеска. Путем полирования снимают и сглаживают небольшие неровности и придают поверхности металла зеркальный блеск.

Полирование выполняют на тех же станках, что и шлифование. Полировальные круги готовят из таких эластичных материалов, как войлок, фетр и ткани (бязь, миткаль, фланель и др.). На рабочую поверхность полировального круга наносят слой полировальной пасты, в состав которой входят абразив, жировая связка и специальные добавки. В качестве абразивных материалов применяют окись железа, окись хрома, окись алюминия (электрокорунд), окись кремния (микромолотая), трепел и др. Связующими веществами служат стеарин, парафин, оленовая кислота, техническое сало, церезин, воск монтан (минеральный), пчелиный воск. Кроме того, вводят специальные добавки — серу, скипидар, трихлорэтилен, керосин, которые изменяют вязкость паст и улучшают их полирующие свойства.

Для полирования металлов применяют различные пасты:

хромовую (ГОИ) для полирования углеродистых, нержавеющих сталей и хрома;

крокусную для полирования стали, никеля, меди и ее сплавов;

известковую для полирования латуни, никеля, алюминия и его сплавов, серебра, золота;

алюминиевую для полирования меди и ее сплавов, никеля.

Для лучшего удаления полировальных паст в их состав вводят до 2% синтетического поверхностно-активного вещества—полиэтиленгликолевого эфира, выпускаемого отечественной промышленностью, марок ОП-7 и ОП-10.

Шлифование и полирование мелких деталей (штам-

повок, крепежа, и т. д.) обычно выполняют способом галтовки во вращающихся барабанах, в которых наряду со шлифованием и полированием происходит удаление заусенцев, продуктов коррозии и других, загрязнений. В барабан вместе с деталями загружают абразивные материалы (стальные шарики, дробь, наждак, корунд, кварц, стекло и т. д.) для ускорения процесса галтовки. Для уменьшения трения абразива о деталь процесс галтовки производят в растворах с нейтральной, щелочной или кислой средой.

Крацевание — обработка поверхности металлических изделий щетками из стальной, медной или латунной проволоки, которая может быть прямой или гофрированной. Мягкие металлы обычно обрабатывают латунными или медными щетками. Крацевание осуществляют на специальных станках-моторах с удлиненным валом, на концах которого монтируют крацевальные щетки.

Для очистки поверхности крупных изделий (отливок, поковок) иногда применяют пескоструйную и дробеструйную (дробеметную) обработку. Зерна песка или дробь выбрасываются на поверхность изделия под давлением сжатого воздуха и сбивают окатину и другие загрязнения, после чего поверхность изделия становится матовой с равномерной микрошероховатостью. Обработку изделий ведут в специальных камерах, предохраняющих работающих от воздействия абразивной пыли.

Важной операцией подготовки поверхности изделий для нанесения покрытий является декапирование, которое производится непосредственно перед погружением изделий в ванну для покрытия. Декапирование, т. е. легкое протравление металлической поверхности, необходимо для удаления с изделий тонкой пленки окислов, образующихся после их предварительной обработки за время транспортировки или недлительного хранения, и обеспечивает наилучшее сцепление основного металла с металлом покрытия.

Для декапирования обычно применяют 3—5%-ные растворы серной или соляной кислоты, после чего изделия тщательно промывают в проточной воде. Продолжительность декапирования зависит от того, как долго хранились изделия после подготовительных операций, и колеблется в пределах от 0,5 до 5 мин.

Иногда при гальванических покрытиях возникает необходимость защитить отдельные участки поверхности

изделия от осаждения покрытия, для чего применяют различные изоляционные материалы и их композиции, обладающие химической и термической стойкостью к применяемым электролитам при данных рабочих температурах и хорошим сцеплением с материалом изделия.

Рекомендуется следующая рецептура композиции, пригодной для изоляции поверхностей изделий, не подлежащих покрытиям, и используемой в кислых и щелочных электролитах при температуре до 35° С: канифоль 33,3%, церезин 30%, парафин 36,7%. Для этой цели также применяют пленочные материалы (грунты, эмали, лаки и клеи).

Для стабилизации электролита в него добавляют также различные буферные и второстепенные добавки, а также соединения, способствующие растворению анода.

#### § 45. ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

**Никелирование.** Покрытие никелем широко применяется для защиты от коррозии и придания изделиям декоративного вида. В основном покрывают детали из стали, меди и ее сплавов. Мелкие штампованные и крепежные детали обычно покрывают в колоколах и барабанах.

Наиболее широкое применение для никелирования получили серноокислые электролиты.

В эксплуатации применяют электролиты следующих составов (г/л):

- |   |           |
|---|-----------|
| 1. Серноокислый никель                  | — 120—240 |
| хлористый натрий                        | — 20—50   |
| борная кислота                          | — 20—30   |
| Температура 30°С; плотность тока 50—    |           |
| —100 А/м <sup>2</sup> ; рН=4,5—5,5.     |           |
| 2. Серноокислый никель                  | — 140—160 |
| серноокислый натрий                     | — до 100  |
| борная кислота                          | — 20—30   |
| хлористый натрий                        | — 10—20   |
| серноокислый магний                     | — 10—20   |
| Температура 25—30°С; плотность тока     |           |
| 50—150 А/м <sup>2</sup> ; рН=4,2—4,6.   |           |
| 3. Серноокислый никель                  | — 220     |
| хлористый натрий                        | — 10      |
| хлористый никель                        | — 10—15   |
| борная кислота                          | — 30      |
| Температура не ниже 50°С; плотность     |           |
| тока 150 А/м <sup>2</sup> ; рН=4,2—4,6. |           |

После проведения процесса никелирования детали промывают сначала в проточной, потом в дистиллированной воде и сушат. Эти электролиты при правильной корректировке можно использовать несколько лет без замены.

Таблица 9. Возможные виды брака при никелировании и способы его устранения

Вид брака	Причины	Способы устранения
Темное пористое покрытие	Наличие в электролите примесей меди и цинка. Кислотность не соответствует норме	Удалить примеси меди и цинка. Откорректировать кислотность электролита.
Хрупкость и отслаивание никелевого покрытия	Плохая подготовка деталей перед их покрытием. Отклонение от заданного значения рН	Улучшить подготовку поверхности детали перед покрытием. Откорректировать кислотность электролита
Шероховатость осадка никеля	Высокая плотность тока, наличие взвешенных частиц (шлам от анодов, пыль и др.)	Отрегулировать плотность тока. Отфильтровать электролит
Образование точечной пятнистости	Загрязнен электролит примесями железа. Значение рН не соответствует норме	Откорректировать кислотность электролита. Проверить содержание железа в электролите

Защитно-декоративные никелевые покрытия черного цвета получают при введении солей цинка в серноокислые электролиты.

Состав ванны для черного никелирования (г/л):

- |  |         |
|--|---------|
| хлористый никель                                 | — 70—90 |
| хлористый цинк                                   | — 30—40 |
| хлористый аммоний                                | — 30—40 |
| роданистый калий                                 | — 15—25 |
| Температура 30—40°С; плотность тока              |         |
| 50 А/м <sup>2</sup> ; время 6—9 мин; рН=4,8—5,2. |         |

Осаждение ведут при механическом встряхивании катодной штанги или качающейся штанги с амплитудой качаний 40 мм и числом качаний 50 в мин. После покрытия детали пассивируют в 5%-ном растворе двуххромовокис-

лого калия при температуре 60°С в течение 10—15 мин. Для сохранения блеска детали протирают веретенным ма- слом или беоцветным лаком.

Возможные виды брака при никелировании и способы его устранения приведены в табл. 9.

**Серебрение.** Покрытие серебром применяют для за- щиты от окисления деталей из меди и ее сплавов, для по- вышения поверхностной электропроводности токонесу- щих деталей и для изготовления отражательных уст- ройств.

Состав электролита для серебрения (г/л):

азотнокислое серебро	— 46 (в пересчете на металл 29)
цианистый калий	— 55—70
углекислый калий	— 38
Температура 15—25°С; плот- ность тока 20—40 А/м <sup>2</sup> ; время 50—80 мин; аноды серебря- ные — 999,9.	

Пассивирование производят в растворе двухромово- кислого калия в течение 20 мин.

Толщина покрытия внешней поверхности деталей 7— 10 мкм, внутренней — 2—4 мкм.

Для предохранения посеребренных изделий от поту- скнения на них наносят тонкую пленку сплава КПЭЦ. Его готовят сплавлением мелкодробленых компонентов в следующих соотношениях (в %):

канифоль	— 25
синтетический церезин	— 20
полистирол	— 30
эпоксидная смола ЭД-6	— 25

Раствор КПЭЦ готовится растворением измельченно- го сплава в смеси органических растворителей (ацетон, ксилол, толуол в отношении 1 : 1 : 1) из расчета получе- ния 3%-ного раствора (3 части сплава на 118 см<sup>3</sup> смеси растворителей).

Тонкая пленка (0,3—0,5 мкм) КПЭЦ образуется крат- ковременным погружением в раствор, после чего произ- водится сушка на воздухе в течение 15 мин и затем в течение 1 ч при 100°С в термостате. Такое покрытие обе- спечивает полное отсутствие потемнения в течение года и более.

Возможные виды брака при серебрении и способы его устранения приведены в табл. 10.

Таблица 10. Возможные виды брака при серебрении и способы его устранения

Вид брака	Причины	Способы устранения
Покрытие шерохо- ватое	Электролит загряз- нен взвешенными ча- стицами	Профильтровать электролит
Рыхлые осадки на катоде	Высокая плотность тока для данной кон- центрации серебра в электролите	Снизить плотность тока или повысить концентрацию серебра в электролите
Шелушение и от- слаивание покрытия	Неудовлетворитель- ная подготовка по- верхности изделия перед покрытием	Дополнительно про- травить детали перед покрытием
Темные или пятни- стые осадки	Недостаток циани- да в электролите. Загрязнение ванны примесями	Добавить цианида до нормальной кон- центрации. Добавить в ванну 2 мл/л 25%- ного аммиака и 1 г/л гипосульфита
Осадок матово-бе- лый или переходя- щий в светло-серый	Избыток цианида и высокая плотность тока для данного со- держания серебра в электролите	Снизить плотность тока или повысить концентрацию се- ребра в электролите

**Цинкование.** Покрытие цинком применяют для защи- ты деталей от коррозии в обычных атмосферных услови- ях. Срок защитного действия цинковых покрытий зависит от условий эксплуатации и толщины слоя покрытия. Тол- щина цинкового покрытия на стальных деталях 5— 15 мкм.

Цинкование мелких деталей из черных металлов про- водится в электролите состава:

сернокислый цинк	— 300—350 г/л
сернокислый натрий	— 50—100 г/л
уксуснокислый свинец	— 0,015 г/л
серная кислота	— 0,7 см <sup>3</sup> /л
Температура 40—50°С; плотность тока 600—800 А/м <sup>2</sup> ; время 1,5—2 м; рН=3,5—4,5.	

Перед цинкованием детали травят в растворе соляной кислоты, промывают в проточной воде и сушат.

После цинкования изделия промывают в воде и для осветления кратковременно (1—3 с) погружают в рас- твор следующих составов (г/л):

а) хромовый ангидрид	— 150
серная кислота	— 3—4
б) азотная кислота	— 50

Помимо кислого электролита для цинкования широко применяют цианистый электролит. Осадки цинка в нем светлее и тверже, чем в кислом.

Режим цинкования и состав цианистого электролита (г/л):

окись цинка	— 40—45
цианистый натрий	— 80—85
каустическая сода	— 40—60
Температура 15—25 °С; плотность тока	
150—200 А/м <sup>2</sup> .	

Возможные виды брака при цинковании и способы его устранения приведены в табл. 11.

**Золочение.** В производстве электронных приборов широко применяется золочение. Покрытие золотом поверхности сеток радиоламп обеспечивает стабилизацию контактной разности потенциалов, устраняет термотоки или термоэмиссию с сеток вследствие напыления на них

Таблица 11. Возможные виды брака при цинковании (цоколей) и способы его устранения

Вид брака	Причины	Способы устранения
Чернота в резьбе цоколя	Плохая раскисляющая способность электролита. Плохая подготовка поверхности	Сдать на анализ электролит для определения содержания сернокислого натрия. Откорректировать электролит. Повторить процесс травления
Отслаивание цинкового слоя Вздутие цинкового слоя	Плохая подготовка поверхности Примесь железа в электролите, повышение кислотности	Проверить процесс травления Сменить электролит или откорректировать. Проверить pH
Белый налет на деталях Темно-серое рыхлое отложение цинка	Плохая промывка деталей Пониженная кислотность электролита	Улучшить промывку Откорректировать электролит добавлением кислоты

оксидного слоя с катода (окислов бария, стронция и кальция).

Для золочения применяется цианистый электролит состава (г/л):

дицианаурат калия	— 25—30
лимонная кислота	— 120—150
едкий натр	— 45—50
Температура 70—90 °С; pH=4—6.	

На заводах электровакуумных приборов применяют автоматизированные установки для непрерывного золочения проволоки в гальванических ваннах, через которые пропускают проволоку. При этом выполняются все операции, связанные с подготовкой поверхности проволоки, нанесением покрытия, последующей промывкой и сушкой.

На рис. 74 представлена схема автоматизированной шестиручейковой установки для одновременного покрытия шести никелевых проволок диаметром 0,40—0,41 мм для траверс сеток радиоламп (табл. 12).

Таблица 12. Режим работы ванны на шестиручейковой установке

Скорость протяжки проволоки, м/мин	Плотность тока, А/м <sup>2</sup>		Сила тока, А		Концентрация золота, г/л, не менее	
	1-я ванна	2-я ванна	1-я ванна	2-я ванна	1-я ванна	2-я ванна
0,5	310	150—300	0,5—1,0	1,5—3,0	12	5
1	800—1000	400—600	1,0—1,5	4,0—6,0	15	8

Толщина покрытия золотом составляет 3—4 мкм для никелевой проволоки диаметром 0,4 мм, содержание золота при этом составит 6,38—8,51% по массе на сторону. Контроль толщины производится механотроном, представляющим собой электронную лампу с мембраной. Щуп-палец лампы жестко соединен с катодом и находится в соприкосновении с проволокой. Изменения в толщине покрытия колеблют щуп-палец и заставляют катод отклоняться от анодов. Разница токов анодов фиксируется на отградуированной шкале прибора.

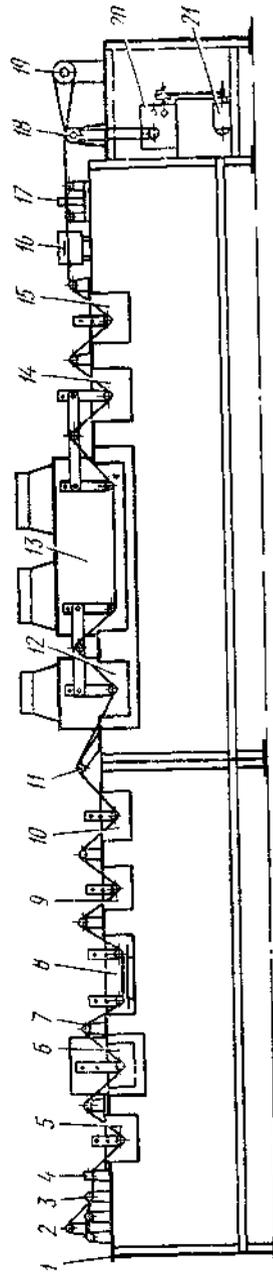


Рис 74 Автоматизированная шестиступенчатая установка золочения никелевой проволоки.

1 — станция, 2 — смоточный узел, 3 — направляющие ролики, 4 — узел прижима, 5 — ванна с проточной горячей водой, 6 — ванна с проточной горячей водой (дистиллированной), 7 — ванна с проточной горячей водой (дистиллированной), 8 — ванна с проточной горячей водой (дистиллированной), 9 — ванна с проточной горячей водой (дистиллированной), 10 — ванна с проточной горячей водой (дистиллированной), 11 — ванна предварительного золочения, 12 — ванна предварительного золочения, 13 — ванна предварительного золочения, 14 — ванна золочения, 15 — ванна золочения, 16 — ванна золочения, 17 — контрольный узел, 18 — барабан, 19 — намоточный узел, 20 — коробка скоростей, 21 — электродвигатель

В настоящее время разработана и внедрена уникальная установка золочения проволоки диаметром менее 20 мкм.

Техническая характеристика установки

Габариты . . . . .	2915×900×2032 мм
Масса . . . . .	1850 кг
Установленная мощность . . . . .	18 кВт
Производительность . . . . .	от 2 до 6 тыс м/ч
Скорость перемотки проволоки . . . . .	5—30 м/мин

Гальваническое золочение в отличие от метода горячей металлизации позволяет получать покрытия регулируемой толщины. Повышение толщины золотого покрытия на проволоке (например, до 5—10 мкм) увеличивает срок службы радиоламп с 500 до 2000 ч.

Установка электролитического золочения проволоки является специализированной и предназначена для получения гальванических покрытий толщиной до 1 мкм на микропроволоке из тугоплавких металлов. Установка двустороннего обслуживания. На одной стороне размещены три линии для золочения проволоки диаметром 8—20 мкм. На другой стороне — две линии для золочения проволоки диаметром 20—50 мкм.

Схема технологического процесса приведена на рис. 75. Вольфрамовая проволока, предварительно очищенная от поверхностных загрязнений методом электролитического травления и отожженная в водороде для придания ей требуемых механических свойств, перематывается со смоточного механизма (катушки) 1 на намоточный механизм (приемную катушку) 8, проходя при этом последовательно ванну травления 3 с последующей промывкой в проточной воде, ванну золочения 5, ванну с дистиллированной 6 и проточной 4 водой, водородную печь отжига 9.

Назначение процесса травления — активировать поверхность вольфрама перед золочением для лучшей адгезии (сцепления) золота с основой.

Отжиг проволоки после золочения производится с целью улучшения сцепления покрытия с основой и его осветления. Различия в конструкции ванн золочения на двух сторонах установки состоят в том, что на «тонкой» стороне используется циркуляционная система подачи электролита с его подогревом в сборном бачке, а на «тол-

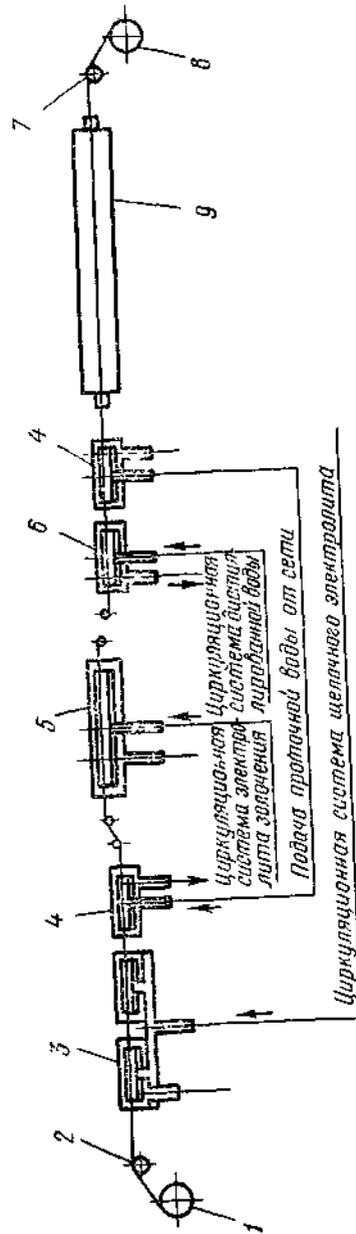


Рис. 75. Схема технологического процесса золочения:

1 — скоточный механизм, 2 — направляющий ролик, 3 — ванна травления, 4 — ванны промывки проточной водой, 5 — ванна золочения, 6 — ванна промывки дистиллированной водой, 7 — направляющий ролик, 8 — накопительный механизм, 9 — водо-родная печь

стой» стороне установлена стационарная титановая ванна с местным подогревом электролита. Подведение тока к проволоке в ванне золочения осуществляется контактным способом: с помощью контактных роликов на «толстой» стороне и скользящих контактов на «тонкой».

Подведение тока к проволоке в ванне травления осуществляется бесконтактным биполярным способом. На каждой линии установлены счетчики метража проволоки. В случае обрывов проволоки и схода концов с катушек автоматически выключаются ванны травления, золочения и печь отжига.

Ванны травления и золочения снабжены вентиляционным отсосом.

Скорости перемотки проволоки на «тонкой» стороне можно изменять ступенями 5—10—15 м/мин, на «толстой» — плавно в пределах 10—30 м/мин.

Для гальванического золочения используется электролит следующего состава (г/л):

дицианаурат калия	— 30 (в пересчете на металлургическое золото—20
-------------------	---

лимонная кислота	— 100
Температура электролита	50—60 °С; pH=3—5.

Рекомендуемая катодная плотность тока в процессе золочения 25—75 А/дм<sup>2</sup> при перемотке проволоки со скоростью 10—20 м/мин.

При указанных условиях золочения толщина покрытия может изменяться в пределах 0,1—0,5 мкм. Контроль толщины покрытия осуществляется путем взвешивания золоченой и предварительно протравленной проволоки. Травление проводится в 3—5%-ном растворе едкого кали при действии переменного тока плотностью 1,5—3 А/см<sup>2</sup>.

Особенностью процесса на данной установке является неизменность исходного диаметра после золочения благодаря одинаковому съему металла при травлении и привесу покрытия при золочении. Контроль качества поверхности золоченой проволоки производится визуально и под бинокулярной лупой при 10—20-кратном увеличении.

Для закрепления золотого покрытия на вольфрамовой основе выполняется отжиг проволоки в водороде в муфельных электропечах при температуре 800—1000 °С.

Золоченая вольфрамовая проволока Ø 8 мкм с толщиной покрытия 0,2 мкм применяется для изготовления сеток специальных радиоламп.

**Сурьмирование** применяется для изготовления фото-катодов, фотоэлементов, фотоэлектронных умножителей и электронно-оптических преобразователей. Для этого сурьму электролитически осаждают на вольфрамовые испарители, наваренные на никелевую пластину. Пластины с испарителями закрепляют в специальном фиксаторе, чтобы получить осадки сурьмы заданного размера, и погружают в ванну с электролитом.

Для приготовления электролита мелкоизрубленные кусочки сурьмы размалывают в порошок и просеивают. 50 г просеянного порошка кипятят в 73 см<sup>3</sup> серной кислоты. Массу охлаждают, для растворения сурьмы прибавляют 40 см<sup>3</sup> плавиковой кислоты и выдерживают 2—3 ч. Затем раствор разбавляют 50 см<sup>3</sup> дистиллированной воды и процеживают через шелковое сито. Анодом служат пластины сурьмы, завешиваемые в ванну. Процесс осаждения ведется при силе тока 100—150 А. Размер слоя сурьмы подбирается временем осаждения.

Для получения крупнокристаллической структуры производят корректирование электролита добавлением плавиковой кислоты, а при появлении непокрытых участков — серной кислоты. Испарители с осажденной сурьмой промывают в проточной воде, затем в дистиллированной воде и спирте. Контролируют чистоту, размеры и структуру слоя сурьмы на испарителях под микроскопом с мерительной шкалой (цена деления — 10,5 мкм).

**Кадмирование** применяется для защиты деталей от коррозии, особенно в морской среде и атмосфере, насыщенной морскими испарениями.

При воздействии морской воды, содержащей хлориды, кадмиевое покрытие является анодом по отношению к железу и лучше защищает черные металлы, чем цинковое покрытие.

Кроме того, кадмирование применяется для покрытия резьбовых деталей (цоколей), так как кадмий отличается высокопластичными свойствами. Толщина покрытия кадмием — 7—15 мкм.

Хорошие покрытия кадмием получают из кислотоэлектролита следующего состава (г/л):

сернокислый кадмий	— 60—65
сернокислый аммоний	— 30—35
сернокислый алюминий	— 25—30
желатина или клей столярный	— 0,5—0,7
Температура 15—25 °С; плотность тока 50—100 А/м <sup>2</sup> ; pH=3,5—5,5.	

Детали с кадмиевым покрытием пассивируют в растворе хромового ангидрида с содержанием 150 г/л, подкисленном серной кислотой.

**Ренирование** применяют для покрытия проволоки из тугоплавких металлов, которая служит керном для некоторых типов прямонакальных катодов с повышенной стабильностью эмиссии.

Для ренирования применяется следующий состав электролита (г/л):

хромат калия	— 15
серная кислота	— 12—15
Температура 85—90 °С; плотность тока 0,15 А/см <sup>2</sup> ; pH=0,9—1	

Покрyтия рением получаютcя плотными и блестящими.

**Палладирование** применяют для стабилизации контактной разности потенциалов материалов сеток и защиты от окисления бронзовых, вольфрамовых и других электроконтактов с целью длительного сохранения их стабильной проводимости.

Для осаждения палладия наиболее распространенным является следующий электролит (г/л):

хлористый палладий	— 5—10
нитрит натрия	— 10—20
хлористый натрий	— 40—50
борная кислота	— 25—30
Температура 50—60 °С; плотность тока 10 А/см <sup>2</sup> ; pH=5,6—6,5.	

В качестве анодов применяют пластины из палладия или из палладия и графита с соотношением поверхности 2 : 1.

Осадки толщиной до 2 мкм получают блестящими. **Хромирование** широко применяется с целью увеличения износостойкости и твердости различных штампов и пресс-форм, для придания деталям декоративного вида, а также для увеличения коэффициента излучения с последующим окислением хромового покрытия.

Электролиты для хромирования отличаются друг от друга концентрацией хромового ангидрида и серной кислоты. Например, состав электролита для получения износостойких или твердых покрытий имеет концентрацию хромового ангидрида 150 г/л и серной кислоты 1,5 г/л.

Электролит для декоративного покрытия содержит хромового ангидрида 350 г/л и серной кислоты 3,5 г/л. Наибольшее распространение имеет так называемый универсальный электролит с концентрацией хромового ангидрида 200—250 г/л и серной кислоты 2,0—2,5 г/л.

Черное хромирование для получения покрытий черного цвета производят из электролита следующего состава:

хромовый ангидрид, г/л	— 250
уксусная кислота (ледяная), мл/л	— 6
Температура 20—40°С; плотность тока 3—4 А/см <sup>2</sup> ; время 4—6 мин.	

Черное хромирование применяют в основном для декоративной отделки изделий или понижения коэффициента отражения.

Пористое хромирование применяют для получения равномерного распределения смазки по поверхности пресс-формы.

Для выявления в покрытии пор-каналов, способных удерживать смазку, хромированные изделия подвергают дополнительной анодной обработке в электролите того же состава. Для этого изделия завешивают в ванну в качестве анодов, катодами служат свинцовые пластины. При большой плотности тока (0,5—0,6 А/см<sup>2</sup>) и повышенной температуре (50°С) происходит образование канальных пор, ниже этой температуры поры имеют точечный характер. Время обработки подбирается в зависимости от размеров и формы изделия. Износостойкость изделий, покрытых пористым хромом, увеличивается в 3—5 раз, а срок службы работающих изделий в 1,5—2 раза.

Черным хромом покрывают детали для увеличения коэффициента излучения в электролите, содержащем 3—4,5 л дистиллированной воды, 1500 г хромового ангидрида, 45 мл уксусной кислоты и 150 г метаванадата аммония. Для работы этот состав доводится до объема 7,5 л добавлением дистиллированной воды. Аноды из свинцово-сурьмянистого сплава или свинцовые.

Электролитическое осаждение черного хрома на детали ведут при плотности тока 0,75—1,5 А/см<sup>2</sup> в течение 10—15 с на аноде и 3—5 мин на катоде, после чего промывают холодной и горячей проточной водой и сушат при температуре 100—150°С.

Для получения навесок хрома применяют электролит, который имеет состав: хромовый ангидрид 2500 г, серная кислота 25 г, дистиллированная вода 2 л. Для работы электролит разбавляют дистиллированной водой до 10 л по объему и плотности 1,14—1,18. Анод свинцовый. Температура 60±2°С. Плотность тока 0,75—1,0 А/см<sup>2</sup>. Время 5—7 мин.

В этом же электролите производят хромирование молибденовых и вольфрамовых выводов с последующим окислением, для впаев в стеклянные изделия. Анод никелевый. Режим хромирования такой же, как и для навесок хрома.

Возможные виды брака при получении навесок хрома и способы его устранения приведены в табл. 13.

Таблица 13. Возможные виды брака при получении навесок хрома и способы его устранения

Вид брака	Причины	Способы устранения
Шероховатое покрытие Темное покрытие	Высокая плотность тока Низкая температура и недостаток серной кислоты	Отрегулировать плотность тока Отрегулировать температуру и состав электролита
Ослабление хромового покрытия	Плохая подготовка поверхности	Тщательно подготовить поверхность перед хромированием
Неравномерная длина навесок хрома	Слабо и неравномерно затянуты зажимы на приспособлении, плохая центровка подвески в ванне	Подтянуть зажимы и отцентрировать подвеску
Тонкое покрытие	Низкая плотность тока, низкий выход по току	Увеличить плотность тока, откорректировать электролит

В последнее время разработан саморегулирующийся электролит хромирования. В состав электролита помимо хромового ангидрида входят малорастворимые соли, такие, как сульфат стронция и кремнефторид калия, в количествах, превышающих их растворимость. Эти соли, находясь в избытке на дне ванны, переходят в раствор по мере его истощения и делают электролит саморегулирующимся.

**Состав саморегулирующегося электролита (г/л):**

хромовый ангидрид	— 250—300
сульфат стронция	— 6
кремнефторид калия	— 20
Температура 50—70 °С, плотность тока 0,4—1,0 А/см <sup>2</sup>	

Скорость осаждения хрома в таком электролите в 1,4 раза выше, чем в сернистом

В качестве анодов применяют сплав свинец—олово (10%).

**Меднение** применяется для улучшения поверхностной электропроводности и качества пайки деталей, а также в многослойных защитно-декоративных покрытиях как промежуточный подслои

Широкое применение нашли цианистые электролиты меднения, хотя они обладают повышенной токсичностью, но отличаются высокой рассеивающей способностью и мелкокристаллической структурой.

Применяется следующий состав цианистого электролита (г/л):

комплексная соль (цианистая медь и цианистый натрий)	— 45—50
цианистый натрий (свободный)	— 15—20
каустическая сода	— 15—20
сегнетова соль	— 40—60
Температура 40—50 °С, плотность тока 200 А/см <sup>2</sup>	

Применяют экспресс-электролит меднения, дающий гладкие покрытия, следующего состава (г/л):

цианистая медь	— 120—125
цианистый натрий (свободный)	— 3,5—4,0
роданистый калий	— 15—17
каустическая сода	— 30—35

Меднение мелких деталей из стали проводится в кислом электролите состава (г/л):

сернистая медь	— 250
серная кислота	— 50
Плотность тока 100—150 А/см <sup>2</sup> , время 20—25 мин	

**Лужение** производится только тех деталей, которые в процессе сборки подвергаются пайке

Для покрытия оловом применяют щелочной электролит следующего состава (г/л).

станнат натрия	— 90
уксуснокислый натрий	— 30
едкий натр	— 10—15
Температура 70—80 °С, плотность тока 200 А/см <sup>2</sup>	

**§ 46. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПОКРЫТИЙ**

Толщину покрытия  $T$  определяют методом взвешивания образца (детали или отрезка проволоки определенной длины) до и после нанесения покрытия с учетом плотности покрываемого вещества.

$$T = \frac{E}{F \gamma}, \quad (35)$$

где  $E$  — масса покрытия детали, г,  
 $F$  — поверхность покрытия, см<sup>2</sup>,  
 $\gamma$  — плотность покрываемого вещества, г/см<sup>3</sup>

Если это проволока, поверхность одного метра определяется следующим образом  $F = \pi D l$ , где  $D$  — диаметр отрезка проволоки, см,  $l$  — длина отрезка проволоки, см,  $\pi = 3,14$

Существуют магнитные толщиномеры, действие которых основано на измерении магнитного потока, проходящего в сердечнике электромагнита

Пористость покрытий из меди, никеля, хрома по стали, меди, латуни по никелю проверяется наложением на деталь фильтровальной бумаги, пропитанной растворами реактивов, дающими с ионами основного металла или подслоя окрашенные соединения (табл 14)

Пористость покрытий определяют по количеству окрашенных точек на 1 см<sup>2</sup> бумаги При наличии участков,

**Таблица 14 Составы и продолжительность выдержки для определения пористости гальванических покрытий**

Металл покрытия	Состав раствора г/л	Время выдержки, мин
Хром	Железисто-синеродистый калий — 10	10—30
	Хлористый аммоний — 30	
	Хлористый натрий — 60	
Никель	Железисто-синеродистый калий — 10	5—10
	Хлористый натрий — 20	
Медь	То же, что и для никеля	20—30

малодоступных для наложения бумаги, детали заливают растворами реактивов и по интенсивности окраски определяют пористость.

Цвет окраски на стали — синий, на меди — красно-бурый, на никеле — желтый.

Прочность покрытия проверяют или нанесением лезвием пересекающихся царапин до глубины основного металла, или многократным изгибом детали под углом 90° до излома. Прочность покрытия проволоки определяют наматыванием 10—15 витков вокруг собственного диаметра. При испытаниях не должно быть отслаивания покрытий, трещин и задиров.

Защитные свойства покрытий испытывают, помещая образцы в специальную камеру с парами раствора поваренной соли, вызывающими ускоренную коррозию металлов. Коррозионная стойкость деталей определяется временем, необходимым для разрушения покрытий в такой среде.

Покрытия плохого качества удаляют с деталей в основном электролитическим способом, при этом не должно изменяться состояние и структура основного металла. Дефектными считаются отслаивающиеся и пятнистые покрытия и покрытия с другими внешними признаками брака.

Электролитическое удаление недоброкачественных покрытий осуществляют из электролитов определенного состава и в большинстве случаев постоянным током. Деталь подвешивают в качестве анода. Состав электролита должен быть таким, чтобы при выбранном режиме покрытие быстро растворялось и не разрушался основной металл. Электролиты применяются кислые и щелочные. Для удаления цинковых, кадмиевых, серебряных и других покрытий используют электролиты обоих типов.

Хромовые покрытия со стали и никеля снимают в растворе едкого натра (90 г/л) при комнатной температуре и анодной плотности тока 200 А/см<sup>2</sup> или химическим растворением в 10%-ном растворе соляной кислоты при температуре 50°С.

Никель со стали снимается электрохимически в растворе, состоящем из серной кислоты (1:1) и глицерина 7,5 г/л. Добавление глицерина уменьшает возможность коррозирования стали. Никель с меди снимается в 10%-ном растворе соляной кислоты при комнатной температуре и анодной плотности тока 200 А/м<sup>2</sup>.

Медь со стали снимается в растворе хромового ангидрида (250 г/л) при анодной плотности тока 500 А/м<sup>2</sup> или в растворе азотнокислого натрия (180 г/л) при анодной плотности тока 200 А/м<sup>2</sup> и температуре 20°С.

Химическим способом медь стравливается в хромовой смеси: хромовый ангидрид — 500 г/л, серная кислота — 50 г/л.

Серебро снимается в растворе цианистого натрия (30 г/л) при анодной плотности тока 100—200 А/м<sup>2</sup>, цинк с меди и латуни — в растворе едкого натра (100 г/л) при анодной плотности тока 210 А/м<sup>2</sup> и температуре 20°С. Химическим способом серебро с никеля и меди растворяют в концентрированной серной кислоте.

Электрохимический способ удаления дефектных покрытий требует большого навыка, оптимальный его режим подбирается экспериментально для каждого отдельного случая.

Более простым является химический способ растворения покрытия, который заключается в погружении деталей с дефектным покрытием в соответствующий раствор на определенное время. При правильном подборе растворов основной металл растворяется незначительно или совсем не растворяется, покрытие растворяется равномерно по всей поверхности. Данный способ наиболее целесообразен для удаления покрытий с деталей со сложной конфигурацией.

Для атомно-абсорбционного определения золота в гальваническом покрытии на никелевой проволоке используют анализатор «Спектр-1» и лампы полого катода ЛПК.

Стандартный раствор золота с  $T_{Au}$ — 0,001 г/мл готовят следующим образом.

Навеску металлического золота  $0,1 \pm 0,0002$  г растворяют в 10 мл «царской водки», добавляют на кончике шпателя несколько крупинок NaCl и выпаривают до влажных солей. Доливают 5 мл концентрированной HCl и снова выпаривают до влажных солей. Обработку HCl повторяют дважды. Полученную соль растворяют в 30 мл воды, кипятят, охлаждают и переносят в мерную колбу емкостью 100 мл. Градуировочные растворы с концентрацией золота 10, 15, 20, 25 мкг/мл готовят, разбавляя водой стандартный раствор с  $T_{Au}$ — 0,001 г/мл. Пробы к анализу готовят следующим образом.

В три колбы емкостью 500 мл помещают по два взве-

шенных отрезка проволоки длиной 4 см каждый, и масса двух отрезков будет около 100 мг. Добавляют 8 мл «царской водки». Колбы осторожно нагревают до растворения золота, дают остыть и доводят до метки водой. После тщательного перемешивания производят измерения аналитических сигналов поглощения золота в анализируемых растворах одновременно с градуировочными растворами. Аналитическая линия золота 242,8 нм. Ток лампы ЛПК 10 мА.

Обработку результатов производят путем построения градуировочного графика в координатах: поглощение — в делениях по вольтметру, концентрация — в мкг/мл. По графику находят содержание золота в растворе пробы.

Содержание золота в проволоке (в %) рассчитывают по формуле

$$A_{\text{ц}} = \frac{C_{\text{граф}} \cdot 500 \cdot 100}{n \cdot 10^3},$$

где  $C_{\text{граф}}$  — концентрация золота в растворе, найденная по графику, мкг/мл;  $n$  — навеска проволоки, мг.

#### Контрольные вопросы

1. Каково назначение подготовки поверхности изделий перед гальваническими покрытиями? Какие виды подготовки поверхности под покрытия вы знаете?
2. Для какой цели применяется цинкование изделий ЭВП?
3. Расскажите о принципе работы установки для золочения никелевой проволоки.
4. Как осуществляется контроль гальванических покрытий?
5. Назовите способы удаления недоброкачественных покрытий.
6. Каким образом удаляются дефектные хромовые и никелевые покрытия со стали?

## ГЛАВА IX

### ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛИЗАЦИИ КЕРАМИКИ ДЛЯ СПАЕВ С МЕТАЛЛАМИ

#### § 47. НАЗНАЧЕНИЕ МЕТАЛЛИЗАЦИИ, НАНОСИМОЙ НА КЕРАМИКУ

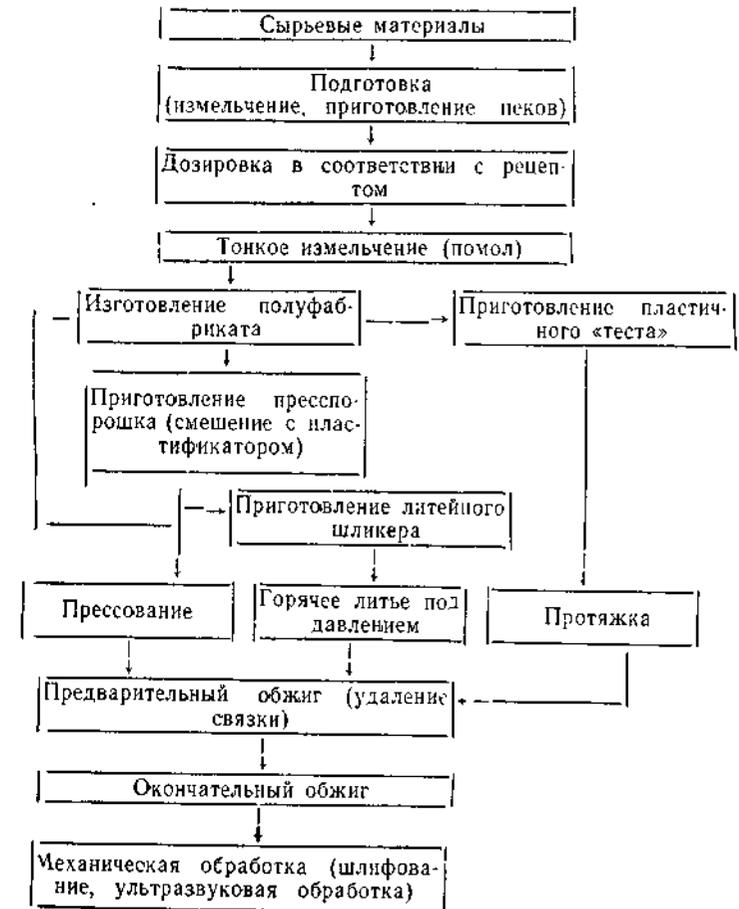
Керамика широко применяется в производстве электронных приборов для внутренней изоляции в виде различных крепежных деталей (внутриламповая керамика),

оболочек приборов (вакуумная керамика) и других целей.

В настоящее время большинство генераторных и импульсных ламп делается в керамической оболочке с внутренней изоляцией из керамических материалов. Керамика применяется в тех случаях, когда для оболочки требуется рабочая температура более 200°С, а для внутренней изоляции — более 500°С.

Достоинствами керамики являются малые диэлектрические потери при высоких температурах и частотах, вы-

Таблица 15. Технологическая схема изготовления керамики



сокая электрическая и механическая прочность, а также термостойкость, хорошая вакуумная герметичность при малой толщине стенок (0,25—0,30 мм) и сравнительно высокая теплопроводность.

Вакуумноплотная керамика отличается от внутриламповой только степенью окончательного обжига, который обеспечивает наличие вакуумной плотности и отсутствие пористости (т. е. способность не пропускать через себя газы), хотя технология их изготовления практически одинакова.

В табл. 15 представлена технологическая схема изготовления керамики.

В электронных приборах применяют различную керамику, которая подразделяется на типы и марки и различается химико-минералогическим составом и внутренней кристаллической структурой (табл. 16).

#### § 48. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КЕРАМИКИ

Одним из основных методов формообразования изделий из керамики является метод прессования.

Прессованные керамические изделия в основном используются для внутриламповых изоляторов с малыми допусками, не требующими дополнительной механической обработки.

Для прессования сплошных изделий наиболее простой формы пресс-форма состоит из неподвижной матрицы и двух неподвижных пуансонов (верхнего и нижнего). Если в изделиях нужны отверстия, то добавляются неподвижные стержни, проходящие сквозь нижний и верхний пуансоны. Для деталей с несколькими ступенями по толщине необходимы подвижные части в нижнем пуансоне, равномерно распределяющие давление для разных толщин.

Для изготовления пресс-форм применяют лучшие сорта стали, а их детали обрабатывают и полируют с высоким классом точности.

В качестве оборудования для прессования изделий из керамики используют прессы с кулачково-рычажным или гидравлическим приводом. На них выполняют следующие операции: засыпку массы в пресс-форму, штампование изделия, выталкивание его из пресс-формы и подачу на рабочий стол-приемник.

Таблица 16. Керамические материалы

Тип	Марка	Состав, %							Температура окончательного обжига, °С	
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	BaO	CaO	MgO		B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Алюмооксидные (высокоглиноземистые)	22X	94,4	2,76	0,49	2,35	—	—	—	—	1650—1700
	22XC	94,4	2,76	0,49	2,35	—	—	—	—	1700
	М-7	94,2	3,7	—	—	—	2,1	—	—	1680—1750
	ВГ-IV	95,3	3,3	—	—	—	0,2	1,2	—	1650—1700
Форстеритовые (магнезиально-силикатные)	17	2,6	44,0	—	—	7,8	0,6	45,0	—	1250—1350
	ЛФ-III	0,8	41,7	—	—	6,0	—	51,5	—	1250—1350
	КВФ 4	4,3	41,6	—	—	7,7	—	46,4	—	1250—1350
Стеатитовые	К-1, Б-17	2,60	62,20	—	—	0,85	—	31,60	2,15	1250—1350

Другим широко применяемым способом формования керамических изделий является метод литья под давлением: металлическую форму заполняют жидкой керамической массой — шликером с выдержкой под давлением в течение времени, при котором происходит отвердевание шликера в форме.

Состав шликера: 80—90% основного минерального порошка от общей массы и 10—20% органической связки (смеси 92—93% парафина, 3—4% олеиновой кислоты и 3—4% пчелиного воска). Все эти компоненты предварительно тщательно перемешивают в специальных мешалках при температуре 80—90°С с вакуумированием.

Вакуумирование производится с целью удаления воздушных пузырьков из массы шликера. Наличие воздушных включений в керамических изделиях резко отражается на пробивном напряжении, поведении изделий в поле токов высокой частоты и на их вакуумной плотности.

Основными характеристиками технологии горячего литья под давлением являются температура шликера, рабочее давление при литье и продолжительность отливки.

Для удаления органической связки, которая составляет в отлитых деталях 10—12%, производят их предварительный обжиг в засыпке из какого-либо адсорбирующего порошка, например обожженной окиси алюминия (алунда) при максимальной температуре 1000°С. Для полного удаления органических пластификаторов обжиг производят в несколько этапов (обычно четыре) с постоянным повышением температуры до максимальной и продолжительностью общего цикла 50—65 ч.

Для окончательного обжига керамических изделий применяют любое термическое оборудование, которое позволяет плавно регулировать температуру, указанную в табл. 17. Для каждого вида керамики при этом необходимо вести точный контроль температуры.

Для приготовления вакуумноплотных керамических узлов необходимо керамику спаять (соединить) с металлом. Существует несколько способов: пайка предварительно металлизированной керамики твердыми припоями (пассивная технология), пайка, в основе процесса которой лежит взаимодействие активного металла (например, титана) с окислами, составляющими керамику; пайка глазурями; термодиффузионная и электроннолучевая сварка, а иногда обжатие металла по керамике.

Для получения надежного вакуумноплотного спая металла с керамикой необходимо выполнять следующие требования.

1. Температура плавления металла для металлизации керамики должна превышать на 150—200°С температуру его закрепления на керамике (температура металлизации).

2. Температура плавления твердого припоя должна быть ниже температуры наиболее низкоплавящейся эвтектической составляющей керамики.

3. Составные компоненты твердого припоя не должны образовывать сплав с металлизующим металлом.

4. Припаяваемый металл должен согласовываться по коэффициенту линейного расширения с керамикой.

Плотность и надежность вакуумного спая металла с керамикой в значительной степени зависит от конструкции соединения. Например, металлическое кольцо, охватывающее керамический цилиндр, должно иметь больший коэффициент линейного расширения, чем керамика, при пайке же металла внутрь керамики — наоборот.

#### § 49. ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПАСТ НА КЕРАМИКУ

Рассмотрим наиболее широко применяемые способы металлизации керамики.

**Пассивная технология.** Сущность этого способа получения вакуумноплотного соединения керамики с металлом заключается в металлизации керамики молибденово-марганцевыми пастами, вжигании их в керамику и пайке полученной металлизированной керамики с металлами при помощи твердых припоев.

Керамические детали предварительно тщательно обрабатывают, промывая на ультразвуковых установках в моющих растворах ОП-5 или ОП-8, обезжиривают в трихлорэтилене для полного удаления жировых загрязнений и прокаливают на воздухе при температуре 180—200°С.

Для металлизации керамики применяют несколько составов металлизующих паст на основе молибдена и марганца. Молибденовый порошок готовят с размером частиц до 2 мкм и получают обычным способом порошковой металлургии, путем восстановления трехокси молибдена в атмосфере сухого водорода. Трехокись

молибдена насыпают тонким слоем в никелевые лодочки и восстанавливают сначала при температуре 530—550° С в течение 40—45 ч, а затем при температуре 700° С в течение 20—25 ч с целью удаления остатков кислорода.

Состав № 1. Смесь металлического молибдена и металлического марганца с содержанием последнего от 10 до 30 мас. %. Иногда (в особенности для керамики с гладкой поверхностью) дополнительно вводят борид молибдена и окись молибдена в количестве до 40 %.

Состав № 2. 65—80% молибденового порошка, 14—20% марганца и остальное добавки кремния, гидрида титана, железа или ситалла. Все эти компоненты смешивают и размалывают в шаровых мельницах (стальных барабанах с шарами из твердого сплава). После просева и сушки к ним добавляют нитролак (раствор нитроклетчатки в амилацетате) в количестве, необходимом для получения пасты соответствующей консистенции.

Состав № 3. 160 г молибденового порошка, 40 г марганца, 100 мл нитролака, 50 мл амилацетата, 50 мл ацетона. Смешивание и размол производится в шаровых мельницах в течение 24 ч.

Готовые пасты на керамику наносят или опрыскиванием при помощи пульверизатора или намазкой кисточкой на сплавляемую поверхность слоем толщиной от 25 до 70 мкм. Места детали, не подлежащие металлизации, защищают поливинилхлоридной изоляционной лентой. Вжигание этих паст производят в печах непрерывного или периодического действия с защитной средой водорода или формиргаза. Температура вжигания на 50—100° С ниже температуры обжига керамики: для стеатита она составляет 1240° С, для форстерита — 1250° С, для алюмооксидной керамики — 1450—1500° С.

Вследствие высокого коэффициента диффузии марганец проникает в керамику на глубину до 0,12 мм, обеспечивая прочное и равномерное сцепление. Добавление к молибденовому порошку марганца стимулирует образование эвтектики или твердых растворов в прослойках между металлом и керамикой.

Перед пайкой на полученный металлизированный слой керамики наносят гальваническим способом несколькими слоями никель до толщины 3—5 мкм для лучшего растекания припоя при пайке.

Каждое покрытие производят в течение 5 мин при напряжении, равном 2 В. Затем эти покрытия отжигают в

водороде в течение 10 мин при 1000° С. В случае применения медного припоя изделия подвергают такой же обработке, за исключением никелирования. Пайку производят в защитной атмосфере аналогично твердой пайке металлов.

Вакуумные и механические испытания спаянных указанным способом металлокерамических оболочек показали, что все спаи были механически прочны, хорошо выдерживали высокие температуры при обработке и во время работы оставались герметичными в течение нескольких лет.

Среди других составов для металлизации керамики широко применяется следующий.

На керамику наносят порошок молибдена с добавкой карбонильного железа (4% по массе). Смесь порошков замешивают на лаке в соотношении 40 г порошков на 100 г лака (10%-ный раствор нитроклетчатки в амилацетате) и размалывают в шаровой мельнице 96 ч.

Пасту наносят пульверизацией или намазкой кисточкой с толщиной покрытия 40—50 мкм.

В целях слабого окисления молибдена и взаимодействия с поверхностью керамики вжигание в керамику производят в слабоокислительной среде формиргаза или при наличии водяных паров. Для растекания припоя и сцепления его со слоем металлизации на него наносят гальванически или намазкой слой пасты никеля, который спекают с молибденом при температуре 1100—1200° С в защитной атмосфере. Такая металлизированная керамика может паяться с металлами как серебряными, так и мягкими припоями.

Широко известным способом является применение для металлизации смеси порошка вольфрама с 20—30% порошка карбонильного железа. Такой металлизированный слой после вжигания в защитной слабоокислительной среде не требует дополнительного нанесения металла перед пайкой.

Применение карбидно-боридного способа основано на применении смеси порошков монокарбидов титана, вольфрама и т. п., а также боридов тугоплавких металлов с порошками карбонильного железа, никеля или кобальта, наносимых на керамику.

Наиболее оптимальный состав содержит (мас. %): карбида титана — 10, карбида вольфрама — 60, железа — 30.

После вжигания в защитной среде формиргаза при температуре на 20—30 °С ниже температуры окончательного обжига керамических изделий смесь карбидов и боридов хорошо спекается с поверхностью этих изделий.

В целях улучшения растекаемости припоя по карбидному слою наносят второй слой железа или никеля намазкой пасты из карбонильного железа с последующим вжиганием слоя железа в водороде при температуре 1250—1320 °С. Пайку производят как твердыми, так и мягкими припоями.

Перед пайкой металлокерамического узла (при пассивной технологии) все его элементы — металлизированный керамический изолятор, металлические детали и припой обезжиривают трихлорэтиленом, после чего их собирают в специальных жаропрочных стальных оправках.

В зазор между изолятором и спаиваемой металлической деталью закладывают твердый припой толщиной от 0,1 до 0,5 мм, выбор состава которого зависит от рода металла спаиваемой детали. Так, например, при пайке керамики с коваром — припой медь, а при пайке с медью используется припой обычного типа ПСрМ-72 (72% серебра и 28% меди).

Пайку осуществляют в колпаковых или конвейерных печах при температуре плавления припоя в среде сухого водорода с точкой росы не выше —25°С при выдержке 1—2 мин. Точное соблюдение этого времени обеспечивает равномерное растекание припоя по всей поверхности спаиваемых деталей.

**Активная технология.** Сущность этого способа заключается в том, что при пайке керамики с металлами при повышенных температурах активные металлы (титан, цирконий или их гидриды), применяемые для оболочки, образуют с припоями расплавы с высокой реакционной способностью. В этом случае расплавы взаимодействуют с керамикой и металлом, обеспечивая получение прочного спая.

Образование таких расплавов происходит при температуре плавления припоя, но она может быть и ниже за счет образования легкоплавкой эвтектики металл — припой. Металлизация керамики при этом способе не производится.

Рассмотрим некоторые широко применяемые в практике примеры активной технологии.

Переходный слой получают намазыванием на керамическое изделие пасты из порошка металлического титана или циркония (активные металлы) или же их гидридов, замешанных в амилацетате.

На место соединения керамики с металлом после их сочленения накладывают твердый или мягкий припой и затем производят пайку, как правило, в вакууме ( $1,33 \times 10^{-1}$ — $1,33 \cdot 10^{-2}$  Па), что облегчает обезгаживание деталей и сокращает в дальнейшем время отковки самого прибора. Для этого используют вакуумные печи любой конструкции.

Пайку можно производить и в среде очень чистого водорода, и в атмосфере очищенного нейтрального газа (азота). Во время пайки образуется жидкий сплав активного металла с припоем.

Концентрация активного металла составляет 5—15% массы припоя. Прочное соединение металла с керамикой происходит за счет взаимодействия активного металла с окислами, входящими в состав керамического изделия.

Расплав чистого металлического титана хорошо реагирует с керамикой и применяется для ее вакуумноплотного соединения с молибденом и вольфрамом при помощи пайки.

Другим примером внесения активного металла в спай является применение биметаллического припоя, состоящего из сплава активных металлов с обычными припоями. Температура пайки с применением активного металла на 50—70°С выше температуры плавления припоя.

Как указывалось выше, коэффициент линейного расширения форстеритовой керамики согласуется с титаном, поэтому для их соединения посредством пайки используют твердый припой ПСрМ-72.

Перед пайкой детали из титана подвергают пескоструйной обработке, обезжириванию в трихлорэтилене, травлению в смеси плавиковой и соляной кислот (1:1), затем их промывают в воде и спирте, после чего сушат при температуре 60—70°С. Керамические детали предварительно шлифуют на круглошлифовальных или плоскошлифовальных станках, в которых в качестве рабочего инструмента используют алмазные шлифовальные круги. Затем керамику и титан обезжиривают при температуре 1000°С, чтобы исключить газовыделение при пайке.

Пайка производится в вакууме ( $1,33 \cdot 10^{-2}$  Па), при температуре 820—840°С в специальных оправках из мо-

либдена. Такой спай хорошо работает при температуре 600° С.

Для соединения керамики с деталями из стали, имеющими цилиндрическую форму, последние предварительно серебрят, для чего отрезки серебряной проволоки закрепляют на деталь и помещают в водородную печь. При температуре 1000—1060° С серебро плавится и растекается по поверхности детали. Для улучшения растекания серебра детали иногда синтерируют (покрывают никелевым порошком с отжигом в водороде или формирующем газе при температуре 960—990° С).

Никелевый порошок для синтерирования получают восстановлением шавелевокислого никеля при температуре 480—520° С. Нанесение осуществляют способом пульверизации (лаковая суспензия) или катафорезом. Состав суспензии для катафорезного покрытия: порошок никеля — 90 г, спирт метиловый — 90 мл, 6%-ный раствор азотнокислого церия в метиловом спирте — 7 мл и нитролак — 42 мл.

Состав основных серебряных припоев, применяющихся для пайки керамики с металлом, приведен в табл. 17. Серебряные припой обладают хорошей проникаемостью в поры керамики и высокой прочностью.

Сплавы с большим интервалом кристаллизации применяют при наличии больших или неравномерных зазоров и при быстром нагреве спаиваемых деталей.

Процесс нагрева больших керамических деталей должен вестись с постепенным повышением температуры,

Таблица 17. Состав и температура кристаллизации серебряных припоев

Марки припоя	Химический состав, %					Температура кристаллизации, °С	
	Ag	Cu	Zn	Cd	Ni	начало	конец
ПСр10	10	53	37	—	—	850	815
ПСр12М	12	52	36	—	—	825	780
ПСр25	25	40	35	—	—	775	745
ПСр40	40	16	17	26	0,3	605	595
ПСр45	45	30	25	—	—	725	660
ПСр50	50	50	—	—	—	850	779
ПСр50 КЭ	50	16	16	18	—	650	635
ПСр70	70	26	4	—	—	755	730
ПСрМ-72	72	28	—	—	—	779	779

чтобы избежать их растрескивания в результате теплового удара и достижения всеми деталями высокой равномерной температуры, то в этом случае следует применять припой эвтектического состава. Подготовка керамики для спаивания по активной технологии, а также сборка узлов аналогична металлзации, описанной выше.

**Термодиффузионный способ.** Этот способ в настоящее время еще не нашел широкого практического применения в электронной промышленности, но имеет большие перспективы.

Сущность этого способа соединения керамики с металлом заключается в том, что при высокой температуре и сильном сжатии деталей окислы из тонкой окисной пленки металла диффундируют в керамику или металлизующий слой с образованием вакуумноплотного шва. При этом способе не нужны припой и металлзация керамики, хотя более надежные соединения получаются при применении металлизированной керамики. В качестве металлических деталей чаще всего используют медные. Недостатком этого способа следует считать применение сложных по конструкции печей с передачей большого давления в герметичный объем при высокой температуре.

Примером термодиффузионного способа может служить диффузная пайка золотом. Прогрев спаиваемых деталей производят под давлением в атмосфере водорода или вакууме в течение 15—20 мин. Гальванически нанесенный на металлизированное покрытие керамики слой меди толщиной 30—40 мкм отжигается в водороде при температуре 1030° С в течение 2 ч. Диффузия зерен поперек плоскостей соприкосновения меди с золотом происходит при температурах значительно ниже точки плавления самих металлов.

При гальваническом осаждении серебра на металлизированную керамику изделия отжигают в водороде при температуре 1000—1050° С для расплавления серебра и равномерного его распределения по поверхности.

Пайку керамики с металлом осуществляют в водородных или вакуумных печах. Для исключения образования теплового удара (разрушения) детали после пайки должны медленно охлаждаться. Регенерацию (повторное использование) внутриламповой керамики производят обработкой в «царской водке» в течение 2—3 ч до полного растворения металлического покрытия в винипластовых или керамических ваннах. После промывки в проточной

воде и сушки керамические изделия отжигают при температуре 800—900°С в течение 1 ч и вновь запускают в работу.

Выше уже указывалось, что одним из основных методов нанесения металлических покрытий на керамику является распыление соответствующих паст с помощью пульверизатора.

Струя жидкой пасты, как это видно из схемы на рис. 76, а, попадает в центральный канал, устремляется в зону вакуума и увлекается сжатым воздухом, поступающим через кольцевое отверстие.

Распылитель (рис. 76, б) имеет форму пистолета, корпус 1 которого изготовлен из алюминиевого сплава — си-

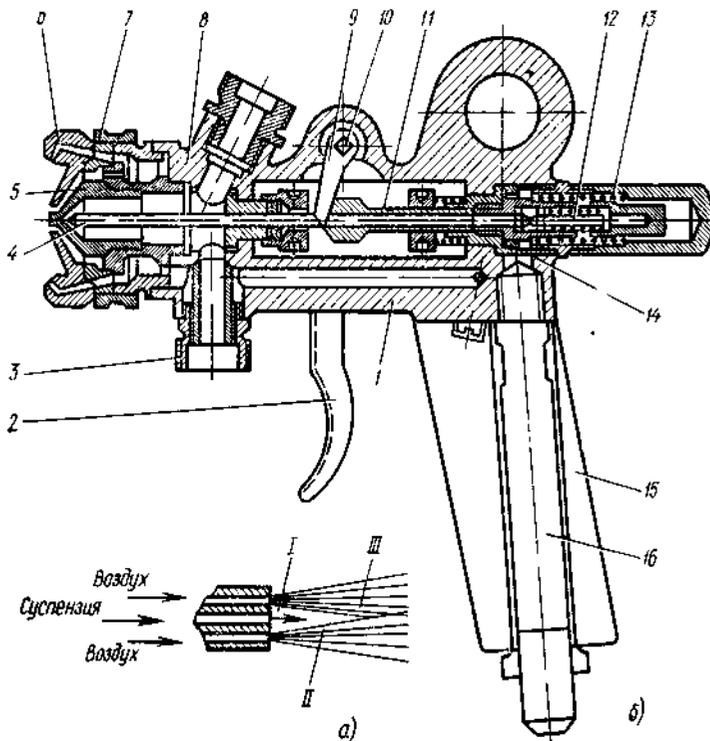


Рис 76 Схема (а) и конструкция распылителя КР-10 (б):

1 — зона вакуума, II и III — зоны избыточных давлений воздуха с распыляемой суспензией; 1 — корпус, 2 — крючок, 3 — нижний патрубок, 4 — игла, 5 — кольцевое сечение (воздушное сопло), 6 — головка, 7 — сопло, 8 — верхний патрубок, 9 — вилка, 10 — ось, 11 — гильза, 12 и 13 — пружины, 14 — клапан  
15 — рукоятка, 16 — трубка

лумина. К головке 6 распылителя подается паста для покрытия, поступающая из емкости (бачка), присоединяемой к верхнему 8 или нижнему 3 патрубку.

В некоторых установках для пульверизации емкость устанавливают стационарно (отдельно от распылителя и выше его), снабжают мешалкой для постоянного перемешивания пасты во избежание оседания тяжелых частиц металла в жидкой фазе. Подсоединение к вышеуказанным патрубкам осуществляют с помощью гибких ацетиленовых резиновых шлангов.

Сжатый воздух (давление  $2,9 \cdot 10^5$  —  $3,9 \cdot 10^5$  Па), предварительно очищенный через систему фильтров, поступает через трубку 16, находящуюся в рукоятке 15 распылителя, и через кольцевое сечение 5 к соплу 7.

При нажатии на крючок 2 вилка 9, насаженная на ось 10, отодвигает гильзу 11 иглы 4. Гильза, надавливая на воздушный клапан 14, открывает его, при этом внутреннее запястье клапана отжимает конец иглы от отверстия сопла 7.

Струя воздуха, выходя из воздушного сопла 5, засасывает покрывающий состав и на выходе из головки распыляет его. Для остановки работы распылителя отпускают крючок 2, пружина 12 возвращает иглу в исходное положение, а пружина 13 закрывает воздушный клапан 14.

Изменение расстояния от сопла 7 до покрываемой поверхности влияет на концентрацию частичек в центре плоскости конуса распыления. Поэтому массу и плотность покрытия регулируют расстоянием распылителя (пульверизатора) от поверхности детали, количеством проходов пульверизатора перед ней, давлением воздушной струи, диаметром отверстия сопла (при нанесении пасты на керамические изоляторы диаметр сопла пульверизатора в соответствии с размером металлизированной детали выбирается от 0,25 до 0,4 мм).

## § 50. МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ УЗЛЫ И ИХ НАДЕЖНОСТЬ

Конструктивно металлокерамические узлы разделяют на два вида: с охватывающим и торцевым спаем.

Для охватывающих спаев металл должен обладать большим по сравнению с керамикой коэффициентом теплового расширения и тем самым создавать в нем напря-

жения сжатия; что обеспечивает спаю высокую надежность.

В торцевых спаях (металл и керамика спаяны в торец) металл, как правило, имеет больший коэффициент теплового расширения, чем керамика, поэтому спаи испытывают напряжения разрыва. Для повышения надежности таких спаяв возникающие разрывающие усилия компенсируются за счет припайки сверху металла так называемого компенсатора, изготовленного из керамики однотипной марки.

Металлокерамические узлы после пайки обязательно проверяют на вакуумную плотность выборочно или периодически способом термоциклирования путем многократного нагрева до  $500\text{--}800^\circ\text{C}$  и охлаждения до  $20^\circ\text{C}$  с проверкой герметичности.

Испытываемые узлы считаются годными, если выдерживают заданное количество термоциклов без натекания.

#### Контрольные вопросы

1. Расскажите о назначении металлизации керамики в производстве ЭВП.
2. Какие вы знаете типы керамики?
3. Какие материалы применяют для изготовления керамики?
4. Перечислите способы формирования изделий из керамики.
5. В чем сущность пассивной технологии пайки керамики с металлами?
6. В чем сущность активной технологии пайки керамики с металлами?

## ГЛАВА X

### ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ ТЕПЛОИЗЛУЧАЮЩИХ И АНТИЭМИССИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

#### § 51. НАЗНАЧЕНИЕ ПОКРЫТИЙ

Для придания поверхностям многих деталей электронных приборов необходимых физико-химических свойств наносят те или иные покрытия.

Одним из способов повышения коэффициента излучения поверхности таких деталей, как аноды и экраны для радиоламп, широко применяют специальные материалы — алюминированное железо и алюминированный никель (слой алюминия наносится плакированием). После термической обработки (обычно отжига в водороде при

температуре  $800\text{--}900^\circ\text{C}$ ) на таких деталях образуются на поверхности диффузные сплавы — интерметаллические соединения серо-черного цвета.

Чернение деталей (никелевых анодов и экранов) методом карбонизации позволяет повысить коэффициент излучения и снизить температуру, а следовательно, газоотделение при работе в вакууме.

Карбонизацию проводят обычно в газовой среде метана (при отсутствии его иногда применяют природный газ) или в парах бензина, бензола или их смеси, которые поступают из капельницы. Предварительно детали или ленту обезжиривают, затем окисляют в печах при температуре  $800\pm 25^\circ\text{C}$  в течение 30 мин при подаче воздуха с расходом  $3\text{--}5\text{ м}^3/\text{ч}$ .

За счет окисления слоя на поверхности деталей разлагаются и улетучиваются остатки жировых загрязнений, разрыхляется поверхность, что способствует получению прочного покрытия вследствие некоторой диффузии углерода в поверхностный слой.

Для карбонизации окисленные детали загружают в печь с рабочей температурой  $840\pm 20^\circ\text{C}$ ; в печь подается из баллонов метан или из сети природный газ под давлением  $1,17\cdot 10^5\text{--}1,47\cdot 10^5\text{ Па}$ , на выходе из печи газ сжигается вместе с продуктами реакции. В печи в течение  $5\text{--}10$  мин происходит разложение углеводородов (метан, бензин, бензол), восстановление окиси никеля и осаждение на поверхности чистого никеля углерода в виде сажи.

Очистку деталей или ленты от избытка сажи, осаждаемой на поверхности, производят сначала латунными, затем волосяными щетками на краповочных станках, пескоструйным способом или во вращающихся барабанах со смесью опилок и порошка окиси алюминия (сухая галтовка) для формоустойчивых деталей.

Карбонизация имеет недостатки: повышенное газоотделение, затрудненная сварка и вероятность осыпания частиц покрытия с деталей.

Для чернения ленточных металлов иногда применяют способ втирания пасты путем последовательного протягивания ленты через ванну с чернящим составом (смесь стеарина, обезвоженного графитового порошка и лампы сажи в соотношении  $7:2:1$ ), печь с горячим воздухом и ряд вращающихся волосяных щеток, производящих втирание пасты.

Ленту предварительно матируют и отжигают в водороде. Смешение компонентов пасты и процесс покрытия осуществляют при температуре 80—90°С.

После чернения ленту отжигают в водороде при температуре 700—750°С для полного разложения и удаления стеарина и вновь пропускают через вращающиеся волосные щетки для снятия излишков углерода.

Для чернения анодов методом пульверизации (распыление суспензии сжатым воздухом) в редких случаях применяют полоторную окись титана, которую получают восстановлением в водороде при температуре 1100—1150°С двуокиси титана.

Состав суспензии для пульверизации: 170 г полоторной окиси титана и 430 мл 2%-ного нитролака вязкостью 3—5 с. Для повышения прочности покрытия производят водородный отжиг при температуре 1200°С.

Для увеличения коэффициента излучения деталей (и как дополнительный газопоглотитель) успешно применяется покрытие их титаном, цирконием, торием методом катафореза (за счет перемещения к катоду — детали и осаждения на нем положительно заряженных частиц покрытия).

Все эти покрытия закрепляются вакуумным отжигом при 1000°С в течение 1 ч.

Для уменьшения тормозмиссии сеток радиоламп (за счет осаждения продуктов испарения оксидного катода во время работы прибора) их покрывают золотом.

Для этой же цели сетки генераторных ламп в зависимости от их рабочей температуры и воспринимаемой мощности покрывают графитом, карбидом вольфрама или титановым порошком.

Для изготовления графитовой суспензии применяют просушенный при температуре 120—150°С графитовый порошок, который затем просеивают и разбавляют этиловым спиртом. Состав суспензии: 20 г графитового порошка, 600 мл этилового спирта и 18 мл 5%-ного раствора азотнокислого церия в этиловом спирте для зарядки частиц графита, так как покрытие производят методом катафореза при напряжении 60—70 В в течение 7—10 с\*.

\* Электрофорезом называют явление переноса мелких частиц суспензий в жидкой среде под действием высокого потенциала. Если находящиеся в жидкой среде твердые положительно заряженные частицы движутся по направлению к катоду, отлагаясь на

Для закрепления покрытия сетки отжигают на высокочастотной вакуумной установке под стеклянным колпаком при температуре 1000—1100°С в течение 20—30 мин. Иногда вместо графита применяют сажу, предварительно обработанную многократной промывкой в воде и прокаливанием при температуре 500—550°С в течение 1,5—2 ч.

Для покрытия сеток карбидом вольфрама применяют суспензию состава: 300 г смеси карбида вольфрама с 1,5—2,2% кобальта, 150 мл метилового спирта. Добавка кобальта улучшает спекание покрытия с материалом сетки (молибден).

Покрытие производят методом катафореза в алюминиевых ванночках при напряжении 70—80 В в течение 12—15 с. Закрепление покрытия — прокаливанием сеток в вакууме.

В последнее время широко применяют 8-позиционные полуавтоматы катафорезного покрытия молибденовых сеток графитом, карбидом вольфрама или титановым порошком.

Качество покрытия, определяющееся его массой, толщиной, плотностью и равномерностью, зависит от величины приложенного напряжения, продолжительности процесса и других факторов.

Катафорезный метод позволяет получать при правильно выбранных режимах высококачественные покрытия и является в настоящее время одним из основных методов нанесения покрытий.

## § 52. БРОНЗИРОВАНИЕ И МЕДНЕНИЕ

Для некоторых типов прямонакальных приемно-усилительных ламп с целью экранировки наносят на наружную поверхность стеклянных колб проводящий слой бронзовой пудры (бронзирование) или медный порошок (меднение). Для этой цели бронзовую (или мерную) пудру предварительно тщательно обезжиривают в ацетоне, а затем в растворе серной кислоты. Так как бронзовая пудра очень пылится, весь процесс обработки ведут в герметичном шкафу со стеклянными стенками с ручными скафандрами (рукавами).

В виде плотного равномерного слоя, это явление носит название катафореза. Отложение отрицательно заряженных частиц на аноде называется анафорезом.

Рекомендуется следующий режим обработки:

1 кг бронзовой пудры заливают 1 л ацетона и после перемешивания отстаивают в течение 8—10 ч. После этого пудру отсасывают и промывают на фильтре тремя литрами 10%-ной серной кислоты. Этим самым производят легкое травление пудры и очищают ее от следов парафина. Затем промывают последовательно водопроводной и дистиллированной водой и вновь ацетоном. Хранят обработанную пудру под слоем ацетона в закрытой посуде. Приготовление рабочей суспензии для покрытия производят из расчета 200 г бронзовой пудры на 60 мл 2,5%-ного целлулоидного лака (цaponлака), для приготовления которого берут смесь равных объемов ацетона и амилацетата или бутилацетата с добавлением 1,2% льняного масла, служащего пластификатором, и целлулоида. Наносят покрытия вручную или на полуавтомате методом пульверизации.

Перед нанесением покрытия лампы протирают снаружи смесью ацетона с бутилацетатом в соотношении 1 : 1 и затем насухо чистой сухой марлей. Лампы устанавливают в случае ручного покрытия в гнезда оправки или на карусели полуавтомата и при вращении из пульверизатора равномерно покрывают сначала грунтовочным 10%-ным шеллачным лаком (раствор шеллака в этиловом спирте), который просушивают при температуре 60—70°С в течение 10—15 мин. Грунтовочный слой дает хорошее сцепление основного покрытия с наружной поверхностью колбы лампы. На этот слой дважды наносят суспензию с бронзовой пудрой с промежуточной и окончательной сушкой при том же режиме. Для защиты от окисления воздухом поверх бронзового покрытия наносят слой защитного 5%-ного целлулоидного лака. Наличие влаги увеличивает сопротивление покрытия, поэтому сжатый воздух, поступающий в пульверизатор, должен иметь точку росы не более 15°С и не содержать следов масла из компрессора.

### § 53. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПОКРЫТИЯ

Полупроводниковые покрытия иногда применяют для нанесения на внутреннюю поверхность колб в электронно-лучевых трубках с послеускорением или в электронно-оптических преобразователях — для уменьшения пробоев

и утечек между электродами, находящимися под разными потенциалами.

Для этой цели готовят специальную полупроводниковую пасту следующего состава (г): окись хрома — 500, силикат натрия — 100, желатина — 5, дистиллированная вода — 400.

Наличие в пасте окиси хрома (обязательно марки «химически чистая») дает определенную величину электрического сопротивления полупроводникового покрытия, которое в ЭЛТ не должно превышать оптимального значения  $10^8$ — $10^9$  Ом. Если оно выше, то замедляется стекание электронов с покрытия и ухудшаются параметры прибора — разрешающая способность и положение растра при изменении плотности тока (брак, так называемое «плавающее изображение»). Если сопротивление ниже оптимального, то возможны утечки и пробои между анодами и перекося изображения. Чем меньше размер частиц, до которых измельчается окись хрома, тем больше сопротивление покрытия.

Силикат натрия в пасте обеспечивает лучшее сцепление частиц окиси хрома с поверхностью стекла и тем самым увеличивает механическую прочность покрытия. Избыток силиката натрия вызывает появление на покрытии белесых и серых пятен.

Содержание желатины в пасте улучшает помол окиси хрома до требуемого размера частиц, исключает возможность слипания, комкование частиц и расслоение пасты, а также способствует смачиванию стекла и лучшему растеканию пасты по поверхности колбы. После нанесения пасты производят обжиг, чтобы исключить вероятность шелушения и отслаивания полупроводникового покрытия.

Приготовленная паста обычно хранится в герметичной посуде, так как под действием агрессивных веществ, содержащихся в атмосферном воздухе, желатина подвергается «старению» (коагуляции), что приводит к расслоению пасты, затруднению ее намазки и появлению на покрытии светло-коричневых пятен и полос. Пасту данного состава наносят сплошным слоем.

В последнее время применяют покрытие, наносимое в виде спирали, что улучшает однородность и равномерность электрического поля и соответственно электрические параметры самого прибора.

Полупроводниковая паста для такого способа после смешения компонентов имеет следующий состав: 60 г

коллоидно-графитового препарата марки В-1 и 90 г талька; после размолта этой смеси добавляют 200 мл воды и 20—30 мл жидкого стекла.

Для нанесения спирали ролик (или колесико), пропитанный пастой, прижимается к внутренней поверхности вращающейся вокруг своей оси колбы и с помощью червячной передачи приводится в медленное поступательное движение внутри колбы.

#### § 54. РАЗНЫЕ МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫЕ ПОКРЫТИЯ

Металлизатор-вакуумщик в производстве электровакуумных приборов выполняет также и металлизацию алюминием колб зеркальных ламп накаливания для создания отражательной поверхности на вакуумной установке простейшей конструкции.

Алюминий для напыления применяют в виде отрезков проволоки или спиралей, которые для очистки от загрязнений обрабатывают в 10—15%-ном растворе щелочи в течение 2—3 мин с последующей промывкой водопроводной и дистиллированной водой и сушкой.

Для распыления алюминия берут проволоку диаметром 0,8—1,0 мм из вольфрама, учитывая возможность растворения алюминия в вольфраме (до 3%), или из торированного вольфрама, который менее восприимчив к алюминию.

Колбы зеркальных ламп перед покрытием промывают в 1%-ном растворе соляной кислоты, затем в воде и сушат при температуре 120—150°С.

Время между сушкой и алюминированием не должно превышать 20 ч, при этом колбы должны храниться в сухом чистом месте во избежание значительной адсорбции влаги.

Подогретую до 80—100°С колбу устанавливают в гнездо позиции вакуумной установки, закрывают колпачком, притертым к плите, и откачивают до давления  $1,33 \cdot 10^{-1}$  —  $1,33 \cdot 10^{-2}$  Па. Затем пропускают ток через испаритель и в течение 5—10 с производят распыление алюминия при давлении порядка 1,33 Па. После нанесения слоя алюминия производят его закрепление путем прогрева колбы в сушильном шкафу при температуре 180—280°С.

Стравливание алюминия с целью удаления его с части поверхности колбы (где он не нужен) производят

1%-ным раствором щелочи с последующим ополаскиванием дистиллированной водой и сушкой при температуре 60—70°С. При массовом производстве алюминирование колб производится на полуавтомате карусельного типа.

Весьма распространенной операцией в производстве ЭВП является изготовление фотокатодов. Для этого применяют сурьмяно-цезиевые, кислородно-серебряно-цезиевые, многощелочные и висмута-серебряно-цезиевые катоды.

При изготовлении фотокатодов испарение сурьмы производится двумя способами. По первому из них на испаритель из проволоки вольфрама, молибдена или никеля сурьму наносят электролитическим способом (см. гл. VIII) или путем наплавления кусочка сурьмы острым пламенем. Сурьма при этом плавится и налипает в виде шарика на проволочную дужку. После охлаждения испаритель с сурьмой промывают этиловым спиртом. Операция напыления сурьмы на стенки стеклянных колб производится под вакуумными колпаками на стационарных или многопозиционных агрегатах. Толщина напыляемого слоя сурьмы контролируется с помощью фотоэлектрического реле, которое в нужный момент останавливает процесс напыления. Затем слой сурьмы обрабатывают парами цезия из специальной ампулы.

Напыление сурьмы на небольшие пластины-эмиттеры производят в специальной вакуумной камере с вращающимся барабаном, в которой рядами расположены пластины-эмиттеры.

Сурьму в виде крупнозернистых частиц засыпают в танталовый трубочный испаритель с щелью под барабаном. По достижении давления ниже  $1,33 \cdot 10^{-3}$  Па подается накал на испаритель, а барабан с эмиттерами приводится во вращение специальным приводом с электродвигателем.

Кислородно-серебряно-цезиевые катоды изготавливают в колбах с предварительно химически осажденным на стекла слоем серебра (см. гл. VII), или слой серебра наносят методом термического испарения из специального испарителя серебра. Затем слой серебра окисляют кислородом в тлеющем разряде. Обработка слоя серебра парами цезия проводится аналогично сурьмяно-цезиевым катодом.

В передающих телевизионных трубках заготовками для мозаичных фотокатодов служат слюдяные пластины,

подвергнутые пескоструйной обработке очищенным карборундовым порошком с размером зерен 80—100 мкм при давлении сжатого воздуха  $1,96 \cdot 10^5$  Па. После напыления на пластинки слоя алюминия, который делает мозаику более однородной, производят напыление тонкого слоя серебра с последующим нагревом при температуре 400—420°С в течение 1—2 ч. При этом слой серебра разбивается на отдельные маленькие участки, которые в дальнейшем (после окисления) образуют катоды. Толщина слоя серебра подбирается такой, чтобы не появлялись черные пятна на изображении и обеспечивалась необходимая глубина окисления серебра, которая требуется для нормальной работы мозаичного фотокатода.

Многощелочные катоды получают путем последовательной обработки тонкого слоя сурьмы парами калия и натрия из таблеток их солей, помещенных в общую ампулу. Полученный двухщелочной катод обрабатывают парами цезия.

Иногда калий и натрий в виде таблеток их солей помещают внутрь колбы и распыляют с помощью прогрета прямым или индукционным током.

Для изготовления висмута-серебряно-цезиевых катодов применяют два испарителя: один для серебра, другой для висмута. Сначала термически испаряют висмут и окисляют его в тлеющем разряде, затем напыляют на него серебро и обрабатывают обычным способом в парах цезия.

Иногда необходимы фотоэлектронные приборы, чувствительные в ультрафиолетовой области спектра и нечувствительные к видимому излучению. Изготовление таких фотокатодов производят на основе применения чистых металлов, таких, как магний, теллур, цезий и рубидий.

#### *Контрольные вопросы*

1. Для какой цели наносятся антиэмиссионные покрытия?
2. Какие виды теплоизлучающих и антиэмиссионных покрытий вы знаете?
3. Приведите примеры некоторых способов нанесения теплоизлучающих и антиэмиссионных покрытий.
4. Каков принцип алюминирования колб?
5. Каково назначение полупроводниковых покрытий?
6. Изложите технологию нанесения графитового покрытия на внутреннюю поверхность приборов.

## ГЛАВА XI

### МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

#### § 55. СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ

Оборудование для производства электронных приборов в зависимости от применяемых средств автоматизации можно подразделить на три группы.

К первой группе относятся механическое оборудование, на котором выполнение технологического процесса осуществляется в результате совокупности движений инструмента и изделия, например в металлоштамповочном, стеклозаготовительном, сборочно-монтажном участках и пр.

Автоматизация оборудования данного типа заключается в управлении движением исполнительных органов (управляющих элементов) и изделия благодаря применению копиров, упоров, кулачков и т. п.

В некоторых случаях механические импульсы от жестких звеньев управления преобразуются в электрические, пневматические и гидравлические сигналы, которые управляют необходимыми элементами исполнительных органов.

Ко второй группе относят оборудование без применения движения исполнительных органов, в котором осуществление технологического процесса производится за счет выполнения различных физико-химических процессов, например вакуумное напыление тонких пленок металла (металлизация), нанесение гальванических покрытий, электролитическое обезжиривание и травление деталей и т. д.

В этом случае благодаря применению средств электроавтоматики и электроники осуществляется управление параметрами физико-химических процессов.

К третьей группе относят оборудование, для которого характерна совокупность признаков как первой, так и второй группы. В нем осуществление автоматизации производится в результате оптимального сочетания средств механики, электроавтоматики и электроники, например напылительные установки с автоматическими шлюзовыми

ми загрузочными устройствами и механизмами перемещения подложек, вакуумные и газонаполненные электрические печи непрерывного действия с устройствами для перемещения изделий, со средствами автоматического регулирования температуры и т. д.

В последнее время для управления технологическими процессами широко применяют электронные вычислительные и кибернетические машины, которые позволили создать автоматизированные системы управления, превосходящие по информационной емкости, быстрдействию, логическим и вычислительным возможностям системы программного управления.

Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП) являются весьма эффективными средствами совершенствования производства, обеспечивают повышение производительности труда, снижение трудоемкости и технологических потерь, повышение качества, надежности и долговечности электронных приборов.

АСУТП применяют в процессе вакуумно-термической обработки цветных кинескопов (управление термическими процессами обезгаживания и активировки катода) и на 136-позиционной полуавтоматической конвейерной линии для нанесения люминофоров (зеленого, синего и красного цветов) на экраны цветных электроннолучевых трубок.

#### § 56. МЕХАНИЗИРОВАННЫЕ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ПОТОЧНЫЕ ЛИНИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ МАССОВЫХ ТИПОВ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

При крупносерийном и массовом производстве электронных приборов наиболее рациональным является поточный метод организации производства.

Для поточной системы необходимо соблюдение следующих условий: обеспечение подвижности изготавливаемых приборов, которые должны перемещаться в установленном потоком направлении; необходимость уменьшения длины транспортирования для сокращения непроизводительных затрат времени, что достигается применением в линии многопозиционных автоматов высокой производительности как последовательного, так и параллельного или смешанного агрегатирования в порядке, установлен-

ном технологическим процессом и соответствующей рациональной компоновкой линий.

Выполнение этих условий значительно увеличивает выпуск продукции с единицы площади.

В механизированных и автоматизированных линиях со сквозной транспортировкой обрабатываемые изделия до окончания обработки не снимаются с транспортера и вместе с ним проходят через всю рабочую зону обработки. Примером поточной полуавтоматической линии может служить автоматизированная линия процесса нанесения полупроводниковой пленки на стеклянные колбы и слюдяные детали (см. гл. VII) и некоторые типы установок для очистки деталей, широко применяемых в настоящее время на многих предприятиях электронной промышленности.

Установка ОД предназначена для очистки деталей и узлов массового производства в горячем свежерегенерированном трихлорэтилене с непрерывным улавливанием его паров и с интенсификацией процесса ультразвуком и встряхиванием. Работа установки основана на автоматизированной непрерывной передаче подвесок с обрабатываемыми деталями последовательно с одной позиции на другую в соответствии с заданным режимом обработки. После очистки детали сушат в перегретых парах трихлорэтилена.

#### Техническая характеристика установки ОД

Производительность . . .	до 30 м <sup>2</sup> /ч или 30—100 тыс деталей/ч
Содержание жировых примесей в регенерированном трихлорэтилене . .	не более 10 <sup>-6</sup> г/мл
Остаточное содержание жировых загрязнений на деталях . . . . .	не более 2·10 <sup>-7</sup> г/см <sup>2</sup>
Расход трихлорэтилена . .	не более 2 л/ч
Ритм выдачи подвесок . .	1—10 мин
Габаритные размеры подвесок . . . . .	460×130×100 мм
Мощность установленного электрооборудования . .	35 кВт
Габаритные размеры . . .	3040×1240×2000 мм
Масса . . . . .	4,5 т
Обслуживающий персонал .	1 оператор 3—4-го разряда

Установка жидкофазной очистки интегральных схем ОЖФ предназначена для отмывки деталей и корпусов

интегральных схем от органических и неорганических загрязнений при серийном и массовом производстве изделий. Она может быть использована для очистки металлических, стеклянных и керамических деталей и узлов изделий радиотехнической, приборостроительной и машиностроительной техники.

В комплект ОЖФ входят четыре установки:

ОС (очистки, сушки), ПРС (промывки, сушки), РТ (регенерации трихлорэтилена), РЭС (регенерации этилового спирта).

Установки ОС и ПРС состыкованы друг с другом, приводы их сбалансированы и работают синхронно относительно друг друга.

Установка ОЖФ комплектуется специальными кассетами, обоймами, подвесками и межоперационной тарой, необходимой в производстве интегральных схем, электронных и полупроводниковых приборов. Очистка деталей на ней выполняется в автоматизированном цикле в такой последовательности: загрузка, обезжиривание в трех ваннах с трихлорэтаном, стекание трихлорэтилена, сушка в парах трихлорэтилена, охлаждение в обеспыленном воздухе или азоте, промывка в деионизованной воде, обезвоживание в спирте, стекание спирта, сушка в потоке азота или нагретого воздуха, охлаждение в обеспыленном воздухе или азоте, выгрузка.

Рабочая камера заключена в специальный скафандр с ламинарным потоком обеспыленного воздуха или инертного газа.

В отличие от существующих образцов подобного типа оборудования установка обеспечивает:

очистку деталей интегральных схем и электронных, и полупроводниковых приборов в автоматизированном режиме, исключая влияние оператора на качество обработки;

перегрузку деталей из подвесок в специальную межоперационную тару в том же скафандре.

#### Техническая характеристика установки ОЖФ

Производительность . . . . . до 3 м<sup>2</sup>/ч поверхности обрабатываемых деталей

Расход:  
по трихлорэтилену . . . . . 25—40 л/ч  
по спирту . . . . . 3—5 л/ч

Качество очистки деталей . . . . .	не более $1\cdot 70^{-7}$ г/см <sup>2</sup> остаточных загрязнений от 1 до 15 мик
Ритм выдачи подвесок . . . . .	
Установленная мощность электрооборудования . . . . .	20 кВт
Габаритные размеры:	
подвесок . . . . .	220×120×60 мм
установки . . . . .	2005×1258×1920 мм
Масса . . . . .	1200 кг
Обслуживающий персонал . . . . .	2 чел.

Агрегат финишной очистки деталей ФОД предназначен для финишной очистки от органических и неорганических загрязнений узлов и деталей массового производства.

Работа агрегата основана на автоматизированной передаче подвесок с обрабатываемыми деталями последовательно с одной позиции на другую в соответствии с заданным режимом обработки.

Агрегат работает по следующей схеме: обезжиривание в трихлорэтилене; стекание; сушка в перегретых парах трихлорэтилена; охлаждение обеспыленным воздухом; травление в смеси кислот; последовательная промывка в водопроводной и деионизованной воде; стекание; обезжиривание; сушка горячим воздухом.

Обезжиривание деталей ведется в горячем свежерегенерированном проточном трихлорэтилене с непрерывным улавливанием его паров как в процессе обезжиривания, так и в процессе сушки деталей.

Процессы обезжиривания деталей трихлорэтиленом и промывки деионизованной водой после травления интенсифицированы ультразвуком и встряхиванием.

Наличие шлюзовой системы в агрегате обеспечивает полную изоляцию деталей в процессе очистки от атмосферы помещения.

В комплект агрегата входят: установка обезжиривания ОД и установка травления и промывки ТПД.

Установки можно использовать как в состыкованном состоянии в едином цикле, так и отдельно в расстыкованном положении.

#### Техническая характеристика агрегата ФОД

Производительность . . . . . до 30 м<sup>2</sup>/ч или 30—100 тыс. деталей/ч

Остаточное содержание загрязнений на деталях . . . . .  $2\cdot 10^{-7}$  г/см<sup>2</sup>

Ритм выдачи подвесок . . . . .	1—10 мин	
Габаритные размеры подвесок . . . . .	460×130×100 мм	
Мощность установленного электрооборудования . . . . .	60 кВт	
Габаритные размеры агрегата:		
ОД . . . . .	3040×1240×2000 мм	
ТПД . . . . .	2300×1200×2000 мм	
Масса . . . . .	6 т	
Обслуживающий персонал . . . . .	2 оператора	3—4-го разряда

Следующим примером поточной полуавтоматической линии последовательного агрегатирования является конвейерная линия алюминирования экранов для электроннолучевых трубок.

На экран с люминесцентным покрытием сначала наносят слой органической пленки для того, чтобы алюминиевая пленка имела гладкую поверхность с коэффициентом отражения, близким к 1. Органическая пленка необходима только как промежуточная подложка для получения зеркального слоя алюминия, которая в дальнейшем полностью выжигается.

В целях усиления яркости свечения экранов цветных кинескопов создан новый пленкообразующий водоэмульсионный лак, обеспечивающий увеличение коэффициента отражения слоя алюминия на экране и повышение яркости свечения экранов ЦЭЛТ до 110 кд/м<sup>2</sup>.

В последнее время широкое применение получил новый метод электроаэрозольной техники, или метод «сухого напыления» люминофорного покрытия на экраны ЦЭЛТ.

Применение метода нанесения люминофоров в электростатическом поле с использованием нового водоэмульсионного лака для нанесения органической пленки позволило увеличить в среднем яркость экранов на 55%.

Алюминиевое покрытие, нанесенное на люминесцентные экраны ЦЭЛТ, выполняет следующие функции:

увеличивает яркость свечения и, будучи непрозрачно для световых лучей, отражает в сторону наблюдателя (назад) излучение, возбужденное люминофором;

значительно улучшает контрастность изображения на экране;

защищает люминесцентное покрытие от ионной бомбардировки, что устраняет брак вида «ионное пятно»;

отводит электроны с экрана на анод, поэтому алюминированный экран имеет тот же потенциал, что и анод. Яркость алюминированных экранов растет пропорционально увеличению потенциала анода, и насыщение по яркости практически отсутствует.

Установка для алюминирования ЦЭЛТ представляет собой горизонтальный замкнутый конвейер, состоящий из 30 тележек со сменными рабочими позициями.

Машина состоит из следующих основных частей: рельсового пути (монорельса), металлоконструкций, 30 тележек для алюминирования, тягового, приводного и натяжного механизмов, блока питания, подающего ток на испаритель, электрооборудования, системы дополнительного охлаждения паромасляных насосов, монотрических ламп для контроля вакуума и т. д.

В комплект тележки входит камера для присасывания колбы ЦЭЛТ и самостоятельная вакуумная система, состоящая из форвакуумного насоса РВН-20, паромасляного насоса ЦВЛ-100, натекателя и водяного насоса, подающего воду в рубашку для охлаждения паромасляного насоса.

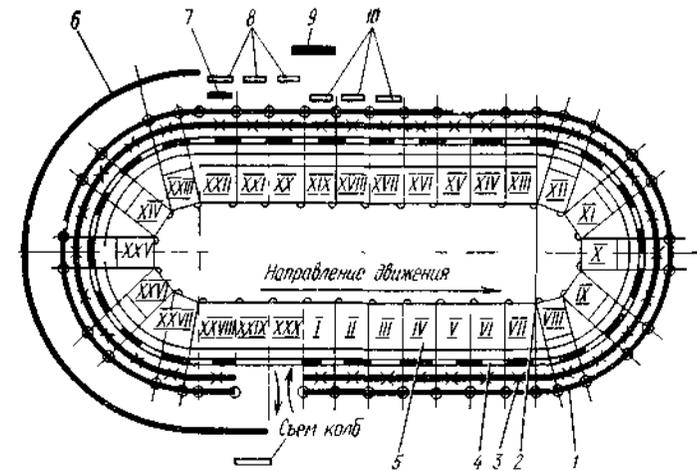


Рис 77. Технологическая схема работы машины для алюминирования экранов:

1 — контактная шина аварийной сигнализации, 2 — линия охлаждения паромасляного насоса, 3 — участок работы паромасляного насоса, 4 — участок работы форвакуумного насоса, 5 — позиция впуска воздуха, 6 — участок работы системы дополнительного охлаждения паромасляного насоса, 7 — участок работы автоматического прибора контроля толщины алюминиевой пленки, 8 — позиции распыления алюминия, 9 — позиция измерения вакуума, 10 — позиции обезгаживания; 1—XXX — рабочие позиции

На рис. 77 приведена технологическая схема работы машины.

Загрузка и съем колб производится на позиции ХХХ. На позиции I включаются форвакуумный и паромасляный насосы, работающие непрерывно до позиции ХХVIII включительно.

На позициях ХVII, ХVIII и ХIX производится предварительное обезгаживание испарителя (спирали) и алюминиевой навески. На позиции ХIX контролируют вакуум, если давление превышает в колбе  $1,33 \cdot 10^{-3}$  Па, блокируется подача напряжения на испаритель алюминия на последующих позициях, исключая распыление алюминия. На позициях ХХ, ХХI и ХХII на испаритель подается постепенно возрастающий ток и производится распыление алюминия. На позиции ХХII имеется датчик автоматического контроля и регулирования толщины алюминиевого покрытия. На позиции ХХIII включается схема дополнительного охлаждения паромасляного насоса, работающая до позиции ХХIX включительно, на этой же позиции через натекагель в колбу впускается атмосферный воздух для ее съема с установки.

#### *Контрольные вопросы*

1. На какие группы подразделяется оборудование для ЭВП в зависимости от применяемых средств автоматизации?
2. Приведите примеры высокомеханизированного и автоматизированного оборудования для производства деталей ЭВП.
3. Расскажите о назначении и требованиях к алюминиевому покрытию и органической пленке.
4. Какова технологическая схема алюминирования экранов ЦЭЛТ на полуавтоматической карусельной машине?

## **ГЛАВА XII**

### **ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ПРОТИВОПОЖАРНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

#### **§ 57. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Общее руководство и ответственность за правильную организацию работы по технике безопасности и произ-

водственной санитарии возлагаются на директора и главного инженера предприятия.

Непосредственную организацию работы и оперативный контроль по технике безопасности осуществляет главный инженер лично и через работников отдела охраны труда и техники безопасности, которые ему непосредственно подчинены.

Начальники цехов, отделов, лабораторий, складов, строительных участков и другие руководители несут ответственность за общее состояние техники безопасности на вверенных им подразделениях, а также за непринятие мер к созданию там здоровой и безопасной производственной обстановки и производственной санитарии, за случаи травматизма и профессиональных заболеваний, за незнание и невыполнение подчиненными им инженерно-техническими работниками, рабочими и служащими правил, норм и инструкций по технике безопасности и производственной санитарии в соответствии с выполняемой работой и трудового законодательства в части режима рабочего времени и отдыха, применения труда женщин и подростков.

Для предотвращения несчастных случаев (травматизма) большое значение имеет знание и строгое выполнение существующих положений, инструкций и требований по технике безопасности.

Все работающие и вновь поступившие на предприятие рабочие, служащие и инженерно-технические работники независимо от стажа и опыта работы проходят инструктаж и обучение по безопасному ведению работ на основании требований соответствующих правил и инструкций по технике безопасности и производственной санитарии.

Инструктаж подразделяется на следующие основные виды:

- вводный инструктаж;
- первичный инструктаж на рабочем месте;
- повторный (периодический) инструктаж;
- внеплановый инструктаж.

Вводный инструктаж проводится работником отдела охраны труда и техники безопасности с целью ознакомления с основными требованиями техники безопасности и производственной санитарии всех вновь поступающих на предприятие рабочих, служащих и инженерно-технических работников, а также учащихся и студентов, направляемых для прохождения производственной практики.

Первичный инструктаж на рабочем месте проводится с целью подробного ознакомления работающих с особенностями выполнения работ с точки зрения техники безопасности и производственной санитарии и проводится со всеми вновь принятыми, переведенными из одного цеха в другой, с одной работы на другую, с одного вида оборудования на другой, в том числе и в случаях временного перевода, рабочими, инженерно-техническими работниками и служащими. Инструктаж на рабочем месте проводится непосредственным руководителем работ (мастером, механиком, начальником лаборатории, начальником участка и др.).

Подробно разъясняется значение и необходимость выполнения требований по технике безопасности по профессии работающего. Например, металлатора-вакуумщика инструктируют по вопросам устройства установки вакуумного напыления, содержания рабочего места, способов безопасной установки и снятия обрабатываемых приборов, напылителей, безопасного включения вакуумной установки, ведения процесса откачки и металлизации (напыления), работы с генераторами высокой частоты, ультразвуковыми генераторами, работы с переносной измерительной аппаратурой и приборами, обращения с сжиженными газами, с легковоспламеняющимися жидкостями, кислотами и щелочами и т. д.

Как правило, инструктаж на рабочем месте сопровождается показом правильных и безопасных приемов и методов работы и проводится индивидуально с каждым рабочим.

Повторный (периодический) инструктаж проводится с целью проверки знаний работающими правил и инструкций по технике безопасности и производственной санитарии и возобновления в памяти забытых сведений по этим вопросам. Инструктаж проводится со всеми работниками не реже одного раза в 6 месяцев, а на особо вредных и опасных участках работы не реже одного раза в 3 месяца.

Внеплановый инструктаж на рабочем месте проводится в случае изменения технологического процесса, оборудования, инструмента, материалов и т. п., в результате чего изменяются условия труда и ранее предусмотренные меры безопасности, и при нарушении работающими правил и инструкций по технике безопасности и производст-

венной санитарии, технологической и производственной дисциплины.

Все виды инструктажа (кроме вводного) регистрируются в специальном журнале по технике безопасности, где указывается вид и дата проведения инструктажа, перечисляются инструкции по технике безопасности, по которым проводился инструктаж, и дается расписка инструктируемого и инструктирующего.

За последнее время на предприятиях Министерства электронной промышленности введен трехступенчатый контроль по охране труда. Этот метод предусматривает три ступени контроля.

**Первую ступень контроля** осуществляет мастер и общественный инспектор по охране труда на своем участке. Ежедневно перед началом смены они проверяют состояние техники безопасности и производственной санитарии.

**Вторую ступень контроля** осуществляет начальник цеха и общественный инспектор по охране труда цехового комитета профсоюза совместно с механиком, энергетиком и руководителями других служб цеха. Один раз в неделю данная комиссия проверяет состояние техники безопасности и производственной санитарии на всех производственных участках цеха и работу мастеров в области охраны труда.

**Третью ступень контроля** осуществляет главный инженер предприятия и председатель комиссии охраны труда профсоюзного комитета с участием работника отдела техники безопасности, главного механика, главного энергетика, главного технолога и руководителей других служб предприятия.

Комиссия один раз в месяц по установленному графику проверяет состояние охраны труда, выполнение мероприятий и на месте решает все вопросы, связанные с обеспечением безопасности труда и созданием нормальных санитарно-гигиенических условий.

## § 58. ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

Эксплуатация электроустановок (в том числе и технологического оборудования) ведется в строгом соответствии с «Правилами технической эксплуатации и безопасности обслуживания электроустановок промышленных предприятий».

Оборудование с точки зрения мер электробезопасности подразделяется на установки с напряжением до 1000 В включительно и выше 1000 В. В соответствии с этим к обслуживанию технологического оборудования допускаются лица, прошедшие проверку знаний в заводской квалификационной комиссии, где присваивается квалификационная группа и выдается удостоверение на допуск к обслуживанию оборудования с напряжением до 1000 В или с напряжением выше 1000 В (в этом случае удостоверение имеет красную полосу по диагонали).

Все производственные помещения по степени опасности поражения электрическим током подразделяются на три категории:

1. *Помещения с повышенной опасностью*, которые характеризуются наличием одного из следующих признаков опасности:

высокой относительной влажности (свыше 75%) или токопроводящей пыли; токопроводящих полов; высокой температуры (свыше 30°С); возможности одновременного прикосновения работающего к металлическим корпусам оборудования и к заземленным металлическим предметам.

2. *Особо опасные помещения*, в которых относительная влажность воздуха близка к 100% или длительно содержится химически активная среда, разрушающая изоляцию токоведущих частей, или имеется одновременное наличие двух или более признаков, характерных для помещений с повышенной опасностью.

3. *Помещения без повышенной опасности*, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.

Защитные изолирующие средства подразделяются на основные и дополнительные.

*Основными* считаются защитные средства, изоляция которых надежно выдерживает рабочее напряжение установки и посредством которых допускается прикосновение к токоведущим частям, находящимся под напряжением.

*Дополнительными* считаются защитные средства, которые служат для повышения эффективности основных защитных средств.

При обслуживании установок с напряжением до 1000 В к основным изолирующим средствам относятся диэлектрические перчатки и монтерский инструмент с

изолированными ручками. К дополнительным — диэлектрические галоши, коврики, подставки.

При обслуживании оборудования с напряжением выше 1000 В основными защитными средствами являются оперативные и измерительные штанги, изолирующие и токоизмерительные клещи и указатели напряжения. К дополнительным относятся диэлектрические перчатки, боты, коврики и изолирующие площадки.

Защитные средства должны храниться в установленных местах и подвергаться периодическим электрическим испытаниям повышенным напряжением переменного тока. После этого на них, если они пригодны к использованию, ставят клеймо с указанием допустимого напряжения и даты очередного испытания. Защитные средства с истекшим сроком очередного испытания к применению не допускаются.

К защитным средствам также относятся предупредительные плакаты, подразделяемые на четыре группы в зависимости от содержания:

*предостерегающие* (например, «Стоять, опасно для жизни»);

*запрещающие* (например, «Не включать, работа на линии» или «Не включать — работают люди»);

*разрешающие* (например, «Работать здесь»);

*напоминающие* (например, «Заземлено»).

К индивидуальным средствам защиты относятся защитные очки, противозумные наушники, приборы защиты органов дыхания, спецодежда и т. д.

## § 59. ОКАЗАНИЕ ПЕРВОЙ ПОМОЩИ ПРИ ПОРАЖЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Воздействие электрического тока на организм человека может привести к различным видам поражения, исход которых зависит в основном от величины тока, проходящего через тело человека, и продолжительности его действия.

Различают два вида повреждений организма человека под действием электрического тока: электрические травмы и электрические удары (шоки). Электрическая травма вызывает местное поражение организма в виде ожогов, поражения глаз в результате действия электрической дуги, поражения органов слуха от взрыва, ранения

при падении с высоты, вызванном действием электрического тока.

Основным способом оказания первой помощи при поражении электрическим током является искусственное дыхание. Наиболее эффективен способ искусственного дыхания, при котором оказывающий помощь вдвухает выдыхаемый им воздух в рот или нос пострадавшего. Для этого пострадавшего надо уложить спиной на жесткую поверхность (пол, скамью, стол и т. д.), расстегнуть стесняющую дыхание одежду. Встать на колени, запрокинуть голову пострадавшего назад, очистить его рот от слизи указательным пальцем, обернутым платком или краем рубашки. Сделав глубокий вдох, оказывающий помощь прикладывает через платок свой рот ко рту пострадавшего, зажимает ему нос и вдвухает воздух непосредственно в рот (или в нос, зажимая при этом рот пострадавшего), затем следует пассивный (произвольный) выдох пострадавшего и т. д.

Одновременно с искусственным дыханием необходимо проводить наружный (непрямой) массаж сердца, ритмично, толчками (5—6 надавливаний) в период пассивного выдоха пострадавшего. Надавливание производят двумя руками, наложенными одна на другую, на нижнюю треть левой части груди.

Искусственное дыхание следует продолжать до прибытия врача, помня о том, что при поражении электрическим током вследствие паралича органов дыхания возможна мнимая смерть пострадавшего. При проведении искусственного дыхания не допускается переохлаждение тела пострадавшего: его нельзя оставлять лежащим на сырой земле или холодном полу.

#### § 60. МЕРЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИИ

17 апреля 1918 г. В. И. Ленин подписал декрет «Об организации государственных мер борьбы с огнем», положивший начало развитию советской пожарной охраны и борьбе за сохранение народного достояния и в первую очередь государственных предприятий

**Мероприятия по пожарной профилактике.** Одним из основных мероприятий является инструктаж по пожарной безопасности и пожарно-технический минимум.

Большинство пожаров возникает из-за нарушения элементарных правил пожарной безопасности или из-за их

незнания. Поэтому каждый поступающий на работу должен пройти противопожарный инструктаж, который носит двухстадийную (первичный и повторный) форму.

Не реже чем один раз в два года со всеми работниками предприятий проводится пожарно-технический минимум с целью закрепления и повышения у обучаемых знаний, которые они получали в процессе их инструктажа и изучения специальных правил по пожарной безопасности, вытекающих из характера технологического процесса.

**Оказание первой помощи при ожогах.** Ожоги бывают трех степеней. Признаком ожога первой степени является покраснение кожи вследствие поражения ее поверхностных слоев; это поражение быстро и бесследно исчезает без лечения. Признаком ожога второй степени являются пузыри, наполненные светлым прозрачным содержимым; кожа вокруг них краснеет. При ожоге третьей степени поражается не только кожа, но и ткани, лежащие глубже. На коже образуются пузыри, которые прорываются и образуется рана. Ожоги третьей степени, занимающие более  $\frac{1}{3}$  площади кожи, часто бывают смертельными.

Умелое оказание первой помощи имеет большое значение в борьбе за жизнь обожженного. При первой помощи прежде всего следует вынести пораженного из горящего помещения в безопасное место и потушить на нем горящую одежду, погрузив в воду или укутав тканью, смоченной водой.

При тяжелых ожогах осторожно снимают с пострадавшего платье и обувь, при необходимости разрезают их. Рана от ожога, будучи загрязнена, начинает гноиться и долго не заживает. Поэтому нельзя касаться руками обожженного участка кожи или смазывать его какими-либо мазями, маслами, вазелином или растворами. Нельзя также отдирать обгоревшие приставшие куски одежды; в случае необходимости приставшие куски одежды следует обрезать острыми ножницами.

Обожженную поверхность кожи следует перевязать так же, как любую рану, покрыть стерильной или специальной противоожоговой повязкой, а сверху положить слой ваты и все закрепить бинтом. После этого пострадавшего следует направить в лечебное учреждение.

**Причины возникновения пожаров.** Основными причи-

нами возникновения пожаров на предприятиях, производящих электронные приборы, являются:

неисправности в состоянии радиоэлектронного и технологического оборудования, электроаппаратуры и электрических проводов;

ведение технологических процессов с нарушениями правил эксплуатации оборудования;

неисправности в устройстве и обслуживании установок для отопления и электронагревательных приборов;

нарушение правил курения в производственных помещениях;

самовоспламенение и самовозгорание определенных веществ;

разряды молний.

К основным причинам возникновения пожаров в электроустановках следует отнести:

короткое замыкание, когда две разноименные фазы электрической цепи, находящейся под напряжением, соединяются друг с другом через весьма малое сопротивление, не отвечающее нормальному режиму работы;

перегрузки электросетей и электрооборудования, возникающие в случае, когда в машинах, установках или проводниках появляется токовая нагрузка, превышающая предельно допустимые величины;

большие переходные сопротивления, возникающие в местах подключения электропроводов друг к другу или к электроприборам при плохо выполненных соединениях. Плохой контакт в месте соединения проводников (зазор в местах контактирования, окисленная контактная поверхность) приводит к возникновению больших переходных сопротивлений на этих участках, что приводит к значительному местному нагреву контактов, возгоранию изоляции, воспламенению легкогорючих материалов и может явиться причиной взрыва паро-, газо- или пылевоздушной среды;

искрение электроустановок, ибо искра — это источник открытого огня с температурой 1500—1600° С.

Во взрывоопасных и огнеопасных помещениях применять электроаппаратуру следует только во взрывозащищенном исполнении.

**Способы и средства пожаротушения.** Под способами и средствами пожаротушения следует понимать способы и средства прекращения процесса горения. Существует несколько таких способов

*Способ изоляции* основан на изоляции горящего вещества от поступающего к нему кислорода благодаря применению изолирующих огнегасительных веществ и средств (песок, пена, пар, покрывала, войлок, асбест, огнегасительные порошки и др.).

Пена, покрывая горящие вещества, изолирует их от воздуха, что приводит к прекращению горения. пеной нельзя тушить включенные электроустановки, так как она электропроводна, а также этиловый спирт и ацетон, которые разрушают пену. Для подачи пены в очаг пожара применяют огнетушители ОП-3 и ОП-5.

Наиболее широко применяется огнетушитель ОП-5. Для приведения его в действие нужно рукоятку повернуть на 180° в противоположную сторону, при этом резиновая пробка (клапан) будет выведена из горловины стаканчика. После этого необходимо перевернуть огнетушитель и он начнет действовать.

*Способ охлаждения* основан на том, что поверхностный слой горящего вещества охлаждают ниже его температуры воспламенения, что приводит к прекращению горения. Для этой цели применяют воду, которая является наиболее распространенным и одним из лучших огнегасительных средств. Вода имеет сравнительно малую вязкость и способна проникать в щели и поры горящего вещества, что способствует быстрому его охлаждению. Кроме того, вода обладает значительной теплоемкостью, благодаря чему отнимает от горящих веществ значительное количество тепла за счет своего испарения и быстро их охлаждает. Превращаясь в пар, вода увеличивается в объеме в 1700 раз и, смешиваясь с горячими газами и парами, выделяющимися при горении, разбавляет их, образуя негорючую смесь.

Однако вода имеет и ряд недостатков. Ею нельзя гасить легковоспламеняющиеся жидкости, плотность которых меньше воды. Исключением составляют спирты и ацетон, которые растворяются (смешиваются в воде и гасить их нужно только водой).

Вода непригодна для тушения пожаров, возникающих в электроустановках, находящихся под напряжением, так как обладает хорошей способностью проводить электрический ток.

С такими веществами, как металлический калий, натрий, кальций, окислы некоторых металлов и т. п., вода

хорошо реагирует и этим самым затрудняет тушение пожара.

*Способ разбавления* заключается в том, что при концентрации кислорода в воздухе до 14—18% горение прекращается. Достигается это за счет введения в воздух инертных газов, главным образом углекислого газа, наличие которого в воздухе в зоне пожара в количестве 25—30% к объему воздуха прекращает горение. Углекислым газом можно тушить все, включая электроустановки, находящиеся под напряжением.

Для целей пожаротушения применяют жидкую углекислоту, которую хранят в ручных или передвижных огнетушителях. Из 1 кг жидкой углекислоты образуется 509 л углекислого газа.

В качестве ручных углекислотных огнетушителей применяются ОУ-2, ОУ-5 и ОУ-8 (соответственно по емкости — двухлитровый, пятилитровый и восьмилитровый), а в качестве передвижных — УП-1 и УП-2м (с одним или двумя баллонами).

Для приведения огнетушителя в действие его подносят (подвозят) к очагу пожара, левой рукой направляют раструб так, чтобы струя газа попала в очаг пожара, а затем открывают вентиль вращением до отказа маховичка.

К разбавляющим огнегасительным веществам относятся также азот, водяной пар, тонко распыленная вода.

*Способ химического торможения горения* заключается в том, что в очаг пожара вводят галонднопроизводные вещества, которые, соединяясь с активными центрами, исключают экзотермическую реакцию, а тем самым горение.

К химически тормозящим веществам относятся бромистый метил, бромистый этил, фреон и др. (составы 3,55; 7; АНД; СЖБ).

Широкое применение получила смесь, состоящая из 97% бромистого этила и 3% углекислоты.

В очаг пожара эту смесь подают углекислотно-бромэтиловыми огнетушителями типа ОУБ-3 и ОУБ-7 (имеющими емкость 3 и 7 л).

Огнетушитель представляет собой цилиндрический тонкостенный стальной баллон, в верхнюю часть которого ввернута спиральная запорная головка с насадкой. В огнетушитель накачивается воздух для выброса заряда.

Для приведения огнетушителя в действие необходимо подойти близко к очагу пожара, открыть вентиль и направить струю в зону огня. С помощью углекислотно-бромэтилового огнетушителя можно гасить как жидкие, так и твердые горючие вещества, а также электроустановки, находящиеся под напряжением. Время действия — 35 с, длина струи — 3—4,5 м.

#### *Контрольные вопросы*

1. Какие виды инструктажа по технике безопасности вы знаете, кто их проводит и с какой целью?
2. Что такое трехступенчатый контроль по охране труда и его назначение?
3. Как подразделяются производственные помещения и оборудование по условиям электробезопасности?
4. Какие виды защитных изолирующих средств вы знаете?
5. В чем заключается оказание первой помощи при поражении электрическим током?
6. Какие мероприятия по противопожарной профилактике вы знаете?
7. Расскажите о первой помощи при ожогах.
8. Каковы причины возникновения пожаров?
9. Какие первичные средства пожаротушения вы знаете и как ими пользоваться?

## ГЛАВА XIII

### ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА

#### § 61. СУЩНОСТЬ И ОБЪЕКТЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ. ВИДЫ СТАНДАРТОВ

Стандартизация в настоящее время становится одним из важнейших средств управления народным хозяйством и осуществления экономической и технической политики государства.

*Комплексной стандартизацией* называется проведение работ по стандартизации на основе программного планирования.

Программное планирование — это разработка комплексных планов стандартизации общих технических требований, методов испытаний, рядов и систем параметров, размерных рядов, базовых конструкций и т. д.

*Под опережающей стандартизацией* понимается разработка прогрессивных опережающих стандартов, в которых отражены перспективы отраслей народного хозяйства.

Примером опережающей стандартизации является разработка стандартов на конкретные типы или виды продукции со ступенчатым введением перспективных показателей качества и прогрессивных норм на важнейшие параметры изделий в установленные в этом стандарте сроки.

В соответствии с ГОСТ 1.0—68 стандарты подразделяют на следующие категории: Государственные стандарты Союза ССР — ГОСТ; отраслевые стандарты — ОСТ; республиканские стандарты союзных республик — СТП; стандарты предприятий.

Государственные стандарты обязательны к применению всеми предприятиями, организациями и учреждениями союзного, республиканского и местного подчинения, во всех отраслях народного хозяйства СССР.

Отраслевые стандарты обязательны для всех предприятий и организаций данной отрасли, а также для предприятий и организаций других отраслей (заказчиков), применяющих (потребляющих) продукцию этой отрасли.

Республиканские стандарты обязательны для всех предприятий и организаций республиканского и местного подчинения данной союзной республики.

Стандарты предприятий (объединений) обязательны только для предприятия (объединения), утвердившего данный стандарт.

Металлизатор-вакуумщик в своей практической работе руководствуется стандартами предприятия (СТП).

Введение категорий стандартов сокращает разнообразие и упорядочивает виды нормативно-технической документации, существующей в стране.

Государственной системой стандартизации (ГОСТ 1.0—68) установлены объекты стандартизации.

*Объектами стандартизации* являются конкретная продукция, нормы, правила, требования, методы, термины, обозначения и т. п., имеющие перспективу многократного применения в науке, технике, промышленном и сельскохозяйственном производстве, строительстве, на транспорте, в культуре, здравоохранении, других сферах народного хозяйства, а также в международной торговле.

*Объектами государственной стандартизации* являются преимущественно нормы, параметры, размеры, требования, правила, показатели технического уровня и качества продукции, термины, обозначения и другие объекты межотраслевого применения, необходимые для обеспечения оптимального качества продукции, единства и взаимосвязи различных областей науки, техники и производства, культуры, а также требования к продукции массового и крупносерийного производства широкого и межотраслевого применения.

*Объектами отраслевой стандартизации* являются объекты, не относящиеся к государственной стандартизации. Отраслевые стандарты устанавливают требования к технологической оснастке, инструменту, технологическим процессам отраслевого применения, а также нормы, правила, требования, термины и обозначения, необходимые для обеспечения взаимосвязи в производственно-технической деятельности предприятий и организаций отрасли.

*К объектам республиканской стандартизации* относится продукция, выпускаемая предприятиями союзного, республиканского и местного подчинения, за исключением продукции, относящейся к объектам государственной или отраслевой стандартизации.

Стандарты предприятия устанавливают нормы, правила, требования, методы, составные части изделий и другие объекты, имеющие применение только на данном предприятии. Могут выпускаться стандарты предприятия, ограничивающие номенклатуру деталей, узлов, материалов, сырья, норм, требований, предусмотренных в государственных отраслевых и республиканских стандартах, при условии, если они не нарушают и не снижают показателей и требований, установленных государственными, отраслевыми и республиканскими стандартами.

Государственная система стандартизации в зависимости от требований, предъявляемых к стандартизируемым объектам, устанавливает виды стандартов, которые определяют содержание стандарта в зависимости от его назначения.

Стандарты всех категорий подразделяются на следующие виды:

стандарты технических условий (общих технических условий);

стандарты технических требований (общих технических требований);

стандарты параметров и (или) размеров;  
стандарты типов, основных параметров и (или) размеров;  
стандарты конструкции и размеров;  
стандарты марок;  
стандарты сортамента;  
стандарты правил приемки;  
стандарты методов контроля (испытаний, анализа, измерений);  
стандарты правил упаковки, маркировки, транспортирования и хранения;  
стандарты правил эксплуатации и ремонта;  
стандарты типовых технологических процессов.

#### § 62. МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ СЛУЖБА В СССР

С целью создания нормативной основы обеспечения единства измерений в СССР разработан комплекс государственных стандартов Государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ).

Внедрение этих государственных стандартов, которое намечено завершить в десятой пятилетке, осуществляется в каждой отрасли народного хозяйства путем разработки отраслевых стандартов и стандартов предприятий, в которых конкретизируются общее положение и требования применительно к специфическим условиям этих отраслей.

Стандарты ГСИ способствуют повышению организованности и эффективности работы государственной и ведомственных метрологических служб, оптимизации номенклатуры и повышению качества выпускаемых в стране средств измерений, улучшению состояния и повышению эффективности их использования в эксплуатации, что дает значительный технико-экономический эффект благодаря улучшению качества продукции, снижению непроизводительных затрат в производстве.

Руководство работой по организации метрологической службы на предприятиях и объединениях возлагается на главного метролога, который подчиняется главному инженеру.

Главные задачи метрологической службы:

поддержание необходимого уровня развития метрологии на всех этапах производства — при разработке новых изделий, изготовлении изделий, контроле качества про-

дукции, разработке и изготовлении измерительного и испытательного оборудования;

обеспечение правильности и единства всех измерений, проводимых на предприятиях объединения;

обеспечение выполнения правил законодательной метрологии.

Все контрольно-измерительные приборы и средства измерения подлежат поверке метрологической службы предприятия.

#### § 63. КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ И МЕТОДЫ ЕГО ОЦЕНКИ. КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ

Важнейшая роль в комплексной системе управления качеством принадлежит стандартизации, поскольку параметры и конструктивные особенности изделий, технические требования, методы и средства испытаний, показатели надежности, требования к сырью и материалам отражаются и устанавливаются в стандартах.

Основные понятия и термины качества продукции следующие.

*Продукция* — это совокупность изделий, полуфабрикатов и сырья, произведенных за определенный промежуток времени отдельными лицами или предприятием.

*Свойства продукции* — объективная особенность продукции, проявляющаяся при ее создании, эксплуатации или потреблении.

*Качество продукции* — это совокупность свойств продукции, обуславливающих пригодность ее удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением.

Выбор метода оценки качества продукции зависит от цели оценки.

Целью оценки уровня качества продукции может быть контроль качества продукции; аттестация качества продукции; выбор варианта продукции; анализ динамики качества продукции.

Основной показатель качества — *надежность*. Под надежностью ЭВП понимается его свойство выполнять заданные функции и сохранять свои параметры в определенных пределах в течение требуемого промежутка времени.

Нарушение функций работы прибора или отклонение его параметров за допустимые пределы называется *отказом*.

Различают отказы полные и условные. Под полным понимают такое ухудшение электрических или механических параметров (свойств) приборов, при котором прибор полностью выходит из строя и далее использоваться не может. К условным отказам относят отступление одного или нескольких параметров прибора, принятых за критерии годности, от установленной (условной) нормы, указанной в технической документации на прибор.

Надежность приборов обуславливается их безотказностью, долговечностью и сохраняемостью.

Под безотказностью понимается свойство прибора сохранять работоспособность в течение определенного промежутка времени, т. е. работать в течение этого промежутка времени без отказов.

Долговечность — это свойство прибора сохранять работоспособность до своего предельного состояния, которое определяется невозможностью его дальнейшего использования, например вследствие необратимого изменения параметров или направленного возрастания интенсивности отказов приборов.

Сохраняемость — свойство прибора оставаться работоспособным после длительного хранения в различных условиях.

Надежность электронных приборов определяется прежде всего их конструкцией и технологией изготовления.

В решении проблемы повышения качества важная роль отводится аттестации промышленной продукции по трем характеристикам качества — высшей, первой и второй.

За последнее время в стране на многих предприятиях и организациях широко внедряется комплексная система управления качеством продукции (КС УКП), которая основана на государственной системе стандартизации. Составной частью этой системы являются стандарты предприятий (СТП), разработанные в полном соответствии с государственными и отраслевыми стандартами.

#### Контрольные вопросы

1. Расскажите о сущности стандартизации.
2. Какие виды стандартов вы знаете?
3. Какие задачи решает метрологическая служба на предприятии?
4. Каковы основные понятия и термины качества продукции?
5. Что такое надежность электронных приборов?
6. В чем заключается комплексная система управления качеством продукции?

## ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Утверждаю  
Главный инженер —

### ВЕДОМОСТЬ

Предприятие	Цех, подразделение (лаборатория, отдел), мастерская	Участок внутри цеха или подразделения	Наименование технологических процессов и операций, выполненных в помещениях, указанных в графе № 8	Категория производственной гигиены	Запыленность		Примечание
					в помещениях	на рабочем месте под колпаком с полудном	
1	2	3	4	5	6	7	8

Приложение 2

### ЖУРНАЛ

учета контрольных замеров запыленности производственных участков цеха № \_\_\_\_\_

Дата проведения измерения	Время проведения измерения	Средство контроля	Единица измерения	Запыленность			Подпись лица, проводящего измерения
				участок и технологический процесс (норма...)	участок и технологический процесс (норма...)	(норма ...)	
1	2	3	4	5	6	7	8

Приложение 3

### СВЕДЕНИЯ

о запыленности производственных помещений цеха № . . . . за . . . . . месяц 197. . . г.

Средство контроля	Единица измерения	Участок и технологический процесс	Максимальное количество пыли	Минимальное количество пыли	Среднее количество пыли	Примечание
1	2	3	4	5	6	7

## ЛИТЕРАТУРА

- Александрова А. Т. Оборудование электровакуумного производства. М.: Энергия, 1974.
- Бешагин С. П. Огневое оснащение стеклообрабатывающего оборудования электровакуумного производства. — М.: Энергия, 1967.
- Берлин И. З., Смирнов Н. А. Пожарная безопасность объектов народного хозяйства — М.: Издательство ДОСААФ, 1971.
- Варламов В. А., Шехмейстер Е. И. Сборочные операции в электровакуумном производстве.—М.: Высшая школа, 1974
- Закиров Ф. Г., Николаев Е. А. Откачик-вакуумщик. — М.: Высшая школа, 1977.
- Золотарев М. М, Новикова Л. А. Нанесение полупроводниковых пленок двуокиси олова на стеклянные конусы вместо алюминирования. — «Электровакуумная техника», 1962, № 29
- Иориш А. С. и др. Основы технологии производства электровакуумных приборов. — Л.: Энергия, 1971.
- Королев Б. И. Основы вакуумной техники. — М.: Энергия, 1975
- Минаков В. И, Коган М. З. Производство тонкопленочных микросхем — Л.: Энергия, 1973.
- Шехмейстер Е. И. и др. Технохимические работы в электровакуумном производстве. — М.: Высшая школа, 1970.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
<i>Глава</i> I. Основы производственной (электронно-вакуумной) гигиены. . . . .	5
§ 1. Состояние культуры производства на электровакуумных предприятиях . . . . .	5
§ 2 Классификация производственных помещений . . . . .	6
§ 3 Требования к территории предприятий и эксплуатации помещений. . . . .	7
§ 4. Меры по защите воздуха помещений от загрязнений . . . . .	9
§ 5. Требования производственной гигиены к работникам электронных предприятий. . . . .	11
§ 6. Хранение очищенных деталей и их транспортировка . . . . .	12
<i>Глава</i> II. Газовое хозяйство. . . . .	13
§ 7. Газы, используемые на предприятиях электронной промышленности. . . . .	13
§ 8. Основные свойства горючих газов . . . . .	15
§ 9. Газовые горелки . . . . .	17
§ 10. Газовая и контрольно-измерительная аппаратура. Газопроводы. . . . .	23
<i>Глава</i> III. Допуски, посадки и технические измерения . . . . .	32
§ 11. Взаимозаменяемость деталей. Допуски и посадки . . . . .	32
§ 12. Измерительные средства и точность измерения . . . . .	33
§ 13. Измерительные инструменты и приборы . . . . .	35
<i>Главы</i> IV. Очистка поверхности деталей. . . . .	42
§ 14. Назначение процесса очистки поверхности деталей . . . . .	42
§ 15. Химическое обезжиривание в щелочных составах и органическими растворителями. . . . .	44
§ 16. Ультразвуковое обезжиривание . . . . .	49
§ 17. Химическое правление Составы травильных растворов. . . . .	51
§ 18 Электрохимическая очистка. Составы электролитов . . . . .	54
§ 19 Полирование деталей . . . . .	56
§ 20 Очистка окислительно-восстановительным отжигом . . . . .	58
§ 21. Контроль качества очистки деталей . . . . .	59

<i>Глава V.</i> Основные законы и понятия вакуумной техники. Контрольно-измерительные приборы. Вакуумное оборудование. . . . .	60	§ 53	Полупроводниковые покрытия . . . . .	206
§ 22. Вакуум. Газ. Пар. Основное уравнение состояния газов . . . . .	60	§ 54	Разные металлизированные покрытия . . . . .	208
§ 23. Основные газовые законы . . . . .	62	<i>Глава XI.</i> Механизация и автоматизация технологических процессов производства электронных приборов . . . . .	211	
§ 24. Средняя длина свободного пути молекул . . . . .	64	§ 55.	Современные средства автоматизации оборудования . . . . .	211
§ 25. Свойства газов . . . . .	66	§ 56	Механизированные и автоматизированные поточные линии в производстве массовых типов электронных приборов . . . . .	212
§ 26. Режимы течения газов при различных степенях вакуума . . . . .	69	<i>Глава XII.</i> Техника безопасности и противопожарные мероприятия на предприятиях электронной промышленности. . . . .	218	
§ 27. Процесс откачки и его основные характеристики. Основное уравнение вакуумной техники . . . . .	70	§ 57.	Техника безопасности на предприятиях электронной промышленности. . . . .	218
§ 28. Контрольно-измерительные приборы, применяемые в вакуумном оборудовании. . . . .	72	§ 58.	Электробезопасность . . . . .	221
§ 29. Вакуумные насосы . . . . .	79	§ 59.	Оказание первой помощи при поражении электрическим током. . . . .	223
§ 30. Вакуумные системы . . . . .	92	§ 60.	Меры пожарной безопасности на предприятии. . . . .	224
§ 31. Технологический процесс откачки электровакuumных приборов. . . . .	100	<i>Глава XIII.</i> Основные понятия по стандартизации. Контроль качества . . . . .	229	
§ 32. Вакуумное оборудование и его обслуживание . . . . .	103	§ 61.	Сущность и объекты стандартизации. Виды стандартов . . . . .	229
<i>Глава VI.</i> Металлизация в вакууме. . . . .	105	§ 62.	Метрологическая служба в СССР . . . . .	232
§ 33. Методы получения тонких пленок . . . . .	105	§ 63.	Качество продукции и методы его оценки. Комплексная система управления качеством . . . . .	233
§ 34. Структура и свойства металлических пленок . . . . .	114	Приложения. . . . .	235	
§ 35. Основные требования к подложкам . . . . .	116	Литература. . . . .	236	
§ 36. Назначение и конструкция испарителей . . . . .	117			
§ 37. Вспомогательные операции, необходимые для получения покрытий высокого качества . . . . .	125			
§ 38. Оборудование для вакуумного нанесения металлических покрытий. . . . .	127			
§ 39. Контроль толщины покрытия в процессе напыления . . . . .	132			
<i>Глава VII.</i> Технология химических способов металлизации . . . . .	136			
§ 40. Химические способы металлизации . . . . .	136			
§ 41. Технология нанесения различных покрытий . . . . .	140			
§ 42. Нанесение полупроводящей пленки на стекло и слюду. . . . .	150			
§ 43. Разные покрытия . . . . .	158			
<i>Глава VIII.</i> Технология гальванических покрытий. . . . .	163			
§ 44. Гальванические, покрытия . . . . .	163			
§ 45. Технология нанесения различных покрытий . . . . .	170			
§ 46. Контроль качества покрытий. . . . .	185			
<i>Глава IX.</i> Технология металлизации керамики для спаев с металлами. . . . .	188			
§ 47. Назначение металлизации, наносимой на керамику . . . . .	188			
§ 48. Оборудование для изготовления изделий из керамики . . . . .	190			
§ 49. Технология нанесения металлических паст на керамику. . . . .	193			
§ 50. Металлокерамические узлы и их надежность . . . . .	201			
<i>Глава X.</i> Технология нанесения теплоизлучающих и антиэмиссионных покрытий. . . . .	202			
§ 51. Назначение покрытий . . . . .	202			
§ 52. Бронзирование и меднение . . . . .	205			

Михаил Михайлович Золотарев

МЕТАЛЛИЗАТОР-ВАКУУМЩИК

Редактор М. И. Сорокина  
Художник Ф. Н. Буданов  
Художественный редактор Т. В. Панина  
Технический редактор Е. И. Герасимова  
Корректор Р. К. Косинова

ИБ № 1701

Изд. № ЭГ-313. Сдано в набор 23.03.78. Подп. в печать 31.08.78.  
Т-16325. Формат 84×108<sup>1/32</sup>. Бум. тип. № 3. Гарнитура литературная.  
Печать высокая. Объем 12,6 усл. печ. л. 12,70 уч.-изд. л. Тираж  
10 000 экз. Зак. 375. Цена 45 коп.

Издательство «Высшая школа», Москва, К-51, Неглинная ул.,  
д. 29/14

Московская типография № 8 Союзполиграфпрома  
при Государственном комитете СССР  
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.  
Хохловский пер., 7