

ББК 31.264

3-17

УДК 621.316.36(075)

Рецензенты:

Кафедра электроаппаратов Чувашского государственного университета (зав. кафедрой доц., канд. техн. наук *В. А. Борисов*).

Гл. инженер опытного завода ВЭИ *В. В. Попов*.

Зайцев И. В.

3-17 Технология электроаппаратостроения: Учеб. пособие для вузов. — М.: Высш. школа, 1982. — 215 с., ил.

В пер.: 70 к.

В учебном пособии изложены основы технологии изготовления некоторых элементов и сборочных единиц электрических аппаратов. Даны краткие сведения о материалах, приспособлениях, инструментах, оборудовании, о технологической документации и организации производства электрических аппаратов.

Предназначается для студентов вузов, обучающихся по специальности «Электрические аппараты»; может быть полезно инженерам, занимающимся разработкой технологии производства электроаппаратов.

3 $\frac{2302030000-112}{001(01)-82}$ 83-82

ББК 31.264
6П2.1.082

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая книга является учебным пособием по курсу «Технология электрических аппаратов». Объем и содержание пособия соответствуют программе этого курса в высших учебных заведениях по специальности «Электрические аппараты».

Производство электрических аппаратов включает в себя изготовление деталей и сборочных единиц самых разнообразных конструкций и габаритов.

В настоящее время по технологии электрических аппаратов для специальности «Электрические аппараты» имеется книга *П. В. Сахарова* «Технология электроаппаратостроения», выпущенная издательством «Энергия» в 1965 г. Со времени ее написания произошли существенные изменения в технологии производства электрических аппаратов, а также появились новые технологические направления. Поэтому выявилась необходимость в написании учебного пособия по технологии электрических аппаратов, отражающего технические задачи 80-х годов.

В учебном пособии «Технология электроаппаратостроения» рассмотрены разнообразные технологические процессы: металлообработка резанием и давлением; литье деталей с применением различных методов; электро- и газовая сварка, контактная сварка, изготовление цилиндрических, спиральных и плоских пружин, а также деталей и сборочных единиц с использованием пластических и эпоксидных компаундов; изготовление и сборка контактных соединений, магнитопроводов; армирование изоляторов; намотка и электромонтаж электротехнических изделий; описана технология создания печатного электромонтажа. Кроме того, даны примеры проведения сборки электроаппаратов.

Для пояснения того или иного технологического процесса употреблены различные термины и определения в соответствии с современными ГОСТами; приведены схемы, таблицы и расчеты, необходимые при изучении курса «Технология электрических аппаратов».

При написании пособия использован производственный опыт автора по технологии электрических аппаратов, а также современные достижения науки и техники в этой области.

Автор благодарен заведующему кафедрой электрических аппаратов Чувашского государственного университета доц. *В. А. Борисову* и гл. инженеру Опытного завода ВЭИ *В. В. Попову* за полезные замечания, сделанные ими при рецензировании рукописи.

Пожелания и замечания, направленные на улучшение этого издания, просим направлять в издательство «Высшая школа» по адресу: Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14.

Автор

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ И ЕГО ПРОЕКТИРОВАНИИ

§ 1.1. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПРОЦЕСС И ЕГО СОСТАВЛЯЮЩИЕ

Производственным процессом называют совокупность операций на данном предприятии, в результате которых из полученных материалов и полуфабрикатов создаются готовые изделия (электроаппараты). Производственный процесс предприятия включает в себя не только основные технологические процессы, связанные непосредственно с изготовлением промышленных изделий, но и все необходимые вспомогательные процессы — ремонт оборудования, приобретение материалов и полуфабрикатов, внутризаводскую транспортировку и др.

Технологическим процессом называют часть производственного процесса, непосредственно связанную с изготовлением деталей и их сборкой.

Операцией называют законченную часть технологического процесса, выполняемую над данной деталью (или группой деталей) на одном рабочем месте одним исполнителем (или группой исполнителей). Операции — основные элементы технологического процесса; они служат отправными началами для составления калькуляции, планирования и загрузки производства. Название технологических операций дают обычно по виду обработки, например: токарная, фрезерная, пропитка, электромонтажная и т. п.

Переходом называют часть технологической операции, при которой обрабатывается один или несколько участков поверхности детали одним и тем же инструментом (или группой инструментов). При обработке деталей резанием переход можно разделить на проходы.

Проходом называют часть перехода, связанного со снятием слоя металла при неизменном положении обрабатываемой поверхности и инструмента и настрое станка.

Процесс обработки деталей резанием делят на следующие операции: *установ* — часть операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемой детали; *позиция* — часть операции, выполняемая при различных положениях заготовки относительно станка при одном ее установе.

Виды электроаппаратных предприятий. Различают три типа предприятий: массовое, серийное и единичное.

Массовое предприятие — такое предприятие, в котором изделия изготовляют непрерывно поточным методом при непрерывном поступлении деталей и сборочных единиц для сборки их на конвейере. При непрерывно поточном методе время, затрачиваемое на каждую

операцию, равно или кратно такту (ритму), представляющему собой промежуток времени между выпуском двух следующих друг за другом обработанных деталей [1]:

$$\tau = F/\omega, \quad (1.1)$$

где F — действующий фонд рабочего времени на календарную единицу времени (год, месяц, день), мин; ω — производственная программа по данному изделию на ту же календарную единицу.

Массовое предприятие характеризуется установившимся объемом и видом работ на рабочих местах, расположением рабочих мест по технологической последовательности, широким применением специальных высокопроизводительных станков и оборудования, приспособлений и инструментов, высокой степенью взаимозаменяемости деталей и отсутствием ручных и подгоночных операций при сборке.

Серийное предприятие характеризуется тем, что на большинстве рабочих мест последовательно обрабатывают партии (серии) различных деталей и вместе с тем станки и оборудование периодически переналаживают с одной операции на другую. Для серийного предприятия характерно применение более универсальных станков и оборудования, приспособлений и инструментов.

Единичное предприятие характеризуется выпуском изделий в одном или нескольких экземплярах. Основные особенности единичного предприятия: широкая и разнообразная номенклатура изготавливаемых изделий, отсутствие заранее обусловленной повторяемости операций на рабочих местах, широкая универсальность оборудования, приспособлений и инструментов, высокая квалификация рабочих.

§ 1.2. ТЕХНИЧЕСКАЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА К ВЫПУСКУ НОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

В объем технической подготовки к выпуску нового изделия входит: конструкторская разработка нового изделия и разработка технологического процесса для его изготовления.

Конструкторская разработка состоит из двух этапов: эскизного и технического проектирования.

Эскизное и техническое проектирование производят в соответствии с техническим заданием, в котором указывают назначение нового изделия (электроаппарата), технические требования и план выпуска. После утверждения технического задания приступают к конструкторской разработке нового изделия.

В процессе эскизного проектирования проводят необходимые расчеты по принятой принципиальной схеме изделия. По чертежам эскизного проектирования изготавливают макет изделия, а после его испытания составляют проект технических условий.

На стадии эскизного проектирования создают техническую документацию в следующем объеме: чертежи и схему изделия, технические условия, экономическое обоснование и эффективность изделия при его эксплуатации. Эскизный проект представляют заказчику на согласование и утверждение, после чего приступают к техническому проектированию.

Технический проект разрабатывают на основе материалов эскизного проекта и дальнейшего экспериментирования. В процессе технического проектирования дорабатывают чертежи на изделие и уточняют технические условия. Техническое проектирование заканчивают составлением пояснительной записки с приложением чертежей и схем.

оборудования; составление карты технологической оснащенности, по которой планируется изготовление оснастки.

В объем разработки технологической документации входят: технологические карты, инструкции, ведомости норм расхода материалов и нагрузки оборудования. Технологические карты (маршрутные и операционные) основной документ технологического процесса. В маршрутной карте по ГОСТ 3.1105—74 форма 2 описывается процесс обработки детали или сборки изделия с начала его изготовления и до конца; устанавливается последовательность обработки деталей по участкам и цехам с указанием обработки на каждом рабочем месте без разбивки технологических операций на переходы; указывается необходимое оборудование, рабочий и измерительный инструмент — разряд работы и нормы времени. Маршрутные карты применяются в единичном производстве.

Операционные карты по ГОСТ 3.1404—74 форма 2 применяются в серийном и массовом производствах. В карте приводятся сведения о порядке обработки детали на одном рабочем месте данной технологической операции, необходимом оборудовании, приспособлениях, рабочем и измерительном инструментах, нормах времени и разрядах работы; даются эскизы обрабатываемой детали с указанием мест обработки.

Технологические карты сборки применяются при оформлении технологических процессов на слесарно-сборочные работы сборочных единиц и изделия в целом. К технологическим картам иногда разрабатывают технологические инструкции на процессы, которые невозможно описать в принятой форме технологических карт (маршрутной, операционной). Технологические инструкции являются дополняющими технологическими документами к маршрутной и операционной картам.

§ 1.3. ТИПИЗАЦИЯ И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Для ускорения технологической подготовки производства и сокращения затрат на разработку технологии в производстве применяют типовые технологические процессы, сущность которых состоит в том, что детали, подлежащие изготовлению по конструктивным и технологическим признакам, разбивают на классы (класс втулок, дисков, магнитопроводов, обмоток и т. д.). Классы, в свою очередь, разбивают на группы, а группы — на подгруппы.

Детали, имеющие общие признаки (например, гладкие оси или оси с ступами, тороидальные магнитопроводы), отличающиеся только своими размерами, относят к одному типу. Для каждого типа деталей разрабатывают типовой технологический процесс, на основании которого составляют операционные технологические карты на обработку деталей данного типа.

Применение готовых типовых технологических процессов устраняет необходимость разработки технологических процессов на пов-

творяющиеся в производстве детали или сборочные единицы и исключает разнообразие методов обработки однотипных деталей и сборочных единиц, уменьшая тем самым переналадки оборудования.

Типизация технологических процессов находит применение в крупносерийном и массовом производстве, а в отдельных случаях и в единичном производстве, например, при изготовлении магнитопроводов, катушек и прессованных деталей из пластических масс.

Экономический анализ при проектировании технологических процессов предусматривает такие технологические решения, которые обеспечивают изготовление изделий с минимальной технологической себестоимостью и требуемым качеством. Технологическая себестоимость — часть полной себестоимости, зависящей от принятого варианта технологического процесса. Технологическая себестоимость единичной детали [2]

$$C_1 = \alpha + b/N_{\text{год}}, \quad (1.2)$$

а технологическая себестоимость деталей, производящихся в объеме годовой программы, [2]

$$C_{N_{\text{год}}} = N_{\text{год}}(\alpha + b), \quad (1.3)$$

где $N_{\text{год}}$ — заданная годовая программа выпуска; α — текущие затраты на одну деталь, а b — единовременные затраты на годовую программу, определяемые из выражений:

$$\alpha = m + l_m + P; \quad b = l_{\text{п.з}} + ik.$$

Здесь m — затраты на основные материалы и технологическое топливо; l_m — заработная плата производственных рабочих; $l_{\text{п.з}}$ — заработная плата наладчиков оборудования; P — расходы, связанные с эксплуатацией оборудования стандартных приспособлений и инструментов, а также вспомогательных материалов; i — стоимость специальных инструментов и приспособлений, необходимых для выполнения годовой программы; k — коэффициент амортизации, учитывающий срок службы оснастки и расходы, связанные с ее эксплуатацией, в том числе и ремонтом; $k = 0,2 \div 0,4$ — коэффициент для сложной оснастки.

Затраты на основные материалы

$$m = C_m q_m - C_o q_o, \quad (1.4)$$

где C_m — стоимость единицы материала; q_m — норма расхода материалов на одну деталь; C_o — стоимость единицы отходов; q_o — масса всех отходов на одну деталь (заготовку).

Заработная плата производственным рабочим [2]

$$l_m = \sum_1^n T_{\text{ш}} S, \quad (1.5)$$

где $T_{ш}$ — норма штучного времени, ч; S — часовая тарифная ставка по данной квалификации и профессии; n — число операций.

Заработная плата наладчиков [2]

$$L_{н.з} = T_{н.з} S r, \quad (1.6)$$

где $T_{н.з}$ — норма подготовительно-заключительного времени, ч; r — число переналадок оснастки в год.

В расчет технологической себестоимости входят все прямые затраты и затраты по приведенным статьям. Таким образом, технологическая себестоимость единичной детали [27]

$$C_1 = C_m q_m - C_o q_o + \sum_1^n T_{ш} S + T_{н.з} S r / N_{год} + P + ik / N_{год}. \quad (1.7)$$

Оценка выбранного технологического процесса по себестоимости детали. Уравнение (1.3) для определения себестоимости деталей в объеме годовой программы можно представить прямой (рис. 1.1),

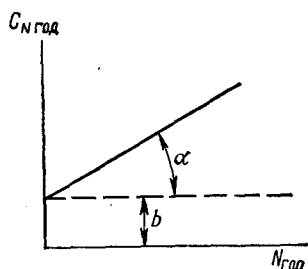


Рис. 1.1. График зависимости технологической себестоимости от годового выпуска

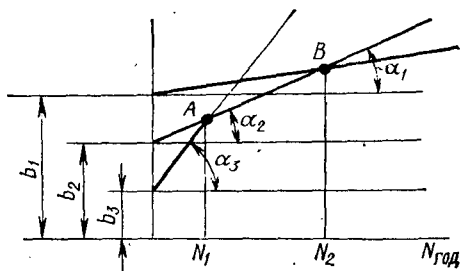


Рис. 1.2. График оптимальной технологической себестоимости годового выпуска

отсекающей на оси ординат отрезок b , характеризующий величину единовременных затрат на годовую партию. По положению этой прямой видно, что на наклон прямой оказывает влияние переменная α ; поэтому чем больше текущие затраты, тем больше угол α .

На графике (рис. 1.2) приведены три варианта технологической себестоимости; прямая под углом α_3 пересекается с прямой под углом α_2 в точке A , определяющей величину партии N_1 .

При увеличении партий технологический вариант с текущими затратами α_3 становится менее эффективным, чем вариант с текущими затратами α_2 . Прямая под углом α_2 пересекается с прямой под углом α_1 в точке B , определяющей партию N_2 , с увеличением которой технологический вариант с текущими затратами α_2 менее выгоден, чем вариант с текущими затратами α_1 .

Таким образом, решение задачи выбора более выгодного технологического варианта сводится к определению величины партии,

при которой технологическая себестоимость двух сравниваемых вариантов становится равноценной.

Величина критической партии [2]

$$C'_{N_{\text{год}}} = C''_{N_{\text{го}}} \text{ или } \alpha_1 N_{\text{год}} + b_1 = \alpha_2 N_{\text{год}} + b_2,$$

откуда

$$N_{\text{год}} = (b_2 - b_1) / (\alpha_1 - \alpha_2). \quad (1.8)$$

§ 1.4. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭСТЕТИКЕ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

На техническую эстетику, или художественное конструирование, в нашей стране указал еще В. И. Ленин. За его подписью от 25 декабря в 1920 г. вышло постановление Совета Народных Комиссаров об учреждении высших художественных мастерских с целью подготовки художников-мастеров высшей квалификации для промышленности [3]. Успешно начатая деятельность по художественному конструированию промышленных изделий была прервана Великой Отечественной войной. В послевоенные годы специальным Постановлением Совета Министров СССР была создана система научно-исследовательских организаций по технической эстетике и конструкторских бюро, на которые возлагалось широкое внедрение методов художественного конструирования в промышленности.

В настоящее время перед художниками-дизайнерами стоят серьезные задачи, так как эстетические показатели приобретают все большее значение в комплексной оценке качества промышленных изделий. Поэтому при проектировании промышленных изделий необходимо учитывать не только их служебное назначение, а также и их художественный вид. В связи с этим проектирование новых промышленных изделий должно проводиться в тесном контакте конструктора, технолога и художника-дизайнера.

Окончательное композиционное решение любого промышленного изделия должно быть принято из взаимосвязанных объективных факторов, исключающих тенденцию ложного оформительства в угоду создания формы, приводящей иногда к неоправданным дополнительным издержкам в производстве.

Техническая эстетика должна оказывать также влияние на организацию производственных процессов изготовления промышленных изделий, отражая следующие направления: размещение оборудования и рабочих мест, рациональное освещение рабочих мест, выработку рекомендаций по созданию требуемых санитарно-климатических условий, а также по устранению вредно-шумовых фонов данного производства. Для решения этих вопросов используются научные основы технической эстетики [3] и технологические принципы данного производства.

ОСНОВЫ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА С ПРИМЕНЕНИЕМ СРЕДСТВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

§ 2.1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭВМ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Важнейшими задачами отечественной промышленности, в том числе и электроаппаратостроения, являются: рост темпов развития, повышение производительности труда и качества изготавливаемых изделий. Эти задачи невозможно решить за счет мобилизации внутренних ресурсов предприятия. Необходимо современное комплексное решение научных, технических и организационных проблем, основанных на автоматизации любого труда с применением электронной вычислительной техники.

На электроаппаратных заводах технологическая подготовка производства (ТПП) при обычном ручном проектировании, проводимая по методике, определяемой разработчиком, — весьма длительный и трудоемкий процесс. Поэтому для улучшения качества разработки технологических документов, сокращения сроков и снижения стоимости технологической подготовки при проектировании технологических процессов целесообразно использовать средства вычислительной техники.

Наибольший эффект при решении многих технологических задач с использованием электронно-вычислительных машин (ЭВМ) достигается при автоматизации проектирования технологических процессов (АПТ) [28] с учетом коренной организационно-производственной перестройки служб предприятия, базирующихся на унификации технологических решений, типовых технологических процессов. При этом необходимо отметить, что приведенные принципы технологической подготовки производства регламентированы согласно ГОСТ «Единой системы технологической подготовки производства» (ЕСТПП).

Согласно установившейся терминологии, под *автоматической подготовкой технологии (АПТ)* понимают такую организацию разработки технологических процессов, при которой технологическая операционная карта автоматически выдается ЭВМ через несколько минут после ввода в нее исходной информации по конкретной детали.

Технологический процесс, разрабатываемый технологом, обычно создается на опыте и профессиональном мастерстве разработчика в данной области. Разработку технологического процесса можно представить следующей схемой. При известной разработчику заго-

товке (вид ее и размеры) оформляют маршрутный технологический процесс с указанием проведения операций и последовательности их выполнения с учетом обрабатываемого материала, габаритных размеров заготовки, ее конфигурации, точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей и др., а затем каждую операцию разбивают на переходы, назначают режимы резания, выбирают приспособления и оборудование и др. Следует отметить, что ЭВМ можно использовать для определения режимов резания только в том случае, если зависимости заданы аналитически.

ЭВМ способны выполнять ряд логических операций, основанных на простейших арифметических действиях. Так, по определенной команде путем вычитания производится сравнение по величине двух чисел, записанных по двум адресам; при этом анализируется знак разности. Результаты сравнения обычно не фиксируются и отдельной ячейки памяти не занимают, так как эта операция производится перед командой условного перехода, чтобы в зависимости от результата сравнения перейти к нужному участку программы, направив ход решения задачи по соответствующему пути. Использование операции сравнения и команды условного перехода лежит в основе методики машинного решения ряда логических задач.

Чтобы создать пригодный для машины алгоритм автоматического проектирования технологических процессов, необходимо: проанализировать весь ход работы технолога; составить рациональный план последовательного выполнения большого количества элементарного действия по проектированию технологического процесса, в пределах которого определяемые параметры однозначно зависят от соответствующих исходных данных, причем эти зависимости могут быть в виде логических условий, формул или таблиц. После этого процесс проектирования технологического процесса можно свести к последовательному решению большого количества элементарно простых логических задач. Так, в алгоритме проектирования маршрутного технологического процесса для деталей типа втулок и др., разработанного на заводе «Большевик» [28], предусмотрено назначение одного из трех вариантов отрезка в зависимости от диаметра заготовки $D_{\text{заг}}$ (мм):

- 1) при $D_{\text{заг}} < 22$ — отрезка на пресс-ножницах;
- 2) при $22 \leq D_{\text{заг}} \leq 50$ — отрезка на токарном станке;
- 3) при $D_{\text{заг}} > 50$ — отрезка на отрезной пиле.

Значит, в соответствии с алгоритмом, ЭВМ, произведя анализ величины диаметра конкретной заготовки, выберет один из трех вариантов отрезка, заложенных в ее память, и выведет на печать в операционную карту соответствующий, заранее подготовленный текст операции. В этом же алгоритме в зависимости от конфигурации и размеров заготовки используются четыре стандартные подпрограммы — четыре групповые револьверные наладки, а для получения резьбы предусмотрены три различные операции: накатывание, нарезание на болторезном станке и резьбофрезерование.

Таким образом, сама машина не проектирует и не разрабатывает, а только выполняет заданную ей программу. Качество техноло-

гического процесса полностью зависит от технологов, разрабатывающих алгоритм. При этом надо иметь в виду, что алгоритм получается наиболее простым в том случае, если он предназначен лишь для некоторой классификационной общности деталей производства.

§ 2.2. КОДИРОВАНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ТЕХНОЛОГИИ

Перед автоматическим проектированием технологического процесса конкретной детали в память ЭВМ вводят необходимую исходную информацию ввода, которую подразделяют на переменную и условно постоянную. Переменная часть исходной информации характеризует конструкторско-технологические параметры и особенности конкретной детали, на которую должен быть разработан технологический процесс. Условно постоянная исходная информация содержит табличные данные, хранящие сведения об имеющемся оборудовании, технологической оснастке, инструментах, унифицированных наладках, а также математические зависимости, используемые, например, при расчетах режимов резания и пр.

Описанная информация заранее вводится в память машины и хранится там на магнитной ленте вместе с программой АПТ.

На практике применяют две системы кодирования исходных данных: систему, использующую табличное представление информации, и систему, использующую специальные формализованные языки. При использовании первой системы кодирования исходные данные по конкретной детали снимаются с ее чертежа и в строго определенной последовательности переносятся в кодировочную ведомость.

На каждый вид обработки или замерений составляется определенный код, например: термообработка, шкалы твердости, покрытия, обработка поверхностей и др., которые заносятся в соответствующие графы. Система кодирования с применением формализованного языка в основном используется при автоматической разработке программ обработки сложных деталей на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) [27].

Технологический процесс на конкретную деталь разрабатывается машиной в такой последовательности. На основе анализа исходных данных для конкретной детали назначается первая операция. Затем происходит обращение к подпрограммам назначения путем выбора режущего, вспомогательного и измерительного инструментов, приспособлений, а также к подпрограммам по нормированию назначенной операции.

Подготовленный текст описания первой операции через устройство вывода ЭВМ выводится на печать и выбирается вторая операция и т. д. Когда технологический процесс для одной детали закончен, происходит автоматический ввод переменных исходных данных для следующей детали и цикл повторяется. Готовые операционные карты выдаются машиной в одном экземпляре, которые поч-

ти не отличаются от обычных операционных карт, заполненных вручную без операционных эскизов. Обычно операционные карты, получаемые с машины, подвергаются визуальному контролю с последующим вычерчиванием в них операционных эскизов.

Таким образом, при автоматической разработке технологического процесса на конкретную деталь необходимо определить по классификатору принадлежность детали и записать шифр в кодировочную ведомость; кодировать чертеж, т. е. перенести исходные данные из кодировочной ведомости на перфоленту; ввести в машину перфоленты с исходными данными и получить готовую операционную карту на обработку заданной детали.

ГЛАВА 3

ТЕХНОЛОГИЯ РЕЗКИ ЗАГОТОВОК

§ 3.1. РЕЗКА ЗАГОТОВОК ИЗ ПРОФИЛЬНОГО ПРОКАТА

Заготовительные технологические операции выполняются на специализированном оборудовании в зависимости от вида и габаритных размеров заготовок с учетом свойств металлов, подлежащих резке на заготовки. Заготовки, получаемые резанием из сортового металла в виде прутков круглой, квадратной и шестигранной формы, должны иметь общий припуск на обработку, подлежащий в дальнейшем удалению при механической обработке детали, заданной чертежом.

Кроме общего заготовки имеют операционный припуск, слой металла, удаляемый при выполнении одной операции. Отсюда следует, что общий припуск на обработку представляет собой сумму операционных припусков, зависящих от материала, размеров и конструктивных форм детали. Припуски на обработку должны обеспечивать получение детали заданных размеров и быть минимальными во избежание перерасхода металла и уменьшения трудоемкости изготовления при последующей механической обработке.

Для резки заготовок из сортового проката применяются ленточные станки и отрезные автоматы (рис. 3.1).

Резка на ленточно-отрезном станке. Пруток из сортового металла, подлежащий резке на заготовки, зажимается в тисках 3 ленточно-отрезного станка (рис. 3.1, а). Пильной раме 2 сообщается движение подачи, а ленте 1 — движение резания. В конце рабочего хода пильная рама возвращается в исходное положение для подготовки к следующему циклу. Ленточно-отрезные станки предназначены для резки заготовок из черных и цветных металлов в полуавтоматическом и автоматическом циклах со скоростью резания от 10 до 150 м/мин. Режимы резания приведены в табл. 3.1.

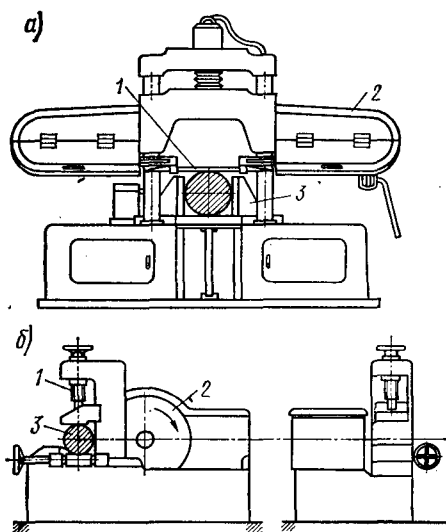


Рис. 3.1. Резка заготовок на станках из профильного проката

Таблица 3.1

Материал или вид заготовки	Число зубьев пилы при резке заготовок толщиной, мм		Скорость движения ленточной пилы (м/мин) при резке заготовок толщиной, мм	
	13—25	25—51	13—25	25—51
Сталь:				
конструкционная	14	10	53	46
хромоникелевая	14	10	30	26
молибденовая	14	10	38	30
вольфрамовая	14	10	26	18
быстрорежущая	14	10	30	23
нержавеющая	14	10	18	15
Бронза:				
литая	10	8	56	33
кованая	14	10	56	38
Медь	10	8	76	68
Латунь	8	8	76	76
Алюминий	8	6	76	76

Резка на отрезном круглопильном автомате. Отрезной автомат типа 8В66А (рис. 3.1, б) предназначен для резки черных и цветных металлов в виде прутков диаметром до 240 мм и двутаврового проката до 300 мм. Автомат может работать в автоматическом режиме. Пруток металла 3 зажимается в тисках 1 и круглопильным диском 2 заготовка отрезается по заданному режиму и скатывается вниз по наклонной плоскости станины автомата. Система с пильным диском после отрезки заготовки автоматически возвращается в исходное положение для подготовки к следующему циклу резки.

Скорость резания на автомате (м/мин)

$$v = c_v D \cdot 0,25 / (T \cdot 0,2h \cdot 0,3B \cdot 0,2s_z \cdot 0,2z \cdot 0,1), \quad (3.1)$$

где $c_v = 90$; $c_v = 72$; $c_v = 450$ — коэффициенты для резки углеродистой стали, нержавеющей стали, дюралюминия; D — диаметр пильного диска, мм; h — высота пропила диска, мм; B — ширина пильного диска, мм; T — стойкость пильного диска, мин; s_z — подача на зуб, мм; z — число зубьев пильного диска.

Мощность (кВт), необходимая при резании автоматом [4],

$$N = 3,5 \cdot 10^{-5} n z h \cdot 0,8 B s_z \cdot 0,72 D^{0,14}, \quad (3.2)$$

где n — число оборотов пильного диска, с⁻¹.

Основное машинное время на отрезку единицы заготовки (мин)

$$T_0 = L / s_n = (l + l_1) / s_n, \quad (3.3)$$

где L — перемещение пильного диска в направлении подачи, мм; l — длина сечения разрезаемого металла в направлении подачи, мм; l_1 — длина на врезание и перебег, мм; s_n — подача пильного диска, мм/с.

§ 3.2. РЕЗКА ЗАГОТОВОК ИЗ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА

Резка заготовок из тонколистового проката толщиной 0,3—12 мм обычно выполняется на гильотинных ножницах, работающих по схеме, изображенной на рис. 3.2. Лист проката, подлежащий разрезке на полосы нужной ширины, помещается на стол ножниц 1 и перемещается до упора 3, положение которого от подвижного ножа 2 определяет ширину отрезаемой полосы-заготовки. При включении ножниц подвижной нож 2, перемещаясь по направлению неподвижного ножа 4, отрезает полосу заготовки с последующим повторением приведенных операций.

На гильотинных ножницах по приведенной схеме режутся заготовки полос из электротехнических сталей для штамповки пластин магнитопроводов, используемых в трансформаторах, дросселях, электромагнитах, а также любые другие заготовки из листового проката, применяемые в производстве аппаратов.

Усилие (H), необходимое при резке заготовок на гильотинных ножницах [4],

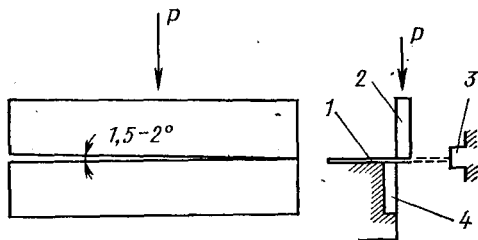


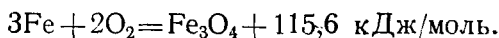
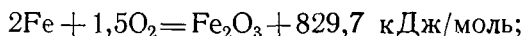
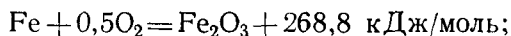
Рис. 3.2. Резка заготовок ножницами из листового проката

$$P = (s^2 / \operatorname{tg} \varphi) \tau_{\text{ср}}, \quad (3.4)$$

где s — толщина заготовки, мм; $\varphi = 1,5 \div 2^\circ$ — угол створа между ножами; $\tau_{\text{ср}}$ — сопротивление срезу, Па.

Листовой прокат при толщине более 12 мм из углеродистых и нержавеющей сталей, меди и ее сплавов, а также алюминиевых сплавов режется на заготовки с использованием газовой (кислородной) и плазменно-дуговой резки.

Резка заготовок из толстолистовых малоуглеродистых сталей. Процесс газовой (кислородной) резки основан на сгорании, т. е. на интенсивном окислении металла в струе кислорода с принудительным удалением этой струей образующихся окислов. Малоуглеродистая сталь сгорает при резке в кислороде по реакции [5]



Приведенный способ резки возможен при температуре плавления стали 1500°С и при ее воспламенении в струе кислорода при температуре 1300—1350°С. Подобные температурные значения имеют низкоуглеродистые стали. Поэтому их режут ацетилено-кислород-

ным пламенем, имеющим температуру плавления до 1500—1600° С с использованием газового резака.

Процесс резки заготовок из толстолистового проката выполняется на стенде (рис. 3.3) с использованием ацетилено-кислородного пламени или газoeлектрической плазменной дугой в зависимости от марки металла. Лист проката 7 на тележке 9 подкатывается по рельсам 10 к насадку (отсосу) 6. В случае ручной резки размечают контур заготовок. После этого вырезают заготовки, а выделяющиеся при этом газы и шлаковые брызги из отсасывающего насадка 6 удаляют по воздуховодам 1, 5 центробежным вентилятором 2 в циклон 3, где вследствие потери скорости шлаковые частицы газовой смеси оседают в циклоне, а очищенный воздух выбрасывается по трубопроводу 4 в атмосферу.

После разрезки площади листа, находящейся над отсасывающим насадком 6, удаляют отрезанные заготовки, а остальную часть листа по роликам 8 тележки 9 подкатывают в зону расположения насадка 6 и процесс резки повторяется.

Следует отметить что при прямолинейной резке резак наклоняют от вертикали в сторону, обратную резу на угол 20—30°, удаляя тем самым жидкие шлаки струей кислорода с передней кромки реза. Иногда перед резкой заготовок предварительно подогревают лист газовой горелкой.

Температура подогревания [5]

$$T_{\text{под}} = 500 \sqrt{C_{\text{экв}} (1 + k\delta) - 0,45}, \quad (3.5)$$

где $C_{\text{экв}}$ — эквивалент, при котором возможна резка без подогрева; $k=0,0002$ — коэффициент, учитывающий толщину разрезаемого листа; δ — толщина листа стали, мм.

При грубой разделительной резке скорость резания (мм/с) подсчитывают по эмпирической формуле

$$\omega = 16,6/\tau \text{ или } \omega = 100/\tau, \quad (3.6)$$

где $\tau = (1,25—0,025)\delta$ — продолжительность резки, мин.

При резке фасонных и точных заготовок скорость резания уменьшается на 20%, а при чистовой машинной прямолинейной и фасонной резке — на 30% по сравнению с грубой разделительной резкой.

Резка заготовок из листовых высокоуглеродистых легированных сталей. В настоящее время разделительную резку сталей выполняют газoeлектрической плазменной дугой 1 (рис. 3.4), температура горения которой достигает 10 000° С, создавая при этом мгновенное плавление и частичное испарение металла и его окислов с выносом продуктов плавления из зоны реза. При этом способе резки разрезаемый металл 3 подсоединяется к положительному, а электрод 2 к отрицательному полюсу источника постоянного тока. При резке электрическая дуга между металлом и электродом образует анодное пятно, направленное соосно с дугой, создавая при этом поток высокотемпературного ионизированного газа (плазмы); при этом металл плавится и выносятся из зоны реза с непрерывным заглублением в разрезаемый металл.

При резке интенсивность выплавления металла проникающей дугой

$$g = (\eta / u - q_m) / (C_{пл} T_{пл} - c_0 T_0 + \alpha), \quad (3.7)$$

где I — ток, А; u — напряжение на дуге, В; $\eta = q_m / (Iu)$ — КПД нагрева электрической дугой; q_m — количество теплоты, отводимое в массу металла, Дж/с; $T_{пл}$, T_0 — температура плавления горячего и

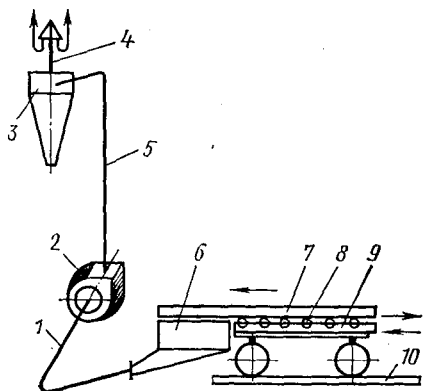


Рис. 3.3. Резка заготовок с использованием кислородно-ацетиленового пламени

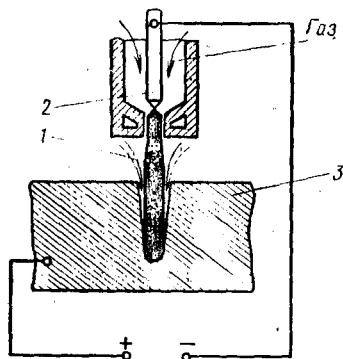


Рис. 3.4. Схема электроплазменной резки

холодного металла, К; $c_{пл}$, c_0 — теплоемкости при этих температурах, Дж/(кг·К); α — теплота плавления металла, Дж/кг.

Скорость резания проникающей дугой

$$\omega = [\rho (\eta / u - q_m)] / [\delta b (c_{пл} T_{пл} - c_0 T_0 + \alpha)], \quad (3.8)$$

где ρ — плотность разрезаемого металла, кг/м³; δ — толщина металла, м; b — ширина реза, м.

При резке легированных сталей толщиной листа до 60 мм для плазменной резки применяют источник питания постоянного тока от 90 до 130 В, а при толщинах 300—400 мм — источник питания при напряжении 300 В с соответствующим блокирующим устройством, исключающим поражение током резчика.

Плазменную резку проводят с использованием защитных газов: аргона, азота, водорода и гелия, но в основном используют аргон или азот. Защитный газ поступает соосно с вольфрамовым электродом 3 (рис. 3.5), омывая и защищая его

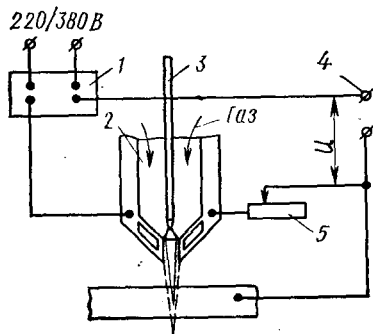


Рис. 3.5. Схема электропитания плазменной резки (плазмотрона)

от окисления. Оборудование плазменной резки состоит из горелки 2, пульта управления 1, источника питания 4 при напряжении и переменного сопротивления 5 и газовых баллонов с соответствующим защитным газом.

Рекомендуемые режимы резания приведены в табл. 3.2 [5].

Таблица 3.2

Толщина разрезае- мой стали, мм	Диаметр сопла горелки, мм	Ток, А	Расход газа, м³/ч					Скорость резания, м/ч
			аргон	азот	водород	воздух	кисло- род	
10	4	350	0,5	—	2,5	—	—	80
10	3	300	—	—	—	4	—	180
10	5	500	—	1	—	—	3	280
20	4	350	0,5	—	2,5	—	—	50
20	5	500	—	1	—	—	3	100
30	4	350	—	0,5	2,5	—	—	30
50	4	350	0,5	—	2,5	—	—	15
100	4	350	0,5	—	2,5	—	—	6

Резка заготовок из меди, алюминия и их сплавов. Заготовки из меди, алюминия и их сплавов разрезают плазменно-дуговой резкой, при которой температура достигает 10 000° С. Под воздействием высокой температуры в зоне реза создается мгновенный нагрев и плавление металла (меди), при которых высокая теплопроводность меди, препятствующая концентрированному нагреву, особенно не проявляется; возможна резка медного проката толщиной до 200 мм, что невыполнимо резкой ацетилено-кислородным пламенем, имеющим температуру 1600—1700° С.

До разработки способов плазменно-дуговой резки алюминий никаким другим способом термической резки не подвергался. Попытка резки алюминия кислородно-флюсовым способом положительного результата не дала, так как при низкой температуре плавления алюминия газовый нагрев металла пламенем резака вызывал расплавление широкой полосы металла и приводил к некачественной резке с большой шириной реза с оплавленными кромками. При плазменно-дуговой резке алюминий и его сплавы хорошо режутся с малой шириной реза и без оплавления.

§ 3.3. МАШИНЫ ДЛЯ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОЙ РЕЗКИ

Газорежущие машины подразделяют на машины общего назначения и специализированные. Согласно ГОСТ 5614—74, имеются переносные и стационарные машины общего назначения для газовой (кислородной) резки стали и плазменно-дуговой резки высокоуглеродистых сталей и других металлов. В зависимости от способа резки ГОСТ устанавливает два исполнения машин: К — для газовой резки стали кислородной струей и Пл — для резки металлов плазменной дугой.

Переносные машины. Газорежущие переносные машины могут иметь приводы: электрический, пневматический и пружинный. ГОСТ предусматривает несколько типов переносных машин общего назначения: ПК-1, ПК-2, ПК-3, используемые для газовой резки низкоуглеродистых сталей, и машины ППл-1 (легкая); ППл-1 (тяжелая) — для плазменно-дуговой резки высокоуглеродистых сталей и сплавов меди и алюминия. Максимальная толщина разрезаемой стали газом с помощью переносных машин типа ПК достигает 65—300 мм, а максимальная толщина разрезаемых сталей, меди, алюминия и их сплавов с использованием машин типа ППл — 100—300 мм.

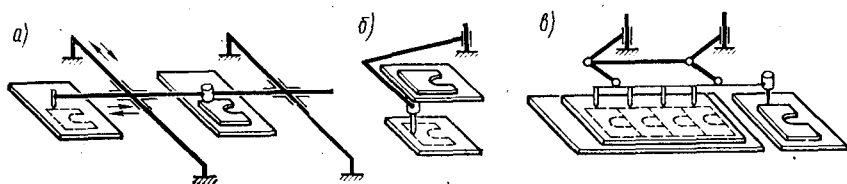


Рис. 3.6. Схемы стационарных машин разделительной резки

Стационарные машины. По конструкции стационарные машины общего назначения делят на прямоугольно-координатные, полярно-координатные (шарнирные) и параллелограммные (рис. 3.6). На прямоугольно-координатной машине вырезка заданной конфигурации заготовок достигается сочетанием двух взаимно-перпендикулярных в плоскости листа движений: движения каретки продольного хода и движения поперечной штанги (рис. 3.6, а). Машины этой конструкции дают возможность вырезать заготовки по контуру, производить прямоугольные резы под прямым углом или с наклоном резака при скосе кромок под сварку. Прямоугольно-координатные машины позволяют производить любые способы копирования при вырезке заготовок и обладают возможностью программного управления процессом резки.

В полярно-координатных машинах резак по заданному контуру перемещается с помощью шарнирной связи двух рам. Первая из рам шарнирно закреплена на неподвижной колонне, вторая, будучи шарнирно связанной с первой, имеет ведущий механизм, электромагнитную головку с копирным роликом и резак (рис. 3.6, б).

Параллелограммные машины представляют собой две соединенные шарнирные системы, каждая из которых имеет две шарнирно связанные фермы. Шарнирные системы соединены между собой двумя параллельными штангами одинаковой длины, в результате чего образуются два шарнирных параллелограмма (рис. 3.6, в). На внешней штанге, соединяющей концы наружных форм, установлена ведущая головка суппорта с резаками, совершая при работе машины вырезку большого количества одинаковых деталей (заготовок).

§ 3.4. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ

Схема устройства для лазерной резки (газолазерный резак) представлена на рис. 3.7. Излучение газолазерного резака осуществляет нагревание металла до точки воспламенения, а затем вступает

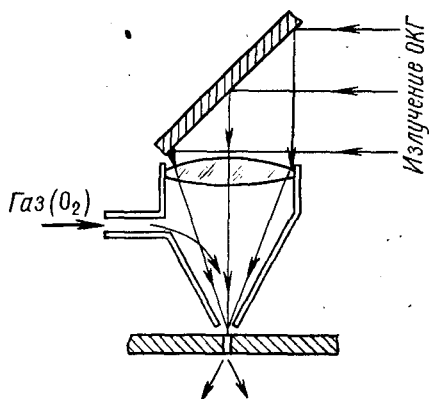


Рис. 3.7. Схема газолазерного резака

в действие экзотермическая реакция, обеспечивающая основной энергопровод. Этот способ позволяет с помощью лазера осуществлять резку листового металла значительной толщины с использованием при этом поддува кислорода O_2 .

Ширина реза, как правило, не превышает диаметра пятна излучения в фокальной плоскости фокусирующей системы. Зона термического влияния и изменения структуры материала незначительна вследствие высокой концентрации излучения и охлаждающего действия газовой струи, поступающей в газолазерный резак.

Поддув газовой струи в зону резания применяется и при резке электроизоляционных материалов толщиной до нескольких сантиметров.

В табл. 3.3 приведены скорости резания материалов различных толщин.

Таблица 3.3

Материалы	Параметры резки при различной мощности, Вт					
	107		250		850	
	толщина, мм	скорость, м/мин	толщина, мм	скорость, м/мин	толщина, мм	скорость, м/мин
Сталь:						
малоуглеродистая	1,0	1,6	0,5	3,635	2,2	1,8
нержавеющая	1,0	0,94	0,5	2,6	9,0	0,36
Титан	—	—	0,6	0,2	0,5	3,24
Фанера	—	—	—	—	6,5	5,22
Стекло	—	—	4,0	0,1	—	—
Кварц	1,2	0,5	—	—	—	—
Резина	2,0	1,9	—	—	—	—

На рис. 3.8 приведена принципиальная схема развертки луча оптического квантового генератора (ОКГ) — машины для профильной резки лазерным лучом металлических и неметаллических мате-

риалов. Луч ОКГ 1 зеркала 2, покрытого золотом, отклоняется на 90° и фокусируется через объектив 3 и сопло 4 в месте реза листа 5. Разрезаемый лист материала может перемещаться над соплом

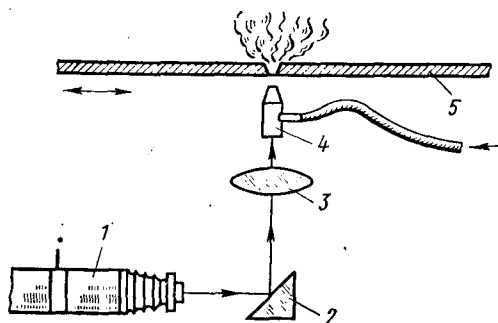


Рис. 3.8. Схема резки материалов на газолазерной установке

с помощью управляющего механизма, снабженного оптической следящей системой, которая обеспечивает резку с точностью $\pm 0,1$ мм по заданному профилю.

ГЛАВА 4

ТЕХНОЛОГИЯ ЛИТЬЯ

§ 4.1. ЛИТЬЕ В ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫЕ И ОБОЛОЧКОВЫЕ ФОРМЫ

В электрических аппаратах высокого напряжения (выключатели, замыкатели, разрядники и др.) используются литые детали — корпуса, основания, фланцы, стойки кронштейнов и др., геометрические размеры которых равны размерам готовых деталей с соответствующими припусками мест, требующих обработки металлорежущим инструментом. Величина припуска в значительной степени зависит от способа отливки (в землю, кокиль), принимаемая обычно согласно нормативным данным предприятия для соответствующего сплава, геометрических размеров деталей и точности обработки.

В настоящее время известны следующие основные способы литья: в песчано-глинистые, в оболочковые и металлические формы.

Литье в песчано-глинистые формы. Этот вид литья — давно известный способ получения отливок из различных сплавов. При этом способе литейная форма обеспечивает требуемую конфигурацию и точность отливки, воспринимает силовые нагрузки и тепловое воздействие заливаемого сплава и остывающей отливки с обеспечением требуемой шероховатости поверхности при отливке в землю.

В единичном и мелкосерийном производствах формы изготавливают вручную и выполняют следующие операции: набивку, извлечение модели, простановку стержней и сборку формы.

Земляную смесь в форму набивают с помощью набоек и пневмотрамбовок с учетом равномерного уплотнения формовочной смеси по всему объему формы. В процессе заливки формы расплавленным металлом для удаления воздуха и газов в верхней ее части делают наколы или предусматривают выпоры. Стержни в форме проставляют в последовательности, соответствующей порядковым номерам стержней по литейному чертежу. После этого полуформы обдувают воздухом и спаривают их с помощью направляющих и фиксирующих штырей. Во избежание подъема верхней полуформы и утечки сплава перед заливкой их скрепляют скобами, трубами или наложением груза.

На рис. 4.1 приведена схема литейной формы, предназначенная для заливки алюминиевым сплавом марки А1-9 с применением комбинированной литниковой системы. В начале заливки сплав поступает в нижнюю часть формы через литниковый канал 1, выполненный в стержне № 2. Продолжением литника является технологическая стяжка 2, предохраняющая отливку от коробления, благодаря которой достигается спокойное заполнение нижней полости формы по линии разреза. Затем сплав заливают через полукольцевой кол-

литор 5 и плоские широкие литники 4, соединенные с фланцем и заполняющие верхнюю часть формы. Утолщенный фланец охлаждается чугунными холодильниками 3, установленными в стержнях № 1 и 2. Стержень № 3 — оболочковый пустотелый; после простановки его внутреннюю полость заполняют сухим песком 7; массивные прибыли 6 обеспечивают подпитку верхних элементов отливки. Для улучшения вентиляции с целью удаления газов в форме сделаны наколы 8.

В производстве электрических аппаратов по приведенной схеме (рис. 4.1) могут быть отлиты детали, содержащиеся в высоковольтных выключателях: корпуса привода, главного клапана и др.

Литье в оболочковые формы. Литье в оболочковые формы — прогрессивный способ получения отливок с повышенной точностью по сравнению с отливками в земляные формы.

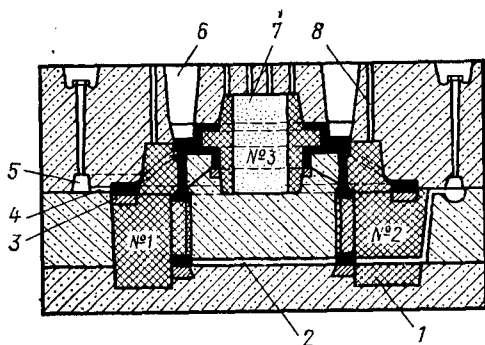


Рис. 4.1. Схема земляной литейной формы

Оболочковые формы (полуформы) (рис. 4.2) изготовляют из кварцевого песка, смешанного с pulverбакелитом от 3 до 9% в такой последовательности: металлическую плиту 1 с моделью 3 (рис. 4.2, а, б, верхняя полуформа), нагретую до 200—300° С, покрывают разделительной смазкой. Формовочную смесь 2 насыпают на модельную плиту (рис. 4.2, б) и выдерживают в течение 10—30 с; под воздействием теплоты полуформы смола размягчается, склеивая песчинки и образуя на полуформе полутвердую оболочку толщиной 6—20 мм. После удаления излишка смеси (рис. 4.2, в) оболочку вместе с модельной плитой помещают в печь (рис. 4.2, г), где при температуре 300—400° С выдерживают 2—3 мин. При этом смола полимеризуется, переходя в твердое необратимое состояние. Затем модельную плиту извлекают из печи. Твердая оболочка полуформы снимается с плиты специальным сталкивателем (рис. 4.2, д). Аналогичным образом изготовляют и нижнюю полуформу. Две полуформы соединяют между собой по плоскости разреза (рис. 4.2, е) и передают на заливку их металлом (рис. 4.2, ж). Оболочковые стержни изготовляют в металлических ящиках, так же как и оболочковые формы. Приведенная последовательность изготовления оболочковых полуформ осуществляется автоматически в специализированном агрегате.

В оболочковых формах можно получать отливки массой от 0,5 до 50 кг с шероховатостью поверхности по 4—6-му классам (ГОСТ 2789—73) и с точностью размеров по 5-му классу (ОСТ 1015). От-

ливки получают с уменьшенными припусками под механическую обработку в два-три раза по сравнению с отливками, получаемыми в земляных формах.

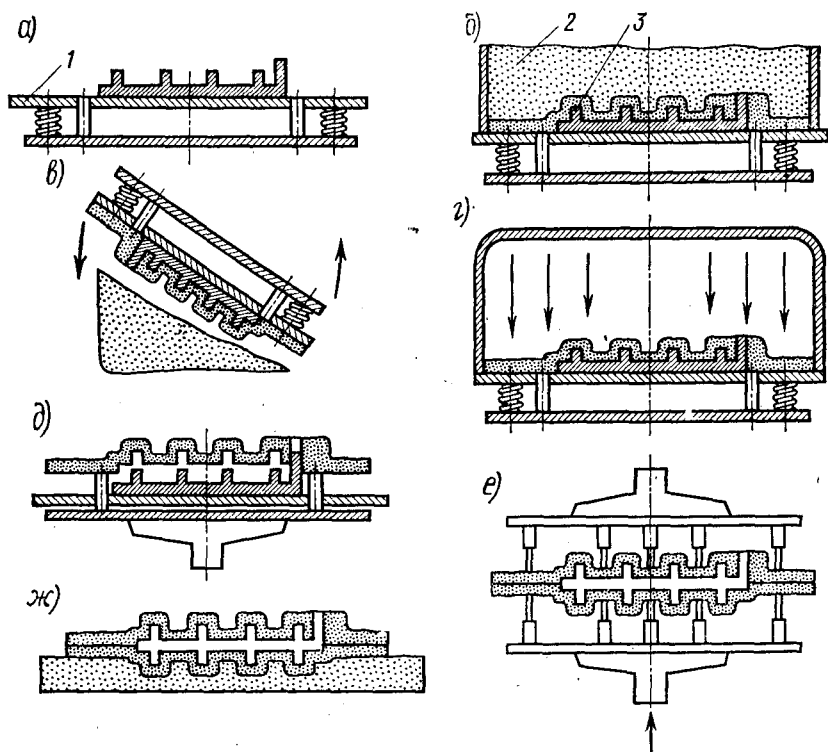


Рис. 4.2. Схема изготовления оболочковой формы

§ 4.2. ЛИТЬЕ В МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ФОРМЫ

Литье в металлические формы (кокили) — весьма прогрессивный способ получения литых деталей из меди, алюминия и их сплавов. Отливки в металлические формы приобретают мелкокристаллическую структуру благодаря интенсивному отводу теплоты через стенки металлических форм. Они имеют хорошую плотность и механическую прочность. Поверхности отлитых деталей соответствуют 5-му классу шероховатости по ГОСТ 2789—73.

Металлическая форма (рис. 4.3) состоит из двух частей 1, плиты 2 и вставок 9. Половины формы фиксируются штырями или фиксаторами 8 и перед заливкой соединяются замками 11. Размеры рабочей полости в форме больше размеров отливки на величину усадки. Полости в отливке выполняются металлическими 10 и песчаными стержнями 6, извлекаемыми из отливки после ее отвердения и охлаждения до заданной температуры.

Жидкий металл заливают в форму через литниковую систему 7. Питание массивных узлов отливки обеспечивается выпорами 3. Воздух и газы удаляют из формы при заливке ее металлом через специальные выпоры 4 или пробки 5, образующие вентиляционную систему формы. После заливки и охлаждения (в форме залитого металла) форма раскрывается при помощи соответствующего привода с удалением из нее отлитой детали.

Перед заливкой на рабочую поверхность формы наносят слой огнеупорного покрытия, предохраняющий ее от резкого термического удара, расплавления и схватывания с металлом отливки. Огнеупорные покрытия наносят на рабочую поверхность формы пульверизатором или кистью.

При литье чугуна, медных сплавов покрытие наносят на рабочую поверхность два-три раза в смену слоем 0,1—1,0 мм. При литье алюминиевых сплавов покрытия и краска работают более длительное время.

В качестве огнеупорных материалов [7] применяют пылевидный кварц, окислы и карбиды металлов, тальк со связующими материалами в виде жидкого стекла, огнеупорной глины и сульфитного шелока.

При отливке деталей из алюминиевых сплавов Al-2; Al-4; Al-9 температура расплавленного металла перед заливкой в форму должна быть 700—750° С. Повышенный нагрев сплавов способствует растворению в нем газов [7], образованию микропор усадочных раковин и других дефектов литья.

В металлические формы могут отливать детали из различных сплавов, применяемые в электрических аппаратах в виде контактов, контактодержателей, цилиндров, клапанов и других деталей.

Механизация и автоматизация литья в металлические формы. При литье в металлические формы можно механизировать следующие операции: раскрытие и сборку форм, установку и извлечение металлических стержней, удаление отливок, покрытие форм обли-

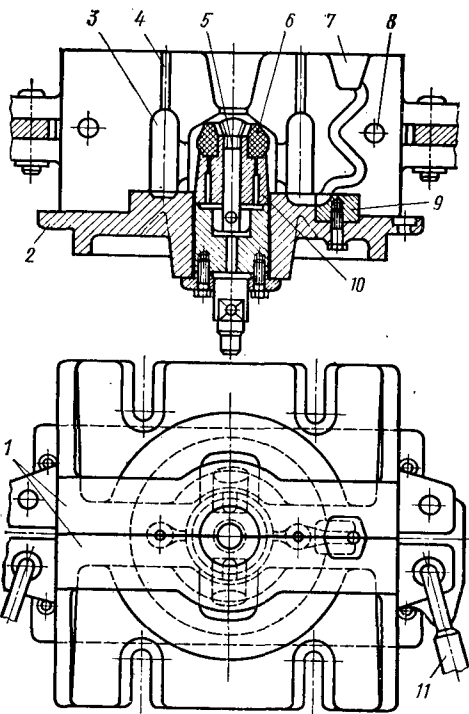


Рис. 4.3. Схема изготовления металлической формы

цовками и красками, заливку жидкого металла в форму, нагрев и охлаждение.

При механизации процесса эти операции выполняют специальными механизмами под наблюдением рабочего, которые осуществляются специальным устройством машины. Степень механизации и автоматизации, как известно, зависит от серийности производства, количества и сложности отливок.

На рис. 4.4 приведена однопозиционная машина с горизонтальной плоскостью разъема кокиля, предназначенного для отливки

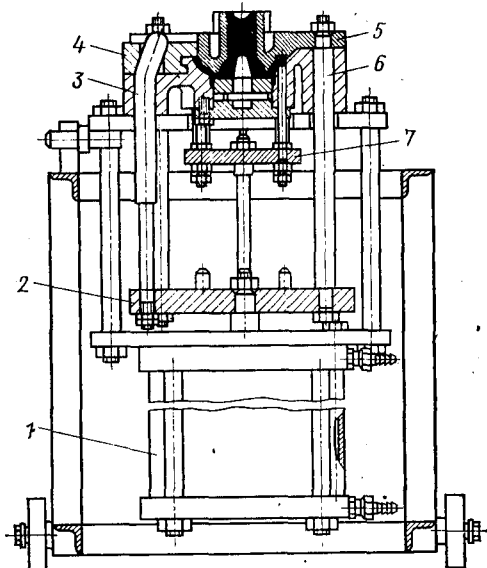


Рис. 4.4. Устройство для разъема формы

крышки распределительной коробки. После заливки формы и охлаждения отливки включается пневматический цилиндр 1, на штоке которого закреплена плита 2; через штанги 6 плита связана с верхней половиной формы 5, поднимающейся при ходе штока пневмоцилиндра.

На плите 2 закреплён изогнутый палец 3, который при ходе вверх отодвигает вкладыш 4. Отливка из формы удаляется толкателями, закрепленными в плите 7, приводимой в движение пневмоцилиндром 1. После извлечения отливки форму обдувают, окрашивают, затем включают пневмоцилиндр 1 и кокиль автоматически собирается, подготовленный под следующую заливку.

В целях сокращения времени на охлаждение формы с залитым металлом целесообразно заливку металла в формы производить с использованием конвейера (рис. 4.5).

Движение конвейера осуществляется звездочкой 1, передвигающей пластинчато-втулочную цепь 3, к которой крепятся формы с крышками 2.

После установки стержней формы закрывают крышками и подают под заливку. Металл заливают в формы из ковша, передвигаемого по монорельсу 9. В конце конвейера крышка автоматически открывается и отливки из формы по лотку 4 падают в ящик 5. На нижней ветви конвейера раскрытые формы охлаждают воздухом из сопел 6 и окрашивают из пульверизатора 7 краской, находящейся в баке 8.

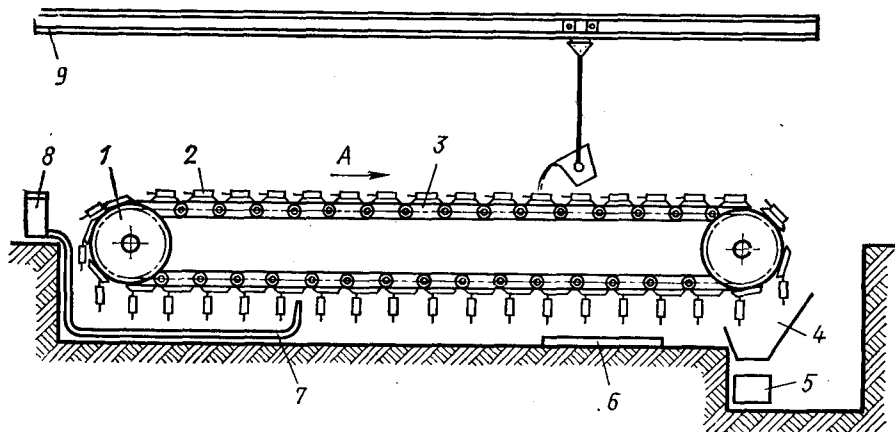


Рис. 4.5. Схема литейного конвейера

Из приведенной схемы работы конвейера видно, что охлаждение залитого металла в формы осуществляется за время следования форм конвейера от момента заливки металла в форму до ее раскрытия, т. е. здесь отсутствует затрата времени на охлаждение залитого металла по сравнению с однопозиционными формами.

(Способ конвейерной заливки целесообразно использовать в серийном производстве.

Литье в металлических формах под давлением. Литье под давлением характеризуется полной автоматизацией технологического процесса с получением отливок высокой точности и шероховатости по 5-му классу (ГОСТ 2789—73).

Расплавленный металл заливают в камеру прессования 1 (рис. 4.6, а) и прессующим поршнем 2 с помощью гидроцилиндра подают в полость формы. По окончании затвердевания отливки из нее сначала извлекают стержень 3 (рис. 4.6, б), а затем форма раскрывается (рис. 4.6, в) гидроцилиндром и толкатели 4 удаляют отливку из формы (рис. 4.6, г). После отливки детали передают в очистное отделение.

Перед заливкой металла в металлическую форму ее подогревают до следующей температуры (°C):

Цинковые сплавы	120—160
Алюминиевые сплавы	180—250
Магниеые сплавы	200—240
Латунные сплавы и стали	200—280

Давление прессования выбирают в соответствии с практически рекомендациями в зависимости от сплава, толщины стенки и сложности конфигурации отливки, приведенные в табл. 4.1 [7].

Методом литья под давлением изготавливают детали из алюминиевых, цинковых, магниевых и медных сплавов. Масса этих деталей составляет от нескольких граммов до десятков килограммов — в зависимости от мощности машины.

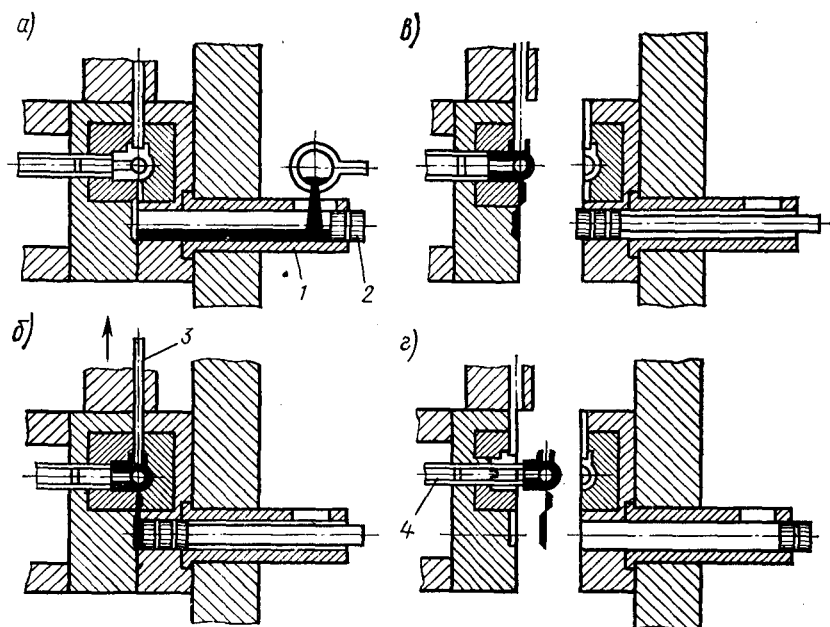


Рис. 4.6. Схема литья под давлением

В электроаппаратостроении литье под давлением можно применять для изготовления различных деталей, формирующих контактные системы, пневмосистемы и имеющих другие назначения.

Основные преимущества литья под давлением по сравнению с литьем в песчаные формы следующие: многократное использование пресс-форм; полное исключение формовочных и стержневых смесей; благодаря незначительной шероховатости поверхности и точной геометрии рабочей полости пресс-формы и затвердевания отливка получается с высокой точностью размеров, практически не требующей механической обработки; возможность изготовления от-

рода, азота, кислорода и неметаллических включений. На рис. 4.9 приведена схема литейно-вакуумной печи типа СКБ-7025, состоящая из вакуумной камеры 1, в которой размещены индукционная печь 9, печь-кристаллизатор 2, дозатор 8, фланец 3, окно 4, моновакуумметр 5, ломик 7, индукционная печь 9, кран 10, термopара 6.

Процесс плавления сплава включает следующие операции: поставку на холодильник, литейной формы в печь-кристаллизатор 2, загрузку шихты в алундовый тигель 9 (Fe, Ni, Co) и присадочных элементов в виде Ti, Cu, Al, Ni секционным дозатором 8. Предварительно создают разрежение до 133—13,3 Па с использованием вакуумной откачной системы, подсоединяемой к фланцу 3 вакуумной печи с одновременным расплавлением загруженной шихты в тигле 9 и подогревом литейной формы в печи-кристаллизаторе. После расплавления шихты происходит ее дегазация (вакуумирование) из расчета 1 мин на 1 кг сплава.

Затем отключается вакуумная откачка и вакуумная камера заполняется инертным газом (аргоном) до давления $1 \cdot 10^5$ Па. В сплав, имеющий температуру 1550°C , дозатором 8 вводятся присадочные элементы с последующим его доведением до температуры $1600\text{—}1650^\circ\text{C}$, после чего сплав из тигля 9 заливают в литейную форму, находящуюся в печи-кристаллизаторе 2.

Залитая форма выдерживается в печи-кристаллизаторе 5—10 мин. Потом вакуумную печь разгерметизируют и вынимают форму с отливкой, которую охлаждают в песке до температуры $100\text{—}200^\circ\text{C}$ и передают ее на следующие технологические операции.

Закалка и намагничивание постоянных магнитов. Нагрев магнитов под термическую обработку обычно проводится в электрических печах. Для усовершенствования метода термической обработки во ВНИИ ТВЧ впервые применен индукционный нагрев магнитов. При этом отливка магнита нагревается в индукторе, питаемом от высокочастотного генератора с частотой, при которой обеспечивается сквозной нагрев отливки. Частота тока выбирается в зависимости от размеров нагреваемого изделия.

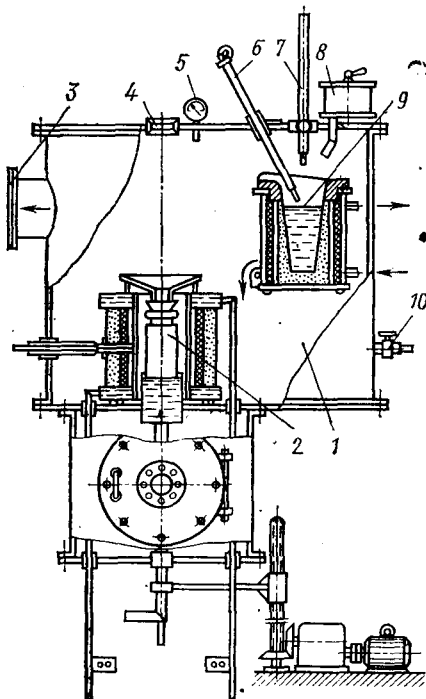


Рис. 4.9. Схема вакуумно-литейной печи

Исследование выполнено на образцах из сплавов ЮНС (альниси), ЮНД11-29-10 и ЮНДК24. Индукционный нагрев магнитов проведен в многовитковом индукторе (рис. 4.10), питаемом от машинного генератора мощностью 100 кВт, частотой 8000 Гц. В индуктор одновременно загружается восемь магнитов. Подача новых магни-

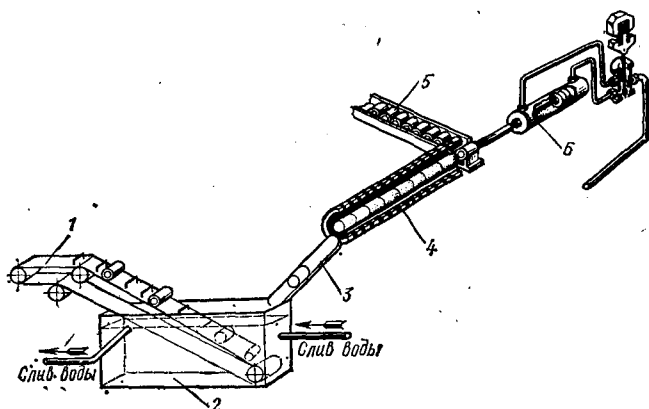


Рис. 4.10. Схема индукционного нагрева

тов в индуктор 4 и выталкивание нагретых проведены с помощью специальных устройств 5 и 6. Технология нагрева отлажена так, что через каждые 30 с из индуктора выталкивается нагретый магнит,

Таблица 4.2

Марка сплава	$H_{\max}, 10^5 \text{ А/м}$	$H_{\max}/H_c$
ЮНД 4	240	6
ЮНД 8	160	3,6
ЮНДК 15	240	5,0
ЮНДК 18	240	4,4
ЮНДК 35Г5	400	3,6
ЮНДК 2412	300	5
ЮНДК 24	240	4,6

который после нагрева поступает по желобу 3 на транспортер 1 закалочного бака 2, заполненного водой. Охлажденные магниты передаются на отпуск, который проводится при нагреве до 600° в течение 2 ч.

Средние магнитные свойства постоянных магнитов при нагреве индукционным методом такие же, как при электропечном нагреве, и составляют для сплава ЮНДП12: $B_r=4,8 \text{ Тл}$, $H_c=9,5 \text{ А/м}$.

Таким образом, доказана возможность применения индукционного нагрева под термическую обработку магнитов из сплавов на основе Fe — Ni — Al. Применение этого прогрессивного метода позволяет в отдельных случаях отказаться от электропечного нагрева и значительно увеличить производительность.

Намагничивание и размагничивание постоянных магнитов. Постоянные магниты из магнитно-твердых материалов перед их уста-

новкой в прибор или аппарат намагничивают до насыщения — до предельного значения петли гистерезиса. Необходимые значения напряженности магнитного поля $H_{\max}$ для магнитных материалов приведены в табл. 4.2 [9].

В процессе намагничивания к постоянному магниту прикладывается магнитное поле требуемой величины и направленность его в зависимости от формы магнита. Намагничивание постоянного магнита производят импульсом тока при разряде конденсаторной батареи на постоянный магнит или магнитную систему.

Минимальная продолжительность импульса тока (с)

$$\Delta t = 6,4 \rho (B/H) D^2 \cdot 10^{-9}, \quad (4.4)$$

где B — индукция магнита, Тл; H — напряженность магнитного поля, А/м; ρ — удельная электрическая проводимость материала, См/м; D — эффективный диаметр магнита, м.

Размагничивание обычно проводят воздействием на магнит переменного (или непрерывно коммутируемого постоянного) поля с убывающей до нуля амплитудой.

Размагничивающее устройство представляет собой электромагниты, в зазор которых помещают размагничивающий магнит и медленно выводят его из зоны действия магнитного поля.

ГЛАВА 5

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК ДАВЛЕНИЕМ

§ 5.1. СВОБОДНАЯ КОВКА И ПРИМЕНЯЕМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Заготовки, близкие по форме к готовым деталям, с небольшими припусками под последующую обработку резанием можно получать свободной ковкой и горячей объемной штамповкой. *Свободной ковкой* называют способ горячей обработки металлов давлением,

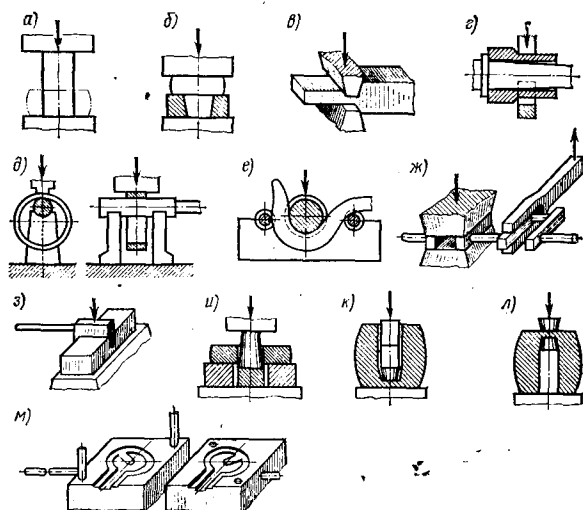


Рис. 5.1. Схемы основных операций
ковки

осуществляемый при помощи удара или нажатия бойка молота. При этом течение металла происходит в направлениях, не ограниченных поверхностями оснастки или инструмента.

В качестве исходной заготовки для свободнойковки используют слитки или прокат квадратного, круглого или прямоугольного сечения, подвергаемый в процессе свободнойковки осадке, вытяжке, гибке и другим операциям. На рис. 5.1 показаны схемы основных операций свободнойковки.

На рис. 5.1, а изображена операция увеличения площади поперечного сечения исходной заготовки за счет уменьшения ее высоты. Разновидностью осадки является высадка, заключающаяся в мест-

ном увеличении поперечного сечения (рис. 5.1, б). *Вытяжкой* называют операцию увеличения длины исходной заготовки за счет уменьшения ее поперечного сечения (рис. 5.1, в).

Разновидностью вытяжки является раскатка (раздача), разгонка (расплющивание, уширение) и т. п. На рис. 5.1, г показана вытяжка трубы на оправке с помощью вырезного и плоского бойков. Раскатка на оправке (раздача) является операцией увеличения наружного и внутреннего диаметров пустотелой заготовки (рис. 5.1, д).

Гибкой — операция, посредством которой исходной заготовке придают изогнутую форму (рис. 5.1, е).

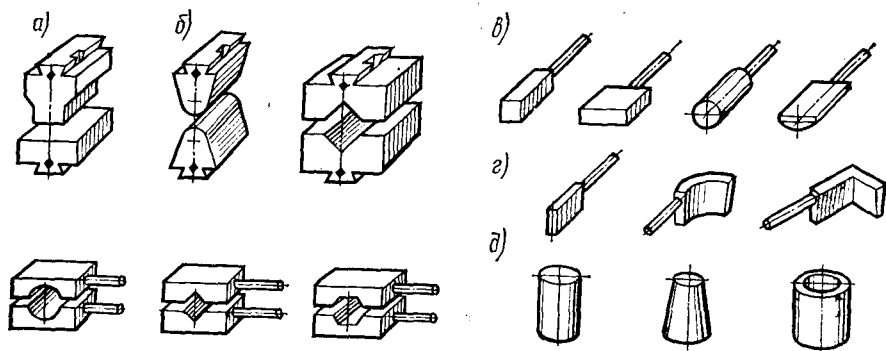


Рис. 5.2. Схема основных инструментов

Закручивание представляет операцию поворота одной части поковки относительно другой вокруг продольной оси (рис. 5.1, ж).

Резка — операция отделения одной части заготовки от другой (рис. 5.1, з).

Прошивка — операция получения в заготовке отверстия (рис. 5.1, и, к, л).

По перечисленным ковочным операциям иногда невозможно выполнить заготовки с относительно сложным контуром; тогда применяют штамповку в подкладных штампах (рис. 5.1, м), в которых могут изготавливать головки болтов, валики с буртиками и др.

Технологические процессыковки выполняют при помощи различных инструментов и приспособлений. Кузнечный инструмент в зависимости от назначения разделяется на основной, вспомогательный и мерительный. К *основному* относят инструмент, с помощью которого заготовке придается требуемая форма (рис. 5.2): бойка а, обжимки б, раскатки в, топора г, прошивки д; к *вспомогательному* — инструмент, с помощью которого производят захват, перемещение и вращение заготовки (клещи, патроны, воротки и т. п.); к *мерительному* — инструмент, с помощью которого проводят контроль размеров (кронциркули, линейки, угольники, шаблоны и пр.).

Для нагрева исходных заготовок применяют печи камерного типа, а для особо тяжелых заготовок используют печи с выдвижным

подом. Нагрев одностипных исходных заготовок целесообразно проводить в полуметодических и методических печах [12].

Молоты. Для свободнойковки применяют следующие молоты: приводные — пневматические, паровоздушные [12].

На рис. 5.3 показан общий вид пневматического молота. Литая станина 10 имеет два цилиндра — компрессорный 9 и рабочий 4. При включении электродвигателя 14 получают вращение шестерни 11 и 15, а вместе с ними кривошип 13. При этом компрессорный поршень 8, связанный с кривошипом 11 шатуном 12, получает воз-

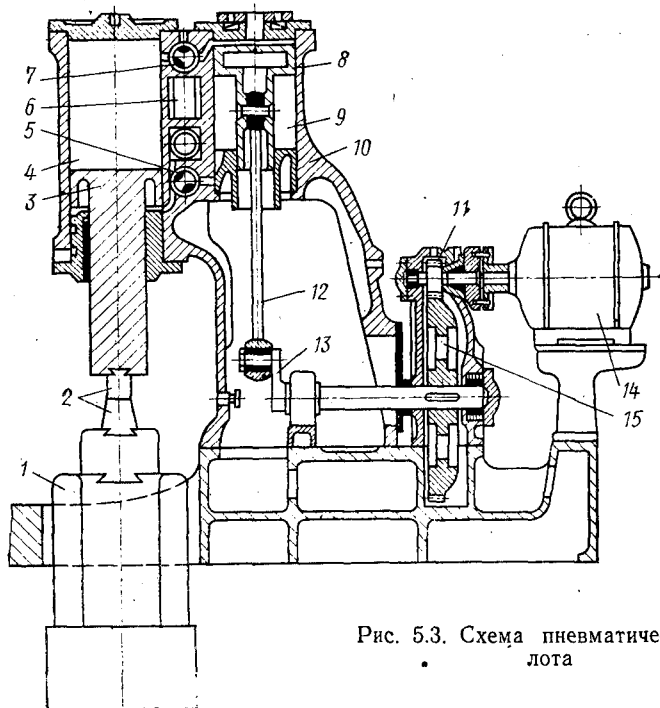


Рис. 5.3. Схема пневматического молота

вратно поступательное движение и попеременно сжимает воздух в верхней и нижней полости компрессорного цилиндра 9 до 0,015—0,22 МПа. При открытии цилиндрических золотников 7 и 5 рабочий поршень 3, являющийся одновременно бабой молота, получает движение вверх и вниз. Деформация нагретого металла происходит между верхним и нижним бойками 2; нижний боек закреплен в шабете 1.

Молот управляется с помощью рукоятки или педали, связанных с золотниками 7 и 5, и рычага, соединенного с обратным клапаном, расположенным в камере 6. При изменении положения рычага обратного клапана и рукоятки молот может совершать ряд циклов — холостой ход, автоматические удары полной и неполной силы, прижим поковки и держание бабы навесу.

Пневматические молоты применяют дляковки сравнительно небольших поковок и изготавливают массой падающих частей от 75 до 1000 кг и числом ударов от 3,5 до 1,5 с⁻¹.

При выполнении той или иной ковочной операции возникает необходимость в выборе молота, обеспечивающего проведение нужной деформации. Определим мощность молота для осадки и вытяжки.

Работа деформации

$$A_{\text{д}} = p_{\text{ср}} V \ln(h_0/h),$$

где $p_{\text{ср}}$ — среднее значение давления, Па; V — объем осаживаемой заготовки, м³; h_0 — высота исходной заготовки, м; h — высота конечной поковки, м.

Для малых деформаций $\ln(h_0/h) = \varepsilon$, а давление за период малой деформации можно считать постоянным и равным давлению в ее начальный или конечный момент

$$A_{\text{д}} = p_{\text{ср}} V \varepsilon.$$

Давление при осадке можно определить приближенно при условии, что $0 < d/h < 3$

$$p_{\text{ср}} = \sigma [1 + (1/6) \cdot (d/h)].$$

Давление течения при вытяжке

$$p_{\text{ср}} = \sigma [1 + (2f/3) (l_0/d)],$$

где $f = 0,3 \div 0,5$ — коэффициент трения между бойком и металлом; d — диаметр или сторона поковки после деформации.

§ 5.2. ГОРЯЧАЯ ОБЪЕМНАЯ ШТАМПОВКА

Горячая объемная штамповка — один из способов обработки металла давлением, при котором свободное течение металла ограничивается поверхностями штампа, определяющего конфигурацию штампуемой детали.

На рис. 5.4 показаны схемы штамповки хвостовика. Облойная штамповка (рис. 5.4, а) характеризуется тем, что после заполнения металлом полости ручья 3 штампов 1 и 2

избыток его вытесняется в специальную полость 4, образуя при этом отход, называемый *облоем*.

Безоблойная штамповка представляет собой деформацию металла в закрытых штампах (рис. 5.4, б, в), в которых образование облоя не предусматривается и поэтому полость для него отсутствует.

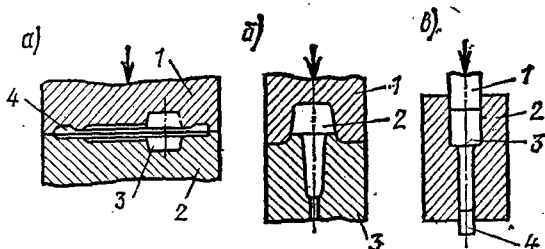


Рис. 5.4. Схема объемной горячей штамповки

Устройство этих штампов зависит от типа и конструкции машины. Например, для штамповки на молотах штампы выполняют по схеме (рис. 5.4, б), из которой видно, что для образования закрытого ручья 2 верхняя половина штампа 1 имеет углубление, а нижняя 3 выступ. Для штамповки на прессах закрытые штампы выполняют по схеме (рис. 5.4, в): в матрицу 2 входит пуансон 1, образуя закрытый ручей 3, извлечение поковки из которого обычно производят выталкивателем 4.

При безоблойной штамповке необходимо строго соблюдать равенство объемов заготовки и штампованной детали.

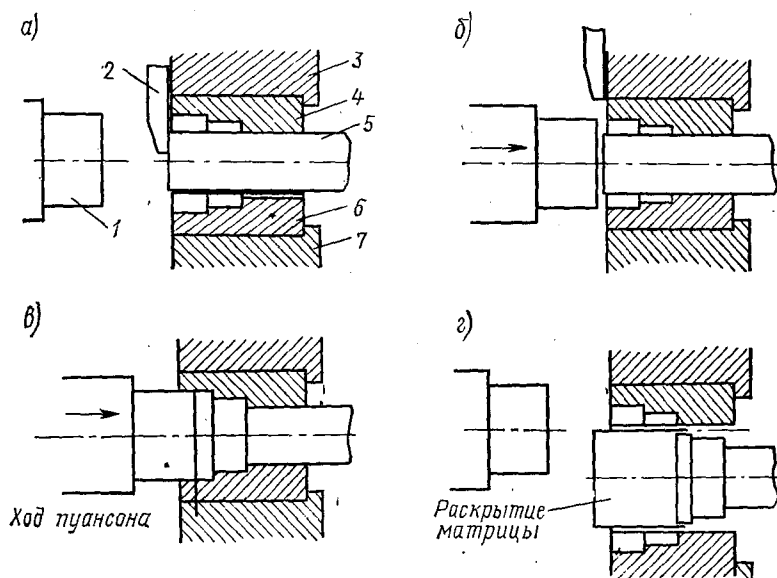


Рис. 5.5. Схема объемной горячей штамповки на горизонтально-ковочной машине

Штамповку в закрытых штампах обычно проводят на прессах, горизонтально-ковочных машинах и др.

На рис. 5.5 показана схема горячей объемной штамповки на горизонтально-ковочной машине. Пруток 5 (рис. 5.5, а) нагретым концом закладывают в матрицу 4, закрепленную в неподвижной щеке 3 машины с упором 2, ограничивающим положение прутка. При включении машины происходит движение подвижной щеки 7 с подвижной матрицей 6 и ползуна машины с пуансоном 1. Прежде чем пуансон 1 коснется выступающего торца прутка 5, подвижная матрица 6 прижмет пруток к неподвижной матрице 4 и упор 2 автоматически отойдет к этому моменту в сторону (рис. 5.5, б).

При дальнейшем движении пуансона 1 осуществляется высадка участка прутка, выступающего за пределы зажимной части матрицы с заполнением при этом ее полости впереди зажимной части

(рис. 5.5, в). После этого матрица раскрывается и цикл повторяется (рис. 5.5, г). В качестве исходной заготовки для штамповки на горизонтально-ковочных машинах используют круглый прокат.

При горячей объемной штамповке мерных заготовок целесообразно применение нагрева их индуктором 8 в печи 9, работающей по схеме (рис. 5.6). Заготовки 1 загружают в печь 9 по лотку 2

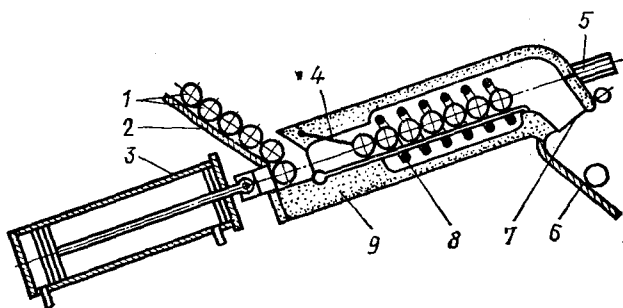


Рис. 5.6. Нагрев заготовок в индукционной печи

пневматическим толкателем 3. В печи заготовки запирают упором 4. При достижении нужной температуры, измеряемой термопарой через отверстие 5, загружают следующую партию заготовок, а нагретые заготовки выталкивают при открытой заслонке 7 по лотку 6 к месту их штамповки.

Заготовки, изготовленные ковкой и горячей объемной штамповкой, направляют на отжиг, калибровку или обработку их резанием.

ОСНОВЫ ХОЛОДНОЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

§ 6.1. ШТАМПОВКА ДЕТАЛЕЙ ВЫРУБКой

Штамповка вырубкой — процесс отделения одной части листового металла от другой по замкнутому или незамкнутому контуру с использованием соответствующего штампа.

На рис. 6.1 приведена принципиальная схема вырубки штампом, состоящим из пуансона 2 и матрицы 4. В начале перемещения пуансона 2 совершается сжатие и упругий прогиб вырубаемого металла 3, находящегося между матрицей 4 и пуансоном 2, вследствие чего в металле создается напряжение и его течение в виде смятия по контуру резки у полоски режущих кромок штампа. При значении давления пуансона равном величине срезывания происходит разделение металла с вырубкой требуемой детали.

Усилие при штамповке вырубкой. Усилие при штамповке вырубкой зависит от формы пуансона и матрицы и вида режущих кромок штампа, которые в некоторых случаях могут быть плоскими (параллельными) или скошенными (наклонными), а также от толщины вырубаемой детали. У штампов с параллельными режущими кромками угол наклона $\varphi=0^\circ$, а угол резания $\delta=90^\circ$ (рис. 6.1).

Усилие вырубки (теоретически расчетное) (Н) [12]

$$P_0 = F_0 \tau_0 = l s \tau_0, \quad (6.1)$$

где F_0 — площадь среза (вырубки), м^2 ; τ_0 — сопротивление вырубки, Па/м^2 ; l — длина контура (периметр) вырубаемой детали, м ; s — толщина металла, мм .

Значение τ_0 ниже величины временного сопротивления разрыву $\sigma_{\text{вр}}$ и составляет в зависимости от рода и толщины металла $(0,6—0,9) \sigma_{\text{вр}}$. Обычно его принимают равным $(0,8—0,86) \sigma_{\text{вр}}$.

На сопротивление металла вырубке оказывают влияние: механические свойства и толщина металла, форма и размеры вырубаемого контура детали, величина зазора между матрицей и пуансоном, форма проходного отверстия матрицы, скорость деформации, смазка металла и инструмента, а также состояние режущих кромок штампа.

В производственных условиях с учетом приведенных факторов действительное сопротивление срезу τ_d и действительное расчетное усилие вырубки P_d выше значений τ_0 и P_0 . Это превышение учитывается общим коэффициентом, равным $k=1,0 \div 1,3$. Тогда действительное сопротивление срезу (вырубке) τ_d определится из выражения $\tau_d = k \tau_0 = (1,0 \div 1,3) \tau_0$, а действительное усилие вырубки P_d (Н) [12]

$$P_d = P_0 = l s \tau_d = k l s \tau_0 = (1,0 \div 1,3) l s \tau_0. \quad (6.2)$$

Для уменьшения усилия резания режущие кромки пуансона и матрицы h делают со скосами в зависимости от толщины металла. Для металлов толщиной до 3 мм при $h=2\div3$ $\varphi=2\div5^\circ$; для металлов толщиной свыше 3—4 мм при $h=(1\div2)$ $\varphi=5\div8^\circ$.

В зависимости от величины угла φ усилие вырубки соответственно снижается на 30—60%. Скосы режущих кромок изготавливаются на матрице и на пуансоне.

Следует отметить, что при вырубке деталей пуансон делается плоским, а матрица имеет скос режущей кромки; в этом случае вырубленная деталь плоская, а отходы полосы изогнуты. При пробивке отверстий матрица должна быть плоской, а пуансон выполняется со скосом режущей кромки; в этом случае вырубленная деталь плоская, а отход изогнутый.

Зазоры между матрицей и пуансоном. Под зазором понимается разность рабочих размеров матрицы 4 и пуансона 2 вырубного штампа (рис. 6.1). Величина зазоров влияет на величину усилия вырубки, качество среза, точность получаемых деталей, износ и стойкость штампа. Зазоры выбирают в зависимости от рода и толщины штампуемого металла и режима работы прес-са.

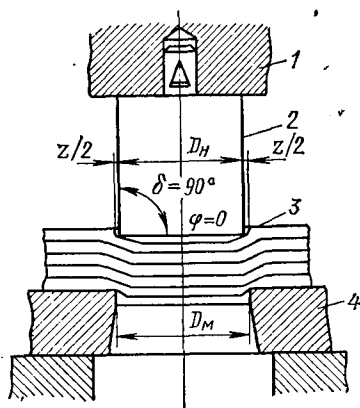


Рис. 6.1. Схема штамповки вырубкой

При нормальной работе прес-са ($n < 24 \text{ с}^{-1}$) [12] для материалов толщиной $s=0,5\div1,0$ мм минимальные величины двусторонних или диаметральных зазоров $z_{\min}$ составляют 4—10% от толщины материала s . Максимальные зазоры $z_{\max}$ составляют 6—16% от толщины материала.

При вырубке неметаллических материалов величина зазоров принимается $(0,02\div0,05)s$ [12].

Раскрой материала при холодной листовой штамповке. Способ расположения вырубаемых деталей на заготовке-листе, полосе, ленте называют раскромом материала, который должен быть рациональным — с минимальными отходами, так как при значительном количестве изготавливаемых деталей штамповкой нерациональный раскрой вызывает перерасход листового материала, влияющий на себестоимость изготовления деталей.

Показателем, характеризующим экономичность раскроя, является коэффициент использования материала η , представляющий собой отношение полезной площади детали F_0 к площади заготовки $F_{\text{заг}}$, идущей на изготовление этой детали [12]

$$\eta = (F_0 / F_{\text{заг}}) \cdot 100\% . \quad (6.3)$$

Коэффициент использования материала зависит от технологичности конструкции (формы) вырубаемой детали, ее расположения на полосе и ленте, а также величины переемычки между деталями. Выполнение этих требований способствует повышению коэффициента использования материалов при вырубке.

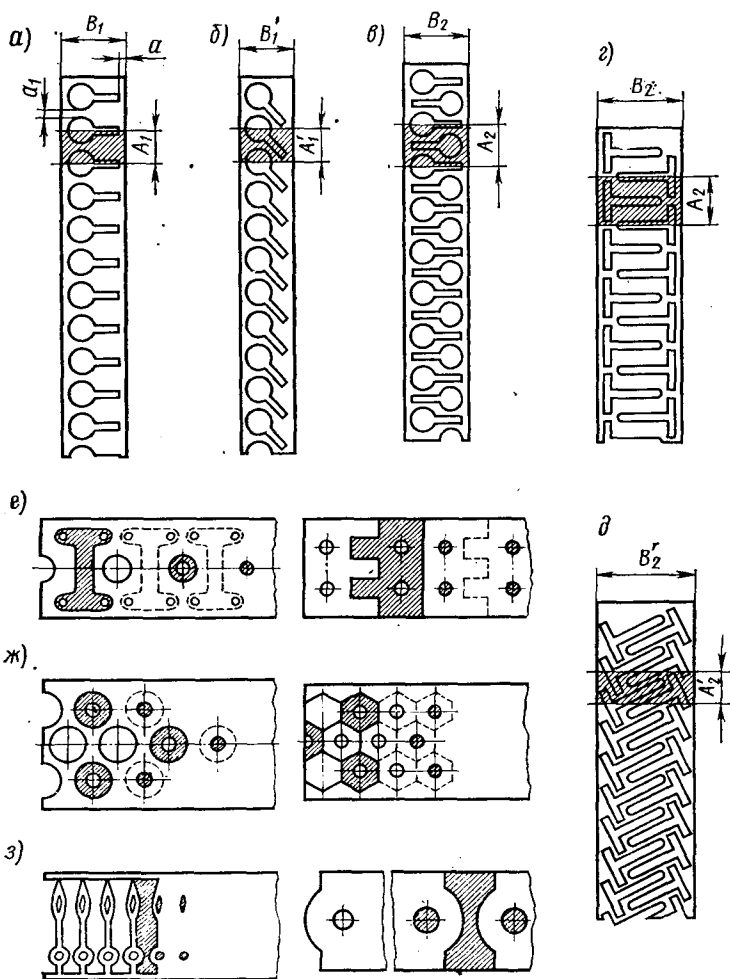


Рис. 6.2. Схема вырубki фигурных деталей

Вырубку круглых деталей можно проводить в один, два и несколько рядов при их параллельном и шахматном расположении. Вырубку фигурных деталей (рис. 6.2) проводят, используя различные виды раскроя: а — прямой, б — наклонный, в и г — встречный прямой, д — встречный наклонный, е — комбинированный, ж — мно-

горядный, з — с вырезкой перемычки. Шаг между осями выруб-
аемых деталей A_1 и A_2 .

Величина перемычек (мостика) зависит от толщины материала, размеров и формы вырубаемой детали. Для металлов толщиной 0,5—4 мм перемычка a между деталями составляет 2—0,8 мм, а по краям вырубаемой детали a соответственно равна 2,5—0,9 мм; при толщине материала свыше 4 мм величина $a = (0,80 \div 0,70) s$.

С целью экономии листовой электротехнической стали при вырубке пластин для магнитопроводов применяют безотходную штам-

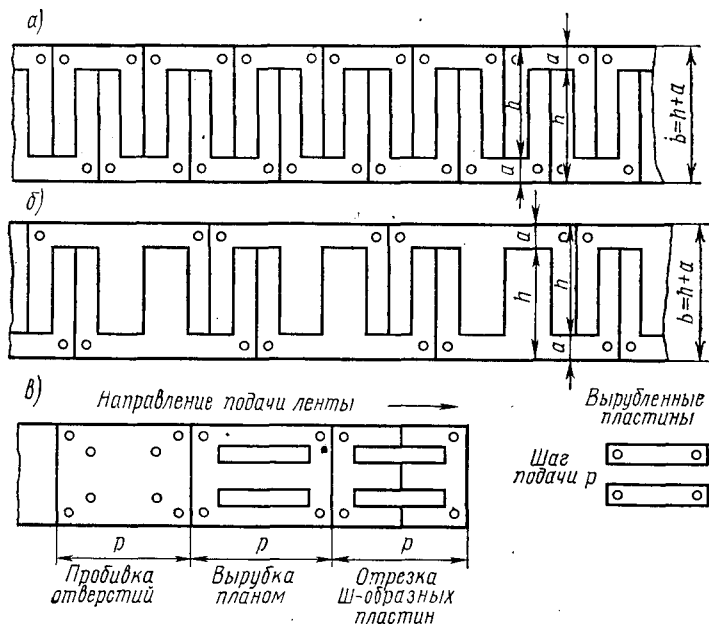


Рис. 6.3. Схемы вырубки пластин для магнитопроводов

повку (рис. 6.3, а, б), при помощи которой П-образные и Ш-образные пластины вырубают за один ход пуансона с использованием при этом компаундного штампа. При вырубке последовательным штампом Ш-образные пластины получают за три хода пуансона (рис. 6.3, в).

Зачистные штамповочные операции. При изготовлении точных деталей (соответствующих 3-му классу точности и требуемой шероховатости поверхности) по ГОСТ 2788—73 применяют зачистные штамповочные операции. Под зачисткой понимается срезание припуска, специально оставленного на предыдущих штамповочных или других операциях, выполняемое на зачистном штампе. Зачистку делают как по наружному, так и по внутреннему контурам.

Зачистка деталей по наружному контуру иногда проводится при изготовлении скользящих контактов (гл. 10) как окончательная

операция с обеспечением получения контактов наружной конфигурации и требуемой шероховатости обрабатываемой поверхности.

Смазка при операциях штамповки. Смазка пуансона и матрицы при штамповке способствует уменьшению усилия при вырезке и съему отштампованной детали, а также повышает стойкость матрицы и пуансонов. В качестве смазки используют машинное, трансформаторное, веретенное и другие масла небольшой вязкости. При штамповке латуни и бронзы в качестве смазки используют мыльную эмульсию, при штамповке алюминия — машинное масло № 6.

Штампы для резки (вырубки). Штампы для резки классифицируют по следующим признакам: по характеру выполнения штамповочных операций — вырубные, отрезные, обрезные, надрезные, зачистные, просечные; по способу действия — простой, последовательный и совмещенный; по роду направляющих устройств — без направления (открытые), с направляющей плитой, с направляющими колонками или цилиндром, с направляющей плитой и колонками.

При штамповке деталей простой формы в мелкосерийном производстве применяют вырубные штампы без направляющих устройств, как более простые и дешевые в изготовлении. Здесь направление для пуансона обеспечивается ползуном пресса, в котором закрепляется пуансон, контур которого должен совпадать с контуром матрицы, установленной на столе пресса.

В этих штампах зона хода пуансона к матрице совершенно открыта, поэтому во избежание попадания под пуансон рук работающего зона хода пуансона должна иметь соответствующее ограждение. При штамповке деталей в серийном и массовом производстве из рулонного и полосового материалов применяют вырубные штампы последовательного и совмещенного действия [12]. Эти штампы обычно содержат направляющие колонки и закрытое исполнение, исключающее попадание рук работающего под пуансон штампа.

§ 6.2. ШТАМПОВОЧНО-ГИБОЧНЫЕ ОПЕРАЦИИ

Гибкой называют процесс деформации заготовки по форме гибочного штампа. Гибка проводится с использованием кривошипных (эксцентрикковых) прессов, горизонтально-гибочных машин, гидравлических прессов и специальных гибочных автоматов.

Гибка заготовок выполняется за счет упругопластической деформации, возникающей вблизи углов гибки — очагов деформации (рис. 6.4, а). При этом волокна — слои металла *aa*, прилегающие к внутренней поверхности (со стороны пуансона с меньшим радиусом кривизны r), испытывают сжатие, а волокна, расположенные у внешней поверхности (со стороны матрицы с большим радиусом кривизны R) — растяжение *bb*. Между растянутыми и сжатыми волокнами находится нейтральный слой (нейтральная поверхность *OO*), не изменяющаяся по длине, положение которой определяется отношением радиуса гибки r к толщине заготовки s .

При определении размеров заготовки и установлении минимального внутреннего радиуса гибки r необходимо определить положение нейтрального слоя деформации ρ (рис. 6.4, б), расположение которого зависит от относительного радиуса гибки r/s .

При небольших пластических деформациях, например при гибке $r > 5s$, считают, что нейтральная поверхность деформации радиусом r проходит по середине толщины полосы s , т. е. $\rho = r + s/2$. При больших пластических деформациях при гибке заготовок с малым радиусом закругления ($r/s < 4$) изгиб сопровождается уменьше-

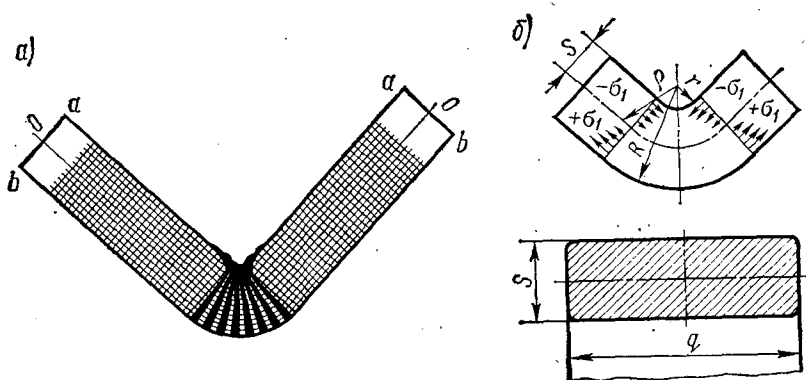


Рис. 6.4. Схема гибки

ем толщины материала и смещением нейтрального слоя в сторону сжатых волокон. В этом случае расстояние до нейтрального слоя радиусом ρ от внутренней поверхности изгибаемой заготовки

$$\rho = r + x_0 s, \quad (6.4)$$

где x_0 — коэффициент, зависящий от рода материала относительно радиуса r/s и угла загиба α .

Для сталей марки 10—20 при $\alpha = 90^\circ$ x_0 имеет значения, приведенные в [12]:

Радиус r/s	Коэффициент x_0
0,25	0,32
0,50	0,37
1,0	0,42
2,0	0,45
4,0	0,48
5	0,50

Кроме нейтральной поверхности деформаций радиусом ρ имеется и нейтральная поверхность напряжений радиусом ρ_n , в которой происходит перемена знака напряжений (сжатие — растяжение). Радиус

$$\rho_n = \sqrt{Rr}. \quad (6.5)$$

При этом он находится ближе к центру кривизны изгиба, т. е.

$$\rho_n < \rho.$$

Минимальный внутренний радиус гибки (закругление пуансона) устанавливается опытным путем и в зависимости от рода материала. Обычно $r_{\min}$ принимают 0,25—2,5 от толщины материала s .

Определение размеров заготовки при гибке. При определении длины заготовки учитывают форму изделия и отношение r/s . Различают гибку по кривой определенного радиуса и гибку под углом без закругления (рис. 6.5).

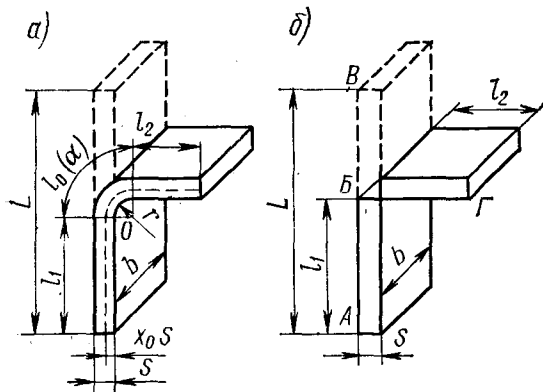


Рис. 6.5. Схема для определения длины заготовки

Гибка с закруглением. При определении длины заготовки исходят из метода развертки, основанного на том, что нейтральный слой при гибке сохраняет свой первоначальный размер и располагается в местах закруглений на расстоянии $x_0 s$ от внутренней поверхности изделия. Поэтому при определении

длины заготовки при гибке сложной формы нужно сложить длину прямых участков и прибавить подсчитанную длину нейтральной поверхности (линии) закругленных участков (рис. 6.5, а).

Тогда длина заготовки для детали с одним перегибом при угле α (град) определится из выражения [12]

$$L = l_1 + l_2 + (\pi\alpha/180^\circ)(r + x_0 s); \quad (6.6)$$

для детали с несколькими углами $\alpha, \alpha_2, \alpha_n$ — из зависимости

$$L = l_1 + l_2 + \dots + l_n + l_{n+1} + (\pi\alpha_1/180^\circ)(r_1 + x_1 s) + \\ + (\pi\alpha_2/180^\circ)(r_2 + x_2 s) + \dots + (\pi\alpha_n/180^\circ)(r_n + x_n s).$$

Значения $x_1, x_2, \dots, x_n$ зависят от r/s , принимаемых из чертежа детали.

Гибка без закруглений. В этом случае в месте изгиба происходит очень большая деформация и пользоваться методом развертки нельзя. Применяют так называемый метод равенства объемов металла заготовки до гибки AB и после нее $AB\Gamma$ (рис. 6.5, б). Тогда длина заготовки для одноугловой гибки [12]

$$L = l_1 + l_2 + x's, \quad (6.7)$$

где $x's$ — величина прибавки на образование угла, выбираемая в

пределах $(0,4—0,6)s$ для мягких металлов; $0,4$ — для твердых $s=0,65$; в среднем она составляет $0,5$ на каждый угол.

При одновременной гибке нескольких углов изгиб вызывает растяжение металла в середине и по концам участков. Поэтому в указанном случае прибавление длины заготовки на образование углов берут несколько меньше — в пределах $(0,20—0,30)s$ на каждый угол — в среднем $0,25s$. Например, для двухугловой гибки длины заготовки

$$L=l_1+l_2+2x''s'=l_1+l_2+2\cdot 0,25s. \quad (6.8)$$

Усилие при гибке. Процесс гибки в штампах проводится за пределом упругости — в области пластических деформаций; поэтому обычными формулами, применяемыми при расчете изгиба балок в области упругих деформаций, пользоваться нельзя [12].

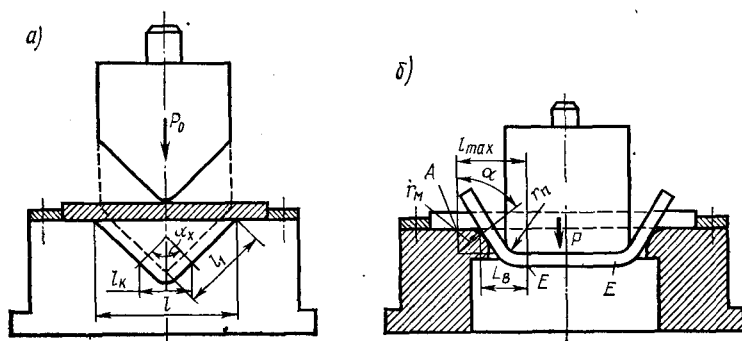


Рис. 6.6. Схема для определения усилия гибки

Изгибающий момент при пластическом изгибе с упрочнением для случая холодной листовой штамповки можно определить упрощенной зависимостью между изгибающим моментом, моментом сопротивления и временным сопротивлением разрыву [12]:

$$M_{\text{и}} = w \sigma_{\text{в}} k = (bs^2/6) \sigma_{\text{в}} (1,5 + \varepsilon_{\text{в}}), \quad (6.9)$$

где $M_{\text{и}}$ — изгибающий момент, Н·м; w — момент сопротивления, м³; $\varepsilon_{\text{в}} = 0,80\sigma$ — относительное удлинение в момент начала образования шейки; $k = 1,5 + \varepsilon_{\text{в}}$ — коэффициент, учитывающий характер диаграммы и упрочнение металла при гибке.

По изгибающему моменту определяют усилие гибки. Усилие при гибке полосы на одноугловом штампе определяют как изгиб, свободно лежащий на двух опорах с расстоянием между ними l_x (рис. 6.6, а) и нагруженной посередине силой P_0 .

Тогда изгибающий момент (Н·м)

$$M_{\text{и}}(P_0 l_x/4) = w \sigma_{\text{в}} k = (bs^2/6) \sigma_{\text{в}} (1,5 + \varepsilon_{\text{в}}). \quad (6.10)$$

Откуда усилие гибки без учета силы трения для любого положения пуансона (Н):

$$P_0 = 4(1,5 + \varepsilon_B) b s^2 \sigma_B / (6l_x). \quad (6.11)$$

Наименьшее усилие возникает в начале гибки, когда $l_x = l$; наибольшее — в конце гибки при $l_x = l_R = 2r \sin(\alpha_x/2)$. Тогда

$$P_{0 \max} = [4(1,5 + \varepsilon_B) b s^2 \sigma_B] / [6 \cdot 2r \sin(\alpha_x/2)]. \quad (6.12)$$

С учетом силы трения $P_{тр}$ (приняв коэффициент трения $f = 0,3$ и считая, что составляющие силы гибки перпендикулярны рабочим плоскостям матрицы) максимальное усилие гибки [12]

$$P_{\max} = P = P_{0 \max} + P_{тр} = P_{0 \max} + f P_{0 \max} = 1,3 P_{0 \max}. \quad (6.13)$$

При гибке скобы в двугловом штампе (рис. 6.6, б) изгибающий момент

$$M_{\text{и}} = P_0 l_B = 2 \omega \tau_B (1,5 + \varepsilon_B) = 2(b s^2 / 2) \sigma_B (1,5 + \varepsilon_B), \quad (6.14)$$

где l_B — переменное плечо, уменьшающееся по мере опускания пуансона и определяемое из геометрических соотношений из рис. 6.6, б:

$$l_B = r_n + s + cs + r_m - r_n \sin \alpha - r_m \sin \alpha = s + cs + r_n (1 - \sin \alpha) + 2m (1 - \sin \alpha).$$

Здесь $c = 0,06 \div 0,15$ — коэффициент, учитывающий уменьшение трения.

Максимальное усилие гибки возникает в конце штамповки, когда угол приближается к 90° ($\pi/2$ рад) и $\sin \alpha = 1,0$ (при $l_B = l_{B \min} = s + cs$). Тогда максимальное усилие гибки при штамповке на провал (без учета силы трения)

$$P_{\max} = \frac{2(1,5 + \varepsilon_B) b s^2 \sigma_B}{6l_{B \min}} = \frac{2(1,5 + \varepsilon_B) b s^2 \sigma_B}{6(s + cs)}.$$

С учетом трения максимальное усилие гибки

$$P_{\max} = P = P_{0 \max} + P_{тр} = 1,3 P_{0 \max}. \quad (6.15)$$

Гибочные штампы. Гибочные штампы подразделяют на следующие группы: простые — одно и двугловые с выталкивателем или с прижимным устройством; сложные с качающимися колодками и скобами, вращающимися валиками и др.; комбинированные — для одновременной отрезки или вырубки и гибки; многооперационные последовательного действия и других исполнений [12].

§ 6.3. ВЫТЯЖКА

Вытяжка при листовой штамповке является процессом превращения плоской или полый заготовки в открытую сверху полую деталь. Различают вытяжку без утонения стенки и с утонением стенки.

Вытяжку без утонения стенки обычно применяют при изготовлении неглубоких полых деталей. Процесс вытяжки при этом

проводится без прижимного кольца с проталкиванием от штампованной детали через матрицу.

После проталкивания через матрицу диаметр бортика отштампованной детали увеличивается, вследствие чего при обратном ходе пуансона бортик упирается в поверхность матрицы и при этом снимается с пуансона.

Вытяжку глубоких полых деталей проводят с утонением стенки. При этом для предотвращения образования складок применяют прижимное кольцо 3 (рис. 6.7, а) или складодержатель, который прижимает заготовку к матрице 1 таким образом, что металл заготовки не образует складки, а под давлением пуансона 2 перемещается в радиальном направлении. Прижатие заготовки применяется как для первой, а также и последующих операций (рис. 6.7, б).

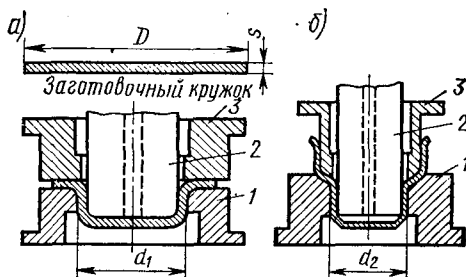


Рис. 6.7. Схема вытяжки

Определение размеров заготовки. Размеры плоской заготовки при вытяжке полых цилиндрических деталей определяют следующими методами: равенства поверхностей; равенства объемов; равенства масс.

Метод равенства поверхностей. Этот метод применяется для определения диаметра заготовки (рис. 6.8, б), используемой для получения полого цилиндра без утонения стенки (рис. 6.8, а), у которого толщина боковой стенки и дна равны (рис. 6.8, в). Исходя из геометрических соотношений, считая поверхность цилиндра по среднему диаметру $d_{cp} = d_b + s = d_1 + s$, получаем:

$$F' = F_{\pi} + F_6 = \pi d_{cp}^2 / 4 + \pi d_{cp} (h + h') = F = \pi D^2 / 4,$$

где F_{π} и F_6 — площадь дна и боковая поверхность цилиндра, откуда

$$D = \sqrt{d_{cp}^2 + 4d_{cp}(h + h')}, \quad (6.16)$$

где $h' = (4 \div 5\%) h$ — припуск на высоту для его зачистки.

Метод равенства объемов. Данный метод применяют при определении диаметра заготовки штампуемой полый детали с утонением стенки. При $s' < s$ $F' \neq F$, тогда для вытяжки цилиндра (рис. 6.9) имеем:

$$V = V_{\pi} + V_6 = (\pi d_{cp}^2 / 4) s + \pi d_{cp} (h + h') s' = V (\pi D^2 / 4) s,$$

откуда

$$D = \sqrt{d_{cp}^2 + 4d_{cp}(h + h') s' / s}. \quad (6.17)$$

Метод равенства масс. При наличии готовой детали легко определить размер заготовки из условия равенства масс: масса детали G' равна массе заготовки G ; тогда

$$D = \sqrt{4G' / (\pi s \nu)} = 1,1284 \sqrt{G' / (s \nu)}, \quad (6.18)$$

где s — толщина листовой заготовки, см; ν — плотность, кг/м³.

При вытяжке полых деталей сложной формы в виде тела вращения размер заготовки определяют графоаналитическим способом, пользуясь известной теоремой Гюльдена [12] о нахождении поверхности тел вращения.

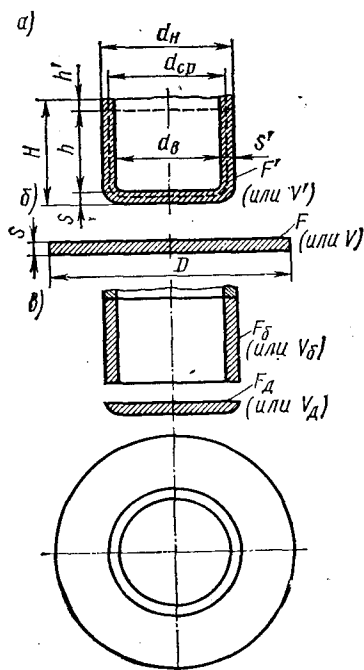


Рис. 6.8. Схема для определения диаметра заготовки

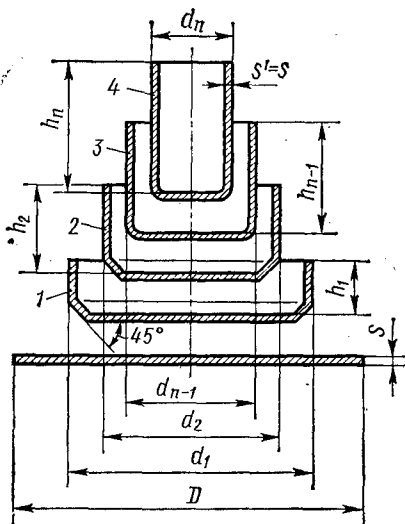


Рис. 6.9. Схема глубокой вытяжки

Размеры и формы заготовок при вытяжке квадратных и прямоугольных коробок определяют графоаналитическим способом, причем вытяжку в углах определяют по принятой методике [12].

Определение числа операций и коэффициента вытяжки. При вытяжке полых деталей с утонением по схеме (рис. 6.9) необходимо определить оптимальное число вытяжных операций 1, 2, 3, 4 без разрушения вытягиваемого металла, определяемое выбором коэффициента вытяжки.

Коэффициент вытяжки для полых деталей, имеющих форму тел вращения, равен отношению последующего диаметра к предыдущему диаметру заготовки или полуфабрикатов.

Для операции 1 он выражается отношением $m_1 = \frac{d_1}{D}$.

Для следующих операций $m_2 = d_2/d_1$; $m_3 = d_3/d_2$... $m_n = d_n/d_{n-1}$, где $d_1, d_2, \dots, d_{n-1}$ — диаметры первой и промежуточных полых цилиндрических заготовок, мм; d_n — диаметр готовой детали (диаметр последней вытяжки), мм.

Следовательно, величина коэффициента вытяжки всегда меньше единицы, т. е. $m_1 m_2 m_3 \dots m_n < 1,0$.

Величина, обратная коэффициенту вытяжки k , характеризует уровень деформации вытяжки и выражается отношением $k_1 = 1/m_1 = D/d_1$, а для последующих операций $k_2 = d_1/d_2$; $k_3 = d_2/d_3$... $k_n = d_{n-1}/d_n$; $k_1; k_2; k_3 \dots k_n > 1,0$. Следовательно, коэффициент вытяжки зависит от механических свойств металла, величины зерна и состояния поверхности, толщины металла s и формы вытягиваемой детали.

В табл. 6.1 приведены коэффициенты вытяжки цилиндрических деталей без фланца (при работе с прижимом) для стали марки 0,8; 10Г и 15Г [11].

Таблица 6.1

Коэффициент вытяжки k	Относительная толщина заготовки $s/D \cdot 100\%$ при различной s , мм				
	2,0—1,5	1,5—1,0	1,0—0,6	0,6—0,3	0,3—0,15
1	0,48—0,50	0,50—0,53	0,53—0,55	0,55—0,58	0,58—0,60
2	0,73—0,75	0,75—0,76	0,76—0,78	0,78—0,79	0,79—0,80
3	0,76—0,78	0,78—0,79	0,79—0,80	0,80—0,81	0,81—0,82
4	0,78—0,80	0,80—0,81	0,81—0,82	0,82—0,83	0,83—0,85
5	0,80—0,82	0,82—0,84	0,84—0,85	0,85—0,86	0,85—0,86

Расчет числа операций при вытяжке с утонением стенки производят из допустимой степени деформации за одну операцию.

Для операции 1:

$$k_1 = \frac{F_0 - F_1}{F_n} \cdot 100\% \approx \frac{s_0 - s_1}{s_0} \cdot 100\%;$$

для следующей операции n :

$$k_n = \frac{F_{n-1} - F_n}{F_{n-1}} \cdot 100\% \approx \frac{s_{n-1} - s_n}{s_{n-1}} \cdot 100\%.$$

Коэффициент вытяжки с утонением стенки для операции 1

$$m_{1\text{yr}} = F_1/F_0 \approx s_1/s_0;$$

для любой операции n

$$m_{n\text{yr}} = F_n/F_{n-1} \approx s_n/s_{n-1},$$

где F_0, F_{n-1} — площадь поперечного сечения полый цилиндрической заготовки до операции вытяжки 1 или n ; F_1, F_n — площадь попереч-

ного сечения детали после операции вытяжки 1 или n ; s_0, s_1, s_{n-1}, s_n — соответственно толщина стенки (полой) заготовки детали.

Усилие при вытяжке. Усилие вытяжки P_1 без утонения стенки при операции вытяжки 1 определяется из выражения [12]

$$P_1 = 1,25 k \pi s_B (D - d_1). \quad (6.19)$$

Усилие вытяжки при последующих операциях с диаметрами d_{n-1} и d_n

$$P_n = 1,3 k \pi s_B (d_{n-1} - d_n),$$

где $k = (1,2 \div 1,3)$ — коэффициент, учитывающий усилие для продвижения детали через матрицу.

Усилие вытяжки с утонением стенки

$$P_{yt} = \pi d_1 s_1 \sigma_{yt}, \quad (6.20)$$

где d_1 — диаметр детали после вытяжки, мм; s_1 — величина утонения стенки, равная $s - s'$, мм; σ_{yt} — сопротивление деформации при вытяжке с утонением, принимаемая для стали $(1,8 - 2,25) \sigma_B$, для латуни $(1,6 - 1,8) \sigma_B$.

Следует отметить, что в процессе вытяжки полой детали усилие вытяжки нужно увеличить на преодоление сопротивления буферных устройств и усилие прижима. Тогда полное усилие

$$P_{полн} = P + Q \text{ и } Q = Fq, \quad (6.21)$$

где F — площадь прижима в начальный момент вытяжки, m^2 ; q — давление, Па.

Значение q зависит от вида металла и его толщины — чем тоньше металл, тем больше давление.

Различные металлы имеют различные значения q в зависимости от коэффициента вытяжки m , приведенные ниже:

Алюминий АД1	0,08—0,12
Медь	0,12—0,18
Латунь	0,15—0,2
Сталь при $s > 0,5$ мм	0,2—0,25
Сталь при $s < 0,5$ мм	0,25—0,3

Промежуточный отжиг штампуемых деталей. В процессе проведения вытяжных операций штампуемая деталь претерпевает значительную деформацию со снижением своих пластических свойств. Поэтому для восстановления пластических свойств металла заготовки детали подвергают отжигу после каждой вытяжной операции по режиму, приведенному в табл. 6.2 [11].

После отжига для удаления окалины детали подвергают травлению в растворе кислоты H_2SO_4 с последующей их нейтрализацией в щелочи с промывкой в горячей воде и просушиванием.

Смазка при вытяжных операциях. В процессе вытяжки между элементами вытяжного штампа (матрицей, пуансоном) и поверхностью штампуемой детали возникает значительное трение, для снижения которого применяют различные смазки, приведенные в табл. 6.3 [11].

Таблица 6.2

Металл	Температура нагрева, °C	Время нагрева, мин
Сталь при $s < 2$ мм	600—650	—
Сталь при $s \geq 2$ мм	650—700	—
Медь	400—450	—
Латунь	500—540	—
Никель	750—850	—
Алюминий	230—250	40—45
Дюралюминий	400—420	С последующим охлаждением в печи до $t = 280^\circ \text{C}$

Таблица 6.3

Штампующий металл	Композиция смазки	Содержание смазки, %
Малоуглеродистая сталь	Веретенное масло	52—54
	Мыло	20
	Тальк	18—20
	Гипс	2,5
	Древесная мука	5,5
Нержавеющая сталь 1X18H9Г	Эмулсол	100
	Порошкообразная сера	21,5
	Вода	73,5
Медь, латунь	Сурепное масло	100
Никель	Смесь крепкого мыльного раствора с минеральным маслом	Устанавливается опытным путем
Алюминий	Машинное масло Технический вазелин	То же

Формоизменяющие операции. К формоизменяющим операциям относится выдавливание (прессование) (рис. 6.10). Деформируемый металл 1 под воздействием пуансона 2 вытесняется в зазор между пуансоном 2 и матрицей 3.

Различают выдавливание прямое (рис. 6.10, а), при котором металл течет в сторону рабочего хода; обратное (рис. 6.10, б) — металл течет в направлении, противоположном движению пуансона; комбинированное — металл течет по направлению рабочего хода и в обратном направлении (рис. 6.10, в).

Холодным выдавливанием изготавливают полые тонкостенные и толстостенные трубы с различным профилем.

Степень деформации ε при выдавливании

$$\varepsilon = (1 - F_d/F_3) \cdot 100\%, \quad (6.22)$$

где F_d — площадь поперечного сечения детали, м^2 ; F_3 — площадь поперечного сечения заготовки, м^2 .

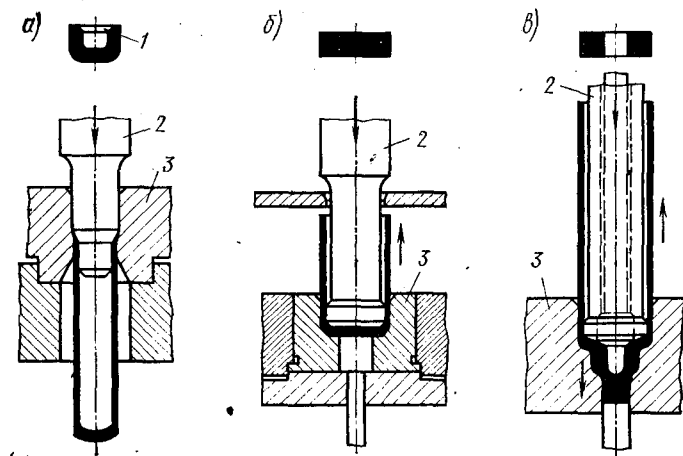


Рис. 6.10. Схема холодной вытяжки

Усилие пресса для выдавливания

$$P = k\sigma_T F, \quad (6.23)$$

где k — коэффициент, зависящий от формы детали; σ_T — предел текучести материала детали, Па; F — максимальная площадь поперечного сечения детали, м^2 .

Кроме выдавливания при формообразовании применяют калибровку, используемую для получения точных размеров и шероховатости поверхности деталей; чеканку — для создания на поверхности деталей выступов, углублений и надписей, выполняемую в закрытых штампах с использованием чеканочных прессов.

Оборудование для холодной штамповки. Для холодной штамповки применяют механические и гидравлические прессы, ротационные машины и др. [12]. В штамповочном производстве широко используют универсальные прессы, на которых производят вырубку, гибку и другие операции. В массовом производстве листовую штамповку выполняют автоматом, осуществляющим за один ход ползуна несколько операций. Такие многопозиционные прессы применяют для штамповки деталей из ленты, а также для штучных заготовок.

§ 6.4. ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКАЯ И МАГНИТОИМПУЛЬСНАЯ ШТАМПОВКА

Электрогидравлическая штамповка металлов осуществляется по схеме (рис. 6.11). На рис. 6.11, *а* показано устройство для проведения штамповочных операций в заготовках, имеющих цилиндрическую форму. Заготовка 11 помещена в форму 12. Внутренняя полость устройства 13 заполнена жидкостью 10 (водой). От высоковольтного источника тока 6, 5 через искровой промежуток 4 по

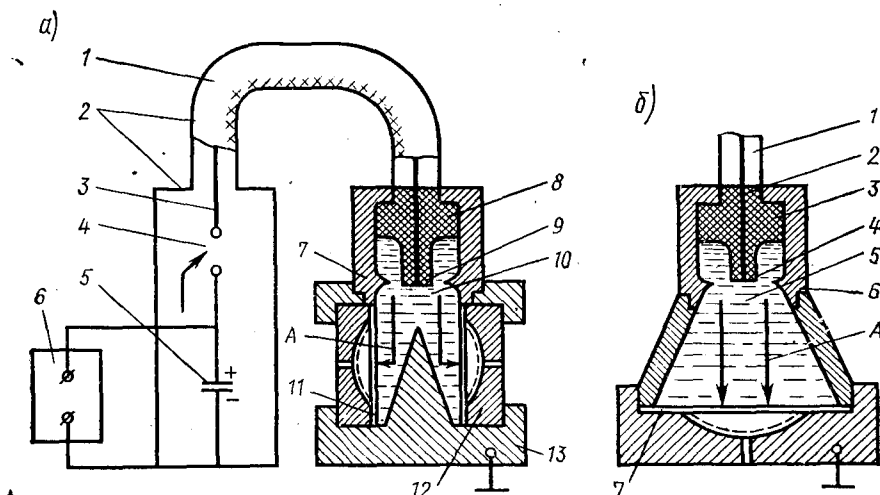


Рис. 6.11. Схема электрогидравлической штамповки

проводнику 3, 2 и 1 и изолятору 8 в корпусе 7 на плоский электрод 9 подается высоковольтный импульс тока, осуществляя при этом пробой промежутка между плоским электродом 9 и острым электродом устройства 13. Вследствие электродугового пробоя в объеме жидкости 10 возникает ударная волна А, гидроток и другие побочные явления, под воздействием которых деформируется заготовка 11 по контуру формы 12.

На рис. 6.11, *б* показано устройство для штамповки детали из плоской заготовки 7, полость которого заполнена жидкостью 6. От источника высоковольтного тока по проводнику 2 в изоляции 1 и 3 к плоскому электроду 4 прикладывается высоковольтный импульс тока, который пробивает промежуток жидкости 5 между заготовкой 7 и электродом 4. При этом в жидкости возникает ударная волна А, направленная к заготовке 7. Под воздействием ударной волны заготовка 7 деформируется по форме основания устройства.

Необходимо отметить, что число подаваемых высоковольтных импульсов при штамповке зависит от толщины материала, его механических качеств, глубины и формы вытяжки; обычно оно устанавливается опытом.

Размеры заготовок определяют из условия равенства поверхности заготовки и готовой детали с учетом технологического припуска. Диаметр исходной трубчатой заготовки определяют из условий допустимой степени деформации материала по периметру деформируемого контура:

$$(D - D_3)/D_3 = \varepsilon_d \leq \delta, \quad (6.24)$$

где D, D_3 — диаметры детали и исходной заготовки, мм; ε_d — допустимая степень деформации; $\delta = l_n[1 + (\delta_{10} - \delta_5)/100]$ — относительное удлинение материала заготовки, %; δ_{10} и δ_5 — полное относительное удлинение материала десятикратных и пятикратных образцов, %.

Длина образующей цилиндрической заготовки

$$l_3 = (1 - \varepsilon_{cp}) l_d + \Delta H_0, \quad (6.25)$$

где ε_{cp} — средняя степень деформации; l_d — длина образующей детали, мм; ΔH_0 — припуск по торцу детали, составляющий 3—10% длины образующей детали, мм.

Средняя степень деформации ε_{cp} для типовых геометрических форм, получаемых из трубчатых заготовок, определяется из соотношений: для цилиндра $\varepsilon_{cp} = (1/\sqrt{2})(D/D_3 - 1)$; для сферы $\varepsilon_{cp} = D/D_3 - 1$; для конуса $\varepsilon_{cp} = (1/2)(D/D_3 - 1)$.

Опыт освоения электрогидравлической штамповки показывает возможность изготовления различных деталей с использованием соответствующих формообразующих штампов.

Магнитоимпульсная штамповка. Магнитоимпульсная штамповка (деформация) металлов основана на взаимодействии импульсного магнитного поля катушки L (рис. 6.12, а) и магнитного поля заготовки. Эти поля образуют два магнитных связанных контура, одним из которых является неподвижно закрепленная катушка 2 (рис. 6.12, а), вторым контуром является заготовка 1, представляющая коротко замкнутый контур, гальванически не связанный с катушкой 2.

При разряде на катушку 2 конденсатора $C1$ (рис. 6.12, б) в ней создается импульс тока i_1 с возникновением переменного по величине магнитного потока, который сцепляется с короткозамкнутым контуром (заготовкой) и индуцирует в ней ЭДС, создающую в заготовке тока i_2 , направленный навстречу току i_1 . Между контурами, обтекаемыми токами противоположных направлений, возникает усилие, стремящееся отбросить их друг от друга.

Поскольку катушка 2 закреплена в крышке 3 неподвижно, заготовка 1 детали под воздействием силы F_1 , преодолевая предел прочности металла, отбрасывается в противоположном направлении с деформацией по форме основания 4 (рис. 6.12, а) с получением детали 5.

На рис. 6.12, б приведена принципиальная схема зарядно-разрядного устройства, содержащего трансформатор $Tp1$, выпрямительный мост $B1$, ограничивающее сопротивление $R1$, конденсатор-

ную батарею $C1$, полупроводниковый управляемый вентиль T — тиристор и катушку 6. Для управления зарядно-разрядным устройством предусмотрена схема управления, содержащая трансформатор $Tr2$, выпрямительный мост $B2$, сопротивление $R2$, конденсатор $C2$ и ключ K .

Давление, действующее на заготовку при магнитоимпульсной штамповке, пропорционально плотности энергии поля $B_1^2/(2\mu_0)$ и вызывает деформацию поперечного сечения заготовки (детали).

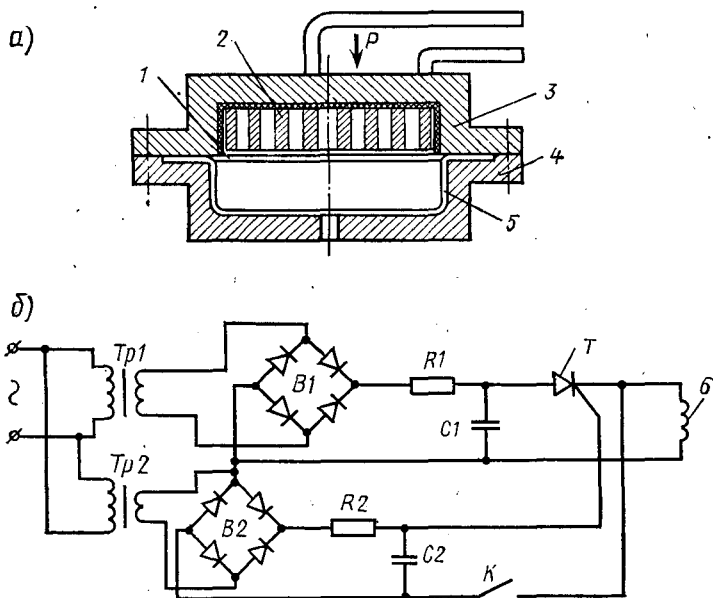


Рис. 6.12. Схема магнитоимпульсной штамповки

Энергия, поступающая в деталь как полезная работа деформации [14],

$$E = [B_1^2/(2\mu_0)] F_d \Delta x, \quad (6.26)$$

где F_d — величина поверхности деформируемой детали; Δx — путь ее деформации.

ОСНОВЫ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ

§ 7.1. ПРИПУСК НА ОБРАБОТКУ

Процесс резания металлов заключается в снятии с заготовки определенного слоя металла (припуска) для получения из нее детали требуемой формы и размеров с соответствующим качеством обработанных поверхностей.

Общий припуск, принимаемый при изготовлении заготовки, должен быть равен операционным припускам, удаляемым резанием при изготовлении данной детали. Величины операционных припусков зависят от погрешностей формы заготовки, толщины поврежденного слоя, неровностей, трещин, от способа установки и точности изготовления детали на предыдущих операциях.

Припуск на обработку $2z_b$ (для симметричных припусков на две стороны) [1]

$$2z_b \geq \delta_a + 2(R_z + T_a) + 2(\bar{\rho}_a + \varepsilon_b) \quad (7.1)$$

и припуск на обработку асимметричных припусков

$$z_b \geq \delta_a + (R_z + T_a) + (\bar{\rho}_a + \varepsilon_b), \quad (7.2)$$

где δ_a — допуск на размер, полученный на смежном предшествующем переходе; R_z — высота поверхностных микронеровностей на предшествующем переходе; T_a — учитываемая толщина поверхностного дефектного слоя на предшествующем переходе; ρ_a — векторная погрешность во взаимном положении поверхностей обрабатываемой детали на предыдущем переходе; ε_b — векторная погрешность установки на выполняемом переходе.

В основном припуск на обработку должен обеспечивать получение детали, заданной чертежом, а также быть минимальным во избежание перерасхода металла и уменьшения времени на обработку детали.

Величина припусков обычно принимается по заводским нормам и расчетам: для штампованных заготовок при массе 6 кг — 1,5—7 мм, при массе 16—25 кг — 3—11 мм; для поковок на сторону 3—20 мм; для отливок (в земле) 3—30 мм.

§ 7.2. ПОНЯТИЕ О БАЗАХ И ИХ ВЫБОРЕ

При изготовлении деталей резанием весьма важным вопросом является правильное базирование (установка) деталей на станке, от чего в значительной степени зависит точность их изготовления.

Базами называют поверхности, линии, точки и их совокупности, служащие для ориентации детали на станках. Различают тех-

нологические и конструктивные базы. В свою очередь технологические базы разделяют на установочные и измерительные.

Технологические базы — это точки или поверхности, необходимые для обработки детали.

Установочные базы — поверхности (а также линии и точки) детали, служащие для установки детали на станке и ориентирующие ее относительно режущего инструмента. Установочными базами могут быть различные поверхности заготовок (наружные и внутренние цилиндрические поверхности, центровые гнезда, плоскости, поверхности зубьев колес).

Конструктивные базы — это поверхности или точки, определяющие рабочее положение детали.

При первоначальной обработке в качестве баз используют необработанные поверхности (черновые базы). Установочные базы делят на основные и вспомогательные. Вспомогательные (черновые) установочные базы — это поверхности, которые используют только для установки детали на станке; они не имеют особого значения для работы аппарата, как, например, центровые гнезда у вала штока, обтачиваемого или шлифуемого с установкой в центрах.

Измерительная база — поверхность (линия или точка), от которой производится измерение размеров.

Конструктивная база — совокупность поверхностей, линий, точек, от которой заданы размеры и положения деталей при разработке конструкции. Конструктивные базы могут быть реальными (материальная поверхность) или геометрическими (осевые линии, точки).

Из механики известно, что каждое твердое тело имеет шесть степеней свободы (три поступательных и три вращательных движения) относительно трех взаимно перпендикулярных осей. Поэтому при установке заготовки на станке с использованием соответствующих приспособлений необходимо лишить ее всех степеней свободы, т. е. прижать заготовку к шести неподвижным точкам приспособления, так как каждая неподвижная одноточечная опора лишает твердое тело одной степени свободы. На рис. 7.1 дана схема базирования призматической детали по шести точкам 1, 2, 3, 4, 5, 6, где стрелки указывают направление трех зажимов.

При выборе черновых промежуточных баз руководствуются такими правилами: не следует брать поверхности или точки, на которых располагаются литники, выпоры, заусенцы и т. п., симметрично располагающиеся относительно других поверхностей. Не следует,

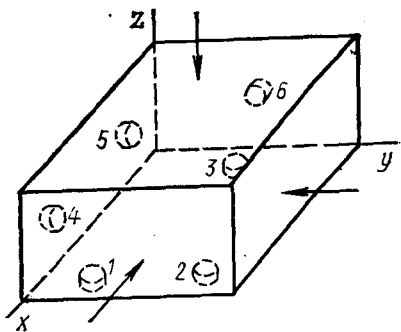


Рис. 7.1. Базирование детали при обработке

например, брать за базу поверхность отверстия, получаемого отливкой, так как из-за смещения стержня при отливке может получиться асимметрия наружных поверхностей относительно отверстия.

За базы рекомендуется принимать поверхности с минимальными припусками или не подвергаемые обработке. При переустановке заготовки черновые базы заменяют на чистовые или окончательные.

Чистовые базы выбирают с учетом следующих правил: при чистовой обработке в качестве баз желательно выбирать основные, а не вспомогательные установочные базы; обработку поверхности целесообразно вести при минимальном количестве баз; для обработки

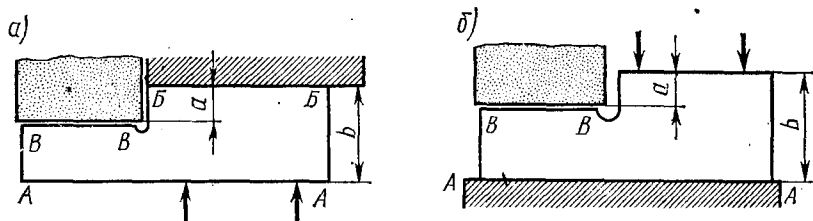


Рис. 7.2. Базирование детали при плоском шлифовании

особо точных поверхностей следует использовать постоянные базы; во избежание погрешности базирования в качестве базы следует брать поверхность, от которой взят размер для данной обрабатываемой поверхности, т. е. сохранить принцип совмещения установочной и измерительных баз.

На рис. 7.2 приведен пример базирования заготовки на поверхности AA и BB для плоского шлифования поверхности BB . Если допуск на размер b больше допуска на размер a ($\delta b > \delta a$), то базирование следует производить на плоскость BB (рис. 7.2, а). В этом случае погрешность базирования равна нулю. При установке по плоскости AA (рис. 7.2, б) погрешность базирования равна допуску на размер a (δa). В этом случае невозможно выдерживать размер a без переустановки шлифовального круга.

При точении и шлифовании тел вращения в качестве базирующих применяют наружную или внутреннюю поверхность, а также цилиндрическую поверхность и центровые гнезда.

При фрезеровании и сверлении с применением зажимных приспособлений в качестве базирующих поверхностей применяют две взаимно перпендикулярные плоскости и опорную точку в третьей взаимно перпендикулярной плоскости, плоскость и два отверстия для шпилек, три центровых гнезда, призмы для зажима цилиндрических деталей.

§ 7.3. ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ РЕЗАНИЕМ

При обработке деталей резанием происходят отклонения от размеров, заданных чертежом, вызываемые следующими причинами: неточностью и деформацией станка в процессе резания и темпера-

турными воздействиями; неточностью приспособлений и режущих инструментов (сверл, зенкеров, разверток и т. п.); деформацией обрабатываемой детали, возникающей от действия сил резания и сил зажатия; нагревом в процессе обработки и действием внутренних напряжений, а также воздействием на точность изготовления других причин.

В результате этих причин у детали при изготовлении резанием отклоняются размеры от заданных или получается погрешность при их изготовлении.

Суммарная погрешность обработки. Суммирование погрешностей принимают в зависимости от вида погрешностей (систематические или случайные), алгебраические (с учетом знака) или арифметические (без учета знака). Систематические погрешности суммируют алгебраически, поскольку можно определить их величину и направление. В некоторых случаях систематические погрешности могут взаимно погашать друг друга. Так, например, температурные деформации резца можно частично компенсировать размерным износом резца в радиальном направлении.

Суммирование систематических и случайных погрешностей производят арифметически, т. е. полагая, что эти погрешности имеют одинаковый знак. Это соответствует максимальной величине суммарной ошибки.

Случайные погрешности при симметричном законе распределения определяют по правилу квадратного корня [1]:

$$\Delta = \sqrt{(K_1\Delta_1)^2 + (K_2\Delta_2)^2 + \dots + (K_m\Delta_m)^2}, \quad (7.3)$$

где Δ — суммарная погрешность; $\Delta_1, \dots, \Delta_m$ — составляющие погрешности; $K_1, \dots, K_m$ — коэффициенты, зависящие от кривых распределения отдельных погрешностей. Отдельные погрешности подчиняются одному закону распределения

$$K_1 = K_2 = K_3 = \dots = K_m = K, \quad \Delta = K \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \dots + \Delta_m^2}. \quad (7.4)$$

В общем случае $K = 1 \div 1,73$. При распределении погрешностей по нормальному закону (по закону Гаусса) $K = 1$.

При анализе точности обработки на настроенных станках рекомендуется брать $K = 1,2$.

Кривые распределения размеров. Для оценки точности обработки деталей применяют способ построения кривых распределения размеров. При этом получается, что если измерить партию деталей, обработанных в одинаковых условиях, то их размеры отличаются друг от друга, а иногда совпадают. Разность максимального $A_{\max}$ и минимального $A_{\min}$ размеров, полученных для партии деталей, называют полем рассеяния размеров. Поле рассеяния размеров характеризует точность обработки — чем меньше поле рассеяния, тем точнее метод обработки.

Кроме поля рассеяния размеров точность обработки характеризует закон распределения размеров (кривая распределения). Для

построения кривых распределения производят измерения данного размера на определенном количестве деталей (от 50 до 250 деталей). Совокупность измерений деталей разбивают на ряд групп размеров с одинаковыми интервалами, например: 0—0,02; 0,02—0,04 мм и т. д. По полученным данным строят график (рис. 7.3), на котором по оси x откладывают размеры групп деталей, а по

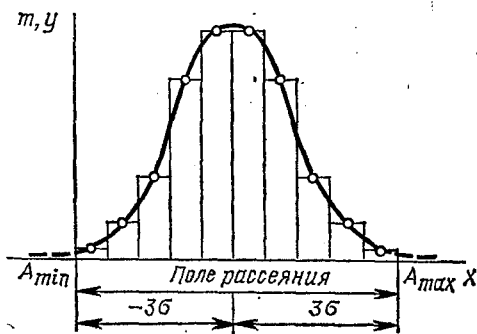


Рис. 7.3. График распределения размеров

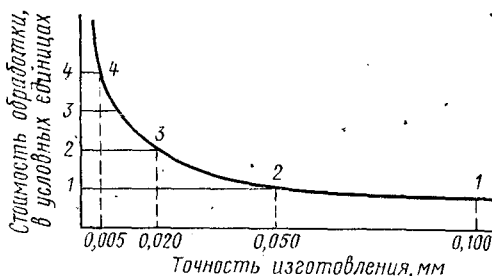


Рис. 7.4. График на изменение затрат при обработке деталей

оси y — число деталей m с размерами в пределах соответствующих групп (частота повторения размеров).

Метод построения кривых распределения размеров прост и надежен и может применяться для оценки точности деталей при разных способах их обработки.

К недостаткам метода построения кривых следует отнести то, что он в основном дает только суммарную оценку точности обработки и не показывает механизма действия разных факторов на точность обработки. Метод кривых распределения не учитывает изменения размеров в процессе обработки при переходе от одной детали к другой, т. е. вся совокупность деталей рассматривается без относительного порядка их обработки.

Экономическая и достижимая точность обработки. Для каждого метода механической обработки суще-

ствуют определенные пределы экономической точности. *Экономическая точность обработки* — понятие условное, включающее в себя получение деталей необходимой точности при минимальной стоимости обработки.

Достижимая точность — максимальная точность, которую можно получить при обработке детали рабочим высокой квалификации, работающим на вполне исправном станке при неограниченной затрате времени. При этом достижимая точность обработки выше экономической и в ряде случаев оказывается не рациональной из-за больших затрат времени на обработку.

На рис. 7.4 показана примерная кривая изменения затрат на обработку деталей в условных единицах 1, 2, 3, 4 в зависимости от точности обработки. Применительно к шероховатой поверхности

обрабатываемой детали также различают экономическую и достижимую шероховатость.

В табл. 7.1 приведена примерная экономическая точность и шероховатость поверхности для основных методов механической обработки.

Таблица 7.1

Метод обработки	Класс шероховатости	Класс точности	Метод обработки	Класс шероховатости	Класс точности
Точение:			Фрезерование:		
обдирочное	1—4	4	обдирочное	3—4	5
чистовое	5—7	3	чистовое	5—6	4
тонкое	8	2	тонкое	7—8	3
Строгание:			Сверление:		
обдирочное	1—4	5	зенкерование	4—6	5—4
чистовое	5—7	4—5	Шлифование		
тонкое	7—8	3	круглое и плоское:		
Развертывание:			обдирочное	4—6	4
черновое	5—6	3	чистовое	7—8	3
чистовое	6—8	2	тонкое	9—10	3—2 (1)
тонкое	8—9	2 (1)	притирка	7—14	2—1
Протягивание	6—10	3—2 (1)	хинингование	9—13	2—1
			суперфиниш	9—14	—
			полирование	7—12	—

§ 7.4. ТИПОВЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ РЕЗАНИЕМ

Основные понятия. В производстве различных электрических аппаратов — высоковольтных выключателей, замыкателей, разъединителей и других применяются детали и сборочные единицы, изготовляемые резанием с использованием точения, фрезерования, строгания, шлифования, сверления и др.

Метод обработки резанием совершается с применением режущих инструментов (резца, фрез, шлифовальных кругов, сверл, разверток и т. п.), которые в процессе обработки металлов имеют основные, вспомогательные и исполнительные движения (рис. 7.5, а—д).

К основным относятся движение резания *I* и движение подачи *II*, к вспомогательным движениям — перемещение суппорта, делительной головки и т. п.

В процессе резания металла режущим инструментом происходит местное сжатие и сдвиг металла с образованием стружек различных видов. Составными элементами процесса резания являются: глубина, скорость и площадь резания.

Глубиной резания t называют расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями, измеренное по нормали к последней.

При точении — это толщина слоя металла, срезаемого за один проход резца:

$$t = (D - d)/2,$$

где t — глубина резания, мм; D — наружный диаметр, мм; d — внутренний диаметр, мм.

Подачей s называют величину перемещения резца за один оборот детали. Подачу, совершаемую по направлению точения, называют продольной, а подачу, направленную перпендикулярно точению, называют поперечной.

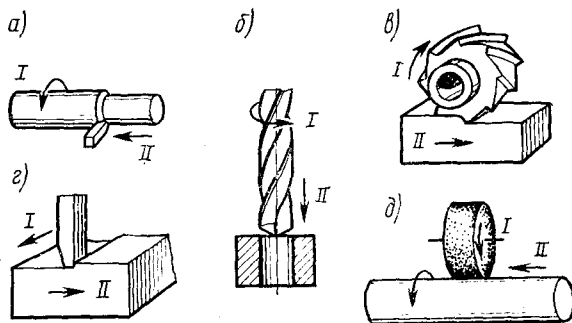


Рис. 7.5. Различные схемы обработки металлов

Скорость резания v — окружная скорость обрабатываемой поверхности детали относительно резца, связанная с диаметром обрабатываемой детали, а также числом оборотов следующим соотношением:

$$v = \pi D n / 1000, \quad (7.5)$$

где D — диаметр обрабатываемой заготовки, мм; n — число оборотов шпинделя станка, с^{-1} .

Площадь резания — произведение глубины резания t на подачу s :

$$f = ts.$$

Режущие инструменты и принадлежности при точении. Основным режущим инструментом при точении является резец. По форме головки и направлению подачи резцы подразделяют на правые и левые и др. По назначению резцы различают на проходные, подрезные, отрезные, расточные и резьбовые [1].

К токарному станку, на котором производят точение, добавляют: центра для базирования детали при наружной обточке валов; самоцентрирующий трех- или четырехлапчатый патрон для зажатия обрабатываемой детали; подвижные и неподвижные люнеты, служащие для дополнительной опоры при точении длинных тонких валов.

Технология точения. На токарных станках изготавливают детали, имеющие форму тел вращения — валы, втулки, трубы, фланцы, кольца и др. Заготовку, подлежащую токарной обработке, зажимают в патроне станка или в его центрах в зависимости от вида и формы детали.

После этого резец для выполнения данной операции закрепляют в суппорте токарного станка по центру обрабатываемой или растачиваемой детали, устанавливают режим резания, подачу, глубину и скорость резания с использованием таблицы коробки скоростей и подач станка. Затем включают станок и начинают изготавливать детали в соответствии с размерами, приведенными в эскизах (табл. 7.2).

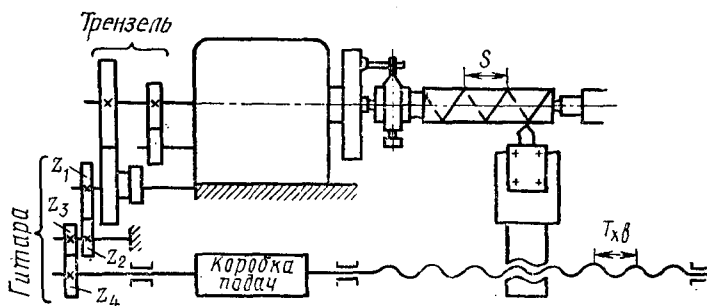


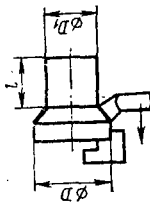
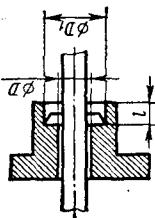
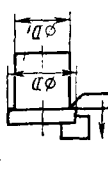
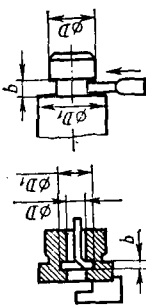
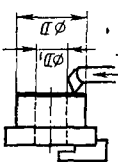
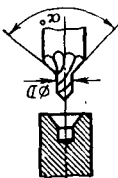
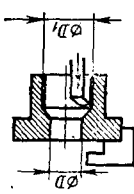
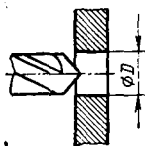
Рис. 7.6. Схема наружной нарезки резьбы

Детали, изготавливаемые точением, могут иметь резьбовые нарезки в виде наружной или внутренней резьбы. Например, при наружной нарезке резьбы (рис. 7.6) работа выполняется в такой последовательности: деталь, предназначенную под нарезку резьбы, зажимают в центрах токарного станка, резьбовой резец — в суппорте перпендикулярно к нарезаемой поверхности детали. Механизмом подачи устанавливают шаг движения резца. Процесс нарезки полного профиля совершается за несколько проходов. После каждого прохода резец отводится в исходное положение и по нониусу винта поперечной подачи устанавливают глубину резания для каждого прохода, повторяя проходы до получения требуемого профиля резьбы.

При нарезке правой резьбы шпиндель станка сообщает прямой ход и подачу от задней бабки к передней. При нарезке левой резьбы шпиндель также имеет прямой ход, но подача осуществляется от передней бабки к задней с использованием переключающего устройства (трэнзеля). При нарезке резьб рекомендуется применять смазочно-охлаждающие жидкости (эмульсии, сурепное масло, сульфофрезол).

Режимы резания при точении. Принятый режим резания в значительной степени определяет точность и шероховатость поверхности изготавливаемых деталей, а также производительность трудовых

Таблица 7.2

Содержание перехода	Эскиз перехода	Содержание перехода	Эскиз перехода
Обточить с $\varnothing D$ до $\varnothing D_1$ на длине l начерно (начисто)		Расточить в упор с $\varnothing D$ до $\varnothing D_1$ на глубину l начерно (начисто)	
Обточить с $\varnothing D$ до $\varnothing D_1$ с подрезкой уступа начерно (начисто)		Проточить канавку шириной b , с $\varnothing D$ до $\varnothing D_1$	
Подрезать торец с $\varnothing D$ до $\varnothing D_1$ начерно (начисто)		Центровать $\varnothing D \times \alpha^\circ$	
Расточить отверстие с $\varnothing D$ до $\varnothing D_1$ начерно (начисто)		Сверлить отверстие $\varnothing D$	

процессов при точении. Обычно требуемую подачу s принимают по паспорту станка, близкую к расчетной:

$$s = q/t,$$

где s — подача, мм; q — сечение стружки, мм²; t — глубина резания, мм.

Скорость резания принимают с учетом стойкости резца и по паспортным данным токарного станка

$$v_r = C_v / (t^{x_v} s^{y_v}), \quad (7.6)$$

где v_r — скорость резания при выбранном периоде стойкости резца, мин; C_v — величина, зависящая от материалов резца, детали и вида обработки, принимаемая по таблицам; t — глубина резания, мм; s — подача, мм/об; x_v, y_v — показатели степени соответственно при глубине резания и подаче, принимаемые по таблицам.

Технология фрезерования. Фрезерование является процессом снятия припуска металла с заготовки с целью получения размеров детали, заданных чертежом. Технология фрезерования включает следующие операции: установку и закрепление на столе станка заготовки, подлежащей фрезерованию; закрепление в шпindelе станка требуемых фрез для обработки данной технологической операции и другие вспомогательные работы. В табл. 7.3 приведены примеры фрезерования лыски в размер H , фрезерование четырех плоскостей набором цилиндрических фрез в размер $H - H_1$, фрезерование шпоночного паза Т-образной ширины b и фрезерование шпоночной канавки $b \times L$ размером H .

Проведение операций фрезерования осуществляется при соответствующих глубине резания, движении подачи, скорости резания и затрачиваемого машинного времени на обработку детали.

Под *глубиной фрезерования* понимается толщина срезаемого слоя металла, измеряемого по перпендикуляру к обрабатываемой поверхности.

Под *подачей* понимается перемещение фрезеруемой детали относительно вращающейся фрезы. При этом различают минутную подачу, подачу на оборот и подачу на зуб, которые связаны между собой следующим соотношением (мм/мин):

$$s_m = s_0 n = s_z z n,$$

где s_z — подача на зуб; z — число зубьев; n — число оборотов.

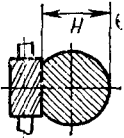
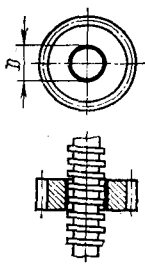
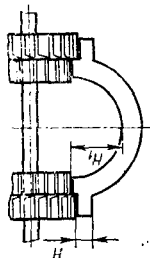
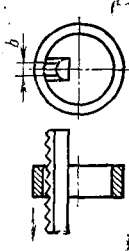
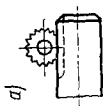
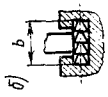
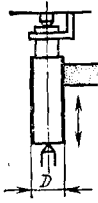
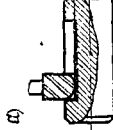
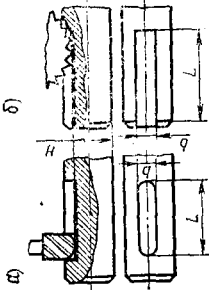
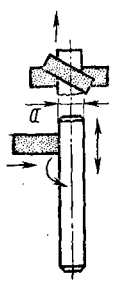
Скорость резания при фрезеровании (м/мин) зависит от диаметра фрезы и числа оборотов:

$$v = \pi D n / 1000, \quad (7.7)$$

или с учетом стойкости фрез

$$v_r = [C_v D^2 / (T^m t^{x_s} s_z^{y_s} B^a z^p)] k, \quad (7.8)$$

где C_v — величина, характеризующая материал заготовки; T — стойкость фрезы, мин; t — глубина фрезерования, мм; s_z — подача на зуб; B^a — ширина фрезерования, мм; k — общий поправочный коэффициент.

Содержание перехода	Эскиз перехода	Содержание перехода	Эскиз перехода
Фрезеровать лыску в размер H начерно (начисто)		Протянуть отверстие $\varnothing D$ начерно (начисто)	
Фрезеровать четыре плоскости набором фрез в размер H и H_1 начерно (начисто)		Протянуть шпироночную канавку шириной b начерно (начисто)	
Фрезеровать паз шпоночный (а), Т-образный шириной b (б)	 	Шлифовать по верху до $\varnothing D$ начерно (начисто)	
Фрезеровать шпоночную канавку $b \times L$ размер H шпоночной фрезой (а), пазовой фрезой (б) начерно (начисто)	 	Шлифовать на бесцентровом шлифовальном станке вал $\varnothing D$ начерно (начисто)	

циент, учитывающий условия работы; m, x, y, P — показатели степеней, принимаемые по справочным таблицам.

При фрезеровании машинное (основное) время (мин)

$$T_{\text{маш}} = L/s_m, \quad (7.9)$$

где L — расчетная длина прохода, мм; s_m — минутная подача.

Обработка на строгальных, долбежных и протяжных станках. Строгальные, долбежные и протяжные станки (рис. 7.7) предназначены для обработки резцом плоских и линейчатых поверхностей, пазов, торцов и других аналогичных работ. Строгальные станки подразделяют на поперечно-строгальные, продольно-строгальные.

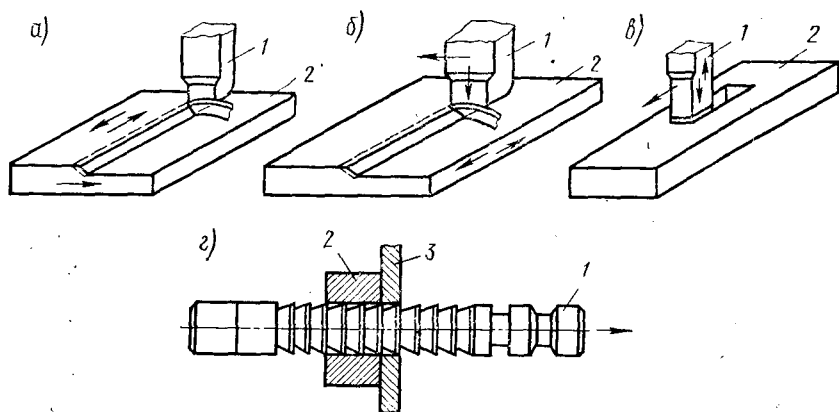


Рис. 7.7. Схемы металлообработки на строгальных, долбежных и протяжных станках

У поперечно-строгальных станков поступательно-возвратное движение совершает закрепленный в суппорте резец 1, а обрабатываемая деталь 2 — движение периодической поперечной подачи (рис. 7.7, а). У продольно-строгальных станков поступательно-возвратное движение совершает обрабатываемая деталь 2, а резец 1 — периодическую подачу в поперечном направлении (рис. 7.7, б). У долбежных станков резец 1 получает поступательно-возвратное движение вниз и вверх (рис. 7.7, в), а обрабатываемая деталь 2 — периодическую подачу в поперечном, продольном или круговом направлении.

Поперечно-строгальные станки обычно используются для обработки небольших деталей, так как наибольший ход ползуна у станков лежит в пределах от 400 до 1200 мм.

Продольно-строгальные станки применяются для обработки горизонтальных, вертикальных и наклонных плоскостей крупных деталей или для одновременной обработки нескольких последовательно-закрепленных на столе станка мелких деталей, так как ход стола у этих станков достигает 3—4 м и более.

Долбежные станки используются для обработки внутренних шпоночных канавок, пазов и других наружных поверхностей. Значительное количество работ на долбежных станках выполняют по предварительной разметке контура отверстия, подлежащего обработке.

Строгальные и долбежные станки находят применение в серийном и мелкосерийном производствах.

Протяжные станки, работающие по схеме (рис. 7.7, з), применяются для обработки круглых и фасонных отверстий, пазов, наружных поверхностей и других видов обработки.

Протягивание обеспечивает точность размеров по 2—3-му классу и шероховатость обработки по 8—10-му классам.

Протягиванию предшествует предварительная обработка отверстия сверлом, разверткой. При протягивании деталь 2 прижимается силами резания протяжки 1 к опоре 3 станка. Обработка деталей на протяжных станках используется в серийном и массовом производствах.

Элементы и расчеты процесса резания при строгании. Площадь поперечного среза (мм^2)

$$f = ts = ab,$$

где a — толщина среза, мм; b — ширина среза, мм.

Основное машинное время (мин)

$$T_{\text{маш}} = [(B + B_1 + B_2)i]/(ns), \quad (7.10)$$

где B — ширина детали, мм; B_1 — длина врезания, мм; $B_2 = 2 \div 5$ — пробег резца в обе стороны; n — число двойных ходов резца или стола, мин; i — число проходов.

Скорость резания (м/мин)

$$v = C_v / (T^m t^x s^y), \quad (7.11)$$

где T — стойкость резца, мин; t — глубина резания, мм; s — подача, мм; m , x и y — показатели степени, принимаемые по справочным данным [1].

Глубину резания t принимают в зависимости от припуска на обработку, подачу s — по паспортным данным станка.

Элементы и расчеты процесса резания при протягивании. Скорость резания v при протягивании является скоростью поступательного движения протяжки, которая принимается равной 2—10 м/мин.

Подачей на зуб называют разность по высоте двух соседних зубьев протяжки. При обработке стали подача (превышение зубьев) принимается $s_z = 0,05 \div 0,15$ мм; при обработке чугуна $s_z = 1,0 \div 0,2$ мм.

Ширина среза слоя b равна длине или сумме длин режущих кромок протяжки. Например, у шлицевых протяжек ширина среза b равняется суммарной ширине шлицев.

Основное машинное время за один проход при протягивании (мин)

$$T_{\text{маш}} = L_{\text{пр}} k / (1000 v), \quad (7.12)$$

где $L_{\text{пр}}$ — длина рабочего хода, мм; $k = 1,14 \div 1,5$ — коэффициент, учитывающий обратный ход; v — скорость резания, м/мин.

Длина

$$L_{\text{пр}} = L + l_p + l_k + l,$$

где L — длина протягиваемого отверстия, мм; l_p — длина режущей части протяжки, мм; l_k — длина калибрующей части протяжки, мм; $l = 10 \div 20$ — длина перебегов протяжки, мм.

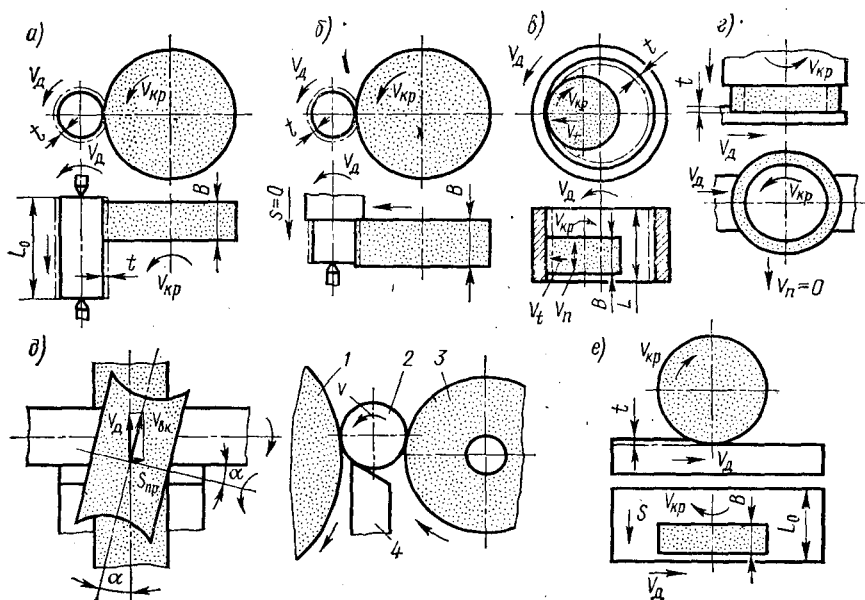


Рис. 7.8. Схемы шлифования

Технология шлифования. Во многих случаях изготовления деталей шлифование является окончательной обработкой деталей, выполняемой после операции точения, фрезерования, строгания и термической обработки. Шлифование проводится на шлифовальных станках при помощи абразивных инструментов — кругов, чашек и других режущих инструментов. Шлифование обеспечивает шероховатость обработки от 4-го до 10-го классов ГОСТ 2789—73 с точностью обработки размеров по 2—3-му классам.

Виды шлифования. Различают наружное круглое, внутреннее круглое, бесцентровое, плоское и другие виды шлифования (рис. 7.8). Наружное круглое шлифование с продольной подачей (рис. 7.8, а) выполняется при вращении в одну сторону шлифоваль-

ного круга и обрабатываемой детали. Кроме этого, обрабатываемые детали (иногда круг) имеют продольное перемещение параллельно оси вращения шлифовального круга. В конце каждого одинарного или двойного прохода шлифовальный круг получает поперечное перемещение на глубину резания t . По приведенной схеме (рис. 7.8, а) обрабатывают относительно длинные детали, валы, трубы и т. п.

Круглое шлифование может выполняться с поперечной подачей (рис. 7.8, б); его применяют для деталей, у которых длина обрабатываемой поверхности меньше или равна ширине круга B .

При круглом внутреннем шлифовании (рис. 7.8, в) круг и обрабатываемая деталь имеют вращательное движение. Круг имеет вращательно-поступательное движение подачи и поперечную подачу (на глубину резания) в конце каждого двойного хода. При внутреннем шлифовании параметры режима резания берутся примерно в 1,5—2 раза меньше, чем при наружном шлифовании, так как условия внутреннего шлифования имеют меньшую жесткость (вылет шпинделя). По сравнению с наружным шлифованием внутреннее шлифование используется для обработки полостей, цилиндров, втулок и т. п. деталей.

Бесцентровое шлифование (рис. 7.8, д) применяется для шлифования гладких валов. Обрабатываемая деталь 2 располагается на упоре 4 между шлифовальным 1 и ведущим 3 кругами. Шлифовальный круг вращается с окружной скоростью, равной примерно 30—40 м/с, ведущий круг — со скоростью 10—8 м/мин, который располагается под углом $\alpha = 1,5 \div 5^\circ$ к шлифовальному кругу, благодаря чему обрабатываемая деталь получает от ведущего круга вращательное и поступательное движения (вращательную v_d и продольную $s_{пр}$ подачи). Скорость продольной подачи $s_{пр}$ возрастает с увеличением угла α .

Плоское шлифование выполняется торцом (рис. 7.8, г) и периферией круга (рис. 7.8, е); при этом обрабатываемой детали сообщается поступательно-возвратное движение v_d ; кроме того, после каждого двойного хода — перемещение в поперечном направлении. Плоское шлифование используется для шлифования деталей в виде плит, квадратов, лысок и т. п.

Элементы процесса шлифования. При шлифовании, так же как и при других способах обработки металла резанием (точение, фрезерование, строгание), принимаются в расчет элементы шлифования — глубина и скорость резания, а также подача. Элементами режима резания при круглом наружном шлифовании (рис. 7.8, а) являются глубина резания (поперечная подача), продольная подача, окружные скорости круга и детали.

Глубина резания t — толщина снимаемого слоя металла за один проход шлифовального круга. При черновом шлифовании глубину резания (поперечную подачу) берут в пределах 0,01—0,08 и при чистовом 0,005—0,015 мм.

Продольная подача s — это продольное перемещение обрабатываемой детали (или круга), выраженное в миллиметрах за один оборот детали (мм/об). Подачу берут в долях от ширины слоя b

(рис. 7.8, а, б) шлифовального круга. При черновом шлифовании $s = (0,3 \div 0,7) B$; при чистовом шлифовании $s = (0,2 \div 4) B$ мм/об.

Скорость резания — окружная скорость шлифовального круга (м/с) [1]

$$v_k = \pi D_k n_k / (1000 \cdot 60), \quad (7.13)$$

где D — диаметр круга, мм; n_k — скорость вращения круга, с⁻¹.

В зависимости от материала и условий обработки допустимую окружную скорость вращения обрабатываемой детали (м/мин) можно подсчитать по эмпирическим формулам [1]:

при шлифовании периферией круга

$$v_d = c D_d^p / (T^m t^x s^y); \quad (7.14)$$

при шлифовании торцом круга

$$v_d = c / (T^m t^x B^z), \quad (7.15)$$

где D_d — диаметр детали, мм; t — глубина резания, мм; s — продольная подача в долях ширины круга на один оборот детали; B — ширина шлифования, мм; c, p, m, x, y, z — коэффициенты и показатели степеней, принимаемые из таблицы [1]; T — период стойкости круга, мин.

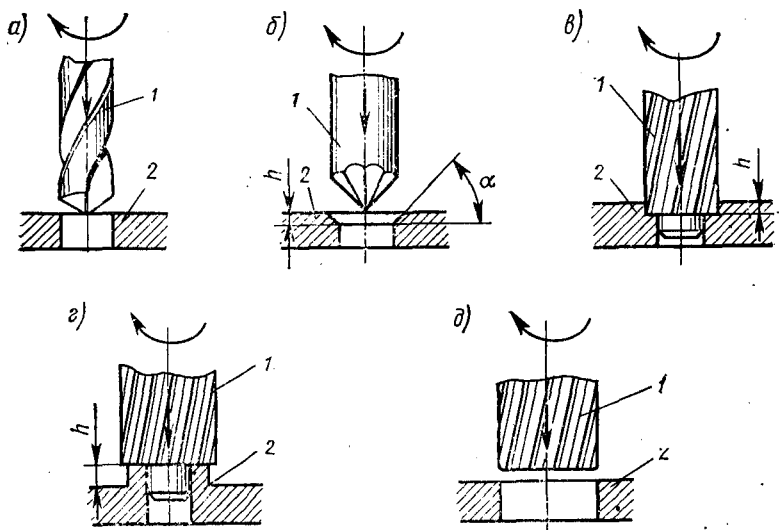


Рис. 7.9. Схемы сверления, зенкерования и других операций

Сверлильные и расточные работы. К технологическим операциям сверления относятся также зенкерование, развертывание, цекование и другие виды работ, выполняемые на соответствующих сверлильных станках по схеме (рис. 7.9). Сверление сквозных отверстий выполняется по схеме (рис. 7.9, а). Деталь 2 закрепляется на сто-

ле сверлильного станка и сверлом 1, вращающимся по часовой стрелке шпинделем станка, производится сверление. Сверление может выполняться по предварительно размеченным отверстиям (с нанесением кернов) или по кондуктору — приспособлению, которое определяет положение просверливаемых отверстий, применяемому обычно к деталям, имеющим полную согласованность при их сборке в узлы того или иного механизма.

Зенкование (рис. 7.9, б) выполняется конусообразным зенкером 1 для получения конусообразной фаски под углом α на глубину h в детали 2, прикрепленной к столу сверлильного станка.

Цековка выступа у детали 2 (рис. 7.9, г) проводится цековкой 1 с направляющим стержнем, требуемой шероховатости обработки выступа и высотой h .

На рис. 7.9, в приведен пример зенкования отверстия зенкером 1 на глубину h в отверстии детали 2. Процесс развертывания предварительно просверленного отверстия (рис. 7.9, д) совершается разверткой 1 в детали 2 с требуемой шероховатостью обработки.

В зависимости от конструкции и назначения различают следующие виды сверл: спиральные, перовые, центровочные, зенковочные и др.

Спиральные сверла с коническим и цилиндрическим хвостовиками имеют наибольшие применения. Геометрические элементы спиральных сверл приведены в [1]. Перовые сверла вследствие малой производительности применяются редко. Центровочные и зенковочные сверла применяются при обработке отверстий, показанных на рис. 7.9.

Элементы процесса резания при сверлении. При сверлении глубина резания t равна половине диаметра сверла $t = D/2$ мм.

Подача s — перемещение сверла в осевом направлении за один его оборот (мм/об). Вследствие того, что сверло имеет две главные режущие кромки, то подача, приходящаяся на каждую режущую кромку, $s_z = s/2$.

Скорость резания v (м/мин) — окружная скорость вращения точки режущей кромки, расположенной на наружном диаметре сверла,

$$v = \pi D n / 1000, \quad (7.16)$$

где n — число оборотов сверла, с^{-1} ; D — диаметр сверла, мм.

При сверлении площадь поперечного среза (мм^2), как и при точении, равна произведению глубины резания на подачу:

$$f = ts = sD/2,$$

а площадь поперечного среза, приходящаяся на одну режущую кромку,

$$f_1 = f/2 = sD/4.$$

Машинное (основное технологическое) время при сверлении и рассверливании (мин)

$$T_{\text{маш}} = L / (ns), \quad (7.17)$$

где $L = l + l_1 + l_2$ — длина прохода сверла в направлении подачи, мм; l — глубина сверления, мм; $l_1 \approx 0,3D$ — величина резания при сплошном материале, мм; $l_2 = 1 \div 3$ — величина перебега, мм.

Элементы процесса резания при зенковании и развертывании. Глубина резания при зенковании и развертывании равна полуразности диаметров отверстия до и после обработки (мм)

$$t = (D - D_0)/2.$$

Подача s — величина перемещения зенкера (развертки) вдоль оси за один оборот (мм/об). Подача на зуб (мм/зуб) $s_z = s/z$, где z — число зубьев зенкера (развертки).

Скорость резания при зенковании и развертывании (м/мин)

$$v = \pi D n / 1000, \quad (7.18)$$

где D — диаметр зенкера (развертки), мм; n — число оборотов, с⁻¹.

Площадь поперечного сечения среза, приходящаяся на одну режущую кромку зенкера (развертки) (мм²)

$$f_z = s_z t = ab = s(D - D_0)/(2z).$$

Общая площадь поперечного сечения среза (мм²)

$$f = f_z z = s(D - D_0)/2.$$

Сверлильные станки, используемые для сверлений, описаны в работе [1].

§ 7.5. ПРИМЕНЕНИЕ СТАНКОВ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ПРИ МЕТАЛЛООБРАБОТКЕ

Автоматизация — одно из основных направлений совершенствования металлообработки — повышения скорости процессов и производительности труда, улучшения качества обрабатываемых деталей, снижения брака и т. п. Под автоматизацией металлообработки понимается использование технических средств для оперативного управления работой металлорежущих станков без участия человека [28].

В металлорежущих станках применяется автоматизация работы отдельных механизмов, например включение и выключение подачи, подвод и отвод элементов станка и т. п. Имеются автоматические станки, где автоматизированы все рабочие и вспомогательные движения; получили распространение автоматические линии для обработки конкретных деталей.

Применение частичной или полной автоматизации станка осуществляется по заданной программе, содержащейся в различных механических устройствах — *программоносителях*. Программа может задаваться формой и положением кулачков и скоростью вращения распределительного вала (токарно-револьверный автомат ТА136); программное управление осуществляется также копировальными и другими устройствами.

Одной из наиболее прогрессивных является система числового программного управления. Программа задается с помощью чисел (координат) и записывается условным кодом (см. гл. 2) на перфорированной карте или ленте, магнитной ленте или киноленте. Такая программа вводится в считывающее устройство станка с последующим преобразованием в командные импульсы, воздействующие через управляющие механизмы на исполнительные органы станка, например суппорт токарного или стол фрезерного станка, заставляя

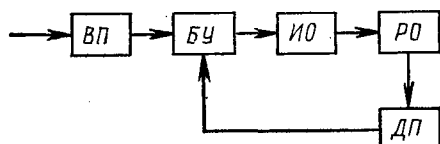


Рис. 7.10. Схема программного управления

их перемещаться с заданным направлением, величиной и скоростью.

В общем виде система программного управления у таких станков составляется из элементов-блоков, как показано на рис. 7.10.

Блок для ввода и чтения программ (ВП) состоит из

устройств для перемещения программоносителя, считывания закодированных управляющих (электрических, световых, магнитных и др.) сигналов и передачи их в блок управления.

Устройство для перемещения программоносителя представляет собой лентопротяжные механизмы для магнитных, перфорированных лент и кинолент или магазин для перфорированных карт.

Считывающее устройство аналогично устройству, на котором записывается программа. При протягивании намагниченной ленты относительно считывающей головки силовые магнитные линии ферромагнитного слоя замыкаются через сердечники магнитной головки и создают в ее обмотке переменный ток, поступающий в управляющее устройство станка.

Программа с перфорированных карт и лент, а также кинолент считывается обычно с помощью фотозлектрических устройств. Луч света от лампы через отверстие в перфорированной карте (ленте) попадает на фотосопротивление и возбуждает в нем ток, который поступает в блок управления.

Блок управления (БУ), или преобразующее устройство, предназначен для усиления и преобразования сигналов, полученных из блока ввода программы, в электрические командные импульсы или потенциалы, передаваемые в блок управления приводами или исполнительный орган.

Исполнительный орган (ИО) подключает рабочий орган станка к источнику движения.

Рабочий орган (РО) — управляемый узел станка — суппорт токарного станка, стол фрезерного станка и т. п.

В систему программного управления включается также *датчик перемещения (ДП)*, который фиксирует фактическое перемещение рабочего органа станка и передает информации в блок управления по принципу обратной связи. Суммирующее или сравнивающее устройство в блоке управления при несогласованности сигналов про-

граммы и датчика перемещений подают сигнал, корректирующий движение рабочего органа.

Системы числового программного управления по технологическому назначению или по виду управления движениями могут быть позиционными, прямоугольными и функциональными.

Позиционные (координатные) системы позволяют устанавливать инструмент в отдельных точках на поверхности заготовки, обеспечивая в соответствии с заданной программой определенное положение рабочего органа. Эти системы применяют для установочных движений любых станков.

Прямоугольные системы применяются для обработки ступенчатых валиков на токарных станках, прямоугольных контуров на фрезерных станках и т. п.

Функциональные (непрерывные) системы обеспечивают движение инструмента относительно заготовки по любой заданной траектории для обработки фасонных поверхностей на фрезерных, токарных и других станках.

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРУЖИН

§ 8.1. МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПРУЖИН

Для изготовления пружин применяются материалы в зависимости от условий их работы (вида нагрузки, климатических условий). Витые цилиндрические пружины, подвергаемые после навивки только отпуску, изготавливаются из стальной углеродистой проволоки по ГОСТ 7389—72 классов I, II, III с диаметром проволоки от 0,14 до 8 мм. Пружинная проволока класса I используется для весьма ответственных пружин, предназначенных для больших нагрузок и перемещений. Пружинная проволока класса II используется для пружин, работающих при средних нагрузках. Пружины из проволоки класса III изготавливаются для небольших нагрузок и перемещений.

Пружины из углеродистой пружинной стали по ГОСТ 9389—75 термообработке не подвергаются. Для изготовления пружин, работающих с очень большой и переменной динамической нагрузкой, используется стальная легированная проволока марки 60С2А по ГОСТ 14963—69 с диаметром от 3 до 12 мм.

Пружины из стали этой марки подвергаются закалке с охлаждением в масле при их нагреве до $t=870^{\circ}\text{C}$, с отпуском при $t=400^{\circ}\text{C}$. После термообработки твердость пружин должна быть по HRC 40—47.

Пружины, которые должны обладать высокими антикоррозионными свойствами, изготавливают из кремнемарганцовистой бронзы марки БрКМц3-1; оловянно-цинковой бронзы марки БрОЦ4-3; берилловой бронзы БрБ2 и БрБ2,5 и др. Проволоку из бронзы выпускают с диаметром от 0,1 до 10 мм. Плоские пружины изготавливают из инструментальных и пружинных сталей У8А, 65Г, Г5С2А.

Плоские пружины и пружинящие контакты изготавливают из берилловой бронзы, которая как материал с достаточной прочностью обладает малым гистерезисом, хорошей электропроводностью, антикоррозионностью и стабильностью упругих свойств до температуры 150°C .

§ 8.2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПРУЖИН

Навивка пружин. Технологический процесс изготовления цилиндрических пружин (рис. 8.1) включает операции: навивку, обработку торцов или прицепов, термическую обработку, стабилизацию, антикоррозионные покрытия и технический контроль.

Навивка пружин осуществляется на оправке или безоправочным способами. Цилиндрические пружины из проволоки диаметром d 6—10 мм и выше обычно навивают на оправке с использованием токарного станка по схеме (рис. 8.2). Оправка 2 зажимается с одного конца патроном токарного станка 1, а с другого конца подпи-

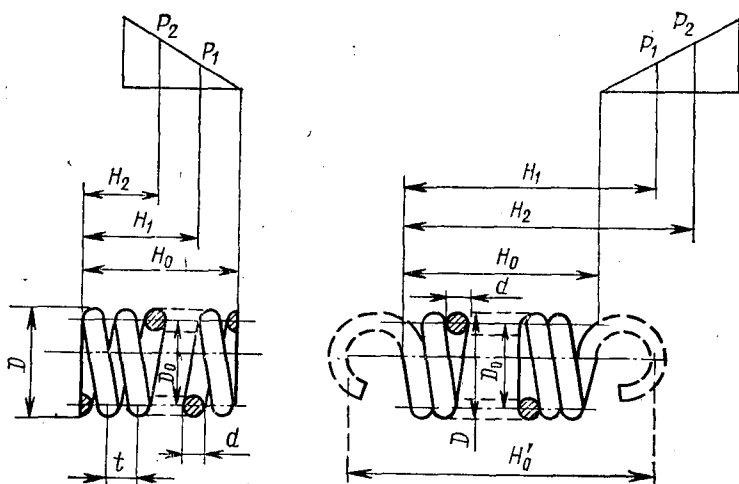


Рис. 8.1. Цилиндрические пружины

рается вращающимся центром 4. Конец проволоки подлежащей навивке пружины 3 заправляется в отверстие оправки 2. Для создания натяжения и направления проволоки при навивке она зажимается текстолитовыми пластинами с использованием винтовых креплений резцедержателя 5 — суппорта токарного станка.

После проведения указанной подготовки устанавливают требуемый шаг и включают станок для навивки пружины с нужным числом витков. После чего пружинную проволоку обрезают или отрезают на участке между суппортом и бухтой проволоки. Затем с навитой пружины частично снимают упругое напряжение путем перемещения суппорта в поперечном направлении с последующим его перемещением к задней бабке, при этом заправленный конец проволоки в отверстие оправки (перед навивкой пружины) должен

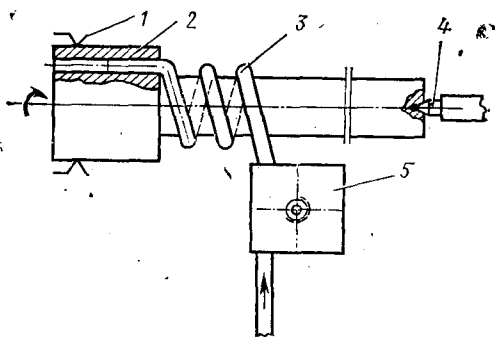


Рис. 8.2. Схема устройства навивки пружин

перемещения суппорта в поперечном направлении с последующим его перемещением к задней бабке, при этом заправленный конец проволоки в отверстие оправки (перед навивкой пружины) должен

выйти из отверстия с окончательным снятием с пружины упругого напряжения.

После этого проволоку с навитой пружиной можно освободить от зажимов в резцедержателе 5.

Навивку пружин из проволоки диаметром более 8 мм следует производить в нагретом состоянии при $t=850\div 900^\circ\text{C}$. Нагрев осуществляется электрическим током, для чего проволоку перед навивкой подсоединяют к обмотке трансформатора с напряжением 2—3 В.

Установлено, что навитая пружина после ее снятия с оправки диаметром D увеличивается на ΔD [15]:

$$\Delta D = \frac{3}{\pi} \left[1 - \left(\frac{h}{\pi D} \right)^2 \right] \frac{\sigma_n}{E} C \xi D, \quad (8.1)$$

где h — шаг пружины, мм; $C=D-d$ — средний диаметр пружины, мм; d — диаметр проволоки, мм; $\xi = \frac{1}{6} + \frac{0,1}{C} \cdot \frac{\sigma_0/\sigma_n}{\varepsilon_0 - \varepsilon_n} \cos \alpha_0$ — коэффициент; σ_0 — относительное напряжение при разрыве проволоки; σ_n — относительное удлинение, соответствующее временному сопротивлению; α_0 — угол подъема витков пружины.

Диаметр оправки $D_0=D_i-\Delta D$, где D_i — внутренний диаметр пружины.

Следует отметить, что с увеличением диаметра пружины при снятии ее с оправки возрастает также шаг витков, а свободная длина пружины H_0 , угол подъема и число витков уменьшаются. Эти изменения размеров пружины пропорциональны σ_n проволоки и выражению $c=D-d$.

В условиях производства определять диаметр оправки по формуле (8.1) неудобно. Поэтому в большинстве случаев диаметр оправки для навивки пружин устанавливают опытным путем. Для этого навивают несколько пружин с различными диаметрами оправок, на основе чего устанавливают оптимальный диаметр для навивки данной цилиндрической пружины.

Навивка пружин на оправку является малопроизводительным способом, который применяется при изготовлении небольшого количества, а также при навивке пружин из проволоки $\varnothing 6-12$ мм.

Для навивки пружин применяют так называемый безоправочный способ, выполняемый на специальных автоматах, работающих по схеме (рис. 8.3). Проволока, поступающая из мотка, выпрямляется системой роликов 1 и подается транспортирующими роликами 2 через направляющую втулку 3; при этом, встречая на своем перемещении навивальный палец 6, проволока огибается им вокруг неподвижной опоры 7, образуя пружину 5, которая по мере навивки сходит с опоры. Отрезка пружин осуществляется ножом 4. Заправка проволоки в автомат при установке каждого нового мотка и все остальные операции — подача проволоки, фиксация заданного шага, прекращение подачи проволоки и отрезка навитой пружины — выполняются автоматически.

Пружинонавивальный автомат модели А512 позволяет навивать пружины из проволоки диаметром 1,0—4,0 мм. Производительность автомата в 10—20 раз выше ручной навивки (с использованием оправки), при лучшем качестве пружины.

Обработка торцов и прицепов пружин. Для получения плоских опорных поверхностей у пружин, работающих на сжатие, торцы пружин подвергают шлифованию. При шлифовании снимают до $\frac{3}{4}$ толщины витка перпендикулярно оси пружины. При этом выдерживается свободный размер пружины.

Шлифование торцов пружины выполняют на абразивных заточных станках, но это непроизводительно и не всегда обеспечивает обработку торцов перпендикулярно оси пружины. Поэтому шлифование торцов пружин целесообразно производить на плоскошлифовальных станках, в приспособлении в виде плиты с отверстиями, равными наружному диаметру пружины, в которые они закладываются. Плита приспособления помещается на магнитный стол станка с обеспечением требуемого ее закрепления и пружин. Пружины, отшлифованные с одного торца, переворачивают и затем шлифуются вторым торцом.

При массовом изготовлении пружин применяются специальные шлифовальные станки, имеющие два шлифовальных круга, которые могут автоматически сближаться между собой с одновременным шлифованием обоих торцов пружин [2]. Пружины, работающие на растяжение или кручение, имеют концевые витки в виде прицепов специальной формы, необходимой для их крепления. Прицепы стандартной формы получают на автоматах, а нестандартной формы — гибкой с использованием специальных приспособлений или вручную.

Термическая обработка пружин. Термическую обработку пружин проводят после всех операций механической обработки. Пружины из стальной термически обработанной проволоки по ГОСТ 9389—75 подвергают только отпуску для снятия внутренних напряжений. Для отпуска пружин их нагревают до $t=250\div 320^\circ\text{C}$ с временем выдержки в зависимости от диаметра проволоки пружины.

Пружины из стали марок 50ХФА, 60С2А и другие подвергают закалке и отпуску (согласно справочным данным предприятия), а пружины из бериллиевой бронзы — дисперсионному отверждению, проводимому в вакууме с выдержкой, обусловленной производственной инструкцией.

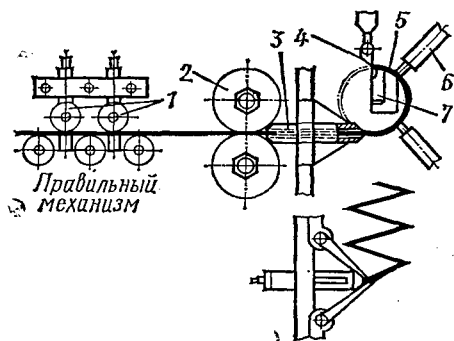


Рис. 8.3. Схема навивки пружин без оправочным способом

Стабильные свойства пружин получаются старением (механической раскачкой) или «заневоливанием». При механическом старении проводят периодическое растяжение (для пружин, работающих на растяжение) в течение 1—2 ч с числом циклов 30—40 в одну минуту. «Заневоливание» заключается в сжатии пружин до соприкосновения витков или растяжении усилием, превышающим рабочее, и выдерживании в указанном состоянии от 6 до 48 ч.

В качестве антикоррозионного покрытия применяют фосфатирование, цинкование, оксидирование, кадмирование и др.

Контроль готовых пружин включает в себя внешний осмотр, измерение геометрических размеров и испытание под нагрузкой. При внешнем осмотре выявляют поверхностные дефекты в виде трещин, заусенцев и др.

Измерением устанавливают соответствие размеров пружины, заданных чертежом. Измерению подлежат следующие параметры: свободная длина пружины H_0 , наружный диаметр D , равномерность шага t , перпендикулярность опорной плоскости пружины, диаметр проволоки d .

Дополнительные испытания пружин определяются их назначением. Так, например, пружины для нажатия на контакты тарируют, т. е. определяют развиваемое ими усилие при их рабочем ходе, что выполняют на специальном прессе, фиксирующем ход и нагрузку пружины.

Расчетная взаимосвязь между элементами пружины. В практике изготовления пружин происходит отклонение осевой силы пружины P от расчетных значений, вызываемых отклонениями диаметра проволоки, среднего диаметра и числа витков пружины. Рассмотрим соответственно влияние этих факторов на осевую силу пружины [2].

Осевая сила пружины (H)

$$P = fGd^4 / (8nD_{cp}^3), \quad (8.2)$$

где G — модуль упругости при сдвиге, Па; f — деформация пружины, мм; d — диаметр проволоки, мм; n — число витков; D_{cp} — средний диаметр пружины, мм.

Обозначим Δd допуск на диаметр проволоки; при этом ее диаметр $d_1 = d + \Delta d$. Тогда значение силы

$$P_1 = fGd_1^4 / (8nD_{cp}^3). \quad (8.3)$$

Разделив уравнение (8.3) на (8.2), получим

$$P_1/P = (d_1/d)^4 = [(d + \Delta d)/d]^4 \text{ или } P_1 = P(1 + \Delta d/d)^4.$$

Разложив выражение $(1 + \Delta d/d)^4$ в ряд и ограничиваясь первыми членами разложения, получим $[(1 + \Delta d)/d]^4 \approx 1 + 4\Delta d/d$. Тогда формула для P_1 примет вид

$$P_1 = P(1 + 4\Delta d/d). \quad (8.4)$$

Если диаметр проволоки $d = 0,2$ мм и $\Delta d = +0,01$ мм, то по формуле (8.4)

$$P_1 = P(1 + 4 \cdot 0,01/0,2) = 1,20 P,$$

т. е. величина осевой силы при одинаковой степени деформации пружины возрастает на 20%. При $d=2$ мм и $\Delta d = +0,01$ мм

$$P_1 = P(1 + 4 \cdot 0,01/2) = 1,02 P,$$

т. е. при увеличении диаметра проволоки на ту же величину допуска значение осевой силы возрастает только на 2%. Следовательно, чем меньше диаметр проволоки, тем больше влияние допуска на осевую силу пружины.

Допуски на наружный и внутренний диаметры пружины обычно устанавливаются из условий сопряжения пружины с другими деталями.

Обозначая ΔD отклонение по среднему диаметру пружины, получаем

$$P_1 = P [D_{cp}/(D_{cp} - \Delta D)]^3 \text{ или } P_1 = P(1 + 3\Delta D/D_{cp}). \quad (8.5)$$

Допустим, что $D=2$ мм, $\Delta D=0,1$ мм. Тогда из формулы (8.5)

$$P_1 = P(1 + 3 \cdot 0,1/2) = 1,15 P,$$

т. е. величина осевой силы пружины при одинаковой деформации и уменьшении среднего диаметра на 0,1 мм возрастает на 15%.

При $D=20$ мм, $\Delta D=0,1$ мм

$$P_1 = P(1 + 3 \cdot 0,2/20) = 1,015 P,$$

т. е. при уменьшении среднего диаметра пружины на ту же величину значение осевой силы возрастает на 1,5%. Отсюда следует, что чем меньше средний диаметр пружины, тем значительнее влияние допуска на ее осевую силу.

Отклонение в числе витков, происходящее при навивке и других операциях, приводит к изменению зависимости между осевой силой и деформацией:

$$P_1 = P [n/(n - \Delta n)] \text{ или } P_1 = P(1 + \Delta n/n). \quad (8.6)$$

Допустим, что $n=4$, $\Delta n=0,1$. Тогда

$$P_1 = P(1 + 0,1/4) = 1,025 P,$$

т. е. с уменьшением числа витков осевая сила увеличивается на 2,5% при той же деформации.

При $n=20$, $\Delta n=0,1$

$$P_1 = P(1 + 0,1/20) = 1,005 P,$$

т. е. осевая сила увеличится на 0,5%.

Отсюда следует, что чем меньше витков в пружине, тем больше изменение числа витков влияет на осевую силу.

§ 8.3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ СПИРАЛЬНЫХ ЛЕНТОЧНЫХ ПРУЖИН

Спиральные ленточные пружины применяют в конструкциях различных механизмов и приборов (в часовых механизмах и пр.) главным образом как аккумуляторы энергии (заводные пружины) с последующим использованием их в качестве двигателей. В соответствии с назначением спиральные пружины обладают небольшой

жесткостью и работают обычно при статической нагрузке в условиях длительного нагружения. Спиральные пружины изготавливают из высококачественной углеродистой стали, обладающей большой прочностью и стабильностью.

Основными операциями технологического процесса изготовления спиральной пружины являются: подготовка материала, навивка пружины и отрезка конца, загибка конца, термическая обработка, покрытие, «заневоливание» и контроль. Исходным материалом для изготовления пружин является лента, поступающая в нагартованном или термически обработанном виде.

Заготовительные операции заключаются в разрезке материала на полосы требуемой ширины, правка полос и снятие заусенцев на их ребрах. Перед навивкой концы заготовки (для обеспечения возможности крепления) отжигают

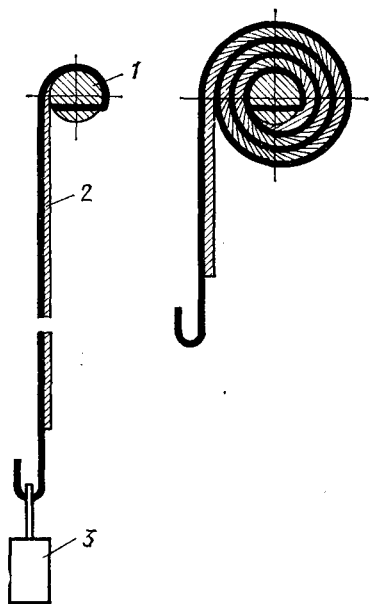


Рис. 8.4. Схема навивки ленточно-спиральной пружины

на небольшом участке и загибают.

Навивку проводят на специальном приспособлении, работающем по схеме, представленной на рис. 8.4. В оправке 1 приспособления диаметр которой соответствует внутреннему диаметру пружины, предусмотрен паз для заправки конца заготовки. На другой конец подвешивают груз 3. После поворота оправки на пол-оборота под заготовку вставляют мягкую прокладку 2 (стальную или латунную) для обеспечения требуемого зазора между витками пружины. Затем пружину снимают с оправки, удаляют прокладку и отрезают ее по размеру с удалением вспомогательного крючка.

Термическая обработка пружин из стали У8А состоит в закалке и отпуске. В качестве антикоррозионного покрытия применяют оксидирование с последующим покрытием лаком. В целях стабилизации формы спирали и напряжений пружину подвергают «заневоливанию». Для этого ее закручивают до соприкосновения витков и помещают в обойму и выдерживают в течение суток. Если после это-

го она имеет форму, близкую к архимедовой спирали, и в ней нет дефектов в виде трещин, изломов, то пружина считается годной.

Контроль спиральных пружин проводят на соответствие заданной характеристики между моментом и углом поворота φ , определяемой по следующей формуле:

$$\varphi = 12\mu L / (Eb^3h), \quad (8.7)$$

где μ — момент, Н·м; L — развернутая длина пружины, м; E — модуль упругости, Па; b — толщина пружины, м; h — ширина пружины, м.

§ 8.4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЛИСТОВЫХ ПЛОСКИХ ПРУЖИН

Плоские листовые пружины в электротехнической аппаратуре применяются в качестве контактов или контактных деталей. У плоских листовых пружин один конец закреплен, а второй конец свободен (рис. 8.5).

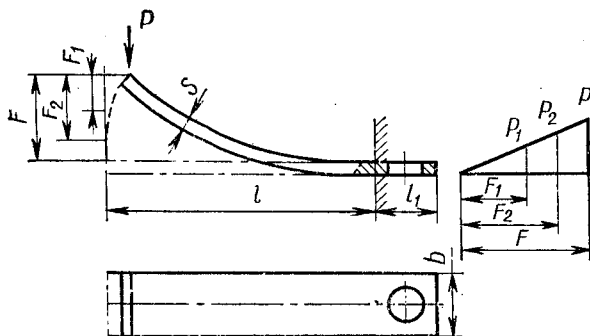


Рис. 8.5. Плоская листовая пружина

Деформация пружины (стрела изгиба f)

$$f = Pl^3 / (3EJ), \quad (8.8)$$

где P — действующее усилие, Н; f — деформация, соответствующая силе P , м; l — длина пружины, м; E — модуль упругости, Па; $J = bh^3/12$ — момент инерции сечения, м⁴; h — толщина полосы пружины, м; b — ширина полосы пружины, м.

Подставляя эти значения в формулу (8.8), получаем

$$f = 4l^3P / (bh^3E). \quad (8.9)$$

Из формулы (8.9) следует, что на точность характеристики пружины оказывают влияние отклонения в толщине материала. Технологический процесс изготовления плоских листовых пружин включает следующие основные операции: заготовительные, штамповочные, термической обработки и покрытия.

Для получения нужной упругости плоских пружин, штампуемых из листа или ленты, пружины длинной стороной в заготовке располагаются вдоль проката.

Штамповочные операции (вырубка заготовок по контуру, гибка и пробивка отверстий) проводят с использованием соответствующих штампов на эксцентриковых прессах. Пружины, изготавливаемые из термически обработанной ленты, подвергают только отпуску при температуре $180\text{--}200^\circ\text{C}$. Твердость пружин после отпуска HRC 40—45. Для пружин из бронзы БрБ2,5 термическая обработка состоит в дисперсионном отверждении, которое повышает твердость, упругость, износоустойчивость и значительно увеличивает сопротивление усталости пружин.

Дисперсионное отверждение выполняется в контейнере вакуумной печи при температуре 320°C (для бронзы БрБ2,5) в течение 3—3,5 ч. После этого пружины охлаждают в вакууме до комнатной температуры. Твердость для пружины из бронзы БрБ2,5 должна быть не менее HV 38.

Для защиты стальных пружин от коррозии применяется хромирование. Готовые пружины проходят контроль по внешнему виду, геометрическим размерам и соответствию их заданной характеристике.

§ 8.5. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТАРЕЛЬЧАТЫХ ПРУЖИН

Назначение и конструкция тарельчатых пружин. Тарельчатые пружины сжатия штампуют из листовой стали в форме оболочки, имеющей вид усеченного конуса (рис. 8.6) с углом подъема $\theta = 2 \div 6^\circ$, $D/d = 2,0 \div 3,0$.

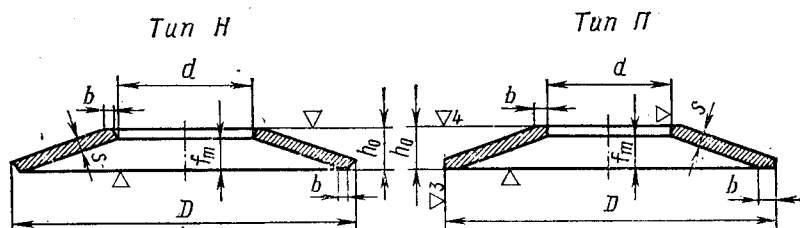


Рис. 8.6. Тарельчатая пружина

Тарельчатые пружины по ГОСТ 17279—71 изготавливают диаметром от 28 до 300 мм из листовой стали толщиной $\delta = 1 \div 20$ мм с высотой внутреннего конуса $f = 0,6 \div 9,0$ мм. Наибольшая рабочая нагрузка, воспринимаемая этими пружинами, может достигать $54 \cdot 10^4$ Н. Усилия P , распределенные равномерно по периметрам наружной и внутренней кромок, изгибают стенки оболочки и уменьшают угол подъема θ . Осадка одной тарелки не должна превышать при этом $0,8f$. Для получения нужного осевого перемещения пружи-

на составляется из ряда секций, каждая из которых образуется двумя тарелками, соприкасающимися наружными кромками. Секции монтируются в гильзе или на общей центрирующей оправке.

Для большего гашения энергии воспринимаемых ударов между тарелками можно устанавливать шайбы. В этом случае жесткость пружины увеличивается за счет трения, развивающегося на кромках тарелок при их скольжении по шайбам. Пружины для особенно больших нагрузок устанавливают пакетами, при этом рабочая нагрузка может увеличиваться пропорционально числу пружин в пакете.

Тарельчатые пружины изготавливают из листовой стали марки 60С2А по ГОСТ 11286—76. Листы стали должны иметь чистую поверхность. Пружины из листов стали толщиной 6 мм штампуют в холодном состоянии, но с предварительным отжигом при температуре 500—700°С и медленном охлаждении в печи. Пружины из листов толщиной больше 6 мм штампуют в горячем состоянии. Перед штамповкой из листа нарезают полосы требуемой ширины, из которых вырубают шайбы с последующей их гибкой в специальном штампе.

Термическая обработка пружин включает закалку и отпуск. При закалке пружину нагревают в электрической печи до температуры 800—830°С с выдержкой при этих температурах 5—30 мин в зависимости от размеров пружины. При закалке пружины охлаждают в масле или нефти, а пружины значительной толщины — в воде.

Отпуск проводят при температуре 390—430°С при нагреве их в свинцовой ванне с выдержкой в течение 5—30 мин в зависимости от размеров пружины. Пружины после термической обработки должны иметь однородную мелкокристаллическую структуру и твердость HRC 40—47. Поверхность пружин очищают от окалины посредством травления или пескоструйным аппаратом.

Опорные кромки пружин шлифуются на плоскошлифовальном станке с шероховатостью обработки по 5-му классу ГОСТ 2789—73.

Для повышения несущей способности тарельчатые пружины упрочняют путем обжатия их до полного сплющивания. Учитывая образование пластических деформаций при обжатии, высоту пружины (заготовки) следует брать несколько больше ее высоты по чертежу.

При приемке тарельчатые пружины подвергают внешнему осмотру и проверяют по размерам. Допуски на размеры пружин приведены в ГОСТ 3057—77 «Правила приемки и методы испытания пружин».

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ

§ 9.1. МЕТАЛЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В КОНСТРУКЦИЯХ,
ВЫПОЛНЯЕМЫХ СВАРКОЙ

В производстве электрических аппаратов методом сварки изготовляют баки, каркасы, шасси и другие сборочные единицы.

Для изготовления сварных металлоконструкций значительное применение находят углеродистые стали обыкновенного качества по ГОСТ 380—71, которые в зависимости от назначения и гарантируемых характеристик подразделяют на следующие группы: А — стали с гарантией механических свойств; Б — стали с гарантией химического состава; В — стали с гарантией механических свойств и химического состава. Нормируемые показатели для сталей приведенных групп даны в [16].

Настоящий стандарт ГОСТ 380—71 предусматривает поставку спокойных, полуспокойных и кипящих сталей. Спокойные стали хорошо раскислены, содержат меньше вредных примесей и более однородны. Кипящие стали дешевле спокойных, но имеют более низкое качество; они склонны к образованию трещин при динамических нагрузках и отрицательных температурах. Поэтому кипящие стали применяют при изготовлении конструкций, работающих при статических нагрузках и температуре до 30° С. Для ответственных конструкций применяют спокойные и полуспокойные стали, поставляемые по группе В.

Наряду с углеродистыми сталями обыкновенного качества для металлоконструкций с тяжелым режимом работы применяют низколегированные стали по ГОСТ 19281—73. Отличительной особенностью этих сталей является малое содержание углерода и высокие механические свойства. Эти стали хорошо свариваются и имеют высокие показатели по ударной вязкости и устойчивости против коррозии. Механические свойства сталей по ГОСТ 19281—73 приведены в [16].

Для изготовления сварных конструкций, например, типа шасси применяют алюминиевые сплавы (ГОСТ 4784—74), обладающие высокой прочностью и хорошими антикоррозионными свойствами. При производстве некоторых видов сварных конструкций используются титановые сплавы, обладающие высокими механическими свойствами, теплостойкостью и коррозионной стойкостью [16]. При изготовлении сварных конструкций используется также медь и ее сплавы.

При изготовлении сварных металлоконструкций используют различные способы сварки, зависящие от вида свариваемого металла, его толщины и способности к свариванию, от назначения изделия

и технических требований к изделию. В настоящее время применяются электродуговая ручная сварка, электродуговая автоматическая под флюсом, электродуговая в среде защитных газов, электрическая контактная и специальные виды сварки.

§ 9.2. ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ РУЧНАЯ СВАРКА

Эта сварка применяется для соединения отдельными точками деталей и швов небольшой протяженности. При помощи ручной сварки можно сваривать встык, внахлестку и выполнять любые другие виды сварных соединений.

Процесс ручной сварки начинается с зажигания (возбуждения) сварочной дуги, осуществляемой легким касанием электрода к свариваемому изделию с последующим быстрым отводом электрода на 2—5 мм, в результате чего между электродом и изделием образуется дуга, которой осуществляют процесс

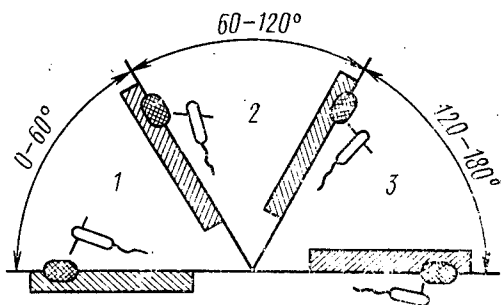


Рис. 9.1. Положения электросварки в пространстве

сварки, т. е. заполняют расплавленным металлом электрода зону сварного шва.

Положение электрода при сварке принимается в зависимости от положения шва в пространстве. Различают следующие положения шва (рис. 9.1): нижнее 1, вертикальное и горизонтальное на вертикальной плоскости 2 и потолочное 3. При сварке в нижнем положении электрод имеет наклон от вертикали на $15-30^\circ$ в сторону направления сварки с перемещением электрода при сварке к «себе» или от «себя».

Сварные швы или валики, укладываемые в сварные соединения, применяют в зависимости от толщин свариваемых деталей. Сварные валики, равные $(0,8-1,5)d$ электрода называют узкими или ниточными, применяемыми при сварке тонкого металла или наложении первого слоя в многослойном шве. Получение уширенных швов размером $(2-4)d$ электрода получается при помощи колебательных движений конца электрода.

В зависимости от размеров сечения швы выполняют однопроводными или однослойными и многослойными. Однопроводная сварка производительна, но металл шва получается недостаточно пластичным вследствие увеличенной зоны нагрева. При многослойной сварке каждый нижележащий валик проходит как бы термообработку при наложении последующего валика, вследствие чего образуется измельченная и прочная структура сварного соединения.

Подбор величины силы тока и диаметра электрода. Силу сварочного тока принимают в зависимости от марки и диаметра электрода, с учетом толщины и химического состава свариваемого металла, а также температуры окружающей среды.

Для подбора величины силы тока используют зависимости [16]

$$I_{\text{св}} = 50d_a \text{ или } I_{\text{св}} = (20 - 6)d_a,$$

где d_a — диаметр электродного стержня.

Ориентировочные режимы сварки приведены в табл. 9.1 [16].

Таблица 9.1

Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А
1,5	25—40	6,0	280—360
2,0	60—70	7,0	370—450
3,0	100—140	8,0	450—560
4,0	160—200	10,0	750—850
5,0	220—280		

§ 9.3. ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ АВТОМАТИЧЕСКАЯ СВАРКА ПОД ФЛЮСОМ

Сварку под флюсом осуществляют при помощи сварочного автомата (рис. 9.2).

Сварочная проволока 4 специальным механизмом подается в сварочную головку 2, расположенную на штанге 3 и далее в зону сварки изделия 1. При касании проволокой изделия под слоем флюса 6, поступающим из бункера 5, образуется сварочная дуга. Под действием высокой температуры выделяется значительное количество газов и паров, образующих своеобразный газовый пузырь, оболочкой которого служит тонкая расплавленная корка флюса 8, удаляемая с наплавленного металла 9 флюсоотсосом 7.

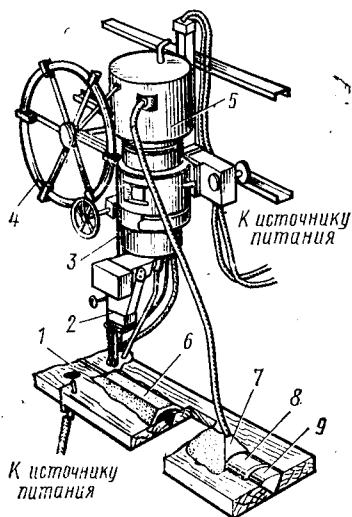


Рис. 9.2. Схема сварочного автомата

При автоматической сварке под флюсом автоматизируют подачу электродной проволоки в зону горения дуги, ее возбуждение и устойчивое горение, перемещение дуги относительно изделия со скоростью сварки, заварку конечного кратера и разрыв дуги.

Сварка сосуда для сжатого воздуха. В конструкцию высоковольтных воздушных выключателей входит сосуд (рис. 9.3, *а*), являющийся хранилищем сжатого воздуха, используемого при операциях включения и отключения аппарата. Для сварки данного сосуда используют автоматическую сварку под флюсом, проводимую по схеме (рис. 9.3, *б*). К трубе 1, помещенной на механический кантователь 5, приваривают днища 4, которые укрепляются на кольцо 3 с зазором 3—4 мм между кромками трубы и днищем.

После указанной подготовки электродом 2 (проволокой сварочного автомата) возбуждают дуговой процесс между концом электрода и свариваемым швом. Под воздействием горения дуги рас-

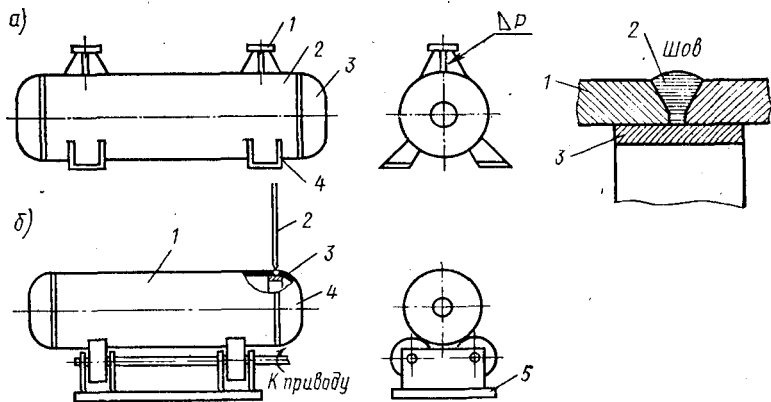


Рис. 9.3. Схема сварки сосуда

плавленным металлом электрода (проволокой) выполняют многослойную сварку кольцевого шва трубы и днища до полного заполнения зоны сварного соединения. Во избежание попадания в зону сварки неметаллических включений в виде шлака или флюса после каждого прохода (оборота трубы) сварной шов зачищают металлической щеткой.

После сварки днища 3 с трубой к корпусу трубы приваривают патрубки 1 и лапы 4 (рис. 9.3, *а*).

Сосуд (металлоконструкцию) после сварки подвергают контрольным испытаниям, описанным ниже.

Рентгеновское просвечивание сварных кольцевых швов. Для определения качества сварки применяют рентгеновское просвечивание по схеме (рис. 9.4). Источник излучения — рентгеновская трубка 1 помещается на определенном расстоянии от шва так, чтобы лучи были направлены перпендикулярно к его оси. С противоположной стороны шва становится кассета 2, содержащая фотопленку 3 и усиливающие листы экранов 4. При просвечивании пленку под лучами выдерживают с требуемой экспозицией; затем ее проявляют, негатив промывают и фиксируют для получения стойкого фотогра-

фического изображения. Полученное на негативе изображение участка шва неодинаково по степени потемнения отдельных мест. Лучи, попавшие на пленку через дефект, поглощаются в меньшей степени по сравнению с лучами, прошедшими через плотный металл, и оказывают более сильное засвечивающее действие. По степени равномерности просвечивания контура сварного шва можно визуально определить качество сварного соединения.

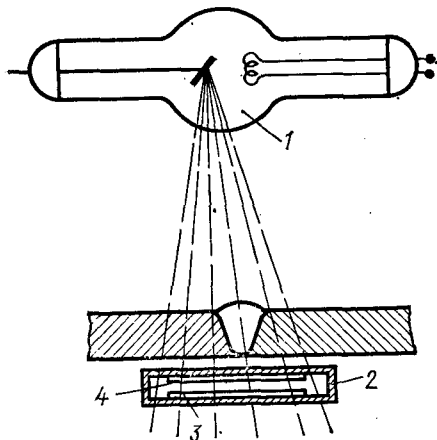


Рис. 9.4. Схема рентгеновского просвечивания шва

нии, равном рабочему. В этом состоянии спад давления, отмечаемый по контрольному манометру, за 12 ч должен быть не более $0,5 \cdot 10^5$ Па.

После проведения контрольных испытаний сосуд считается годным, ему присваивают номер, ставят дату изготовления и указывают завод-изготовитель. На торце днища сосуда выбивают соответствующее клеймо.

Гидравлическое испытание.

Гидравлическому испытанию подвергаются сосуды для определения прочности сварных соединений. Сосуд заполняют водой, после чего насосом или гидравлическим прессом создают высокое давление, в 1,5—2 раза превышающее рабочее, проверяемое по контрольному манометру. Под давлением сосуд выдерживают 5—10 мин, при этом сварные швы не должны иметь течей.

Пневматическое испытание.

При пневматическом испытании сжатый воздух подают в испытываемый сосуд при давлении

§ 9.4. ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ СВАРКА В СРЕДЕ ЗАЩИТНЫХ ГАЗОВ

Для защиты зоны сварки от окисления сварного соединения применяют азот, аргон, гелий и углекислоту. Сварку проводят с использованием установки, работающей на переменном или постоянном токе (рис. 9.5), в зависимости от свариваемого металла и типа сварных соединений.

Азотно-дуговая сварка. Азотно-дуговую сварку можно использовать для соединения деталей из меди, латуни, бронзы, так как по отношению к меди и ее сплавам азот является инертным газом. Для сварки применяют чистый азот 99—99,5%, очищенный от кислорода и влаги. Сварку ведут на постоянном токе прямой полярности (рис. 9.5) с напряжением на дуге 22—32 В, с присадочной проволокой из меди марки М1, на которую предварительно наносят слой

покрытия, состоящий из смеси древесного угля, феррофосфора, алюминиевого порошка и ферросилиция.

Аргонно-дуговая сварка. Аргонно-дуговую сварку применяют при сварке конструкций из нержавеющей, жаропрочных и цветных металлов. Процесс сварки выполняют вольфрамовым электродом на установке постоянного тока прямой полярности по схеме (рис. 9.5).

Для питания дуги постоянного тока, измеряемого амперметром 2, применяют сварочный генератор 1 с балластным реостатом 5, подключаемым в сварочную цепь 4, напряжение которой измеряется вольтметром 3. Аргон в зону горения дуги поступает из баллона 8 через редуктор 7 и расходомер аргона 6.

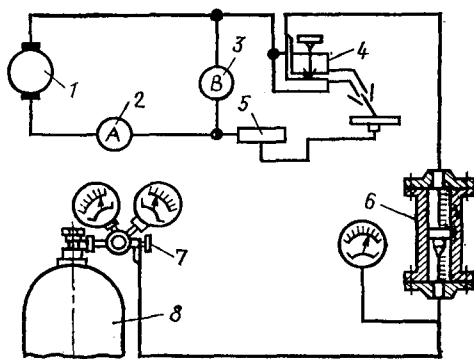


Рис. 9.5. Схема аргонно-дуговой электро-сварки

В настоящее время для аргонно-дуговой сварки неплавящимся электродом промышленность выпускает автоматы типа «Удар-300», «Удар-500», АГН8-26М, АПЗ-2 и др.

Характеристика аргона и режимы сварки приведены в [16].

Дуговая сварка в среде углекислого газа. Дуговую сварку в среде углекислого газа обычно применяют для сварки сборочных единиц из низкоуглеродистых сталей толщиной 0,3—2 мм. На рис. 9.6 показана схема поста для сварки 11, 12. Электродную проволоку диа-

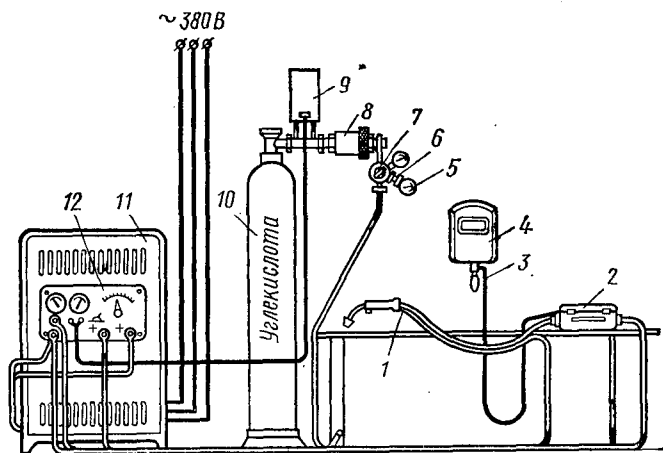


Рис. 9.6. Схема поста для сварки в среде углекислого газа

метром 0,8—1,0 мм подают в газозлектрическую горелку 1 механизмом 2.

Для защиты от дуги имеется щиток 4 с кнопкой включения 3. Углекислый газ в зону сварки поступает из баллона 10 через подогреватель газа 9, осушитель 8, кислородный редуктор 7, переходной штуцер 6 и ацетиленовый манометр 5. Электропитание поступает в зону горения дуги от преобразователя постоянного тока типа ПСО-300 и др.

§ 9.5. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ КОНТАКТНАЯ СВАРКА

Электрическая контактная сварка находит широкое применение в производстве электрических аппаратов с использованием стыковой, точечной, роликовой, рельефной и других сварок.

На рис. 9.7, а приведена схема стыковой сварки. Заготовки 1, установленные в зажимы 2, прижимаются одна к другой усилием определенной величины P , после чего по ним от трансформатора 3 пропускают электрический ток.

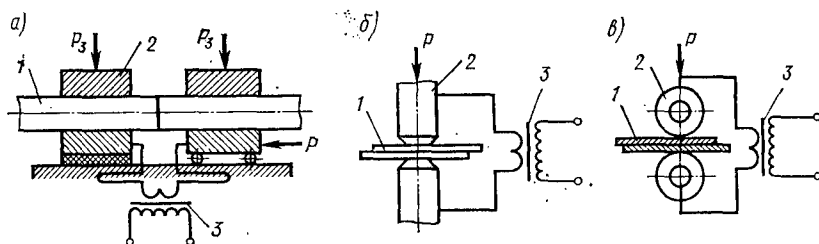


Рис. 9.7. Схемы контактной сварки

При нагревании металла в зоне сварки до пластического состояния происходит осадка и сварка в месте касания заготовок, после чего электрический ток выключается. Облой сварного соединения протачивают на токарном станке.

Рекомендуемые режимы сварки приведены в табл. 9.2.

Таблица 9.2

Площадь сечения заготовки, мм ²	Давление осадка, Па	Припуск на осадку, мм			Плотность тока, А/мм ²	Время нагревания, С
		общий	под током	без тока		
7	(1—3)10 ⁻⁷	2,2	1,6	0,6	—	0,2—0,3
25		2,5	1,7	0,8	200	0,6—0,8
50		2,7	1,8	0,9	160	0,8—1 0
100		3	2,0	1,0	140	1,0—1,5

На рис. 9.7, б показана схема точечной сварки. Заготовки 1 помещаются между электродами 2 и сжимаются между собой силой P .

Электрический ток включают от трансформатора 3. При этом в точках касания заготовок вследствие повышенного электрического сопротивления они быстро нагреваются до состояния пластичности металла и сварки заготовок между собой. В момент образования в зоне сварки сплавления ток выключают, после чего заготовки кратковременно выдерживают между электродами под действием усилия сжатия. При этом происходит охлаждение зоны сварки, кристаллизация расплавленного металла и уменьшение усадочной раковины в зоне сварки.

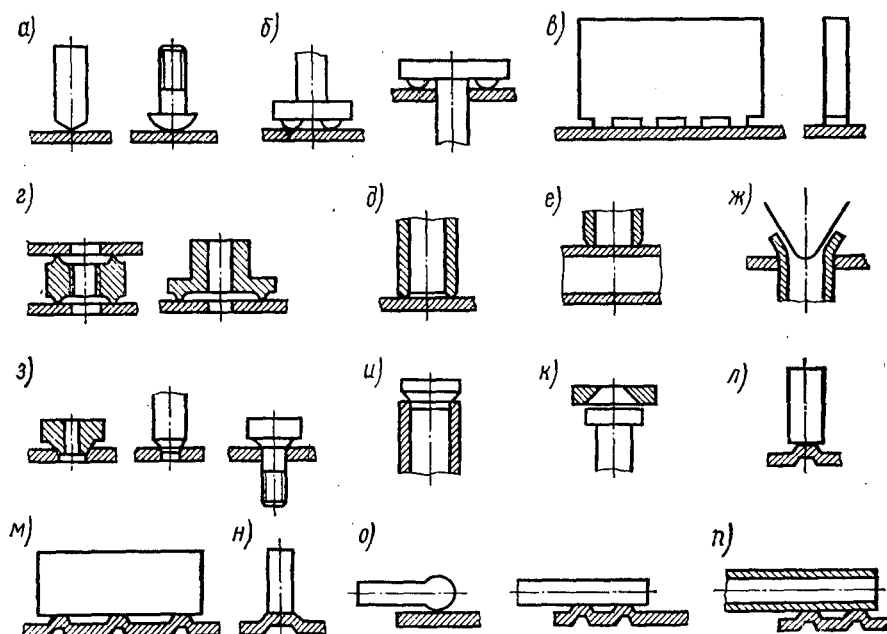


Рис. 9.8. Схемы рельефных сварных соединений

Схема роликовой сварки приведена на рис. 9.7, в. В процессе роликовой сварки заготовки соединяют непрерывным прочно-плотным сварным швом, состоящим из ряда точек, в котором каждая последующая точка частично перекрывает предыдущую. Заготовки 1 помещают между роликами 2, к которым прикладывается усилие P и электрический ток от трансформатора 3. Толщина свариваемых заготовок может быть 0,5—3,0 мм.

Рельефная сварка. Рельефная сварка [17] является разновидностью точечной. При рельефной сварке в отличие от точечной положение контактов между деталями определяется положением рельефов или формовых участков деталей, подлежащих сварке, а не положением сварочных электродов. Разнообразные типы соединений при рельефной сварке приведены на рис. 9.8, а — п. Сварка начина-

ется с предварительного сжатия деталей для создания между ними механического контакта, который устанавливается на вершине рельефа, частично вдавливаемого в противолежащий лист и частично обжимаемого. После включения сварочного тока металл рельефа и прилегающие зоны нагреваются и сопротивление деталей на участке между электродами $R_{\text{эз}}$ увеличивается. Через 0,03 с после включения тока начинается интенсивное смятие рельефа, вызванное нагревом металла выше температуры разупрочнения ($\sim 400^\circ \text{C}$ для углеродистой стали). Площадь контакта между деталями возрастает и $R_{\text{эз}}$, достигнув максимальной величины, начинает уменьшаться. Расплавленный металл рельефа выдавливается в зазор между деталями с образованием пояска вокруг рельефа. Соединение между деталями наступает через 0,1 с.

После включения сварочного тока расплавленный металл кристаллизуется, сопровождаясь усадочной раковинной. Прочность сварных рельефных соединений на срез значительно превышает прочность точечной сварки [17].

Для того, чтобы подготовить детали под рельефную сварку, их подвергают холодной штамповке с целью получения требуемого рельефа при использовании соответствующей матрицы и пуансона. Перед сваркой детали очищают от загрязнений, ржавчины и окислы с использованием травления или механической обработки на дробеструйной установке. Режимы контактной сварки для различных металлов и оборудования для рельефной сварки приведены в [17].

Рельефную сварку можно использовать для приварки контактных пластин типа «Сок», «Сом» и других к контактодержателям.

§ 9.6. СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ СВАРКИ

Холодная сварка. На рис. 9.9 показаны различные схемы а — г холодной сварки заготовок под воздействием давления P . Холодной сваркой можно получать соединения встык, внахлестку и втавр. Перед холодной сваркой поверхности очищают от жировых

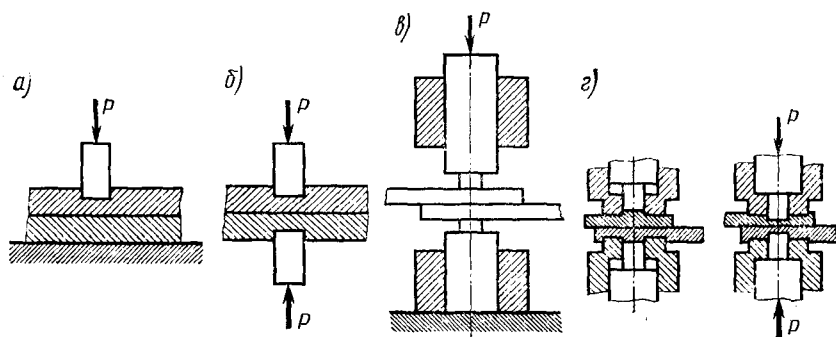


Рис. 9.9. Схемы холодной сварки

загрязнений с использованием различных растворителей (уйт-спирит, бензин, спирт и др.).

Основной фактор, определяющий процесс холодной сварки, является величина деформации металла в зоне соединения, зависящая от свойств металла по относительной глубине вдавливания пуансона, приведенная в табл. 9.3 [17].

Таблица 9.3

Металл	Относительная глубина вдавливания пуансона, %	Металл	Относительная глубина вдавливания пуансона, %
Индий	10—15	Серебро	82—86
Алюминий	55—60	Олово	85—88
Титан	70—75	Никель	85—90
Алюминиевые сплавы	75—80	Медь	85—90
Свинец	80—85	Железо (АРМКО)	82—92

Ультразвуковая сварка. Схема ультразвуковой установки показана на рис. 9.10. В корпусе 2, 8 размещен охлаждаемый водой магнитострикционный преобразователь 1, изготовленный из пер-

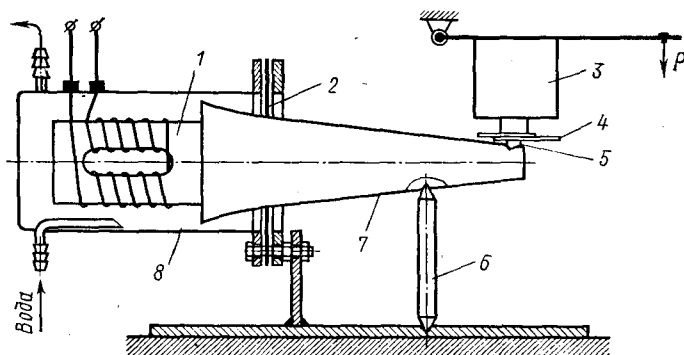


Рис. 9.10. Схема ультразвуковой сварки

мюдюра (К49Ф2), который служит для превращения энергии тока высокой частоты в механические колебания, передаваемые волноводу 7, поддерживаемому упором 6. На конце волновода имеется рабочий выступ 5. При сварке изделие 4 зажимают между рабочим выступом 5 и механизмом нажатия 3, к которому прикладывают усилие, необходимое для создания давления в процессе сварки.

Сварку выполняют при включенном преобразователе. Высоко-частотные упругие колебания передаются через волновод на рабочий выступ 5 в виде горизонтальных механических перемещений высокой частоты, под воздействием которых в металле (зона контактирования) создается повышенная температура, приводящая

металл к его пластическому состоянию и свариванию заготовок между собой.

Ультразвуковая сварка дает возможность сваривать различные металлы: алюминий, медь, никель, легированные стали и др. [18].

Диффузионная сварка. Диффузионная сварка выполняется в твердом состоянии металлов при повышенных температурах с приложением необходимого давления свариваемых между собой заготовок. Схема диффузионной сварки в вакууме приведена на рис. 9.11.

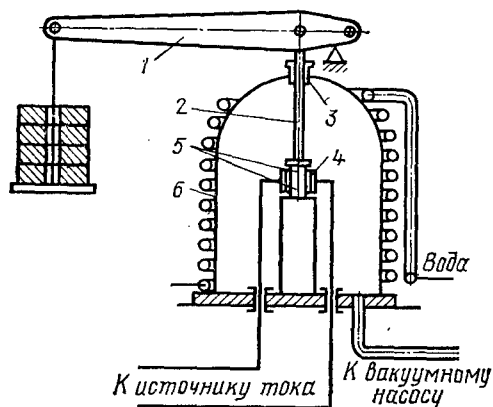


Рис. 9.11. Схема диффузионной сварки

В вакуумной охлаждаемой камере 6 размещают свариваемое изделие 5 и нагреватель 4. На свариваемую заготовку передается требуемое давление от механизма нагрузки 1 через шток 2, проходящий через вакуумное устройство 3. В процессе сварки в объеме камеры 6 создается вакуум $0,13-0,13 \cdot 10^{-2}$ Па. После создания указанного вакуума изделие, подлежащее

сварке, нагревают током высокой частоты до температуры сварки; затем прикладывается требуемое давление на свариваемые между собой детали с необходимой выдержкой, зависящей от свойств металла.

Таблица 9.4

Материал	Температура сварки, К	Давление, 10^3 Па	Время сварки, мин	Температура плавления, К
Алюминий АД1+ковар Н29К18А	723	0,1—0,2	5	913
Силумин Д1+сталь 38ХН10А	643	0,2	10	776
Алюминий АД1+медь М1	723	0,2	10	776
Сплав АМГ6+сплав АМГ6	773	0,2	10	883
Медь М1 + медь М1	1153	0,56	8	1356
Медь М1 + ковар Н29К18А	1123	0,3	10	1356
Медь М1 + сталь 45	1123	0,5	10	1356
Медь МБ + молибден М2-1	1173	0,5	15	1356
Сталь 45 + сталь 45	1273	1,2	5	1623
Ниобий + ниобий	1573	1,5	10	2743
Молибден + ниобий	1673	1,0	20	2743
Вольфрам + вольфрам	2273	1,0	20	3683
Молибден + вольфрам	2173	2,0	30	2898
Вольфрам + рений + молибден	2173	2,0	30	2898

Прикладываемое давление также зависит от свойств металла и может изменяться в пределах $0,3 \cdot 10^5 \div 1,0 \cdot 10^6$ Па. Сжимающие давления сварного соединения снимаются при достижении температуры (373—673) К.

Диффузионная сварка по сравнению с другими способами имеет следующие преимущества: можно сваривать разнородные металлы; она позволяет приваривать весьма тонкие детали к более толстым. В процессе сварки отсутствует плавление металла, что исключает влияние на сварное соединение неблагоприятных металлургических явлений. Диффузионной сваркой можно сваривать металлокерамические изделия с металлами (например, контактные пластины с контактодержателями). Оптимальные режимы диффузионной сварки для некоторых металлов и сплавов приведены в табл. 9.4 [17].

В настоящее время промышленность выпускает различные машины для диффузионной сварки, например типа А306-06; она предназначена для диффузионной сварки металлических и металлокерамических сборочных единиц.

ГЛАВА 10

ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

§ 10.1. РАЗНОВИДНОСТИ КОНТАКТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ НИХ МЕТАЛЛЫ И СПОСОБЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Для изготовления контактов применяют металлы или их сплавы, имеющие хорошую электропроводность, износостойчивость, теплопроводность, дугостойкость и другие качества, необходимые при прохождении электрического тока через контактное соединение. Для изготовления контактов используют медь и ее сплавы — с цинком, оловом, кадмием, никелем, серебром.

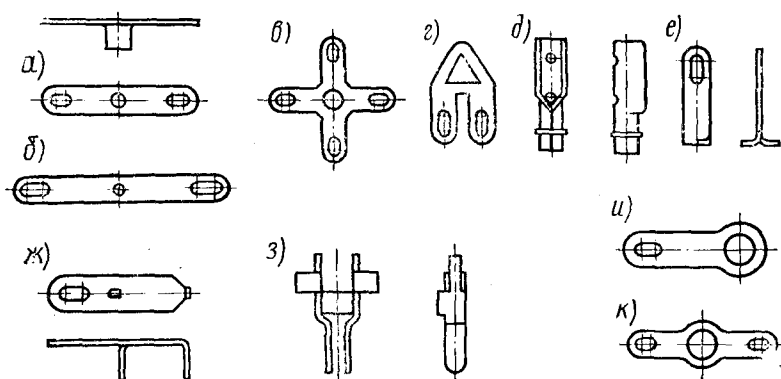


Рис. 10.1. Плоские контакты

В контактных соединениях с малым переходным сопротивлением используют серебро, так как контакты из серебра в процессе эксплуатации почти не изменяют переходное сопротивление вследствие того, что окись серебра практически имеет такое же электросопротивление, как и чистое серебро. В контактных соединениях, где по условиям их эксплуатации должны быть неизменяющиеся переходные сопротивления, используют золото, платину, палладий, родий и иридий.

Для разрывных контактных соединений применяют металло-керамические композиции, состоящие из двух металлов, причем один обладает хорошей электропроводностью, а второй — высокой температурой плавления и износостойчивостью. К таким композициям можно отнести медь — вольфрам, серебро — вольфрам, серебро — никель, серебро — окись кадмия, серебро — графит и др.

Для изготовления контактных соединений применяют также биметаллы, получаемые различными способами, из которых изготавливают контакты требуемой формы и размеров с различными технологическими приемами.

По технологическому признаку контакты можно разделить на следующие группы: изготавливаемые из листов ленты и полос, из проволоки и прутков, получаемые литьем, горячей штамповкой и другими методами с последующей обработкой металлов резанием; прессуемые из порошков и контакты, получаемые из биметаллов различными способами обработки.

Контакты из листового и ленточного материала (латунь, медь, серебро и др.) изготавливают плоской и объемной формы с использованием методов холодной штамповки — вырубкой, гибкой и вытяжкой (см. гл. 6).

На рис. 10.1 контакты *а* — *к* изготовлены вырубкой с последующей вытяжкой для получения отбортовки на контакте (рис. 10.1, *а*) и гибки на контактах (рис. 10.1, *е*, *ж*).

Контакты, имеющие объемную форму (рис. 10.1, *з*, *д*), получены с использованием вытяжки, принятой при штамповке.

Розеточное контактное соединение (рис. 10.2) предназначено для линейного контактирования силовых электрических цепей. Оно содержит следующие элементы: контакты *1*, плоские пружины *3*, держатель пружин *4*, специальный болт *5*, корпус *6*, экран *2*, винты *7*. Детали *1*, *2*, *3*, *4* изготовляют методом объемной штамповки (см. гл. 6). Плоская пружина *3* вырубается из стальной полосы марки 60С2А — вырубным штампом с последующей ее гибкой и термической обработкой по технологии, принятой на заводе. Держатель пружин *4* выполняется также методами холодной штамповки (см. гл. 6), специальный болт *5* и корпус *6* — резанием, экран *2* — холодной вытяжкой, штампуемой с утонением стенки и требуемой отбортовкой.

Сборка розеточного контакта осуществляется в следующем порядке. Плоская пружина *3* прижимается к контакту *1* (с усилием, необходимым для ее выпрямления) и в указанном состоянии с пружиной *3* заправляется в гнездо держателя *4*, имеющего по окружности девять гнезд. После этого в образовавшуюся розетку из контактов *1* в нижнюю часть вставляется корпус *6*, в торец которого вворачивается специальный болт *5*, удерживающий контактную ро-

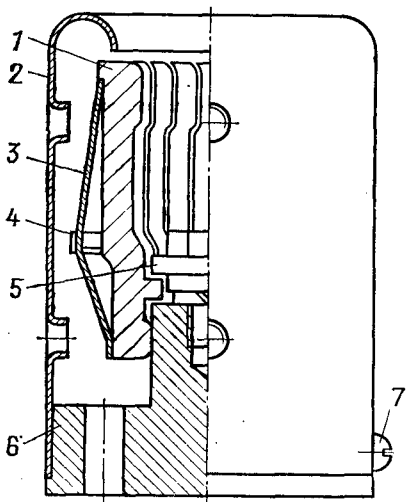


Рис. 10.2. Розеточная контактная единица

зетку из девяти контактов на корпусе 6, контактирующих с корпусом под воздействием плоских пружин 3.

Скользящее контактное соединение предназначено для передачи тока в силовоточной электрической цепи при повороте одной части электрической цепи аппарата относительно другой (высоковольтный воздушный выключатель с ножом-разъединителем). Скользящий контакт (рис. 10.3) состоит из контактов 1, пружин 2, обоймы 3 и изолирующих прокладок 4. Контакт 1 выполняют мето-

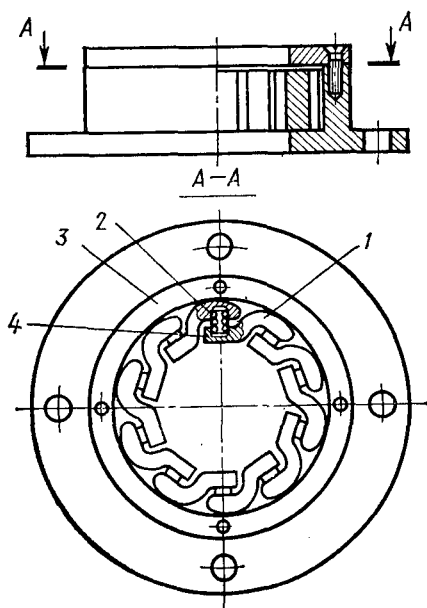


Рис. 10.3. Скользящая контактная единица

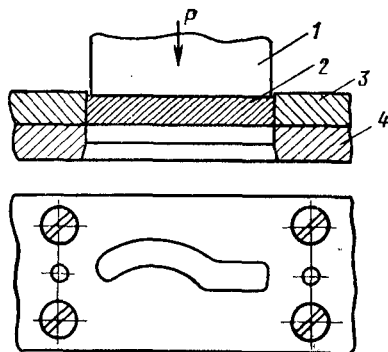


Рис. 10.4. Схема калибровочно-зачистного штампа

дами холодной штамповки из медной полосы марки М-1 (ГОСТ 859—78) требуемого сечения, из которой рубят заготовки для контактов. Эти заготовки при помощи штампа изгибаются по форме контакта, отжигаются при $t=800^{\circ}\text{C}$ с последующим их травлением для снятия оксидной пленки, полученной при отжиге.

Подготовленные заготовки контактов штампуют в калибровочно-зачистном штампе (рис. 10.4). Заготовку 2 помещают в полость штампа 3 и проталкивают пуансоном 1 через калибровочное отверстие матрицы 4, имеющее форму контакта. В процессе зачистки и калибровки с заготовки снимают припуск для получения контакта по заданной конфигурации и размерам, заданным по чертежу.

Давление, развиваемое прессом при калибровке, определяют по формуле (6.23). Припуск на зачистку из опытных данных приведен в табл. 10.1.

Таблица 10.1

Длина детали, мм	Припуск при толщине до 18 мм		Припуск при толщине 18—50 мм		Припуск при толщине 50—120 мм	
	обычной точности	повышенной точности	обычной точности	повышенной точности	обычной точности	повышенной точности
До 30	0,3	0,1	—	—	—	—
30—50	0,4	0,2	0,5	0,25	—	—
50—80	0,5	0,25	0,6	0,3	0,8	0,4
80—120	0,6	0,3	0,8	0,4	1,0	0,5

Винтовые цилиндрические пружины (см. рис. 10.3) 2 изготавливают по методике, изложенной в гл. 8; обойма 3 изготавливается метал-
лорезанием (см. гл. 7). Сборка скользящего контакта из входящих
в него деталей состоит в закладке в обойму 3 контакта 1, пружин 2,
совместно с прокладками

4. При этом скользящее
контактное соединение со-
членяется внутренним
диаметром (состоящим
из контактов) с внешней
контактируемой деталью
электрической цепи. Кон-
тактное соединение (рис.
10.5), предназначенное
для контактирования

сильноточных электриче-
ских цепей, состоит из
центрального контакта 1, плоских контактов 2, пружинной шайбы
3, держателя контактов 4, винтов 5, обоймы 6 и корпуса 7. Все де-
тали, кроме контактов 2, изготавливают путем обработки резанием
(см. гл. 7). Контакт 2 получается штамповкой из медной полосы с
использованием рубки, гибки и сверления отверстия под крепя-
щий винт 5, выполняемый по кондуктору.

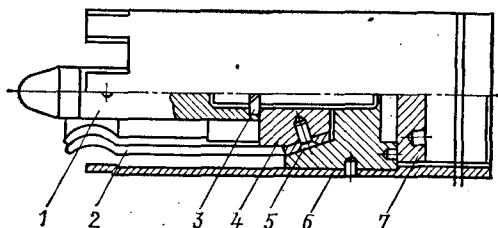


Рис. 10.5. Контактная единица

В сборку контактного соединения входят закрепление контактов
2 на держателе контактов 4 при помощи винтов 5. Собранное со-
единение на держателе контактов помещается в выточку обоймы 6,
скрепленной с контактом 1 при помощи шпильки через пружинную
шайбу 3. Затем контактное соединение сочленяется с контактом
внешней цепи соответствующего аппарата.

§ 10.2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ

Металлокерамические контакты по ГОСТ 3884—77 изготавливают
методами порошковой металлургии. Исходным материалом для них
являются порошки — серебра, никеля, меди, кадмия, вольфрама
и др., получаемые размолотом металлов в вихревых мельницах или

гальваническим осаждением при величине частиц 50—100 мкм; это так называемые крупнодисперсные порошки.

Порошки металлов, получаемые путем химического смешивания водных растворов исходных солей с последующим совместным осаждением термически нестойких осадков в виде двууглекислого натрия, называются мелкодисперсными. Они представляют собой готовые композиции (смеси), величина частиц которых составляет 0,2—1,0 мкм.

Технология изготовления контактов включает следующие основные операции: смешивание исходных компонентов, прессование, спекание и др.

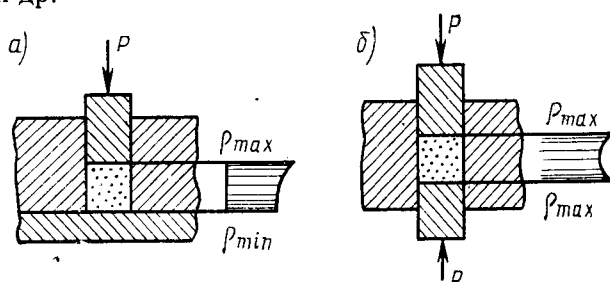


Рис. 10.6. Схема прессования контактов

Смешивание исходных порошков проводят в шаровой мельнице; при этом содержащиеся компоненты, помещенные в соответствующих соотношениях, тщательно перемешивают для получения требуемой марки контактов.

Прессование контактов выполняют в стальных пресс-формах под давлением $(0,1—1,0) \cdot 10^9$ Па на гидравлических или механических прессах при одностороннем или двустороннем прессовании (рис. 10.6) [19].

При одностороннем прессовании (рис. 10.6, а) плотность прессования ρ уменьшается по высоте; поэтому одностороннее прессование применяется в том случае, если отношение высоты h к толщине изделия s составляет не более 3.

Двустороннее прессование (рис. 10.6, б) применяется в том случае, если

$$1 < h/d < 5 \text{ или } 3 < h/s < 17, \quad (10.1)$$

где h — высота изделия, мм; d — диаметр изделия, мм; s — толщина изделия, мм.

При двустороннем прессовании наблюдается наименьшая плотность в центре изделия.

Усилие прессования (Н) [19]

$$P = qFn, \quad (10.2)$$

где q — давление прессования, Па; F — площадь прессования, м²; n — число оформляющих гнезд.

Следует отметить, что усилие выталкивания отпрессованной детали составляет 25—35% от усилия прессования.

Минимальный размер высоты прессования [19]

$$h_{\text{пр min}} = h_{\text{min}} - l_h + \varepsilon_h + n_k, \quad (10.3)$$

где h_{min} — минимальная высота детали, мм; l_h — высота упругого последствия, мм; ε_h — усадка при спекании, мм; n_k — припуск на калибровку, мм.

Если размеры усадки укладываются в пределах допуска детали, то высота прессования определяется как средняя величина между наибольшими и наименьшими размерами высоты детали

$$h_{\text{пр}} = (h_{\text{пр max}} - h_{\text{пр min}})/2. \quad (10.4)$$

Высота загрузочной камеры H — той части матрицы, куда засыпают порошок,

$$H = h_{\text{пр}} k,$$

где $h_{\text{пр}}$ — высота прессования, мм; $k = \rho_{\text{пр}}/\rho_{\text{нас}}$ — коэффициент за- сыпки;

$$\rho_{\text{пр}} = \rho (100 - x)/100; \quad (10.5)$$

здесь $\rho_{\text{пр}}$ — плотность прессования, кг/м³; ρ — плотность компактного материала, кг/м³; x — пористость прессования, %; $\rho_{\text{нас}}$ — объемная масса порошков, кг/м³.

Размер рабочей полости матрицы D зависит от наружного размера изделия, упругого последствия, т. е. увеличения размера детали после ее извлечения из пресс-формы, усадки при спекании и допускаемой величины износа матрицы.

Номинальный диаметр матрицы

$$D = D_{\text{min}} - l_D \pm \varepsilon_D + n_k, \quad (10.6)$$

где D_{min} — минимальный диаметр готовой детали, мм; l_D — величина упругого последствия, мм; ε_D — усадка по диаметру при спекании, мм; n_k — припуск на калибровку, мм.

Допуск на износ матрицы определяют с учетом допуска изделия по наружному диаметру.

В случае прессования контактной детали с отверстием пресс-форма состоит из матрицы, стержня и пуансона. Размеры стержня принимают, исходя из размеров детали, упругого последствия, усадки при спекании и величины износа.

Номинальный диаметр

$$d = d_{\text{max}} - l_D \pm \varepsilon_d - n_k, \quad (10.7)$$

где d_{max} — максимальный размер отверстия в детали, мм; ε_d — усадка при спекании по диаметру, мм; n_k — припуск на калибровку, мм.

Используя приведенные расчетные данные, для изделия изготавливают соответствующие пресс-формы, которые подразделяют на стационарные, закрепляемые на столе прессы полуавтоматического и автоматического действия, и съемные — незакрепляемые на столе

пресса, которые после прессования изделия снимаются для разъема и очередной загрузки в пресс-форму порошка.

По числу оформляющих гнезд пресс-формы могут быть одногнездными и многогнездными — за одну прессующую операцию получают несколько деталей.

Пресс-формы по технологическому назначению подразделяют на прессовочные и калибровочные. Прессовочные пресс-формы предназначены для получения деталей в пределах заданных размеров с учетом проведения операций спекания и калибровки, при которых детали проталкиваются пуансоном через калибровочное отверстие матрицы (см. рис. 10.4) с получением необходимой шероховатости контура и размеров, заданных чертежом.

Спекание опрессованных контактов деталей проводится в вакуумных печах с защитной атмосферой при температуре, приближенно составляющей $\frac{2}{3}$ от температуры плавления исходных порошков. Процесс спекания можно разделить на два основных вида: однокомпонентные и многокомпонентные системы. В однокомпонентном спекании процесс происходит за счет взаимодействия частиц металла в твердом состоянии, если у всех частиц одинаковый химический состав (спекание порошков чистых металлов Fe, Ni).

Таблица 10.2

Марка материала	Плотность, 10^3 кг/м^3	Твердость НВ, 10^2 Па	Предел прочности при сжатии, 10^2 Па	Теплопроводность, 10^3 Вт/(м·К)	Удельное электрическое сопротивление, 10^6 Ом·м
СН-15	10,2	50	—	0,96	0,021
СН-30	9,9	55	—	0,87	0,025
СН-40	9,6	69	—	0,78	0,029
СН-45	9,25	70	—	0,67	0,031
ОК-8	9,7	58	—	0,88	0,021
ОК-12	9,65	56	51	0,84	0,024
ОК-15	9,55	59	47	0,78	0,027
СГ-2	9,7	40	—	0,91	0,020
СГ-3	9,1	30	22	—	0,021
СГ-5	8,15	25	16	—	0,027
СВ-30	12,1	75	65	0,81	0,021
СВ-50	13,5	105	85	0,74	0,025
СВ-80	16,3	220	—	—	0,037
СМ-30	—	70	—	0,60	0,022
СМ-60	—	127	85	—	0,027
СМ-70	10,4	165	117	—	0,030

При спекании многокомпонентных систем, состоящих из частиц различного химического состава, имеется возможность спекания частиц в твердой фазе (Cu+Sn+графит) или с образованием жидкого состояния (металлокерамический твердый сплав We+Co).

Процесс спекания можно искусственно активизировать [19] за счет его проведения в парах галогенов, а также с применением ультразвука.

По данным [19] установлено, что наилучшие характеристики металлокерамических материалов получаются при спекании их в вакуумных печах как в отношении их плотности, а также и твердости по сравнению со спеканием в водородных печах при одних и тех же условиях.

Физико-механические характеристики контактов, полученных при спекании, приведены в табл. 10.2 [18].

Контакты марки СН, содержащие серебро и никель в требуемом соотношении, используют в контактных системах магнитных пускателей и реле тяжелого режима. Контакты марки ОК, содержащие окись кадмия и серебро, применяют для контактных устройств в контакторах и контроллерах. Контакты марки СВ, содержащие серебро и вольфрам, применяются в мощных воздушных выключателях, анодных автоматах, трансформаторах и преобразователях тока. Контакты марки СМ, содержащие молибден и серебро, используют для дугогасящих выключателей, вибропреобразователей и других аппаратов.

Металлокерамические контакты сочленяются с контактодержателями в большинстве случаев пайкой легкими и твердыми припоями ПСр-70 и др.

§ 10.3. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ

Биметаллическими контактами называют контактные соединения, получаемые при помощи сварки, пайки, прокатки и других воздействий на контактный и несущий материалы (рис. 10.7), где 1 — контактный материал, 2 — несущий материал.

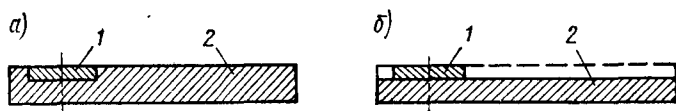


Рис. 10.7. Схемы биметаллических контактных единиц

Использование биметаллических контактов в отдельных контактных устройствах может исключить операции крепления (клепкой, пайкой) контакта к контактодержателю, так как процесс соединения контактного материала с контактодержателем реализуется в них еще на стадии производства биметаллов. Контактные соединения из биметалла можно получить с использованием штамповочных операций вырубкой и гибкой или другими технологическими приемами.

Различают биметаллы гладкого и профильного исполнения. При гладком исполнении (рис. 10.7, а) предусматривается сплошное плакирование несущего металла контактным с одной или с двух

сторон. Биметаллические материалы профильного исполнения (рис. 10.7, б) не имеют сплошного плакирования и полосы контактного металла выступают на поверхности несущего.

В качестве контактных металлов для получения биметаллов используют серебро и его сплавы, медь и другие контактные металлы.

Способы получения биметаллов. Биметаллы получают путем сварки давлением и прокаткой, холодной сварки прокаткой, выполняемой при помощи пластической деформации, а также без применения пластической деформации — пайкой гальванических покрытий или контактной сваркой.

На рис. 10.8 приведена схема одного из многих способов получения биметаллов путем холодной сварки прокаткой. Исходные ма-

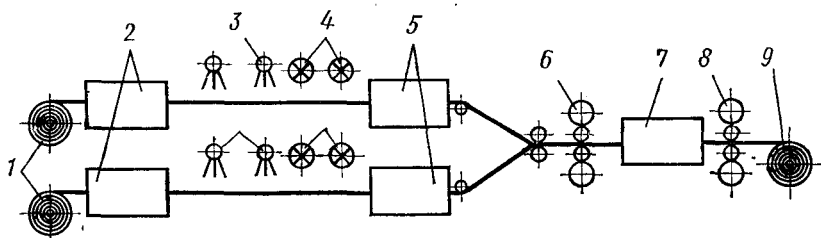


Рис. 10.8. Схема получения биметаллов

териалы — контактодержатель и материал контакта с рулонов 1 поступают в ванны обезжиривания 2 с последующим движением через зону сушки горячим воздухом 3 и механическую очистку поверхностей щетками 4 в промывочную ванну 5. Очищенные ленты движутся на направляющие ролики, подающие их в прокатный стан 6; затем они поступают в печь 7 для отжига и далее в прокатный стан 8 и далее сватываются в рулон 9. После каждого прохода свариваемые заготовки подвергаются термической обработке, травлению и вновь подаются в валки прокатного стана.

Исследованиями установлено [20], что для получения этим способом биметалла медь — серебро необходима деформация при прокатке, равная 84—87% за один проход. Оптимальные параметры режима сварки прокаткой для некоторых металлов при получении биметаллических соединений приведены в табл. 10.3 [19].

Кроме приведенных в табл. 10.3 биметаллических соединений можно получить биметаллы на основе меди и стали, а также меди и алюминия [20] при соответствующих режимах сварки и деформации.

Способы изготовления биметаллических контактов. Для получения биметаллических контактов биметаллические ленты раскраивают дисковыми ножницами по длине на полосы требуемой ширины.

Из нарезанных полос штампуют контакты, т. е. производят вырубку или пробивку отверстий. Из гладких биметаллических лент

Таблица 10.3

Соединения металлов	Температура сварки про- каткой, °С	Скорость прокатки, м/с	Деформация, %
Cu—Ag	740	0,53	62
Cu—AgCu5	700	0,53	69
Cu—AgCd15	650	0,25	73
Cu—AgNi0,1	740	0,53	63
Cu—AgNi10	760	0,53	66
Cu—AgNi15	740	0,37	68
Л70—Ag	700	0,37	60
Л70—AgPd3	780—820	0,53	70
Л70—AgPd30	820	0,53	70
Л70—AgNi15	760	0,53	80
МНЦ-15-20—AgPd3	810	0,37	62
МНЦ-15-20—AgPd30	860	0,53	68
МНЦ-15-20—AuAg20	835	0,37	50

можно отштамповать как плоские, так и профилированные контакты. При штамповке контактов специального профиля выполняют дополнительные операции гибки или вытяжки.

Штамповка биметаллических контактных элементов может производиться вдоль и поперек направления прокатки биметаллических лент. Продольная штамповка создает более высокое упругое качество контактов. Ее можно применять при сплошь плакированных биметаллических лентах. В этом случае не происходит потерь несущего и контактного материалов.

При полосовом расположении контактного материала продольная штамповка контактов невозможна. В этом случае штампуют контакты поперек проката, но при этом контакты имеют незначительную упругость. Поэтому для получения хороших упругих свойств контакты штампуют под углом 45° к направлению проката.

Свойства биметаллических контактов. Биметаллические контакты должны удовлетворять условиям токопроводимости и прочности, исключаяющей их расслоение при гибке или штамповке. В связи с этим отдельные образцы контактов 1 для проверки их прочности подвергают изгибанию по схеме (рис. 10.9). Изгибание под углом 90° (рис. 10.9, а) проводят вокруг цилиндра d , который кратен толщине биметалла a , при этом сохраняется соотношение $d \leq d \leq 4a$. Ширина испытуемого образца b принимается равной 10 мм; его длина

$$c = 5a + 150.$$

На рис. 10.9, б показано перегибание образцов 1 и 2 под углом 90° влево и вправо до его разрыва; при этом цикличность перегибов в минуту должна быть 60.

Приведенный способ испытаний биметаллических материалов дает качественную оценку пластичности биметаллов, используемых для контактных соединений. Для испытания биметаллических кон-

тактов также используется ультразвуковой дефектоскоп [20] и другие методы.

Экономическая эффективность от применения биметаллических контактов. Применение контактных соединений из биметаллов в некоторых случаях является более экономичным по сравнению с контактными соединениями, получаемыми пайкой, клепкой, сваркой и др. Стоимость биметаллов для контактных соединений ниже за счет экономии благородных металлов, связанных с уменьшением толщины контактного металла, стоимость которого составляет 20—50 % общей стоимости контактного соединения.

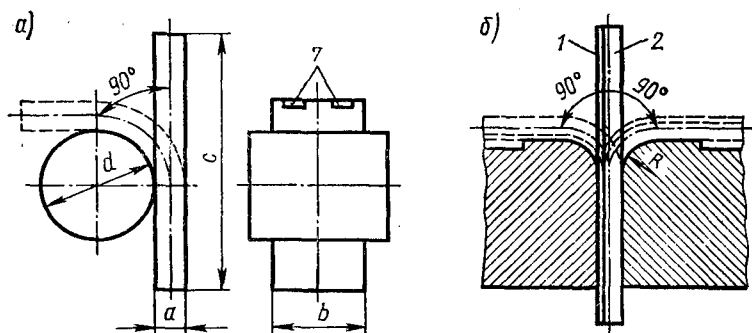


Рис. 10.9. Схемы контроля прочности контактного металла с основанием

Имеется также некоторая экономия в затрате труда — 10—20 % за счет автоматизации и механизации всего производственного цикла от производства до изготовления контактов из биметаллов.

Таблица 10.4

Биметалл	Голная про- дукция, %	Технологичес- кие потери, %	Брак, %	Биметалл	Голная про- дукция, %	Технологичес- кие потери, %	Брак, %
Одностороннее плакирование				Двустороннее плакирование			
Медь—серебро	81	14	5	Медь—серебро	77	15	6
Латунь—серебро	79	14	7	Латунь—сереб- ро	75	17	8
Сталь—медь (без подслоя)	82	12	6	—	—	—	—
То же (с подсло- ем цинка)	73	20	17	Полосовое рас- положение матери- ала	—	—	—
С подслоем ста- ли	71	19	10	Медь—серебро	89	9	2
	74	19	9	Латунь—серебро	89	8	3

Некоторые технико-экономические показатели биметаллических контактов приведены в табл. 10.4 [20].

Приведенные значения показателей являются средними в производстве широкой номенклатуры биметаллических контактов. Технологические потери вызваны обрезкой периферийных участков лент. При производстве биметаллических контактов отношение годной продукции (контактов) к массе биметаллических лент составляет 10—50%.

ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПОКРЫТИЙ

§ 11.1. ВИДЫ ПОКРЫТИЙ И ПОДГОТОВКА ДЛЯ НИХ ДЕТАЛЕЙ

Защита металлических изделий от коррозии, придание им требуемой декоративной отделки или сообщения поверхностному слою деталей необходимых свойств (твердости, износостойкости, электропроводности, теплопроводности и т. п.) осуществляется обычно с помощью металлических или неметаллических покрытий. К наиболее распространенным видам покрытий относятся гальванические и химические покрытия.

Гальванические покрытия основаны на выделении металлов из растворов их солей под воздействием электрического тока. Осаждение металла на детали происходит при подключении их к отрицательному полюсу источника тока — к катоду. Второй электрод — анод (металл для покрытия) подключается к положительному полюсу источника тока.

Химические покрытия представляют собой пленки определенного химического состава, которые образуются на поверхности металла вследствие воздействий на него химических реагентов. Наибольшее распространение получили окисные и фосфатные пленки.

Лакокрасочные покрытия основаны на образовании пленки из органических веществ и пигментов. Лакокрасочные покрытия, нанесенные на поверхность металла в виде одного или нескольких слоев лака или краски, после высыхания образуют защитные и декоративные пленки.

Детали перед нанесением гальванических покрытий подвергают операциям, связанным с подготовкой их поверхностей. В объем подготовки поверхности входит механическая обработка, включающая в себя сталеструйную обработку, крацевание, галтование, полирование и другие виды подготовки.

Для удаления загрязнений и жировых наслоений с деталей используют их промывку в органических растворителях (бензине, керосине); обезжиривание венской известью; обработку в горячих щелочных растворах химическими и электрохимическими способами.

Для деталей, имеющих сложную конфигурацию и небольшие размеры, используют ультразвуковую мойку, сущность которой состоит в том, что в промывочной ванне создаются ультразвуковые колебания моющей среды, в результате которых происходит интенсивное удаление загрязнений и жиров с поверхности обрабатываемых изделий.

Детали, имеющие оксидную пленку, после их обезжиривания и промывки подвергают травлению в растворах серной, соляной и азотной кислот.

Заключительной операцией подготовки деталей под гальванические покрытия является декапирование (легкое травление). Эта операция проводится путем погружения деталей на 1—2 мин в 5—10%-ный раствор серной или соляной кислот. При декапировании удаляют тонкую пленку окисла металла и выявляют (обнажают) структуру основного металла, что способствует лучшему их сцеплению. После декапирования детали помещают в соответствующие ванны гальванических покрытий.

Химическое обезжиривание больших партий мелких деталей выполняют в ванне 12 (рис. 11.1), содержащей щелочной раствор, в

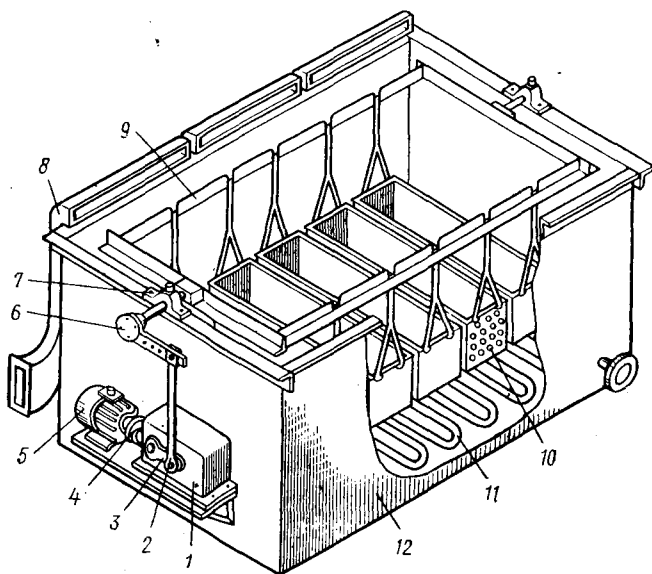


Рис. 11.1. Схема ванны для химического обезжиривания

котором для размещения деталей помещены корзины 10 на подвеске 9, проводимой в колебание от вала 6, установленного в подшипниках 7.

Вал 6 совершает вращение от привода 1, 2, 3, 4 и 5. Для нагревания щелочного раствора в ванне предусмотрены электронагреватели 11. Для удаления вредных паров и газов при обезжиривании предусмотрены бортовой отсос 8, соединенный с вытяжной вентиляцией.

При обезжиривании на поверхности щелочного раствора ванны образуется слой грязной пены, содержащей жиры и масла, удаляемые из ванны через сливной карман. Следует отметить, что введение в обезжиривающий раствор поверхностно-активных веществ ОП-7 или ОП-10 способствует ускорению процесса обезжиривания.

Составы щелочных растворов и режимы обезжиривания приведены в табл. 11.1.

Компоненты растворов и режимы обезжиривания	Способ движения растворов		
	перемешивание	струйная подача	ультразвуковые колебания
Тринатрийфосфат, г/л	5—10	15—20	30
Кальцинированная сода, г/л	5—10	5—10	—
Добавки ОП-7, г/л	3	3	3
Рабочая температура, °С	60—80	80—85	70—80
Давление раствора, создаваемого насосом, Па	—	8—10	—
Частота колебания, Гц	—	—	15—25
Выдержка, мин	5—10	3—5	0,1—1

После обезжиривания детали промывают в горячей и холодной проточной воде.

Электрохимическое обезжиривание. Электрохимическое обезжиривание деталей проводят в ванне 1 (рис. 11.2), содержащей щелочной раствор 2 и подводку постоянного тока к шинам 3, предназначенных для подвешивания на них деталей.

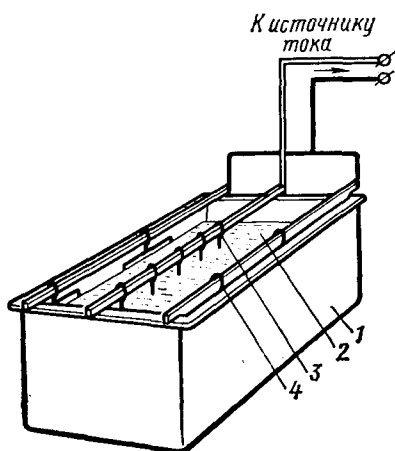


Рис. 11.2. Схемы ванны для электрообезжиривания

Детали, помещенные в ванну на шинах 3 (катод), интенсивно очищаются от жировых наслоений, но при этом их поверхности насыщаются водородом, что придает им хрупкость. Поэтому обезжиривание деталей иногда целесообразно проводить не на катодной, а на анодной шине 4, на которой отсутствует выделение водорода, и следовательно, не происходит насыщения им поверхности. Однако процесс обезжиривания на аноде протекает значительно медленнее по

сравнению с обезжириванием на катоде.

Составы растворов для электрохимического обезжиривания приведены ниже:

Сода каустическая, г/л	20—30
Сода кальцинированная, г/л	30—40
Тринатрийфосфат, г/л	10—20
Рабочая температура, °С	60—70
Плотность тока, А/м ²	$5 \cdot 10^2$ — $1 \cdot 10^3$
Продолжительность процесса, мин	5—6

Детали после обезжиривания любым способом подвергают промывке в горячей и холодной проточной воде.

Травление. Травление черных металлов и сплавов проводят для очистки их поверхности от окислов (окалины, ржавчины). Для травления используют водные растворы серной и соляной кислот или их смеси. Составы травильных растворов приведены ниже:

Серная кислота, %	15±3
Температура раствора, °C	50—70
Продолжительность травления, ч	0,5

Продолжительность травления зависит от состояния поверхности металла, температуры и перемешивания раствора; обычно продолжительность травления составляет 30—90 мин. После травления детали тщательно промывают в горячей и холодной проточной воде и просушают.

Травление меди и ее сплавов. Травление цветных металлов и их сплавов проводят с учетом придания поверхности металла блеска, а также ее подготовки перед гальваническим покрытием.

Состав раствора для глянцевого травления приведен ниже:

Азотная кислота (плотность 1,4), мл	1000
Серная кислота (плотность 1,84), мл	1000
Соляная кислота (плотность 1,19), мл	20
Газовая сажа, г	3,5

Температура растворов обычно равняется 15—20° C, время обработки 1—2 с, после чего детали промывают в холодной проточной воде, пассивируют в растворе, содержащем 50—70 г/л двуххромового оксидного калия (хромпика) и 10—15 г/л серной кислоты, а затем промывают и сушат.

Глянцевое травление меди ведут медленно в растворе хромового ангидрида, подкисленного серной кислотой.

Травление алюминия. Алюминий при травлении обрабатывают раствором щелочей, состоящих из едкого натра 150—200 г/л и поваренной соли. Алюминиевые детали, обработанные в этом растворе, приобретают блестящий вид. Процесс травления осуществляется в подогретом растворе до 50—60° C в течение 0,5—1,0 мин. После этого детали сначала погружают в ванну с холодной, а затем с горячей водой с последующим их просушиванием горячим воздухом.

Технология электрохимического полирования. Под электрохимическим полированием понимается процесс растворения неровностей на металлических поверхностях и придания им блестящего вида с повышением шероховатости обработки до 2—3-го класса.

Электрохимическое полирование является наилучшим видом подготовки деталей перед гальваническими покрытиями.

Для электрохимического полирования углеродистых сталей используют электролиты следующих составов (%):

Ортофосфорная кислота	65—70
Серная кислота	15—12
Хромовый ангидрид	5—6
Вода	15—12

При этом плотность готового электролита должна быть $1,72 \times 10^{-3}$ кг/м³.

Для электрохимического полирования нержавеющей сталей 1Х13, 2Х13, 3Х13 и других применяется электролит следующего состава (%):

Ортофосфорная кислота	40—45
Серная кислота	37—39
Хромовый ангидрид	3—4
Вода	20—17

Плотность готового электролита $(1,65—1,68) \cdot 10^{-3}$ кг/м³.

Режим электрохимического полирования в приведенных электролитах применяется следующий: плотность тока $D_k = 0,35 \div 0,60$ А/м², температура электролита 70—80° С. Продолжительность электрохимического полирования 6—10 мин. В качестве катодов используют свинцовые пластины.

Электрохимическое полирование может также применяться для полирования меди, никеля, алюминия в соответствующих электролитах и режимах.

§ 11.2. ГАЛЬВАНОПОКРЫТИЯ

Процесс электролитического осаждения металлов, т. е. гальванопокрывание, проводится в ванне 1 (рис. 11.2) с соответствующим электролитом 2.

Металл покрытия помещается на анодную шину 4, а детали, подлежащие гальваническому покрытию, — на катодную шину 3. На катоде осаждаются ионы металла покрытия с образованием мельчайших кристалликов. На анодной шине металл покрытия растворяется в электролите 2 с образованием соответствующих солей, которые, диссоциируя, поддерживают концентрацию ионов в электролите в процессе гальванопокрывания. Осаждение на катоде и растворение металла покрытия на аноде происходит в соответствии с первым и вторым законом Фарадея.

По закону Фарадея толщина осаждаемого на катоде металла (мкм)

$$\delta = (D_k C t \eta \cdot 100) / d, \quad (11.1)$$

где D_k — катодная плотность тока, А/м²; t — время, ч; η — выход по току, выбираемый из справочных данных, %; d — плотность, кг/м³; C — электрохимический эквивалент, г/А·ч.

Катодная плотность тока

$$D_k = I / s, \quad (11.2)$$

где I — сила тока, А; s — поверхность деталей, загруженных в ванну, м².

Продолжительность времени осаждения металла (ч)

$$t = d\delta / (D_K C \cdot 200) \quad (11.3)$$

или принимается по данным справочной табл. 11.2 [31]. Толщина покрытий в течение 1 ч при $D_K = 1 \text{ А/м}^2$.

Таблица 11.2

Металл	Выход по току, %	Скорость осаждения, 10^{-6} мкм/ч	Металл	Выход по току, %	Скорость осаждения, 10^{-6} мкм/ч
Цинк из кислых ванн	96	17	Медь из кислых ванн	100	13
Цинк из цианистых ванн	80	14	Медь из цианистых ванн	60	16
Кадмий из кислых ванн	95	23	Никель	98	12
Кадмий из цианистых ванн	90	22	Железо	95	12
Олово из кислых ванн	90	27	Хром	13	0,6
Олово из щелочных ванн	65	8	Свинец	100	33
			Серебро	100	37
			Золото	70	26
			Индий	70	13
			Палладий	90	15

Гальваническое покрытие, схематично показанное на рис. 11.2, состоит из ряда технологических операций, включая подготовку электролита, завешивание деталей на катодную шину и металлов покрытия на анодную шину. Режим покрытия для каждого вида нанесенной пленки принимается обычно из нормативных материалов, принятых в зависимости от назначения изделий. Детали после гальванических покрытий тщательно промывают в горячей и холодной проточной воде с последующим просушиванием горячим воздухом.

К числу наиболее распространенных гальванопокрытий, используемых в производстве электрических аппаратов, следует отнести цинкование, кадмирование, оловянирование, меднение, серебрение, родирование и др. Технологические особенности этих покрытий приведены в специальных руководствах и производственных инструкциях по гальваническим покрытиям.

§ 11.3. ХИМИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ

Оксидирование черных и других металлов. Оксидирование черных металлов представляет собой процесс нанесения на поверхность деталей пленки из магнитной окиси железа. Толщина наносимых пленок зависит от состава раствора, режима обработки составляет 0,5—0,8 мкм при щелочном воронении.

Коррозионная стойкость оксидных пленок незначительна; их можно применять для защиты изделий от атмосферных воздействий при условии протирки оксидированной поверхности нейтральными смазочными маслами. Химическое оксидирование деталей из черных металлов может выполняться в щелочных и кислых растворах.

Детали перед оксидированием в щелочных растворах подвергаются щелочному обезжириванию с последующей промывкой в горячей проточной воде. Для удаления с их поверхности естественных окислов детали погружают на 0,5—1 мин в 10%-ный раствор серной кислоты. После такой обработки их тщательно промывают в холодной проточной воде.

Для оксидирования черных металлов в щелочных растворах в табл. 11.3 приведены составы и рабочие температуры ванны оксидирования [31].

Таблица 11.3

Компоненты, г/л	№ состава растворов				
	1	2	3	4	5
Сода каустическая	600—650	550—600	700—800	600—700	600—700
Селитра натриевая	100—200	—	200—250	120—150	200—250
Нитрит натрия	—	150—200	50—70	40—50	—
Калий хлористый	—	—	—	8—10	8—10
Калий цианистый	—	—	—	—	10—20
Рабочая температура, °С	138—142	135—145	140—145	138—142	142—145

После оксидирования детали тщательно промывают в холодной проточной воде и обрабатывают в 3—5%-ном растворе хромовой кислоты, а затем снова промывают в холодной проточной воде с последующим их погружением в 1—2%-ный раствор хозяйственного мыла с подогревом до 70—80° С. Далее детали высушивают и погружают на 5—6 мин в веретенное или авиационное масло, подогреваемое до 105—110° С.

При оксидировании в кислых растворах получается оксидная пленка более высокой коррозионной стойкости по сравнению с оксидной пленкой, получаемой в щелочных растворах.

В табл. 11.4 приведены составы кислых растворов и режимы обработки [31].

Таблица 11.4

Компоненты и режимы обработки	Состав раствора	Компоненты и режимы обработки	Состав раствора
Азотнокислый кальций, г/л	15—30	Гипосульфат натрия, г/л	80
Ортофосфорная кислота, г/л	0,5—0,1	Хлористый алюминий, г/л	60
Перекись марганца, г/л	0,5—1	Ортофосфорная кислота, мл/л	5
Рабочая температура, °С	98—100	Азотная кислота, мл/л	2
Выдержка, мин	40—45	Рабочая температура, °С	60—70
		Выдержка, мин	15—20

После оксидирования в кислых растворах детали проходят аналогичную обработку, принятую при щелочном оксидировании.

Высокотемпературное оксидирование позволяет получить пленку толщиной до 10 мкм, обладающую коррозионной стойкостью и электрической прочностью. Высокотемпературное оксидирование выполняется так: детали нагревают до температуры $460 \pm 10^\circ\text{C}$ и погружают в льняное масло на 5—10 мин. Повторяя процесс 4—6 раз, получают плотную оксидную пленку, которая имеет глубокий черный цвет. Мелкие детали оксидируют в расплаве натриевой селитры при температуре 310°C с выдержкой до 10 мин до получения синей оксидной пленки.

Применяется оксидирование паром. При оксидировании паром, например, трансформаторного железа заготовленные пластины предварительно протравливают в соляной кислоте (плотность $1,9 \cdot 10^{-3}$ кг/м³ с добавлением 5% фтористоводородной кислоты в течение 15 мин без подогрева с последующей промывкой и просушиванием. Пакеты железа, обработанные этим способом, загружают в печь, температуру которой доводят до 200°C . В печь подают пар при избыточном давлении $(0,3 \div 0,5) \cdot 10^5$ Па, затем ее температуру поднимают до 480°C . Железо выдерживают при этих условиях в течение 1 ч, потом снижают температуру до 350° и прекращают подачу пара. После остывания печи оксидная пленка имеет толщину 4—5 мкм, сопротивление 20 Ом и пробивное напряжение пленки 3—4 В. Для получения пленки повышенной толщины применяют перегретый пар до $500\text{—}550^\circ\text{C}$.

Оксидирование магниевых сплавов. Оксидирование магниевых сплавов применяют как самостоятельное покрытие, а также в качестве грунтовки под окраску. Детали из магниевых сплавов обезжиривают растворителями в щелочных растворах и протравливают в растворе хромового ангидрида при концентрации 200 г/л и $t = 15 \div 25^\circ\text{C}$ в течение 10 мин. После промывки детали пассивируют в растворе хромпика при концентрации 50 г/л и $t = 90 \div 100^\circ\text{C}$ в течение 15—20 мин, а затем их промывают и сушат.

Для деталей, полученных отливкой и прокаткой, применяют составы, приведенные в табл. 11.5 [31].

Таблица 11.5

Компоненты растворов и режимы оксидирования	Литые сплавы	Катаные сплавы
Двуххромовокислый калий, г/л	40—50	25—30
Хлористый аммоний, г/л	0,7—1,2	0,7—1,0
Азотная кислота (плотностью $1,4 \cdot 10^{-3}$ кг/м ³), г/л	70—80	10—15
Рабочая температура, $^\circ\text{C}$	70—80	70—80
Выдержка, мин	1—2	4—5

Примечание. Старые или забракованные оксидные пленки удаляют путем погружения деталей в горячий и крепкий раствор каустической соды, после чего их оксидируют вновь.

Оксидирование меди и ее сплавов. Оксидирование меди и ее сплавов применяется для защиты от коррозии и для декоративной отделки деталей, применяемых в приборостроении. Для химического

оксидирования меди и ее сплавов можно применять щелочной персульфатный раствор.

Ниже приведен состав и режимы оксидирования [31]:

Сода каустическая, г/л	50—60
Персульфат натрия, г/л	14—16
Рабочая температура, °C	60—65
Выдержка, мин	5

После получения пленки на поверхности детали бурно выделяются пузырьки кислорода, указывающие на окончание формирования пленки. Полученная пленка состоит из окиси меди, она имеет глубокий черный цвет, блестящую поверхность и толщину около 1 мкм.

Оксидирование латуни химическим способом широко применяется благодаря простоте и экономичности процесса и красивому виду оксидной пленки. Перед оксидированием детали обрабатывают в подкисленном растворе хромпика следующего состава:

Двуххромовокислый калий, г/л	70—80
Серная кислота (плотность $1,84 \cdot 10^{-3}$ кг/м ³), г/л	20—25
Рабочая температура, °C	15—25
Выдержка, мин	25—30

После этого детали промывают в холодной проточной воде, декапируют в 5%-ном растворе серной кислоты, снова промывают и оксидируют в растворе, приведенном ниже:

Водный 25%-ный раствор аммиака, мл	100—1000
Медь углекислая свежесажженная, г	40—200
Рабочая температура, °C	15—30
Выдержка, мин	25—30

Полученная оксидная пленка должна иметь черный цвет с синеватым отливом.

Фосфатирование черных металлов. Фосфатирование черных металлов является химическим процессом получения на поверхности стали и чугуна пленки нерастворимого в воде фосфорно-кислого соединения марганца и железа, образующегося под действием раствора препарата Мажеф (марганец, железо, фосфорная кислота). Толщина фосфатной пленки составляет от 8 до 50 мкм. Прочность сцепления фосфатной пленки со сталью очень хорошая. Пленка обладает электроизоляционными свойствами, ее электрическая прочность достигает 1000 В при сохранении магнитной проницаемости электротехнических сталей. Поэтому в некоторых случаях фосфатирование целесообразно применять для изоляции ферромагнитных пластин магнитопроводов. Фосфатная пленка является стойкой к целому ряду горючих, смазочных и органических масел, бензолу, толуолу и к газам, кроме сероводорода. В агрессивных средах, например в щелочах, кислотах, аммиаке, в пресной и морской воде и в водяном паре фосфатная пленка нестойкая. Поэтому фосфатирование как коррозионно-стойкое покрытие можно принять только с учетом использования фосфатной пленки в качестве грунтовки перед лакокрасочными покрытиями.

Перед фосфатированием детали должны пройти необходимую подготовку поверхности. Детали, имеющие чистовую обработку, фосфатируются с образованием мелкокристаллической пленки толщиной 6—10 мкм. Травление деталей приводит к образованию рыхлой крупнокристаллической пленки толщиной 40—50 мкм. Поэтому детали после травления промывают в 3—5%-ном растворе кальцинированной соды, а затем промывают в воде и только после этого фосфатируют.

Для фосфатирования крупных деталей состав и режимы работы ванны приведены ниже:

Мажеф, г/л	30
Азотнокислый цинк, г/л	60
Азотнокислый натрий, г/л	4—5
Фосфатная кислота, г/л	0,1—1
Рабочая температура, К	365—369
Выдержка, мин	8—10

Электроизоляционное фосфатирование. Электроизоляционное фосфатирование, как указывалось выше, можно применять в качестве изоляционной пленки ферромагнитных пластин, используемых для магнитопроводов. Перед фосфатированием пластины штампованного ферромагнитного материала закладывают в вакуумную печь и проводят их отжиг. Вакуумный отжиг ферромагнитных пластин магнитопроводов обеспечивает удаление окислов железа на поверхности пластин. После этого пластины обезжиривают и промывают, а затем подвергают фосфатированию в растворе, приведенном ниже:

Препарат Мажеф, г/л	34—45
Азотный цинк, г/л	45—55
Рабочая температура, °С	96—98
Выдержка, мин	15—20

После фосфатирования детали промывают в холодной проточной воде и пассивируют в горячем 5—10%-ном растворе двуххромовокислого калия в течение 10 мин, а затем снова промывают в горячей воде и просушивают. В результате проведенной обработки листов железа фосфатная пленка получается светло-серого цвета с сопротивлением ее изоляции около 2 МОм при замерении тестером на 500 В.

Фосфатирование пружин. При фосфатировании пружин отсутствует процесс насыщения их водородом, который, как известно, имеется при цинковании пружин.

Перед фосфатированием пружины обезжиривают и промывают в растворе хромового ангидрида с добавкой сернокислого аммония. После промывки пружины предварительно фосфатируют в водном растворе суперфосфата при температуре 40—50° С в течение 10 мин, затем промывают и переносят их в ванну с раствором для вторичного фосфатирования.

Состав раствора и режим фосфатирования приведены ниже:

Препарат Мажеф, г/л	30—35
Азотнокислый цинк, г/л	60—65
Общая кислотность, г/л	35—45
Свободная кислотность точки, г/л	3,5—4,5
Рабочая температура, °С	85—96
Выдержка, мин	10—15

После фосфатирования пружины промывают в горячей воде, пассивируют в горячем растворе хромпика в течение 15—20 мин, промывают и просушивают, а затем погружают их в масляный лак № 92а и вновь просушивают при $t=120\div140^\circ\text{C}$ в течение 2 ч.

§ 11.4. ОКРАСКА И СУШКА ИЗДЕЛИЙ

Лакокрасочные покрытия применяют для защиты металлических и неметаллических поверхностей от разрушающего действия окружающей среды и придания изделиям красивого внешнего вида. В качестве окрасочных материалов применяют олифу или соответствующие лаки и их смеси с пигментами и наполнителями. После

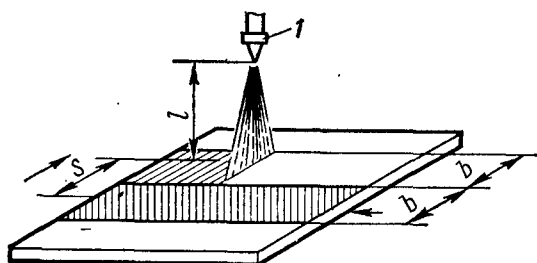


Рис. 11.3. Схема окраски пневматическим краскораспылителем

нанесения окрасочных материалов тем или иным способом и их просушивания на поверхности образуются прочные защитные пленки, надежно предохраняющие изделия от влияния окружающей среды.

Технология лакокрасочных покрытий. Каждому виду окраски предшествует подготовка

поверхности окрашиваемого изделия. Поверхность не должна иметь заусенец, вмятин, оксидной пленки и других дефектов. В целях лучшей адгезии (сцепления) слоя окраски с поверхностью металла некоторые изделия обдувают кварцевым песком в пескоструйной установке. Обезжиривание поверхностей производится органическими растворителями — бензином, уайт-спиритом или бензолом.

Для грунтования под слой покровной краски, эмали или лака на поверхность наносят слой грунта, например грунтовки № 38, которая надежно сцепляется с поверхностью металла.

В целях придания поверхности равномерного поля применяют шпатлевание для выравнивания поверхности изделия за счет нанесения шпателем на грунтованную поверхность слоя шпаклевки. После высыхания шпаклевки обнаруженные неровности зачищают пемзой или стеклянной бумагой.

После грунтовки и просушивания на поверхность изделия наносят промежуточный и покровный слой краски. Применяются различные способы нанесения лакокрасочных материалов на поверхности изделий.

Кистевая окраска. Эта окраска выполняется посредством кисти вручную и является наиболее простым и хорошо известным способом.

Окраска пневматическим краскораспылителем. Окраска изделий пневматическим краскораспылителем (рис. 11.3) широко применяется на ряде предприятий. Она позволяет окрашивать изделия любой формы и равномерным покрытием. Но при этом необходимо отметить, что краска, вылетая из сопла краскораспылителя 1 под давлением сжатого воздуха в виде конусного факела, загрязняет окружающую среду. Поэтому окраску изделий пневмораспылителем производят в специальных камерах с вытяжкой и приточной вентиляцией.

Давление сжатого воздуха перед краскораспылителем

$$p = 1,8\alpha V_k / f, \quad (11.4)$$

где V_k — расход краски, л/ч; f — площадь отверстия в краскораспылителе для прохода воздуха, мм²; α — удельный расход воздуха [отношение абсолютного расхода (м³/ч) к расходу краски (л/ч)].

Пневматический способ нанесения краски позволяет использовать низковязкие материалы (порядка 20—40° по вискозиметру типа ВЗ-4 при 20°С). Недостатками этого метода являются: большой расход лакокрасочных материалов вследствие их потерь при распылении, которое достигает 50%; тяжелые условия труда из-за насыщения воздуха мельчайшими частицами краски и растворителей; необходимость мощной вентиляции и гидроочистки воздуха.

Безвоздушный способ нанесения краски на изделия (рис. 11.4) основан на распылении краски, находящейся под давлением. Краска из бака 1 насосом 9 по трубе 11 и обратному клапану 10 нагнетается в сосуд 6 до давления (40—60) 10³ Па, измеряемого манометром 7, где для уменьшения вязкости краска нагревается нагревателем 8. По трубе 5 она поступает к соплу краскораспылителя 3 при открытии клапана 4. Неиспользуемый объем краски через краскораспылитель 3 по трубе 2 поступает в бак 1.

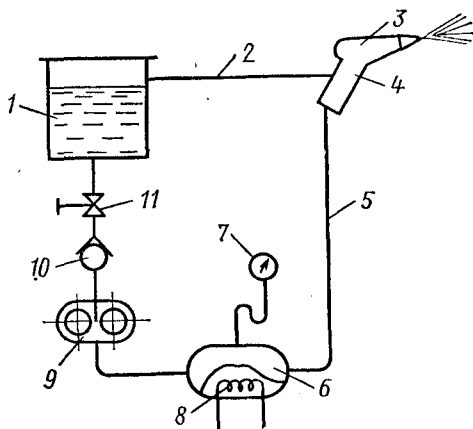


Рис. 11.4. Схема устройства для окраски под давлением

При вылете из сопла краска имеет значительную скорость с меньшим распылением ее в окружающее пространство по сравнению с окраской пневматическим краскораспылителем и, следовательно, меньшими потерями окрасочного материала с улучшением санитарных условий труда.

Окраска в электростатическом поле. Этот способ окраски основан на переносе и осаждении распыленной краски на изделиях, помещенных на катоде высоковольтной установки, под воздействием высоковольтных линий тока между катодом и анодом.

Способ характеризуется отсутствием потерь краски и хорошим равномерным покрытием изделия; он используется в серийном и массовом производствах.

Сушка лакокрасочных покрытий. Для сушки лакокрасочных покрытий применяют печи с электрическим источником нагрева в виде тупиковых или методических печей в зависимости от объема и вида производства. Для просушивания окрашенных крупных изделий применяют печи, оборудованные лампами инфракрасного излучения или терморadiационными нагревателями. В современных печах для просушивания предусматриваются средства для автоматического поддержания заданной температуры сушки. Скорость протекания процесса зависит от температуры и времени сушки.

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ПЛАСТМАСС В ИЗДЕЛИЯ

§ 12.1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЛАСТМАСС

Пластические массы (пластмассы) являются смесью веществ, содержащих искусственные высокомолекулярные смолы, наполнители в виде древесной муки, очесов хлопка, каолина, асбеста, слюдяной муки и других материалов. Кроме наполнителей, в состав пластмасс иногда вводят стабилизаторы, пластификаторы, красители, вспенивающие и другие вещества [20].

По физико-химическим свойствам связующих веществ (смол) пластмассы разделяют на термореактивные и термопластические.

Термореактивные пластмассы при нагревании переходят в вязкотекучее состояние с последующим превращением в твердое; при повторном их нагревании они не переходят в пластическое состояние. К термореактивным пластмассам относят композиции на основе формальдегида, мочевиноформальдегида, меламиноформальдегида и др.

Термопластические пластмассы при нагреве переходят в вязкотекучее состояние; при охлаждении они отвердевают, а при повторном нагреве снова превращаются в вязкотекучее состояние. К таким пластмассам относятся полиметилкрилат, полистирол, полиэтилен и др.

В настоящее время известно значительное число способов формования пластмассовых изделий, которые применяют в зависимости от их конструкции, типа и размеров, а также технических требований, предъявляемых к использованию изделий. Однако из большого числа способов переработки пластмасс в изделия широко распространенными являются: прямое компрессионное и литьевое (плунжерное и трансферное) прессование, применяемое для переработки термореактивных пластмасс (реактопластов), а также литье под давлением для переработки термопластических пластмасс (термопластов) и литье деталей под вакуумом.

§ 12.2. ПРЯМОЕ КОМПРЕССИОННОЕ И ЛИТЬЕВОЕ ПРЕССОВАНИЕ

Прямое компрессионное прессование проводят в пресс-формах (рис. 12.1, а). В загрузочную полость помещается заранее подготовленный прессматериал 4, из которой он непосредственно поступает в оформляющую полость матрицы 2, где под воздействием теплоты и давления пресса на пуансон 1 (рис. 12.1, б) переходит в вязкотекучее состояние с оформлением изделия 5. В этом состоя-

нии его выдерживают под давлением, равным 2,0—2,5 МПа, которое противодействует давлению паров воды и летучих веществ, выделяемых прессматериалом. После выдержки в пресс-форме поршнем 3 из нее выталкивается деталь (рис. 12.1, в). По приведенной схеме прессования можно изготавливать детали, изображенные на рис. 12.1, г, д, е и др.

Прямое прессование широко используют для изготовления карасов для катушек, опрессовки пластмассой клемм, штекеров, клеммных колодок и других изделий, применяемых в электроаппаратах.

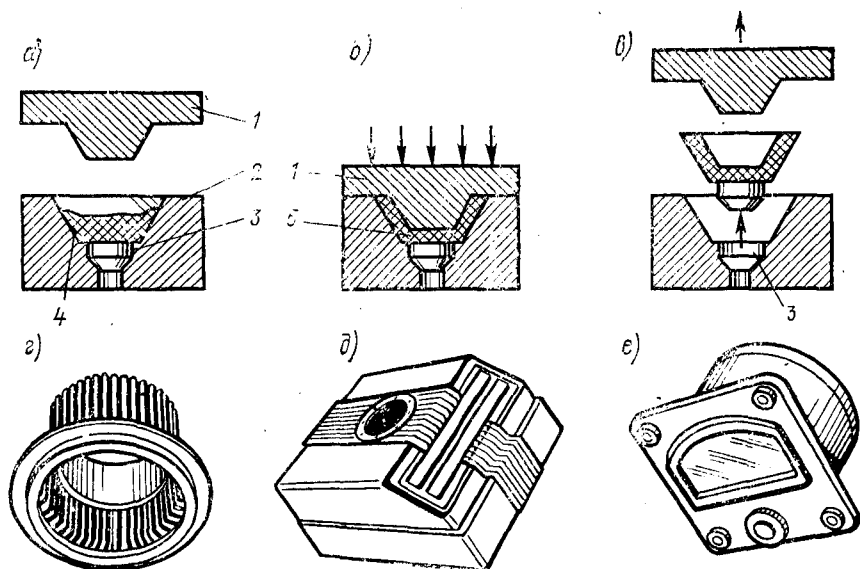


Рис. 12.1. Схема прямого компрессионного прессования

Усилие P , необходимое в процессе прессования, зависит от площади прессования и марки прессматериала (H):

$$P = Fp,$$

где F — площадь прессуемой детали, m^2 ; p — давление, зависящее от марки прессматериала, Па.

В пневматической системе управления высоковольтным воздушным выключателем применяют блоки, содержащие клапаны с резиновыми уплотнениями (рис. 12.2, а), посредством которых осуществляют герметичное перекрытие воздухопроводов пневматического блока.

Технология получения резинового уплотнения производится в пресс-форме (рис. 12.2, б). Заготовку клапана 1 помещают в пресс-форму 2. В кольцевой паз закладывают жгут из сырой резины (требуемой марки), которая под воздействием теплоты пресс-формы (нагреватель не показан) и давления пресса, приложенного к пуан-

сону 3, приобретет вязкотекучее состояние и заполнит кольцевую выточку заготовки клапана 1. При выдержке отпрессованного уплотнения в указанном состоянии в течение 40—45 мин при $t = 140^\circ\text{C}$ происходит вулканизация резины с хорошей адгезией (сцеплением) к металлу заготовки клапана 1. По истечении указанной выдержки пресс-форму разбирают с извлечением заготовки клапана с впрессованным резиновым кольцом.

Перед закладкой заготовки клапана в пресс-форму кольцевую выточку в виде ласточкина хвоста для придания ей шероховатости обрабатывают на пескоструйной установке кварцевым песком с последующим тщательным обезжириванием кольцевой выточки бензином, уайт-спиритом или другими растворителями. После этого поверхность кольцевой выточки покрывают клеем типа «Лейконат» или К-350-61 и просушивают согласно инструкции.

На рис. 12.3 показан способ литьевого прессования изделий из пластмасс. Пластмассу помещают в загрузочную камеру 3, где под

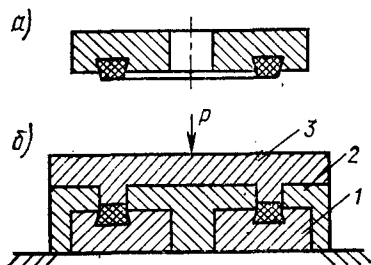


Рис. 12.2. Схема прессования резинового уплотнения

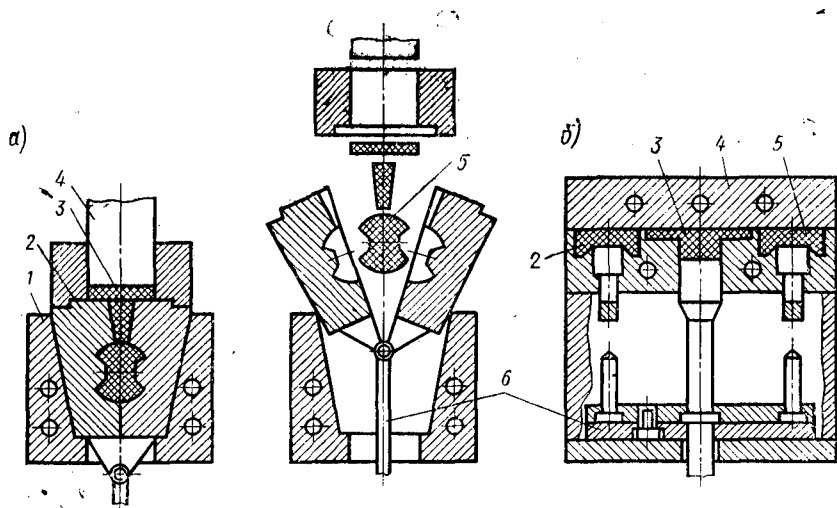


Рис. 12.3. Схема плунжерного прессования

воздействием теплоты и приложенного давления от пресса к пуансону 4 она переходит в жидкотекучее состояние и через литниковую систему поступает в оформляющую разъемную полость матрицы 2, расположенную в конусной полости корпуса 1.

Различают два вида литьевого прессования: в пресс-форме с верхней загрузочной камерой (рис. 12.3, а) — так называемое трансферное прессование и в пресс-форме с нижней загрузочной камерой (рис. 12.3, б) — плунжерное прессование.

Трансферное прессование является одним из лучших способов, приближающихся к способу литья под давлением. Однако трансферное прессование отличается от литья под давлением тем, что здесь форма всегда нагрета до температуры прессования и изделия из отвержденных термореактивных прессматериалов можно выталкивать из формы (матрицы) без их охлаждения. При трансферном прессовании используют прессматериалы на основе фенолформальдегида и меламиноформальдегида.

Плунжерное прессование выполняется на прессах с двумя гидравлическими цилиндрами — верхним и нижним. Усилие нижнего цилиндра обеспечивает продавливание прессматериала в оформляющие гнезда пресс-форм (рис. 12.3, б) 2, 3, 5, а усилие верхнего цилиндра 4 необходимо для прижатия пресс-формы по полости разъема и поэтому оно превышает давление, развиваемое материалом в оформляющих гнездах и в литниковой системе. Раскрытие пресс-форм (рис. 12.3, а и 12.3, б) осуществляется штоком и траверзой 6.

Достоинством литьевого прессования является то, что детали могут формироваться с малопрочной сквозной и боковой арматурой, а также с глубокими отверстиями небольших диаметров, благодаря нахождению прессматериала в форме в пластическом состоянии; поэтому не создается разрушающих усилий на установочную арматуру. По плоскости разъема пресс-формы отсутствует образование облоя благодаря плотному прижатию частей пресс-формы по линии разъема.

Недостатками литьевого прессования является повышенный расход прессматериала по сравнению с прямым компрессионным прессованием за счет необратимого прессматериала, содержащегося в загрузочной камере и литниковой системе.

§ 12.3. ЛИТЬЕ ПЛАСТМАСС ПОД ДАВЛЕНИЕМ И ВАКУУМОМ

Литье под давлением. Это литье является одним из основных способов переработки пластмасс, позволяющий изготавливать высококачественные изделия с большой точностью при сравнительно небольших затратах.

Литье под давлением осуществляется на литьевых машинах, работающих по схеме, показанной на рис. 12.4, при температуре 185—280° С по принципу выдавливания пластмассы из обогреваемого цилиндра в охлаждаемую пресс-форму. В бункер 1 загружают гранулированную пластмассу, откуда через дозирующее устройство 2 гранулы в требуемом объеме для одного впрыска поступают в цилиндр 4 с нагревательным устройством 5. Температура пластмассы в цилиндре повышается от начальной на входе до заданной технологическим режимом на выходе.

Цикл литья начинается с подвижной половины пресс-формы 10 после ее смыкания с правой половиной 9. Сомкнутая пресс-форма перемещается вправо, при этом сжимает пружины 7, контактируя с соплом 6. Плунжер 3 впрыскивает расплавленную прессмассу в охлаждаемую водой пресс-форму при давлении 20 МПа. Благодаря тому, что температура пресс-формы ниже температуры впрыснутой в нее прессмассы, отливка быстро охлаждается и затвердевает, уменьшаясь в объеме. В полости пресс-формы образуется незаполненный объем, поэтому для заполнения всего объема, а также для сохранения впрыснутой пластмассы плунжером 3 поддерживается давление с учетом времени, определяющего отверждение отливки в пресс-форме. После такой выдержки плунжер 3 отходит вправо и из загрузочного бункера 1 в цилиндр 4 поступает новая порция пресс-материала и т. д.

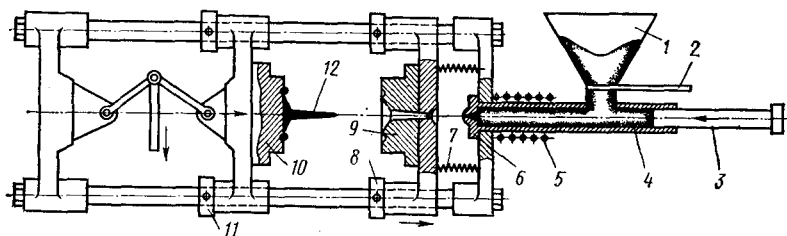


Рис. 12.4. Схема прессования на литьевой машине

После требуемой выдержки для охлаждения отлитой детали пресс-форма размыкается, левая половина 10 отходит от полуформы, при этом литник 12 отрывается от сопла 6. При дальнейшем движении полуформы 10 влево до упора 11 пресс-форма полностью открывается и отливка выталкивается.

Литье пластмасс под вакуумом. Литье пластмасс под вакуумом выполняется с использованием эпоксидных и ненасыщенных полиэфирных смол, отвердевающих при добавлении к ним катализаторов (отвердителей) при нормальной и повышенной температуре.

Технология изготовления изделий из эпоксидных компаундов включает следующие операции: подготовку пресс-форм и эпоксидного компаунда, заливку компаунда в формы, термообработку и зачистку грата. Формы, предназначенные под заливку их компаундом, промывают растворителем, т. е. тщательно обезжиривают поверхности, определяющие контур изделия. На формообразующие поверхности наносят 5—10%-ный слой разделительной смазки с последующей запечкой.

Эпоксидный компаунд готовят из смеси веществ в нужных соотношениях: например, на 1000 мас. ч. эпоксидной смолы марки ЭПС-1 берется пылевидный кварц — 60 мас. ч., нитрида бора — 45 мас. ч., отвердителя И-МГТДЛ — 38 мас. ч. и триэтанол-амин ТЭА — 1,1 мас. ч.

Смесь, состоящую из эпоксидной смолы, пылевидного кварца и нитрида бора, помещают в бак-смеситель 4 (рис. 12.5). При закрытой крышке бака смесь подогревают индукционным нагревателем до температуры 110°C , перемешивают мешалкой, приводимой во вращение приводом 1, создают в объеме бака-смесителя вакуум с использованием вакуумного насоса 9 и трубопроводов 12 и 13.

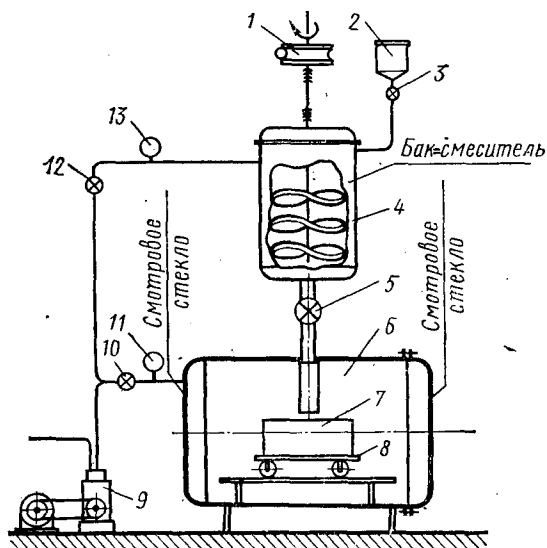


Рис. 12.5. Схема установки для приготовления и заливки эпоксидного компаунда

После этого в объем бака-смесителя из бачка 2 по трубопроводу 3 вводят отвердитель, при этом температура смеси понижается и ее снова подогревают до температуры 110°C , а объем бака-смесителя вакуумируют в течение 5—10 мин. Затем в смесь вводят триэтаноламин и ее нагревают до температуры 110° и проводят вакуумирование до давления $(0,65—1,7) \cdot 10^2$ Па.

Подготовленный компаунд из бака-смесителя 4 при открытом кране 5 заливают в форму 7. К данному моменту в объеме бака 6 с помощью ваку-

умной системы 11, 10 и 9 создается вакуум не ниже $(0,05—1,3) \times 10^3$ Па. После некоторой выдержки залитую компаундом форму 7 на тележке 8 выкатывают при открытой двери бака 6.

Для ускорения полимеризации эпоксидного компаунда форму с отлитым изделием помещают в термостат, где при температуре 110°C и соответствующей выдержке (по времени согласно инструкции) заканчивают процесс полимеризации, после чего форму раскрывают и извлекают отлитое изделие.

На рис. 12.6 показана схема получения литой изоляции с использованием эпоксидного компаунда. Ленточный магнитопровод 4 с обмоткой 3 (рис. 12.6, а) помещают в форму 1. Для получения литой оболочки 2 через сверления в крышке формы 1 заливают эпоксидный компаунд до полного заполнения им всего объема формы.

На рис. 12.6, б показаны схемы получения литой изоляции 3 с заливкой в нее арматуры 2 и трансформаторов 4 и 5. Через сверление в крышке 1 свободное пространство формы заполняют эпоксидным компаундом.

На схеме (рис. 12.6, в) показан литой изолятор 4 с использованием эпоксидного компаунда. Форму 3, состоящую из двух частей,

закрепляют конусными кольцами 2. В центральные отверстия закладывают металлическую арматуру 1 и через верхние отверстия заливают компаунд до полного заполнения формы.

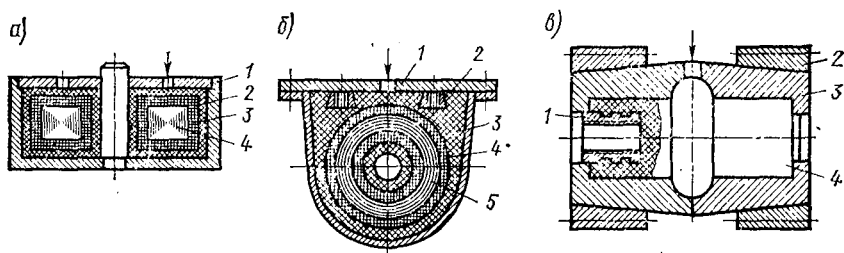


Рис. 12.6. Схемы получения оболочек из эпоксидного компаунда

§ 12.4. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРЕСС-ФОРМЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПЛАСТМАСС

К основному виду технологического оборудования относятся: машины для таблетирования, прессы различных исполнений, литьевые машины, прессы-автоматы и др.

Машины для таблетирования различаются типом привода, расположением оси прессования в пространстве и числом пресс-форм. Их можно разделить на следующие виды: ротационные, эксцентриковые, гидравлические [21].

На рис. 12.7 дан общий вид эксцентриковой таблетировочной машины, содержащей следующие основные элементы: эксцентрик 1, бункер для загрузки пластмассы 2, коленчатый вал 3, станину 4, ползун 5, защитную решетку 6, двигатель 7, лоток для таблеток 8, маховик 9 и передаточные механизмы 10. Прессование изделий из таблетированной пластмассы уменьшает время нагревания при прессовании изделия по сравнению с прессованием их из пластмассы, поступающей в пресс-форму в сыпном виде.

Пресс-форма является устройством, полость которой заполняется пластмассой с последующим ее отверждением и с обеспечением несложного раскрытия для удаления отпрессованного изделия. В пресс-формах содержатся следующие детали технологического назначения: матрица,

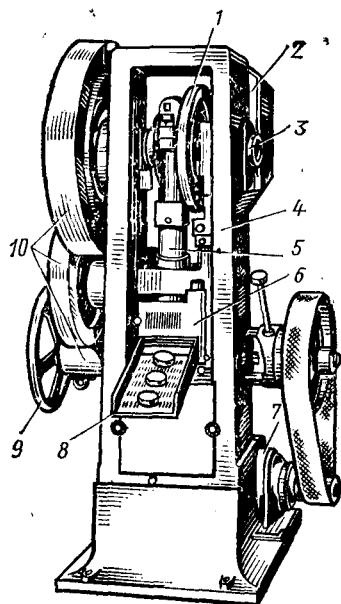


Рис. 12.7. Схема получения таблеток на таблетировочном прессе

литниковая плита, пуансон, вкладыш, резьбовые знаки, арматура и другие элементы конструктивного назначения, обеспечивающие направление пуансона по отношению к матрице, закрытие и открытие пресс-формы, крепления и т. п.

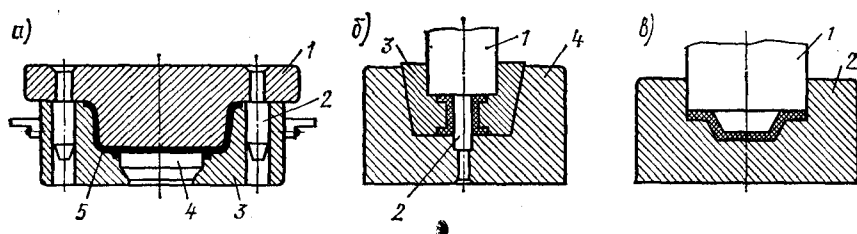


Рис. 12.8. Схемы пресс-форм

На рис. 12.8 показаны пресс-формы прямого прессования. По принципу устройства оформляющего гнезда их подразделяют на пресс-формы открытые (рис. 12.8, а) и полузакрытые (рис. 12.8, б, в).

Пресс-форма открытого типа (рис. 12.8, а) проста по конструкции, содержит пуансон 1, направляющие стержни 2, матрицу 3 и выталкиватель 4. Эти пресс-формы характеризуются тем, что не имеют загрузочной камеры. Уплотнение прессуемого в них материала достигается сопротивлением трения, которое возникает при выталкивании материала из оформляющего гнезда. Под воздействием необходимой приложенной силы к пуансону 1 загруженная в гнездо (полость) пластмасса заполнит зазор между пуансоном 1 и матрицей 3 с получением изделия 5, которое удаляется выталкивателем 4.

Пресс-формы закрытого типа (рис. 12.8, б, в) характеризуются тем, что в них, так же как и в пресс-формах открытого типа, необходимое уплотнение достигается сопротивлением, возникающим при вытекании материала из оформляющего гнезда через специальные лыски, снятые на боковых поверхностях цилиндрического

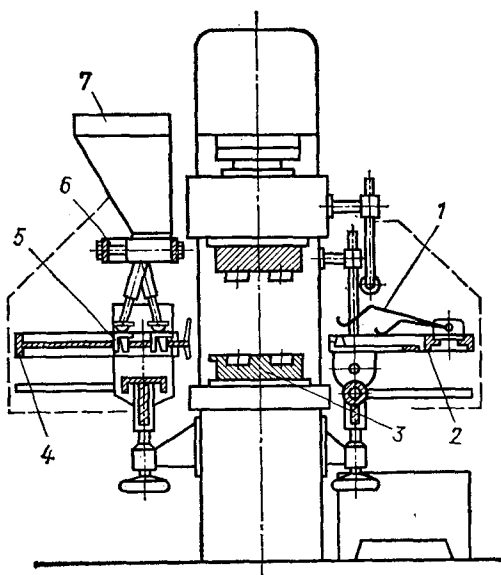


Рис. 12.9. Схема однопозиционного автомата

пуансона. Пресс-форма содержит следующие детали: пуансон 1, матрицу 3, обойму 4 и вкладыш 2, служащий для оформления отверстия в изделии.

Прессы-автоматы могут быть одногнездовыми и многооперационными. На рис. 12.9 показан однооперационный пресс-автомат с загрузочным устройством шибера типа. Загруженный в бункер 7 материал дозируется устройством 6 и через желоба засыпается в гнезда 5 шибера устройства 4, которое перемещается в зону разъема пресс-формы 3 и загружает материал в гнезда. На передней части прессы расположены съемная вилка 2 для удаления отпрессованных и вытолкнутых изделий, а также устройство 1 для контроля операций съема изделий с пуансона.

Для прессования изделий из пластмассы широко применяют полуавтоматические универсальные прессы различных исполнений, роторные прессы и др.

Отметим, что изготовление деталей из пластмасс на неспециализированных предприятиях с применением нескольких типов пресс-форм для изготовления небольших партий деталей нерентабельно, так как стоимость изготовления стационарных пресс-форм составляет 60—80% от стоимости партии деталей. В этих случаях целесообразно использовать так называемые групповые блоки со сменными формовкладками, при проектировании которых за основу берут не одну деталь, а группу технологически похожих деталей, требующих одинаковых технологических решений, одного типа оборудования и оснастки [21].

ГЛАВА 13

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАГНИТОПРОВОДОВ

§ 13.1. ФЕРРОМАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, МАГНИТОПРОВОДЫ И ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЕ

Магнитопроводы применяют для трансформаторов, дросселей, магнитных усилителей, электромагнитов и других электротехнических устройств.

На рис. 13.1 приведены некоторые типы магнитопроводов. Магнитопроводы Ш-образной формы (рис. 13.1, а) применяют для вход-

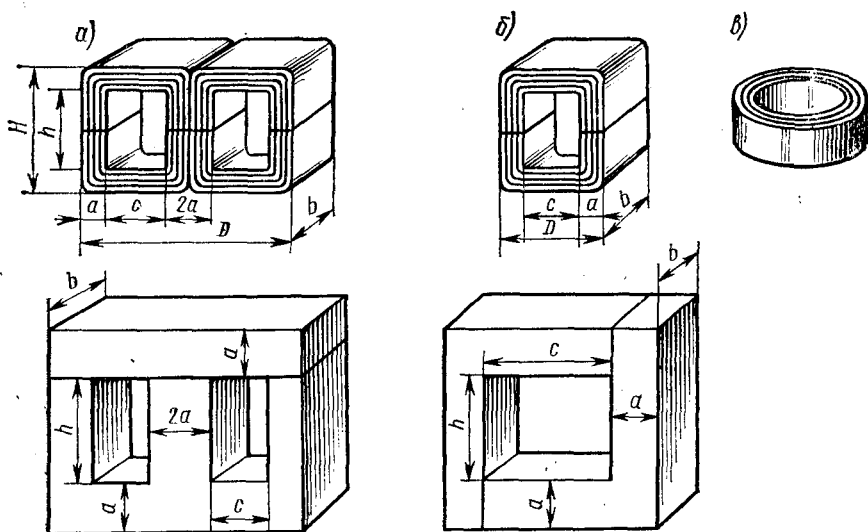


Рис. 13.1. Магнитопроводы

ных и выходных маломощных трансформаторов малых и средних размеров с размещением катушки на среднем стержне. Магнитопроводы П-образной формы (рис. 13.1, б) используют для мощных трансформаторов с делением обмотки на две части, что способствует лучшему их охлаждению. Магнитопровод О-образной формы (рис. 13.1, в) предназначен для дросселей трансформаторов, магнитных усилителей и других аналогичных изделий.

Для изготовления магнитопроводов употребляют электротехнические стали и другие ферромагнитные материалы в зависимости от типа магнитопровода и его служебного назначения.

Таблица 13.1

Марка стали	Содержание Si, %	Степень легирования	Тип стали	Вид изделия	ГОСТ
Э11; Э12; Э13; Э1100; Э1200	0,8—1,8	Слаболегированная	Горячекатаная; холоднокатаная	Лист	214271—75
Э21; Э22	1,8—2,8	Среднелегированная	Слаботекстурованная; горячекатаная		214271—75
Э3100; Э3200	2,8—3,8	Повышеннолегированная	Слаботекстурованная; холоднокатаная	Лист	214271—75
Э310; Э320; Э330			Текстурованная; холоднокатаная	Лист Лента	214271—75
Э340; Э370; Э380					
Э340; Э350; Э360; Э370; Э380					
Э41; Э42; Э43; Э44; Э45; Э46; Э47; Э48	3,8—5,0	Высоколегированная	Горячекатаная	Лист	214271—75

Электротехнические стали. Эти стали по способу производства, виду, кристаллической текстуре и магнитным свойствам приведены в табл. 13.1.

По содержанию кремния электротехнические стали подразделяют на слаболегированные (0,8—1,8 Si), среднелегированные (1,8—2,8 Si), повышеннолегированные (2,8—3,8 Si) и высоколегированные (3,8—5 Si).

По способу термообработки, качеству и виду поверхности электротехнические стали могут быть отожженными, неотожженными, травлеными, нетравлеными, без изоляции или с поверхностной изоляцией.

Буквы и цифры в марках электротехнических сталей обозначают: Э — электротехническая сталь; первая цифра — среднее содержание кремния (1 — слаболегированная, 2 — среднелегированная, 3 — повышеннолегированная, 4 — высоколегированная); вторая цифра (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8) — гарантированные электромагнитные свойства, причем 1, 2, 3 — удельные потери при перемагничивании с частотой 50 Гц и магнитная индукция в сильных полях (1 — нормальные, 2 — пониженные и 3 — низкие удельные потери), 4 — удельные потери при перемагничивании с частотой 400 Гц и магнитная индукция в средних полях, 5, 6 — магнитная проницаемость в слабых полях от 0,002 до 0,008 А/см (5 — нормальная,

6 — повышенная), 7, 8 — магнитная проницаемость в средних полях от 0,03—до 10 А/см (7 — нормальная, 8 — повышенная); третья цифра 0 — сталь холоднокатаная текстурованная; четвертая цифра 0 — сталь холоднокатаная малотекстурованная.

Магнитные свойства электротехнической тонколистовой стали по ГОСТ 21427.1—75 должны соответствовать данным, приведенным в работе [22].

Магнитные свойства сталей марки Э44, Э340, Э45, Э310, Э320, Э330 и других приведены в [22].

Железоникелевые сплавы. Железоникелевые сплавы изготавливают в виде холоднокатаных лент и горячекатаных листов; их поставляют в нагартованном состоянии. Основные марки железоникелевых сплавов, их магнитные свойства по ГОСТ 10160—75 и химический состав приведены в работе [22].

Нетекстурованные горячекатаные стали Э11, Э12, Э13, Э41 и другие применяют в силовых трансформаторах и электрических двигателях, работающих при частоте переменного тока 50 Гц в сильных полях. Текстурованные холоднокатаные стали марок Э340, Э350, Э360, Э370, Э380 являются наилучшим материалом из всех современных кремнистых сталей. Они применяются для изготовления магнитопроводов трансформаторов, дросселей, индуктивностей, магнитных усилителей, импульсных трансформаторов и других устройств, работающих в средних полях при звуковых радиочастотах; в средних и сильных полях при частоте переменного тока 50 Гц употребляют стали марок Э310, Э320, Э340.

Железоникелевые сплавы 45Н и 50Н обладают высокой магнитной проницаемостью, повышенным значением индукции насыщения — не менее 1,5 Тл; применяются для сердечников силовых трансформаторов, дросселей, реле и деталей магнитных цепей, работающих при повышенных индукциях. Сплавы 50НП и 65НП обладают кристаллической текстурой и прямоугольной петлей гистерезиса; применяются для магнитопроводов магнитных усилителей, коммутирующих дросселей, выпрямительных устройств.

Сплав 50НХС имеет повышенную магнитную проницаемость и высокое удельное электросопротивление при индукции насыщения 1 Тл. Он применяется для магнитопроводов импульсных трансформаторов и аппаратуры связи звуковых и высоких частот. Сплавы 79НМ и 80НХС обладают высокой магнитной проницаемостью в слабых полях при индукции насыщения сплава 79НМ — не менее 0,75, а сплава 80НХС — не менее 0,65 Тл; они применяются для магнитопроводов малогабаритных трансформаторов, дросселей, реле и магнитных экранов.

§ 13.2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ШИХТОВАННЫХ ПЛАСТИНЧАТЫХ МАГНИТОПРОВОДОВ

Пластины для магнитопроводов изготавливают из листовой электротехнической стали методами холодной штамповки (см. гл. 6). Вырубку пластин и полос выполняют с таким расчетом, чтобы на-

правление проката совпадало с направлением магнитных силовых линий на большей части длины магнитопровода. Раскрой листа и штамповку пластин выполняют с наименьшими припусками или процесс штамповки производят методами безотходной штамповки.

В процессе вырубki пластин методом штамповки вследствие затупления режущих кромок штампа возможно образование заусенцев по вырубаемому контуру пластин, которые замыкают пластины между собой и увеличивают потери на вихревые токи. Поэтому для их удаления введена операция по зачистке пластин со снятием заусенцев при помощи установки (рис. 13.2).

Для снятия заусенцев с кромки пластин 3, они по лотку 2 установки 6 поступают в зону касания резинового круга 1 с абразивным кругом 5, вращающимся с неодинаковыми окружными скоростями. Благодаря этому создается задержка поступательной скорости пластины 3 по отношению к скорости абразивного круга 5, пластины 7 зачищаются абразивным кругом от заусенцев и поступают в сборник 8. Для отсоса абразивно-металлической пыли в установке 6 предусмотрено устройство кожуха 4, сообщаемого с воздухопроводом вентиляционно-вытяжной установки.

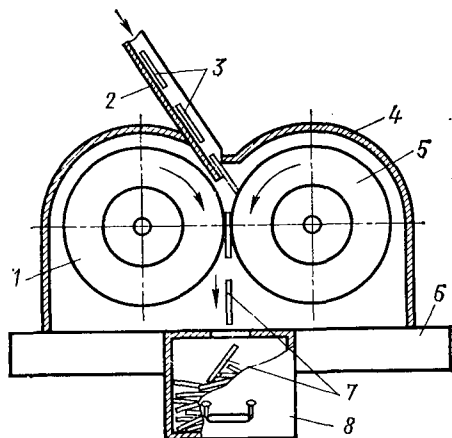


Рис. 13.2. Схема установки для зачистки заусенцев

Вырубка пластин методом штамповки и снятие с них заусенцев вызывают в них деформацию металла, создавая дополнительное сопротивление прохождению магнитного потока. Для устранения этого вредного явления пластины подвергают термообработке для снятия напряжения по режиму, принятому для данной марки электротехнической стали.

Электроизоляционные покрытия пластин. Для уменьшения потерь на вихревые токи комплектующие пластины магнитопроводов покрывают электроизоляционной пленкой, обеспечивающей жаростойкость и требуемую изоляцию между ними.

В табл. 13.2 [21] приведены некоторые виды электроизоляционных покрытий.

Термическое оксидирование. Преимуществом термического оксидирования является совмещение процессов получения электроизолирующего слоя и отжига пластин для снятия напряжений, в результате чего улучшаются магнитные свойства ферромагнитных материалов. При других методах покрытия пластин изолирующим слоем эти операции выполняются раздельно.

Таблица 13.2

Покрытия	Температура жаростойкости		Адгезия	Электрическое сопротивление, Ом/см ²
	°С	К		
Суспензия с ацетоном	1000—1100	1273—1373	—	—
Лаки, краски, эмали	150	423	+	10 ⁵
Порошки минеральные (диэлектрики)	1200—1300	1473—1573	—	—
Свинцовые эмали	450	723	+	10 ⁷
Силикатные пленки (каолин с жидким стеклом)	800	1073	—	—
Стекловидные пленки (стекло-цемент, жидкое стекло)	900—1200	1073—1473	+	—
Фосфатные пленки	800	1073	+	10 ³
Оксидные пленки	700	973	+	10 ⁴

Термическое оксидирование проводится в атмосфере окружающего воздуха. Оно не требует специальных окислительных сред и оборудования. Детали (пластины) загружают в печь при заданной температуре и охлаждают на воздухе, обеспечивая при этом требуемые изоляционные качества. Подготовка пластин к оксидированию и укладка их имеет небольшую трудоемкость. Термическое оксидирование можно выполнять в ролланговых печах с движущимся подом, в камерных, электрических и в индукционных печах.

В процессе термического оксидирования образуется оксидная пленка толщиной 3—5 мкм с хорошей адгезией с основным металлом и необходимой пластичностью. Оксидная пленка обладает также высоким электрическим сопротивлением, антикоррозионными свойствами и жаростойкостью. Термическое оксидирование является простым и наиболее дешевым из всех известных способов получения электрической изоляции и его можно автоматизировать.

Для оксидирования однотипные по размерам пластины укладывают в контейнеры на ребро, а затем загружают их в печь, нагретую до температуры оксидирования. Время выдержки назначают в зависимости от массы садки, но не менее 2 ч для пластин из горячекатаной стали и 1 ч для пластин из холоднокатаной стали.

В табл. 13.3 [21] приведены пределы температур, продолжительность оксидирования для пластин из железокремниевых сталей различных марок.

Контроль качества термического оксидирования пластин. При термическом оксидировании осуществляется контроль выполнения заданных режимов, предусмотренных технологическим процессом для данной марки электротехнической стали. Оксидную пленку проверяют на прочность путем изгиба образцов (пластины, ленты) на стержне диаметром 30 мм. При этом не должно быть отслаивания оксидной пленки от основного металла.

Марка стали	Толщина листа, мм	Температура окисидирования, °С	Выдержка, ч
Э41, Э42, Э43	0,35—0,50	600—650	2
Э44	0,1—0,35	600—650	2
Э45, Э46	0,20—0,35	600—650	2
Э47, Э48	0,35—0,50	600—650	2
Э310, Э320, Э330	0,35—0,50	700—750	1
Э350	0,20	700—750	1

Сборка магнитопроводов из пластин. На рис. 13.3 показаны трансформаторы с использованием магнитопроводов 1, собранные в полуперекрышку (рис. 13.3, а) и пакетами 1 и 2 (рис. 13.3, б). Первый вид сборки (рис. 13.3, а) заключается в укладке Ш-образных пластин 1 с одной стороны и замыкающих пластин с другой стороны магнитопровода до полного заполнения окна катушки 3. После этого пластины магнитопровода стягиваются между собой предусмотренными в конструкции креплениями.

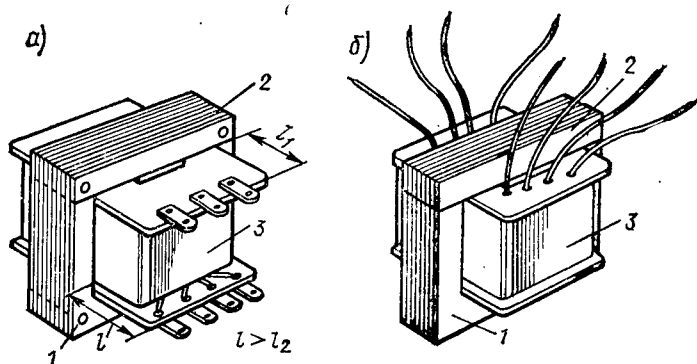


Рис. 13.3. Сборка магнитопроводов

Второй вид сборки (рис. 13.3, б) магнитопровода Ш-образной формы 1 и ярма 2 заключается в укладке пластин в пакет до требуемой толщины магнитопровода с последующим креплением шпильками или склеиванием пластин между собой. После чего на средний стержень магнитопровода помещают катушку 3 и магнитопровод замыкается ярмом 2, которые стягиваются между собой предусмотренными креплениями.

В массовом производстве для сборки магнитопроводов в перекрышку применяют автоматы. На рис. 13.4, а, б изображена схема установки для механизированной сборки. Катушка 6 устанавливается в подставку 14. Прямые Ш-образные пластины закладываются в магазины 13. Механизмы подачи их поочередно подают замыкающую пластину и толкатель 4 продвигает ее до упора. Затем

подается Ш-образная пластина и толкатель 1 продвигает ее в окно катушки. После укладки одного слоя пластин подставка с катушкой опускаются на толщину одной пластины, после чего на Ш-образную пластину подается замыкающая пластина толкателем 9, а с другой стороны на прямую пластину подается Ш-образная пластина. Таким образом укладывается весь пакет в окно катушки. Прижим 7 осуществляет уплотнение пакета. Позиции 10 и 12 — заложенные пластины в магазины 13, 11 — собранный пакет магни-

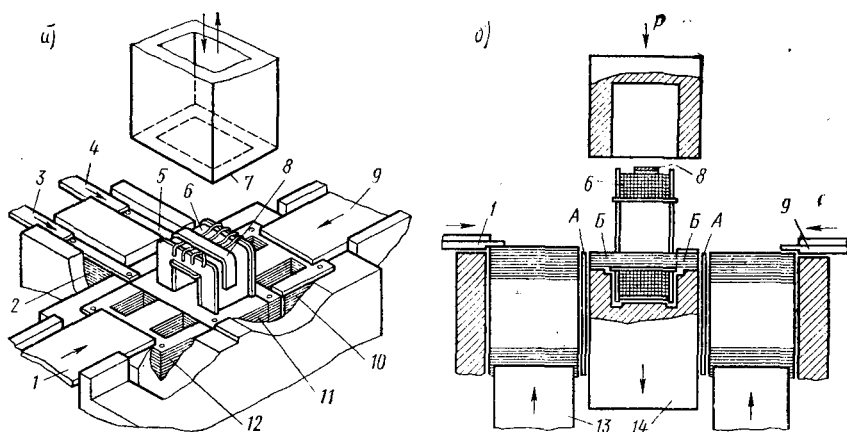


Рис. 13.4. Схема автоматизированной сборки магнитопровода

топровода, 2, 3 — элементы толкателя, 5, 6, 8 — выводные концы катушки. Собранные магнитопроводы стягиваются давлением до 4 МПа.

§ 13.3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЛЕНТОЧНЫХ МАГНИТОПРОВОДОВ

Намотка магнитопроводов. Ленточные магнитопроводы изготовляют из холоднокатаной текстурованной стали (см. табл. 13.1), а также из железоникелевых сплавов по ГОСТ 10160—75 с использованием навивки их на оправку с изоляционным жаропрочным слоем между витками. Ленту для навивки магнитопроводов очищают от загрязнений и антикоррозионной смазки растворителями (ацетоном, бензином), а затем промывают ее в воде и просушивают.

Очищенная и промытая лента передается для ее резки на полосы требуемой ширины, выполняемой на многодисковых ножницах. По краям ленты в процессе резки (при затуплении ножей) могут образовываться заусенцы, которые в навитом магнитопроводе могут перекрывать зазоры между витками и увеличивать потери на вихревые токи. Поэтому кромки ленты очищают от заусенцев механически или электрополированием. Механический способ очистки от заусенцев с помощью наждачного полотна, последующим обезжириванием и промывкой применяют для лент, имеющих толщину не

менее 0,06 мм. Однако лучшим способом для снятия заусенцев с кромки ленты является электрополирование, выполняемое в электролите, состоящем из раствора серной и фосфорной кислот с добавлением хромового ангидрида.

Ленту перед электрополированием перематывают на керамический каркас. И придают ей форму в виде бобины с параллельными боковыми поверхностями. Установка для электрополирования, приведенная на схеме (рис. 13.5), может обеспечивать весь комплекс технологических операций при электрополировании.

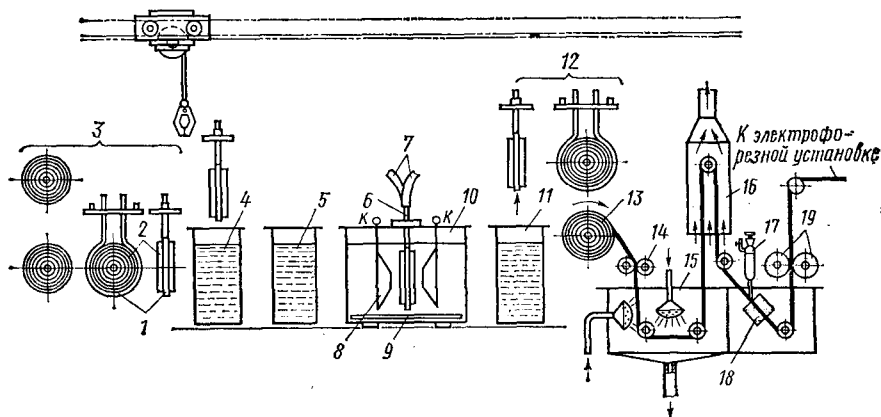


Рис. 13.5. Схема установки для электрополирования

На рабочем месте 3 устанавливают бобину ленты 2 в приспособление 1, которое состоит из металлической трубы, изогнутой по периметру бобины; концы ее закреплены на изоляционной плате со шлангами 7 и штуцерами, через которые подается вода для охлаждения бобины в процессе электрополирования. На этой же плате размещены анодные зажимы 6, соединяющие трубку с положительным полюсом источника тока.

Перед электрополированием бобину опускают в ванну с дихлорэтаном 4, выдерживают 5 мин, после чего ее сушат и погружают в ванну с глицерином 5. Обработка в дихлорэтано защищает поверхность ленты от действия электролита; глицериновая пленка способствует избирательному растворению острых выступов.

Приспособление с бобиной помещают в ванну электрополирования 10, на дне которой в качестве экрана уложена стеклянная пластина 9. Бобина в ванне закрепляется в вертикальном положении между катодами конической формы 8, способствующей равномерной плотности тока при электрополировании. Расстояние между катодами и бобиной устанавливается опытным путем.

Электрополирование проводится в течение 5—10 мин при плотности тока $25 \cdot 10^2 \text{ А/м}^2$ и температуре электролита 20—30° С. За указанное время скругляются края ленты и снимаются заусенцы до

10 мкм. По окончании электрополирования бобина подается в ванну 11 со слабым раствором щелочи для нейтрализации.

На рабочем месте 12 бобину снимают с приспособления и помещают на стержень, сматывая ленту 13, а затем ее пропускают между роликами 14 под душем 15. Далее лента проходит через сушильное устройство 16, окончательно очищается, проходя между фетровыми подушками 18, смачиваемыми ацетоном из сосуда 17; фетровые валики 19 вытирают ленту досуха, после чего она поступает на нанесение изоляции. Изоляция между витками ленты в магнитопроводе должна обладать достаточным сопротивлением с небольшой толщиной покрытия, чтобы не снижать коэффициента заполнения магнитопровода.

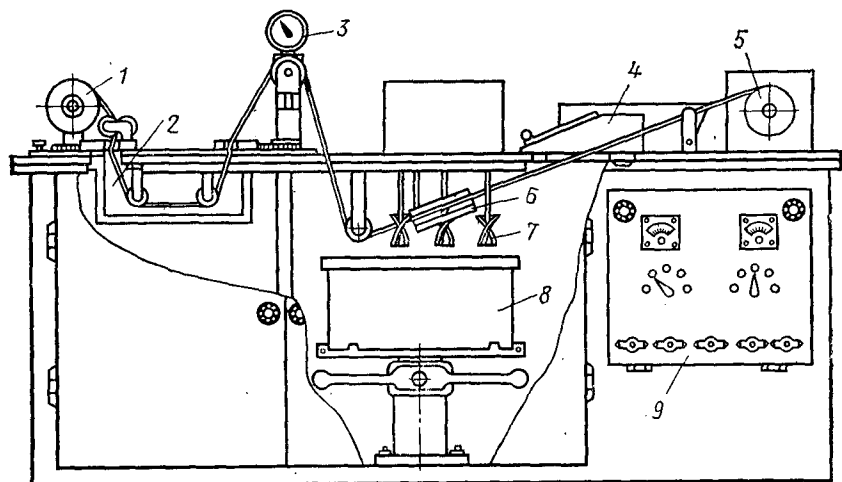


Рис. 13.6. Схема электрофорезной установки

Для изоляции ленты применяют суспензионный раствор кремниевой кислоты в ацетоне, суспензионный раствор окиси магния в четыреххлористом углероде или двуокиси титана в толуоле.

Наибольшее применение получила изоляция ленты, нанесенная электрофорезом. Если в коллоидный раствор поместить два электрода, находящиеся под напряжением постоянного тока, то частицы, имеющиеся в растворе, будут перемещаться и оседать на поверхности электрода — ленте.

На рис. 13.6 показана схема установки для нанесения электроизоляционного слоя на поверхность ленты. Лента с бобины 1 проходит через обезжиривающую ванну 2, натяжной ролик 3, ванну 8, содержащую коллоидный раствор, в котором частицы покровного изоляционного вещества (окись магния) под воздействием постоянного напряжения с анода 6 оседают на поверхности ленты 1.

Лента с нанесенным слоем изоляции поступает в сушильное устройство 4 и далее наматывается на оправку в виде бобины 5.

Конец ленты бобины обычно приваривается точечной сваркой. Для перемешивания коллоидного раствора в ванне 8 имеются мешалки 7. Управление машиной производится с пульта 9.

Изготовление ленточных разрезных магнитопроводов. Ленточные разрезные магнитопроводы С-образной формы изготавливают двумя способами: разрезкой намотанного пакета магнитопровода на две части и сборкой магнитопровода из отдельно нарезанных пластин.

При разрезке навитые ленточные магнитопроводы устанавливают в специальное приспособление 1 (рис. 13.7, а) и разрезают на

две С-образные части 2; разрезку 3 проводят на горизонтально-фрезерном станке дисковой фрезой или на плоскошлифовальном станке абразивным кругом, при котором качество разрезки получается на уровне обработки шлифованием и без заусенцев. После

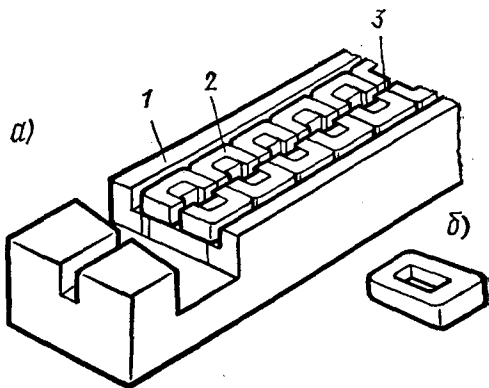


Рис. 13.7. Приспособление для разрезки магнитопроводов

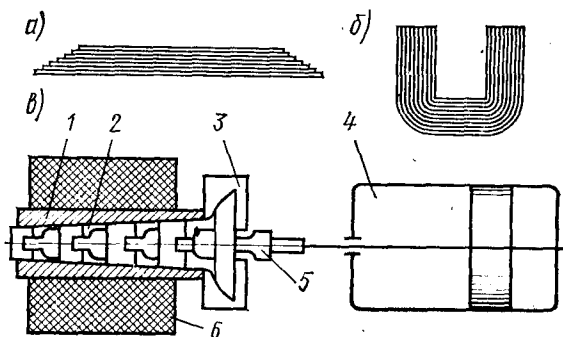


Рис. 13.8. Схема изготовления ленточных разрезных магнитопроводов

разрезки половинки магнитопровода, скрепленные специальными струбцинами, подвергают термической обработке с последующей пропиткой в полимерном лаке и запечкой, обеспечивающими монолитность С-образной половинки; при этом торцовые части зачищаются от лака. На рис. 13.7, б показан собранный магнитопровод.

При сборке магнитопровода из отдельных пластин изолированную суспензией ленту режут специальным автоматом на полосы нужных размеров, из которых собирают пакет (рис. 13.8, а), подвергаемый гибке по форме (рис. 13.8, б). Гибку и термообработку магнитопровода выполняют на установке, работающей по схеме (рис. 13.8, в). Собранный пакет магнитопровода 2 устанавливают в гибочную матрицу 3 пуансоном 5; под воздействием гидравлического цилиндра 4 осуществляется гибка пакета магнитопровода для получения П-образной формы и далее магнитопровод проталкивается в камеру спекания 1 печи 6 с температурой 800° С, при которой суспензия спекается и соединяет все полосы между собой.

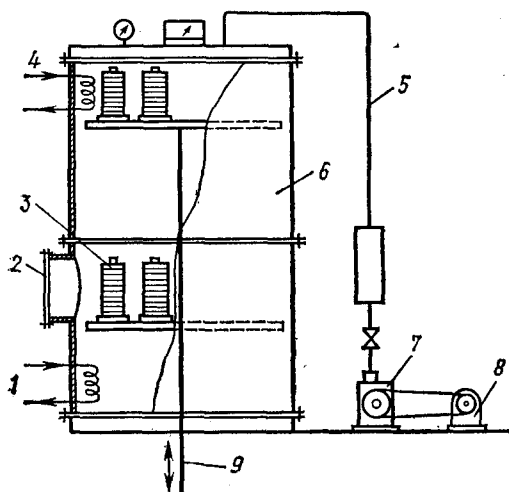


Рис. 13.9. Схема вакуумной печи

Для обеспечения плотного прилегания торцов половинок магнитопровода их шлифуют по направлению полосок ленты на плоскошлифовальном станке. После этого из двух С-образных магнитопроводов (см. рис. 13.7, б) собирается магнитопровод замкнутой формы.

Термическая обработка ленточных магнитопроводов. В процессе изготовления ленточных магнитопроводов (резка, сборка) в ферромагнитном материале создаются напряжения, отрицательно влияющие на магнитную проводимость. Поэтому для снятия напряжения применяют их термообработку по режиму, зависящему от ферромагнитного материала. Термообработку можно проводить в водородной или вакуумной печи.

На рис. 13.9 приведена схема вакуумной печи 6 для термообработки магнитопроводов. Ленточные магнитопроводы 3, собранные столбиками, помещают через люк 2 в печь 6. Затем их приводом 9 поднимают в верхнюю нагревательную зону 4. При закрытом люке 2 проводят вакуумирование объема печи до $(0,13—0,65) \cdot 10^3$ Па с использованием воздуховода 5 и насоса 7, вращаемого электродвигателем 8. Нагревателем 4 магнитопроводы в печи нагревают до требуемой температуры с выдержкой, а затем охлаждают их после выдержки при помощи охладителя 1 согласно инструкции для данного ферромагнитного материала.

После термообработки магнитопроводы 3 вынимают из печи через люк 2 и отправляют на контрольные замеры их параметров.

Защита ленточных магнитопроводов из железоникелевых сплавов от механических деформаций. В процессе изготовления магнитопровода (укладка намотки, транспортировка) возможно деформирование отожженных магнитопроводов, что может привести к ухудшению их магнитных характеристик. Поэтому магнитопроводы после термообработки и контроля помещают в защитную оболочку из алюминия или из пластмассы (рис. 13.10). В оболочку 5 на дно укладывают изоляционное кольцо 4, на которое помещают магнитопровод 3. Зазоры между магнитопроводом и оболочкой заполняют смазкой ЦИАТИМ-221 ГОСТ 9433—60, а сверху оболочку 5 закрывают изолирующей крышкой 2.

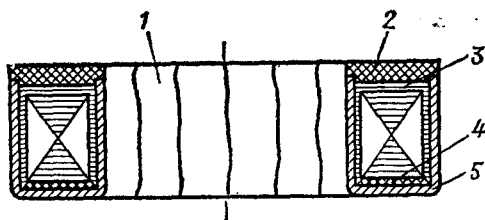


Рис. 13.10. Защита ленточных магнитопроводов от деформаций

После этого магнитопроводы помещают в термостат при $t = 140^\circ \text{C}$ с выдержкой в течение 3 ч.

Далее оболочку из алюминия изолируют с применением ленты ЛЭС-0,08×8 по ГОСТ 5937—68, навиваемую вперекрышку; концы ленты приклеивают эпоксидным клеем. После чего магнитопроводы пропитывают компаундом горячего отвердения марки К-168 МРТУ 05-1023-66 и передают на контроль.

§ 13.4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПРЕССОВАННЫХ МАГНИТОПРОВОДОВ

Магнитопроводы из магнетодиэлектриков. Магнитопроводы из листовых ферромагнитных материалов на высоких частотах переменного тока имеют повышенные потери. Поэтому для повышенных частот применяют магнитопроводы, изготавливаемые из мелкозернистых порошков, состоящие из металлических и неметаллических материалов.

Металлические порошки готовят путем размолва чистых металлических сплавов, а также при помощи химического восстановления из окислов металла. Металлические ферромагнитные порошки, смешанные с изоляционной смолой (например, с бакелитом, полистиролом), образуют магнетодиэлектрическую массу (смесь смолы с порошками из карбонильного железа, альсифера, пермаллоя), являющуюся исходным материалом для прессования магнитопроводов. Различают холодное и горячее прессования. Прессование проводят в пресс-формах под давлением $(80—100) \cdot 10^7 \text{ Па}$.

Для обеспечения равномерной плотности процесс целесообразно выполнять в пресс-формах с двусторонним прессованием, холодное прессование осуществляется при температуре $t = 20 \pm 5^\circ \text{C}$ с выдержкой в течение 2 с. Отпрессованные магнитопроводы для их полимеризации помещают в печь при температуре $130—140^\circ \text{C}$ и

выдерживают в течение 6—8 ч. После полимеризации соприкасающиеся между собой торцы С-образных магнитопроводов шлифуют.

Горячее прессование применяют для прессмассы, порошок которой смешан с полистиролом. В нагретую до температуры 180—200° С пресс-форму загружают навеску прессмассы и прессуют ее при давлении $(40—50) \cdot 10^7$ Па с выдержкой в течение 3—10 мин в зависимости от размеров магнитопровода. Затем пресс-форму охлаждают водой до температуры 80—85° С и раскрывают для извлечения отпрессованного магнитопровода.

Изготовление ферритовых магнитопроводов. Ферриты являются твердыми растворами некоторых веществ, химический состав которых описывается выражением:



где Ма — двухвалентный ион марганца, никеля, кадмия, меди, магния и других металлов.

Магнитные свойства ферритов зависят от состава, размеров и формы, величины зерна и технологии спекания. По магнитным свойствам ферриты делят на магнитно-мягкие и магнитно-твердые, т. е. с узкой или широкой петлей гистерезиса, с высокой или низкой магнитной проницаемостью. Ферриты имеют незначительную электропроводность. Их удельное сопротивление равняется 10—10⁷ Ом/см, что способствует уменьшению потерь на вихревые токи.

В технологический процесс изготовления ферритовых магнитопроводов входит подготовка шихты, прессование и обжиг. Все составляющие компоненты, входящие в состав ферритовой смеси, подвергают анализам на чистоту исходных материалов. Примеси допускаются не более 0,05%. Перед взвешиванием компоненты смеси просушивают для удаления из них влаги. Смесь готовят сухим или мокрым способом.

По сухому способу входящие в смесь компоненты тщательно перемалывают и смешивают в шаровой или вибрационной мельнице [22]. Барабан вибрационной мельницы вибрирует с частотой 1450 колебаний в минуту с амплитудой 2,2 мм. Для отвода теплоты в процессе помола барабан мельницы охлаждают водой.

При мокром способе компоненты смешивают в водном растворе, содержащем ионы нужных металлов и щелочь, которая способствует осаждению окислов. Мокрый помол обеспечивает лучшую однородность смеси по сравнению с сухим.

Из подготовленной смеси прессуют брикеты и обжигают при температуре 900—1000° С в течение 4—6 ч с последующим их размалыванием до размера частиц 5—10 мкм. Перед прессованием магнитопроводов в смесь добавляют связку в виде поливинилового спирта, парафина и других веществ.

Из подготовленной таким образом смеси прессуют магнитопроводы в пресс-формах с давлением $(8—20) \cdot 10^7$ Па. Отпрессованные магнитопроводы спекают в печи с использованием газовой среды в зависимости от состава смеси. Ферриты, содержащие в своем составе марганец, спекают на воздухе, а охлаждают в инертной

газовой среде. Марганцово-цинковые ферриты спекают в вакууме. Спекание проводят в соответствии с графиком для данной марки феррита.

При спекании сначала температуру доводят до $100\text{--}120^\circ\text{C}$ с выдержкой для выгорания связующих веществ. Затем температуру в печи доводят до 300°C со скоростью 50°C в 1 ч, а затем со скоростью $150\text{--}200^\circ\text{C}$ в 1 ч. Конечная температура спекания ферритов равняется $1100\text{--}1400^\circ\text{C}$.

После спекания магнитопроводы подвергают зачистке острых кромок, углов при помощи их вращения в цилиндрическом барабане, обтянутом резиной, с водой и некоторым количеством абразивного порошка. Затем магнитопроводы промывают водой от абразивного порошка и просушивают для удаления из них влаги.

§ 13.5. ТЕХНИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ МАГНИТОПРОВОДОВ

Ленточные магнитопроводы. Ленточные магнитопроводы подвергают визуальному осмотру на отсутствие видимых дефектов; при этом замеряют геометрические размеры; омическое сопротив-

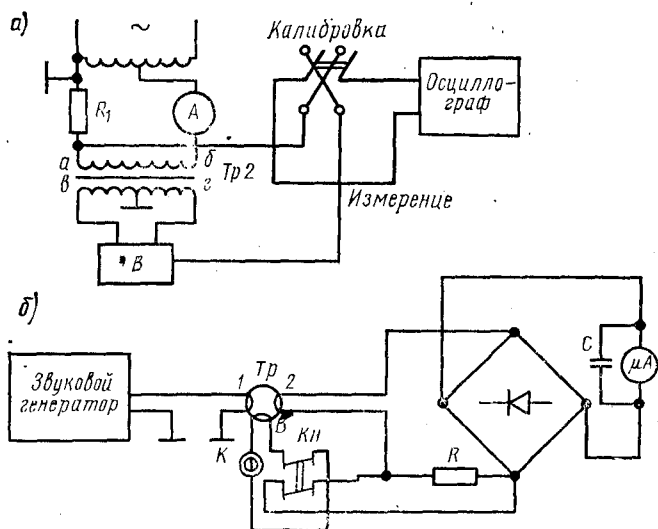


Рис. 13.11. Схемы приборов для измерения выходных параметров

ление магнитопровода замеряют омметром между началом и концом уложенных витков ленты; при хорошей межленточной изоляции омическое сопротивление должно быть равным сопротивлению развернутой длине ленты. Магнитные свойства магнитопровода проверяют на приборе (рис. 13.11, а), в котором имеются разъемные витки, образующие первичную и вторичную обмотки.

Испытуемый магнитопровод помещают в разъемные витки, выводы которых соединены через зажимы *а, б, в, г* с измерительными приборами. В первичную обмотку подают ток, измеряемый амперметром *А*. Во вторичной обмотке индуцируется напряжение, измеряемое ламповым вольтметром *В*. По данным измерения, числу витков обмоток и размерам магнитопровода определяют $B_{\max}$ и $H_{\max}$, а затем μ_0 . Пользуясь масштабом, по изображению петли гистерезиса на экране осциллографа определяют потери в магнитопроводе.

Ферритовые магнитопроводы. Ферритовые магнитопроводы проходят 100%-ный контроль по геометрическим размерам и внешнему виду — вырывы и сколы не допускаются.

Визуально проверенные магнитопроводы передают на измерение магнитных параметров с использованием установки (рис. 13.11, б), состоящей из генератора звуковых частот и приставки. Ток низкой частоты со звукового генератора подают на первичную обмотку 1 измерительного трансформатора. С вторичной обмотки 2 напряжение после выпрямления поступает на индикатор μA . На трансформаторе имеется разъемный короткозамкнутый виток *В*, на который помещается испытуемый ферритовый магнитопровод *К*. Добавочный резистор *Р*, включающийся автоматически, служит для защиты индикатора от перегрузок при размыкании короткозамкнутого витка.

Индуктивное сопротивление короткозамкнутого витка зависит от размеров магнитопровода (кольца) и его магнитной проницаемости. При определенных размерах ферритового магнитопровода (кольца) оно зависит только от магнитной проницаемости. Индикатор μA предварительно градуируют. На несколько магнитопроводов (колец) наматывают определенное число витков и измеряют индуктивность при частоте, принятой для измерения на этой установке. После измерений подсчитывают магнитную проницаемость μ_0 по следующей формуле [24]:

$$\mu_0 = 100\pi d_{\text{ср}} L / (\omega^2 S) 10^{-6},$$

где $d_{\text{ср}}$ — средний диаметр кольца, м; L — индуктивность, Гн; ω — число витков катушки; S — сечение кольца, м^2 .

После измерения строят график зависимости показаний прибора μA от начальной магнитной проницаемости. На индикаторе устанавливают масштаб шкалы и отмечают пределы μ_0 .

Для каждого исполнения ферритовых магнитопроводов (размеров и материалов) имеется соответствующая шкала и эталонные кольца, по которым устанавливают и проверяют уровень выходного напряжения генератора.

§ 14.1. КЛАССИФИКАЦИЯ И КОНСТРУКТИВНЫЕ ИСПОЛНЕНИЯ ОБМОТОК

Обмотки, применяемые в электроаппаратостроении, классифицируют согласно рис. 14.1. По конструктивным исполнениям их делят на каркасные и бескаркасные. Основным элементом любой обмотки является *виток*, под которым понимается часть провода,

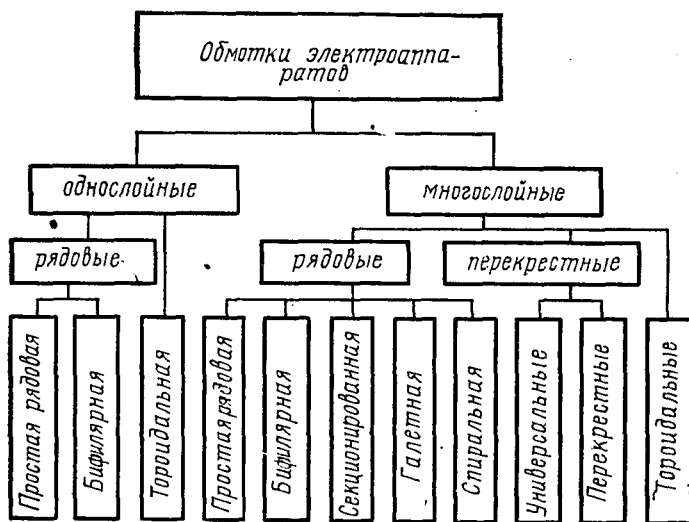


Рис. 14.1. Классификации обмоток

уложенного по периметру обмотки (каркаса) за один оборот со смещением конца витка относительно его начала на величину шага. *Рядом* или *слоем* называют витки, уложенные по ширине обмотки. Однослойные рядовые обмотки (рис. 14.2) можно уложить на цилиндрические или плоские каркасы, вплотную виток к витку (рис. 14.2, а), с шагом между витками (рис. 14.2, б) и с возрастающим шагом (рис. 14.2, в).

Для изготовления проволочных безындуктивных резисторов применяют бифилярную намотку (рис. 14.2, г), состоящую из двух изолированных проводов, соединенных между собой с одного конца. Кольцевую тороидальную обмотку (рис. 14.2, д) укладывают на каркас или на торoidalный магнитопровод с шагом укладки витков

вплотную по внутреннему диаметру и с произвольным шагом по наружному диаметру.

Многослойная простая рядовая обмотка (рис. 14.3, а) содержит несколько рядов уложенных витков 2 на каркасе 1. Она характери-

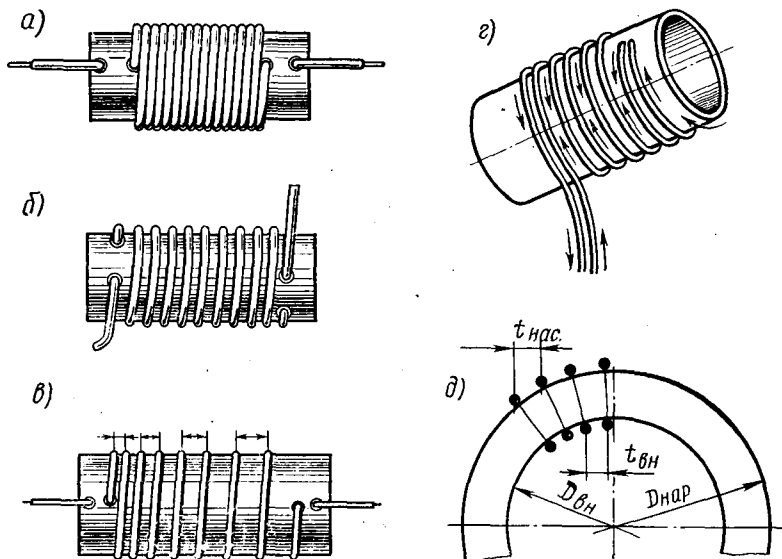


Рис. 14.2. Однослойные рядовые обмотки

зуется большой индуктивностью и емкостью, а также повышенной разностью потенциалов между витками в соседних рядах. Поэтому для усиления изоляции между рядами 2 используются прокладки 3 из кабельной, конденсаторной или телефонной бумаги.

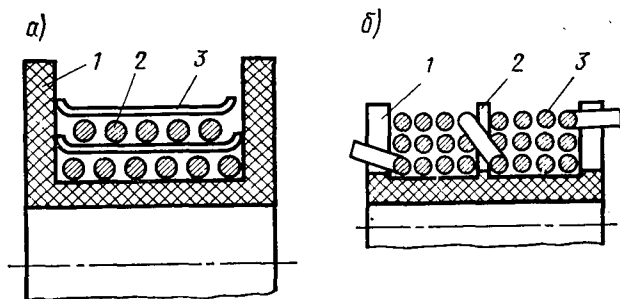


Рис. 14.3. Многослойные рядовые обмотки

Секционированную обмотку (рис. 14.3, б) применяют для уменьшения разности потенциалов между рядами с соседними витками, а также для уменьшения собственной емкости. Обмотку укладыва-

ют на каркас 1, разделенный перегородками на секции 2. Число уложенных рядов 3 в секции должно быть нечетным, что дает возможность прокладывать провод из одной секции в другую. В случае катушек индуктивности провод во всех секциях укладывают в одном направлении.

При получении проволоочных безындуктивных сопротивлений для резисторов каркасы катушки применяют с четным числом секций и одинаковым числом витков в каждой секции, но направление обмотки должно быть противоположным в каждой секции. Поэтому

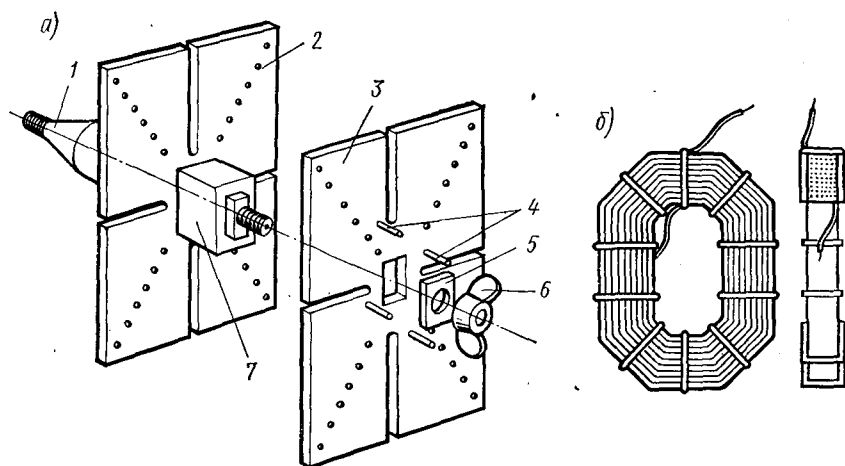


Рис. 14.4. Бескаркасная галетная обмотка

му после укладки витков в одной секции каркас снимают со шпинделя намоточного станка, поворачивают его на 180° , затем снова устанавливают его и продолжают вести укладку витков в том же направлении. При прохождении тока по такой обмотке возникающие магнитные поля в соседних секциях взаимно компенсируются.

Галетные обмотки — бескаркасные многослойные используют в случае сложной конфигурации (рис. 14.4). Обмотки наматывают на оправку (рис. 14.4, а), которую устанавливают и закрепляют на станке за конусную деталь 1. На оправке закрепляют щеку 2, втулку 7, определяющую внутренний контур обмотки. После чего ставят щеку 3 и все вместе скрепляют шайбой 5 и барашковой гайкой 6. На шпильках 4 укрепляют начало обмотки и укладывают требуемое число витков. По окончании намотки катушку связывают тафтяной лентой, как показано на рис. 14.4, б. После намотки бескаркасные катушки передают на пропитку лаком с последующей запечкой в печи для его полимеризации.

Универсальные обмотки характеризуются малой собственной емкостью при больших значениях индуктивности. Отличительной особенностью такой обмотки является наличие перегибов в каждом

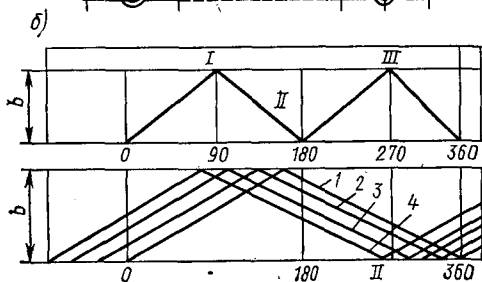
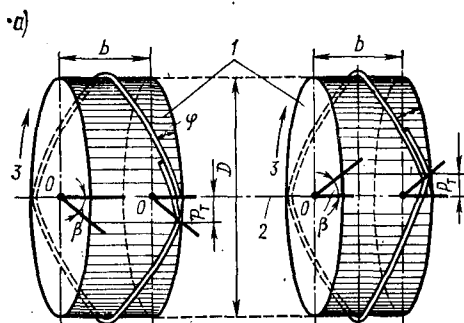


Рис. 14.5. Универсальная обмотка

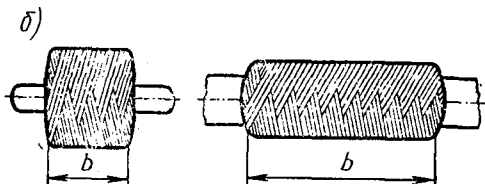
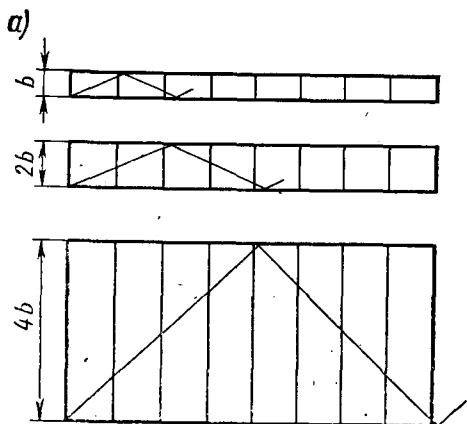


Рис. 14.6. Перекрестная обмотка

витке. Укладка провода под углом к торцам катушки создает большую радиальную толщину при малой ширине катушки.

Универсальная обмотка (рис. 14.5, а) выполняется на намоточном станке, где имеется возможность перемещения проводов от одного торца катушки к другому в пределах ширины обмотки b . В результате перемещения провода у торцов обмотки получаются перегибы I, II, III, IV и перекрещивание витков 1, 2, 3, 4 (рис. 14.5, б).

При перемещении провода каркас катушки поворачивается на один оборот. Провод вместе с поводком может делать несколько поступательно-возвратных перемещений и в результате получается несколько перегибов. При следующем повороте каркаса провод продолжает укладываться, при этом точки перегибов смещаются на угол β или угловой шаг. Провод может перегибаться, не доходя до предыдущего перегиба на угол β , и намотка получается с опережением; при переходе на этот же угол намотка производится с запаздыванием.

Чем больше перегибов в обмотке, тем меньше емкость катушки. Число перегибов может быть от 2 до 8.

Для универсальной обмотки введено понятие *цикл намотки*, который отличается от витка на величину угла β . Цикл включает повторяемость укладки провода.

Перекрестная обмотка (рис. 14.6) является разновидностью универсальной и применяется для намотки катушек с большой величиной индуктивности. Она отличается от универсальной наличием только двух перегибов. Цикл может продолжаться более двух витков, т. е. иметь несколько оборотов, поэтому и ширина обмотки неограничена. Витки укладываются с опережением и запаздыванием. На рис. 14.6, а показана схема развертки обмотки, а на рис. 14.6, б общий вид перекрестной обмотки.

§ 14.2. ПРОВОДА ДЛЯ НАМОТКИ КАТУШЕК

Обмоточные провода применяют в зависимости от конструкции катушек и условий их работы — из чистой меди с соответствующей изоляцией, алюминия и высокоомных сплавов, например нихрома с изоляцией и без изоляции.

Изоляция обмоточных проводов может быть из эмали, волокнистых и комбинированных материалов с небольшой толщиной, высокой электрической прочностью, температуростойкостью, химической стойкостью относительно пропиточных веществ, механической прочностью и эластичностью.

Для катушек индуктивности применяют провода из чистой меди с эмалевой изоляцией (ПЭЛ). Провода марок ПЭВ-1 и ПЭВ-2, имеющие изоляцию на основе поливинилацетатных лаков, более теплоустойчивы, чем провода с изоляцией ПЭЛ. Они могут работать при температуре 125°С в течение 2 ч. Провода с однослойной изоляцией ПЭВ-1 могут работать при напряжении 500 В; провод ПЭВ-2, имеющий толщину изоляции на 0,01—0,03 мм больше чем у ПЭВ-1, применяют для более высоких напряжений.

Провода марок ПЭЛР-1 и ПЭЛК-2 с полиамидрезольной изоляцией обладают стойкостью к бензину; провода марок ПЭВТЛ-1 и ПЭВТЛ-2 с полиуретановой изоляцией — повышенной теплостойкостью и допускают пайку без их зачистки и без флюса. Стекланная изоляция проводов (с диаметром жилы до 1 мкм) допускает нагрев до 450°С.

Провод ПЭЛБО — лакостойкий с эмалевой изоляцией и однослойной хлопчатобумажной оплеткой; провод ПЭЛШО — такой же, но с шелковой оплеткой.

Для высокочастотных катушек индуктивности применяют многожильный провод (литцендрат), в котором содержится от 7 до 28 изолированных между собой жил в общей шелковой оплетке (ЛЕШО) или с двумя слоями шелковой оплетки (ЛЭШД). Подобные провода обладают малыми потерями на поверхностный эффект.

Выводы обмоток, намотанных тонким проводом, для повышения механической прочности выполняют с помощью многожильного гибкого провода типа МГШВ — гибкий провод с шелковой обмоткой и винилпластовой изоляцией и ПМВГ — гибкий провод с винилитовой изоляцией. Все обмоточные провода проверяют на целостность изоляции на специальной установке [23].

Согласно ГОСТ 12182.3—71, число точечных повреждений изоляции на длине 15 м не должно превышать 5—15 повреждений. Электрическую прочность изоляции проводов проверяют на высоковольтной установке путем приложения напряжения к двум скрученным проводам [23]. При этом пробивное напряжение не должно быть меньше значений, приведенных в табл. 14.1 [22].

Таблица 14.1

Номинальный диаметр провода без изоляции	Число скруток на длине 200 м	Пробивное напряжение различных проводов, В							
		пэл	пэлх	пэв-1	пэв-2	пэлр-2, изтв	пэк, пэмм, пэмт	пэвкм-1, пэвкт-1, пэвмт-1	пэвнх-2
0,05—0,07	60	350	450	350	450	450	450	200	200
0,08—0,00	60	400	500	400	550	550	150	300	300
0,10—0,14	60	400	500	500	700	700	200	350	400
0,15—0,20	33	550	650	600	800	800	225	350	400
0,21—0,41	25	800	1000	800	1200	1000	250	400	450
0,44—0,53	25	800	1000	850	1200	1200	250	400	—
0,55—0,83	25	900	1100	1000	1500	1500	250	450	—
0,86—1,35	15	1000	1300	1200	1800	1800	300	450	—
1,4—2,44	8	1250	1000	1400	2000	2000	—	—	—

§ 14.3. НАМОТОЧНЫЕ СТАНКИ И ТЕХНОЛОГИЯ НАМОТКИ КАТУШЕК

По приводу и возможности производить различные намотки подразделяют станки с механическим и ручным приводами. Последние применяют в экспериментальных работах (в исключительных случаях).

Станки с механическим приводом делятся на станки для рядовой намотки, универсальной и тороидальной.

Кинематика станка для рядовой намотки. На станке для рядовой намотки (рис. 14.7) на шпинделе 19 укреплен оправка 17 с каркасом 18. От двигателя 1 через ременную передачу и промежуточный вал 2 к шестерне 6 передается вращение, которое через систему шестерен 7 затем передается на червячную пару 8, поворачивая кулачок 10 со смещением кулисной тяги 9, вызывая смещение кулисы 12 на оси 14 поводка 15. При этом поводок укладывает провод 13, проходящий через ролики 16, на каркас 18. Для отсчета уложенных витков провода предусмотрен счетчик 20, связанный со шпинделем 19.

Для обеспечения укладки витков по всей ширине обмотки устанавливают соответствующий размах кулисы при помощи кулисного крепления 14, перемещаемого винтом 11. При помощи сменных шестерен 7 (z_1z_2, z_3z_4) перед намоткой станок настраивают на нужный шаг намотки. Рычагом 4, 5 и шестерней 3 проводится включение и выключение станка. При подготовке намоточного станка

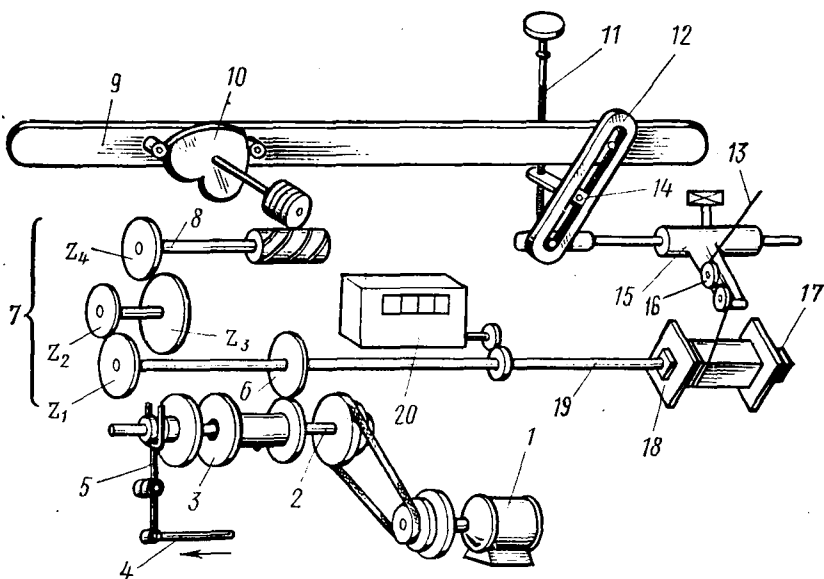


Рис. 14.7. Схема станка рядовой намотки

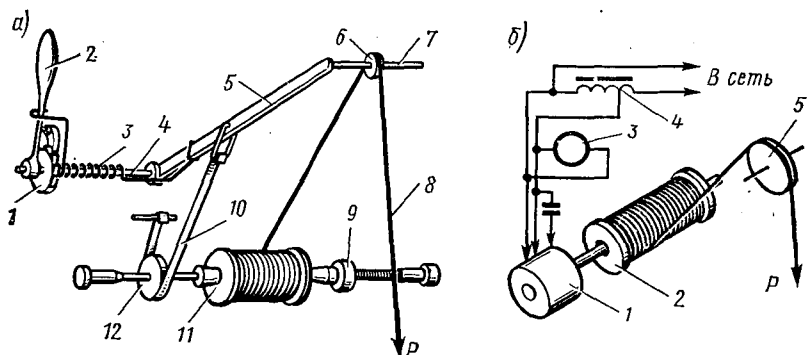


Рис. 14.8. Схема приспособления для натяжения провода

к работе устанавливают требуемое натяжение провода 8, от которого зависит коэффициент заполнения катушки и ее габариты. Провод натягивается на специальном приспособлении, устанавливаемом на станке (рис. 14.8). На схеме (рис. 14.8, а) катушка с проводом 11 устанавливается в центрах 9; на одной оси с ней установлен диск для ленточного тормоза 12, по которому скользит лента 10; один конец ленты закреплен неподвижно, другой на рычаге 5, регулирующем натяжение. Рычаг укреплен неподвижно на оси 4 с пружиной натяжения 3, храповым колесом 1 и рукояткой 2, на которой закреплен второй конец пружины натяжения.

При намотке провод скользит по ролику 6, установленному на оси 7, при этом усилие P , действующее на рычаг, опускает его, ослабляя торможение диска и освобождая катушку с проводом. Натяжение провода в этом устройстве обеспечивается закручиванием пружины ручкой через храповое колесо.

При намотке тонкими проводами на больших скоростях целесообразней пользоваться электрическим устройством (рис. 14.8, б). В этом устройстве натяжение создается с помощью индукционного однофазного электродвигателя 1, работающего в режиме торможения. Электродвигатель питается от сети через автотрансформатор 4. Для контроля напряжения питания в цепи установлен вольтметр 3. Катушка с приводом 2 установлена на оси электродвигателя 1, который стремится повернуть ее в направлении, противоположном сматыванию провода 5, благодаря чему создается его натяжение. По величине напряжения можно установить необходимое натяжение провода и регулировать его.

Натяжение провода определяют по эмпирической формуле в зависимости от материалов:

для медного провода

$$P_{\text{дон}} = 8,5 \cdot 10^3 d^2 = 85 \text{ Н;}$$

для проводов из константана и манганина

$$P_{\text{дон}} = 19 \cdot 10^3 d^2 = 19 \text{ Н;}$$

для проводов из нихрома

$$P_{\text{дон}} = 27 \cdot 10^3 d^2 = 270 \text{ Н,}$$

где d — диаметр провода без изоляции, мм.

В производственных условиях для натяжения провода в зависимости от диаметра и его марки используют данные, приведенные в [23].

Кинематика станка для универсальной намотки. Намоточный станок для этой намотки отличается от станка для рядовой намотки тем, что поводок за один оборот каркаса перемещается по всей ее ширине в прямом и обратном направлениях столько раз, сколько в ней перегибов; кроме того, в этом станке отсутствует постоянная червячная пара. Кинематическая схема станка, приведенная на рис. 14.9, содержит поводок 12, закрепленный на тяге 11, на конце которой имеется ролик 9, прижимаемый к рабочей поверхности кулачка 10 с помощью пружины 8. Перемещение поводка зависит от формы и размера выступа кулачка, поэтому для каждой катушки должен быть отдельный кулачок. Поводок в процессе намотки плотно прилегает к поверхности кулачка. Шпиндель 3 вращается от двигателя 1 через ременную передачу и зубчатую пару 2 и через зубчатые колеса 7 вращение передается на кулачок 10, который перемещает тягу с поводком и водителем провода 13. При этом поводок укладывает провод 14 на каркас 15, установленный на оправке 16 на определенную ширину. Для плавного пуска и остановки станка имеется фрикционная муфта 4, рычаг 5 и счетчик витков 6.

Передаточное отношение от шпинделя к кулачку определяется подбором сменных шестерен $z_1 z_2 z_3$ и z_4 , исходя из требуемого числа перегибов в обмотке или числа витков в цикле. Подбор шестерен производится расчетом по соответствующим формулам или специальным номограммам для таких обмоток.

Кинематика станка для тороидальной намотки. Намоточные станки для тороидальных катушек отличаются от станков для рядовой намотки как конструктивным исполнением, так и принципом намотки катушек. Основным элементом этого станка является вра-

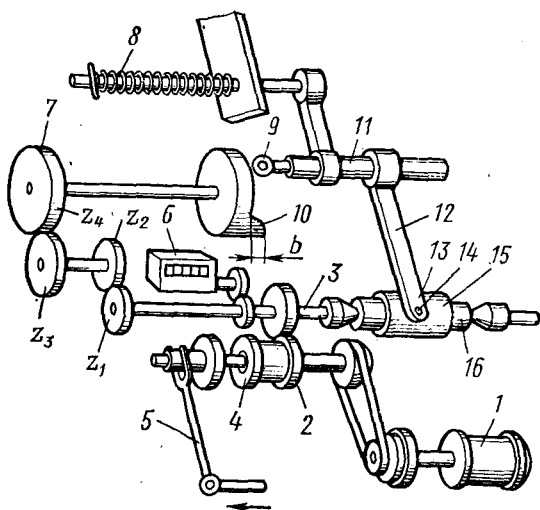


Рис. 14.9. Схема станка для универсальной намотки

щающийся челнок, на который перед намоткой провод требуемой длины укладывают непосредственно в паз челнока или на шпулю, укрепленную на его ободе (рис. 14.10).

При намотке кольцевой каркас 2 с помощью кинематической схемы станка поворачивается вокруг своей оси на требуемый угол в зависимости от шага намотки. Челнок 3 со шпулей 5 вращается с помощью зубчатых колес 6. При этом провод со шпули или из паза челнока сматывается через ролик 1 и укладывается в один виток на тороидальный каркас с требуемым натяжением от устройства 4 за один оборот челнока.

Описанная конструкция челночного механизма позволяет с одной шпули мотать несколько катушек. Недостатками такой конструкции является невозможность намотки каркасов с малым внутренним диаметром и необходимость точной установки окружности каркаса по отношению к центру челнока для получения одинакового натяжения провода.

В настоящее время для намотки тороидальных катушек применяют станки типа СНТ-12, выпускаемые серийно.

Плотность намотки катушек. При многослойной намотке стремятся к получению наиболее плотно уложенных витков в обмотку, зависящую от правильности их укладки и соответствующего натяжения провода. Многослойные намотки характеризуются коэффициентом заполнения k .

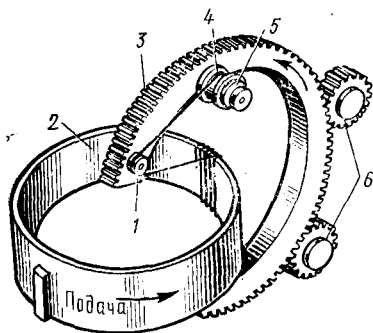


Рис. 14.10. Схема станка для тороидальной намотки

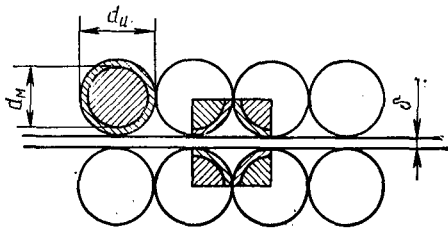


Рис. 14.11. Схема для расчета плотности укладки витков

Исходя из схемы укладки витков обмотки (рис. 14.11) для коэффициента заполнения k приведем следующее выражение [2]: коэффициент k_n с учетом изоляции провода

$$k_n = V_n / V = \pi d_n^2 / (4d_n^2) = \pi / 4 = 0,787.$$

Коэффициент k_m без учета изоляции провода

$$k_m = V_m / V = \pi d_m^2 / (\pi d_n^2) \approx 0,787 d_m^2 / d_n^2.$$

Коэффициент k_n при введении межслойной прокладки

$$k_n = \pi d_n^2 / [4(d_n + \delta)]; \quad k_m = \pi d_m^2 / [4d_n(d_n + \delta)],$$

где V — объем обмотки без изоляции, мм³; V_n — объем обмотки с изоляцией, мм³; d_n — диаметр провода в изоляции, мм; δ — толщина изоляционной прокладки, мм.

Практически коэффициент заполнения при рядовой укладке обмоток составляет $k = 0,5 \div 0,7$, а для перекрестно укладываемых коэффициент заполнения меньше.

Бандажирование обмоток. Бандажирование обмоток применяют для защиты уложенных обмоток от механических повреждений и сохранения формы сложных обмоток. Бандажирование проводят тафтяной или стеклянной лентой требуемой ширины. Бандаж укладывают на обмотку в перекрышку с числом слоев, заданных чертежом. Обмотки круговой цилиндрической формы бандажируют при их вращении на намоточном станке. Галетные обмотки бандажируют вручную. Обмотки тороидальной формы бандажируют также

вручную или при помощи специального станка, предназначенного для изоляции обмоток, уложенных на кольцо [23].

Технический контроль обмоток. Обмотки (катушки) после намотки и их изоляции подвергают проверке в соответствии с данными чертежей и технических условий.

В технический контроль входят: внешний осмотр, проверка прочности крепления выводных концов, измерение омического сопротивления обмоток, проверка на отсутствие короткозамкнутых витков и определение числа витков обмоток.

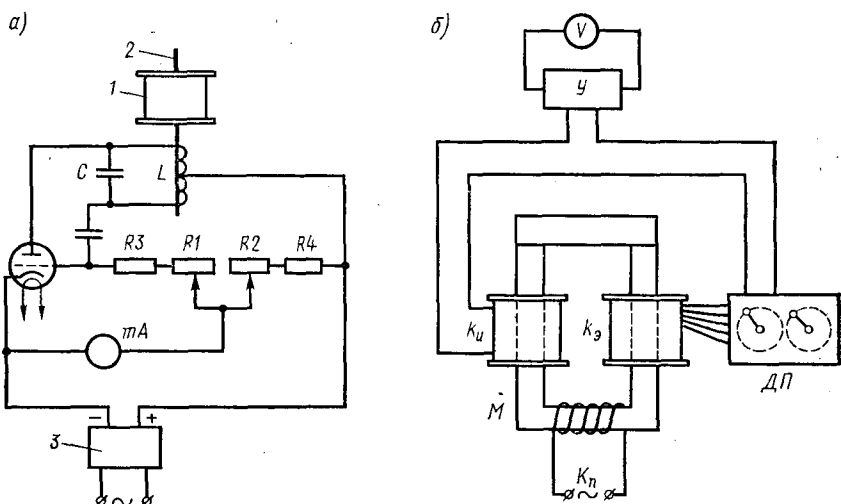


Рис. 14.12. Схемы установок для проверки обмоток на короткозамкнутые витки и измерения числа витков

Проверку на короткозамкнутые витки выполняют на установке, работающей по схеме, представленной на рис. 14.12, а. Установка содержит генератор звуковой частоты и выпрямитель, питаемый от сети с частотой 50 Гц. Контурная катушка генератора имеет удлиненный магнитный сердечник 2, на который насаживают испытуемую обмотку 1. Возникающий в короткозамкнутых витках ток создает электромагнитное поле, противодействующее полю контурной катушки; при этом индуктивность контурной катушки и режим работы генератора изменяются, отклоняя стрелку индикатора от нулевого значения, что указывает на короткозамкнутые витки в испытуемой обмотке.

Приведенная на схеме установка обладает чувствительностью до одного короткозамкнутого витка.

Число витков в обмотке измеряют методом сравнения с эталонной катушкой прибором, работающим по схеме, представленной на рис. 14.12, б, в которой предусмотрены отводы от витков для включения в измерительную цепь любого числа витков.

Испытуемую $K_{\text{и}}$ и эталонную $K_{\text{э}}$ катушки помещают на стержень общего магнитопровода M . Катушки соединяют встречно и в эту же цепь включают вольтметр. Магнитный поток создают при помощи питающей обмотки $K_{\text{п}}$, подсоединенной к электрической сети промышленной частоты. При помощи декадного переключателя $D_{\text{п}}$ в цепь вводят требуемое количество витков до тех пор, пока число витков в обеих катушках не будет равно и при этом стрелка вольтметра остановится на нуле. При измерении испытуемой и эталонной катушек их размеры должны быть близкими.

Омическое сопротивление обмоток измеряют методом амперметра и вольтметра или мостиком Уинтсона.

§ 14.4. СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ КАТУШЕК С ОБМОТКАМИ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

Известно, что в воздушном пространстве всегда имеется некоторое количество влаги, способной проникать в капилляры обмоток, образуя токопроводящие мостики. Вследствие этого при длительном воздействии влаги в обмотках снижается сопротивление изоляции и уменьшается электрическая прочность некоторых цепей аппаратуры.

От проникновения влаги применяют следующие способы защиты: пропитку, заливку, обволакивание и контроль пропитанных обмоток.

Материалы, применяемые для защиты катушек с обмотками от проникновения влаги. Для пропитки, заливки и обволакивания применяют лаки, масла и наполнители. Лаки могут быть масляными, смоляными и масляно-смоляными. Для масляных лаков применяют высыхающие масла (льняное, тунговое). Смоляные лаки содержат смолу вместе с растворителем, который при сушке катушек испаряется и в образовавшейся пленке лака получают поры, через которые может проникать влага, поэтому для устранения пор обмотку подвергают повторной пропитке или лакировке.

К наполнителям относятся вещества, которые при пропитке расплавляются и с остыванием затвердевают. Такие вещества могут использоваться для пропитки, заливки и обволакивания с образованием на поверхности катушек сплошной пленки.

В смесь компонентов кроме основных пропиточных материалов вводят наполнитель в виде кварцевого песка, слюдяной муки и других, а для ускорения процесса полимеризации добавляют ускорители и отвердители.

В табл. 14.2 приведены материалы, используемые для защиты обмоток [24].

Технология пропитки обмоток. Перед пропиткой обмотки подвергают просушиванию для удаления из них влаги. Просушивание обмоток осуществляют в сушильных электрических шкафах или в сушильных вакуумных устройствах.

Таблица 14.2

Материал и его марка	Пробивная напряженность, кВ/мм	Диэлектрическая прочность	Тангенс угла диэлектрических потерь	Морозостойкость, °С	Нагревостойкость, °С	Температура сушки и полимеризация, °С	Особенности и область применения
Трансформаторное масло	15—22	2,2	0,0007	—35	+135	—	Заливка и пропитка высоковольтных трансформаторов
Конденсаторное масло	20	2,1	0,0005	—45	+135	—	Пропитка и заливка трансформаторов
Асфальтомасляный лак 447	55	3,6	0,03	—60	+105	105	Пропитка трансформаторов и дросселей низкой частоты
Глифталевый лак ПФ-95	60	3,6	0,036	—60	+105	105	Пропитка трансформаторов
Винифлекс-овый лак ВЛ-7	40	3,0	0,009	—60	+130	—	Влагостойкий, грибостойкий
Кремнийорганический лак К-44	70	3,0	0,007	—60	+200	200	Пропитка обмоток, работающих в тропиках
Церезинозоксепит	25	2,2	0,0003	—40	+50	—	Пропитка высокочастотных обмоток
Компаунд КГСМ	21	3,7	0,02	—60	+120	60—120	Пропитка и заливка катушек
Компаунд МКБ-1	25	3,5	0,027	—60	+120	70—130	То же

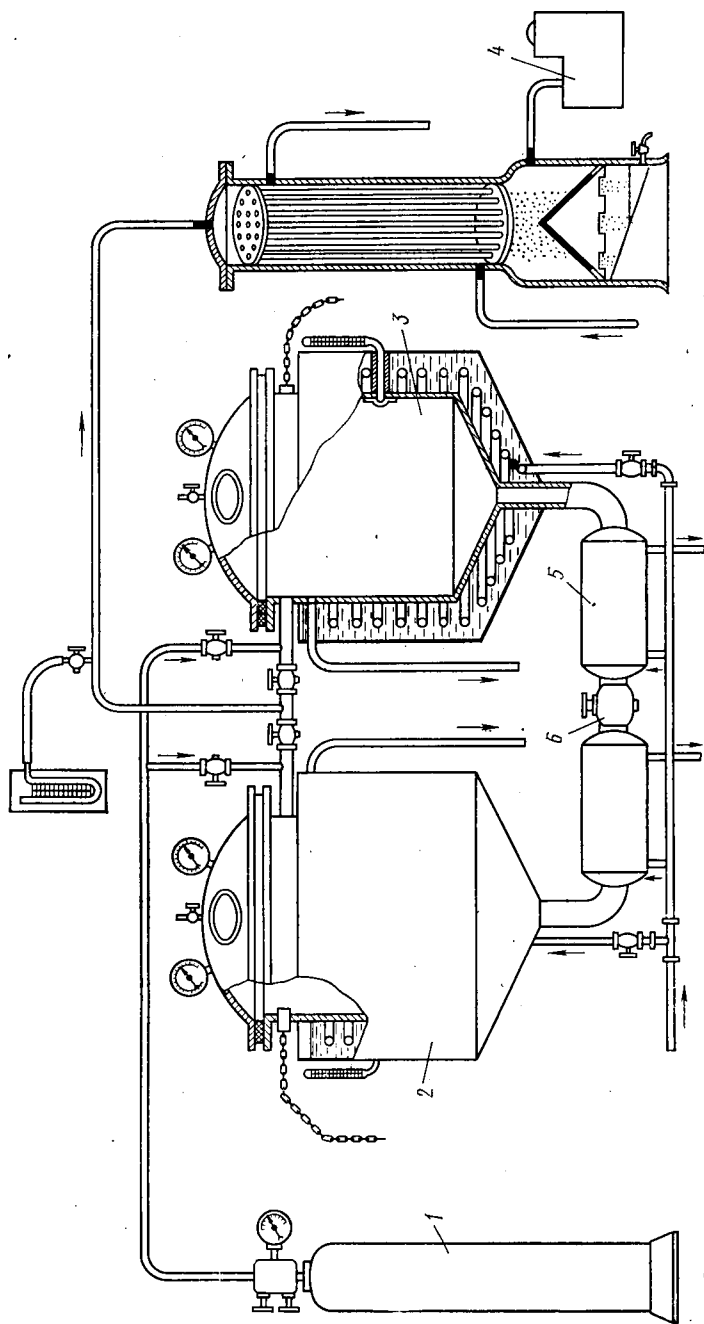


Рис. 14.13. Схема вакуумной установки для пропитки обмоток

Пропитку при нормальном давлении производят в открытых баках с подогревом и без подогрева пропиточного состава. Просушенные обмотки погружают в пропиточный материал, где их выдерживают в погруженном состоянии до прекращения выделения пузырьков воздуха, указывающего на проникновение пропиточного состава в обмотку. После этого тару с обмотками вынимают из пропиточного материала и подвешивают для стекания излишков пропиточного состава.

Пропитку в вакууме проводят с применением установки (рис. 14.13), состоящей из двух автоклавов 2 и 3 с обогревателями. Автоклавы соединены между собой трубопроводом 5, а также вакуумным насосом 4 и баллоном 1, содержащим азот.

Предварительно просушенные намоточные изделия помещают в автоклав 3, где они вакуумируются насосом 4 для разрежения $(1,3-45) \cdot 10^2$ Па; после этого их заливают подогретым пропиточным материалом, поступающим из автоклава 2 по трубе 5 при открытой задвижке 6. Затем в автоклаве 3 азотом из баллона 1 создают требуемое давление и после выдержки в указанном состоянии, согласно инструкции, пропиточный материал при открытой задвижке 6 вытесняется азотом из автоклава 3 в автоклав 2 с последующим перекрытием задвижки 6 и снимается давление, создаваемое азотом в автоклаве 3. Затем открывается крышка автоклава, извлекаются обмоточные изделия и передаются на следующие технологические операции.

При пропитке обмоток вязкими материалами вакуумную пропитку чередуют с пропиткой под давлением. Чередование прикладываемого давления и разрежения способствует лучшему проникновению вязкого материала в поры и капилляры обмотки.

Обволакивание обмоток проводят в открытых ваннах с разогретым пропиточным материалом, куда их погружают на 1—2 с. На их поверхности образуется слой, толщина которого зависит от разности температур обмотки и обволакивающего материала. Для обволакивания применяют различные компаунды, воскообразные материалы и смолы.

Контроль пропитанных обмоток. Все пропитанные обмотки проверяют на соответствие их техническим условиям. Обмотки подвергают внешнему осмотру на отсутствие дефектов, после чего проводят электрические, климатические и механические испытания согласно техническим условиям.

При электрических испытаниях выполняют проверку на обрыв и короткое замыкание витков, определяют сопротивления изоляции и диэлектрических потерь.

В климатических испытаниях проверяют устойчивость диэлектрических параметров при изменении окружающей среды, а также отсутствие размягчения при высоких температурах и трещин при низких.

В механических испытаниях проверяют прочность, эластичность и стойкость к вибрациям и тряске.

ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛОСОЕДИНЕНИЙ С ИЗОЛЯТОРАМИ

§ 15.1. МЕТАЛЛОСОЕДИНЕНИЯ С ИЗОЛЯТОРАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЛАВЛЕНИЯ.

ТЕРМОКОМПРЕССИОННОЕ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКОЕ СПЛАВЛЕНИЕ

Процесс сплавления начинают с подготовки деталей, подлежащих сплавлению (изолятор, металлическая арматура), после чего ведут сам процесс сплавления. Для многих изоляторов из стекла и керамики применяют метод сплавления с предварительно металлизированной поверхностью изолятора.

Технология металлизации. Для металлизации изоляторов используют серебряную пасту, предварительно наносимую на сплавляемую поверхность изолятора с последующей его тепловой обработкой.

Рецептура серебряной пасты приведена в табл. 15.1 [24].

Таблица 15.1

Назначение пасты	Рецепт 1	Рецепт 2	Рецепт 3
	% по массе		
Для керамики			
Углекислое серебро	58	60	60
Оксись висмута, борнокислый свинец	3,7	3,0	3,0
Канифольно-скипидарная связка	38,3	37	37
Для кварца			
Углекислое серебро	58,9	58,9	—
Оксись висмута, борнокислый свинец	2,8	—	—
Свинцовый сурик	—	1,98	—
Борная кислота	—	0,69	—
Плавленный кварц	—	0,21	—
Бифторид калия	—	0,12	—
Канифольно-скипидарная связка	38,3	38,1	—

Приготовление и нанесение пасты. Пасту готовят из соответствующих компонентов путем их смешивания в шаровой мельнице. После чего ее помещают в сосуд с плотно притертой пробкой, где сохраняют до момента употребления. Изоляторы перед нанесением на них слоя пасты очищают от жировых и других загрязнений моющим раствором, состоящим из однопроцентного вещества ОП-7 или ОП-10 с добавкой 25% раствора аммиака из расчета

30 мл на 1 л моющего раствора, в ванне ультразвуковой очистки при температуре моющего раствора $50 \pm 5^\circ \text{C}$ в течение 3—5 мин. После этого изоляторы промывают в проточной горячей воде при температуре 80 ± 10 с последующей их просушкой на воздухе или в термостате.

На промытые изоляторы пульверизатором или кистью наносят слой пасты, после чего их подвергают тепловой обработке в электрической печи, имеющей вентиляционную вытяжку. При этом происходит восстановление содержащегося в пасте серебра до металлического и прочное его сцепление с поверхностью изолятора.

Процесс вжигания серебра. Процесс вжигания серебра в поверхности изолятора (керамики) можно разбить на три этапа. При температуре $40\text{—}200^\circ \text{C}$ удаляются летучие вещества из канифольно-скипидарной связки и высушивается серебряная паста, при этом температура повышается до 200°C в течение 60 мин с выдержкой ее $80\text{—}90$ мин.

На втором этапе в интервале температур $200\text{—}450^\circ \text{C}$ выгорают органические пластификаторы [25] и начинает восстанавливаться серебро с интенсивным выделением углекислого газа, удаляемого вытяжной вентиляцией.

На третьем этапе при температуре $400\text{—}850^\circ \text{C}$ окончательно восстанавливается серебро и происходит его вжигание в поверхность изолятора. При температуре 850°C изоляторы выдерживаются 20—30 мин, после чего они охлаждаются вместе с печью со скоростью $350\text{—}400^\circ \text{C}$ в час до комнатной температуры. При вжигании толщина поверхностного слоя достигает 7—10 мкм. Следует отметить, что процесс вжигания серебра в кварц отличается от вжигания его в керамику температурным режимом и может находиться только в пределах $500\text{—}570^\circ \text{C}$, так как в кварце при его нагревании выше 500°C начинается расстекловывание, приводящее к изменению его физических свойств с ухудшением качества. В связи с этим в составе пасты в качестве плавней используют свинцовый сурик, борную кислоту (табл. 15.1), снижающие температуру вжигания серебра до $470\text{—}480^\circ \text{C}$.

Слой серебра, нанесенный вжиганием на поверхность (керамики, стекла, кварца), в процессе сплавления легким припоем с металлической арматурой может раствориться частично или полностью. Для защиты серебряного слоя от растворения его гальванически покрывают слоем меди толщиной 4—5 мкм с последующим облуживанием для лучшего приплавления металлической арматуры.

Подготовка металлических деталей перед сплавлением. Медные детали (арматуру) подвергают химическому травлению в растворе, состоящем из 20% серной кислоты с добавкой 24 г хромового ангидрида на 100 г раствора с последующей промывкой в проточной воде и просушиванием на воздухе. Затем детали подвергают отжигу в водородной печи СГН-2.3/12-2-МО1 при $t = 500\text{—}600^\circ \text{C}$; время отжига устанавливают опытным путем в зависимости от габаритов деталей.

Пайка керамики с металлом. После проведения подготовки деталей — изолятора и металлической арматуры проводят их сборку в оправке, показанной на рис. 15.1. На манжет 1 помещают припой 5 (фольгу) и центрирующую оправку 2, состоящую из двух полуцилиндров, скрепляемых между собой кольцом 3. Во внутреннюю полость оправки ставят керамический изолятор 4, сверху которого помещают припой 5 (фольгу) и второй манжет 1.

Подготовленную оправку с изолятором помещают в водородную печь. Температуру в печи повышают до 780—800°С (для припоя ПСр-72) с ее выдержкой в течение 5—10 мин с последующим сни-

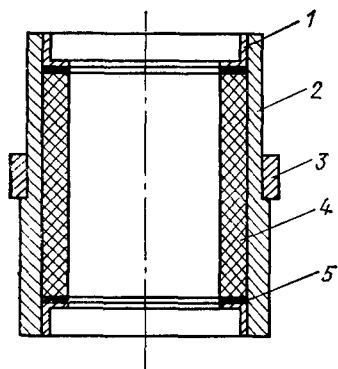


Рис. 15.1. Схема приспособления для пайки керамики с металлическими манжетами

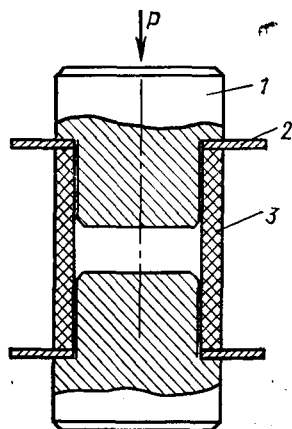


Рис. 15.2. Схема приспособления для термокомпрессионной пайки керамики с металлом

жением температуры до 50°С/мин. После этого оправку из печи вынимают и разбирают, извлекая изолятор с металлической арматурой. Изолятор подвергают визуальному осмотру, проверяют на вакуумную плотность с использованием гелиевого течеискателя ПТИ-6 или ПТИ-7, а также подвергают испытаниям на электрический пробой с применением установки УПУ-1М [25].

Требуемое количество припоя для спаивания деталей [25]

$$G = 1,5 \cdot 10^{-6} \Delta h l \gamma,$$

где G — масса припоя, кг; Δ — зазор в соединении, м; h — ширина зазора в спае, мм; l — длина спаия (по среднему диаметру), мм; γ — плотность припоя, кг/м³.

Термокомпрессионное металлокерамическое сплавление. Для выполнения термокомпрессионного сплавления принимают высокоглиноземистую керамику марки 22ХС. Перед сплавлением керамические изоляторы промывают в горячем мыльном растворе в ванне для ультразвуковой очистки с последующей промывкой в горячей деионизационной воде и промывки в этиловом спирте.

Соединяемые с изолятором детали подвергают обезжириванию, травлению и отжигу в водородной печи (для медных деталей) по методике, описанной выше. Детали, подготовленные под сплавление, собирают между собой, как показано на рис. 15.2.

На нижний пуансон 1 помещают манжет 2, на который ставят керамический изолятор 3, куда вставляют верхний пуансон 1 с манжетом 2. Сборку под сплавление помещают в водородную печь, где при $t=1000^{\circ}\text{C}$ с выдержкой в течение 5—10 мин и давлением на сборку спая, равным 1,6 МПа, осуществляют сплавление медных манжет 2 с торцами керамического изолятора 3.

Спаи, получаемые термокомпрессионным способом по данным [25], выдерживают до 10 тепловых ударов при разности температур от 20 до 600°C .

Размеры конструктивных элементов торцовых некомпенсированных металлокерамических соединений принимают согласно техническим условиям.

§ 15.2. ПОЛУЧЕНИЕ СОГЛАСОВАННЫХ МЕТАЛЛОСТЕКЛЯННЫХ СПАЕВ

Согласованные металlostеклянные спаи (из стекла с металлом) получают из материалов, имеющих коэффициенты термического расширения, близкие между собой. Перед сплавлением стекло (трубку) подвергают шлифованию торцов абразивной пастой, наносимой на вращающийся диск шлифовальника для выведения на них рисок и сколов. После этого трубку промывают и удаляют абразивные и жировые загрязнения в горячей подкисленной, а затем в проточной воде и просушивают в термостате.

Металлические детали (арматура), предназначенные для сплавления со стеклянной трубкой, обрабатывают по 5—7-му классам шероховатости, обезжиривают, травят и промывают. Детали из Fe, Ni, Co и Cr, подлежащие сплавлению, отжигают в колпаковой водородной печи при температуре $1050\text{—}1150^{\circ}\text{C}$ в течение 20—30 мин.

Отжиг металлических деталей предохраняет от образования газовых пузырей на поверхности спаев и обезуглероживания поверхностей деталей. Для получения хорошего стеклянного спая на поверхности металлических деталей целесообразно иметь оксидную пленку оптимальной толщины, получаемую путем нагрева деталей в воздухе.

Следует отметить, что тонкая оксидная пленка при сплавлении может раствориться в стекле, при этом стекло будет непосредственно контактировать с чистой (неокисленной) поверхностью металла и сила сцепления (адгезия) стекла с металлом будет недостаточной. При толстой оксидной пленке сила сцепления стекла с металлом будет также неудовлетворительной и возможно ее отслаивание от основного металла с разрушением спая.

Поскольку получение спая между металлом и стеклом связано с продолжительным нагревом до высокой температуры, то окисле-

ние поверхности металла является естественным результатом нагрева с возможным переокислением поверхностей деталей и образованием толстой оксидной пленки, а следовательно, непрочного спая металла со стеклом. Поэтому, чтобы исключить при сплавлении нежелательное переокисление, металлические детали перед сплавлением покрывают слоем стеклянной пасты.

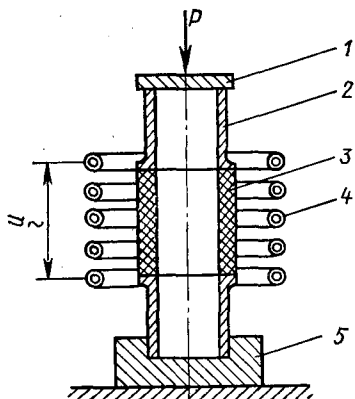


Рис. 15.3. Схема пайки стеклянной трубки с металлом

Стекланную пасту готовят из мелкозернистого порошкового стекла того же состава, что и спаиваемое стекло. В стекланный порошок вводят метиловый спирт с доведением смеси до пастообразного состояния. Полученную при этом пасту наносят на поверхности металлических деталей кистью или пульверизатором с последующим просушиванием ее в термостате.



Подготовленную стеклянную трубку 3 и металлическую арматуру 2 (рис. 15.3) соединяют между собой. Зону спая нагревают до температуры пластического размягчения стекла и его сплавления с металлической арматурой 2 с приложением давления к оправкам 1 и 5. Нагревают индуктором 4, питаемым от генератора высокой частоты требуемой мощности.

Ориентировочно мощность генератора для проведения сплавления (Вт)

$$P = 23,5 \text{ cm} \Delta T / \tau,$$

где c — удельная теплоемкость, Дж/кг·К; m — масса нагреваемой детали, кг; ΔT — разность температур окружающей среды сплавления, °С; τ — длительность сплавления, с.

В процессе нагревания спая индуктором оптимальную частоту для каждого спая принимают, исходя из глубины проникновения тока в металл арматуры.

Глубина проникновения тока

$$z = 5300 \sqrt{\rho / (\mu f)},$$

где ρ — удельное электрическое сопротивление металла, Ом·м; μ — магнитная проницаемость металла, Гн/м; f — частота тока, Гц.

Глубина проникновения тока для меди $z=67 f^{-0.5}$ мм; для стали $z=600 f^{-0.5}$ мм; для кобальта $z=500 f^{-0.5}$ мм.

После проведенного сплавления изделия для снятия напряжения помещают в печь, нагретую до температуры, близкой к сплавлению изделия с последующим постепенным охлаждением вместе с печью до окружающей температуры. Подобные (рантовые) спай

стекла с металлом применяют для изготовления вакуумных камер, используемых в выключателях переменного тока.

Отметим, что получение качественных спаев в значительной степени зависит от правильного выбора параметров соединяемых между собой стекла и металла.

В табл. 15.2 приведены некоторые сведения по выбору металла и стекла [24].

Таблица 15.2

№ спая	Составляющие спая		Цвет, характеризующий качественный спай
	металлы и сплавы	стекло и керамика	
1	Вольфрам	C37-1, C37-2, C38-2, C39-1, C40-1	От красновато-коричневого до соломенно-желтого
2	Молибден	C47-1, C48-1, C48-2, C28*3, C49-1, C49-2	Светло-коричневый до шоколадного
4	Никель	C120-1	Молочно-белый
5	Ковар	C47-1, C48-1, C49-1, C49-2	Серый до мышиного
6	Сплав 30НҚД	C38-1, C40-1, C39-1	Серый

§ 15.3. ТЕХНОЛОГИЯ СПЛАВЛЕНИЯ НЕСОГЛАСОВАННОГО МЕТАЛЛОСТЕКЛЯННОГО СПАЯ

Несогласованный или напряженный спай (рис. 15.4, а) является сплавлением стекла с металлом без согласования их коэффициентов температурного расширения.

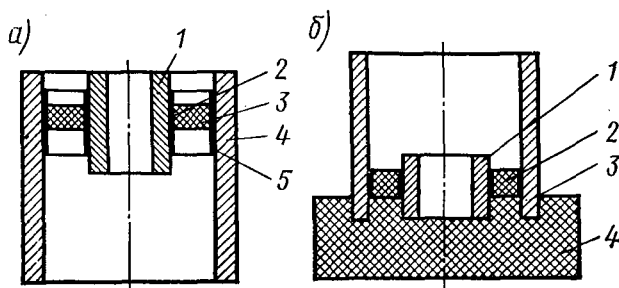


Рис. 15.4. Схема пайки токоввода

Для несогласованных спаев применяют малоуглеродистую сталь и стекло марки С82-1 с температурой размягчения 600°С. На рис. 15.4, а приведен эскиз сборочных единиц, содержащий железные металлические втулки 1, 4 и стеклянное кольцо 3. Втулки 1, 4 подвергают отжигу при $t=700^{\circ}\text{C}$ с последующей обработкой их поверхностей кварцевым песком с использованием при этом пескоструйной установки. Затем проводят промывку втулок в холодной и горячей воде и этиловом спирте. На поверхности втулок

1 и 4, контактирующих со стеклянным кольцом 3, наносят грунтовый шликер 2 и 5, состоящий из смеси стеклоэмалей № 2015 и 3112, который обжигают при $t=700^{\circ}\text{C}$. На грунтовый слой кладут покровную эмаль марки Э-11 с последующим отжигом при $t=800^{\circ}\text{C}$.

Подготовленные детали собирают на оправке (рис. 15.4, б); на графитовую подставку 4 ставят втулки 1 и 3; в кольцевой зазор между ними помещают кольцо 2 из свинцового стекла. После этого сборку загружают в электрическую печь, где при $t=800^{\circ}\text{C}$ сплавляют стекло с деталями с последующим постепенным охлаждением их вместе с печью. Такие спаи имеют значительную механическую прочность, герметичность; они применяются в некоторых электроаппаратах в качестве токовводов.

§ 15.4. АРМИРОВАНИЕ ФАРФОРОВЫХ ИЗОЛЯТОРОВ

Технология армирования изоляторов заключается в том, что металлические детали — арматура (основания, фланцы, стержни, колпачки и др.) скрепляют с изолятором из керамики при помощи цементирующих масс. На основе портландцементного клинкера

ГОСТ 23464—79 марки 500 приготавливают цементирующую массу, состоящую из 3 ч. по объему цемента и 1—1,5 ч. по объему кварцевого песка с добавлением в смесь 25—30% воды, отнесенной к общему объему смеси.

Для получения цементирующей массы смесь тщательно перемешивают и используют

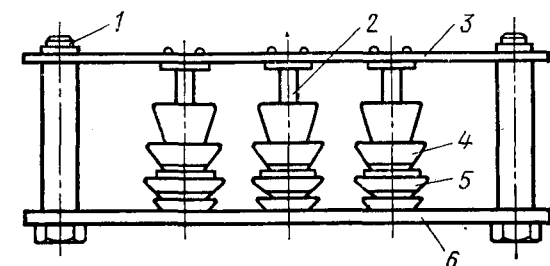


Рис. 15.5. Приспособление для армирования изоляторов

ее не позднее 30 мин с момента приготовления. Цементирующую массу на основе высокоглиноземистого цемента (ГОСТ 23464—79) марки 600 приготавливают из 2 мас. ч. цемента и 1 мас. ч. кварцевого песка с добавлением в эту смесь 30—35 мас. ч. воды. Для получения цементирующей массы смесь тщательно перемешивают и используют не позднее 30 мин с момента ее приготовления.

Цементирующую массу на основе высокоглиноземистого цемента используют для армирования изоляторов, подвергающихся высоким динамическим нагрузкам. Перед армированием изоляторы и металлическую арматуру обезжиривают растворителями (бензин, ацетон, уайт-спирит). Обезжиренные поверхности покрывают тонким слоем асфальтового лака, после отверждения которого приступают к армированию изоляторов.

Опорно-штыревые изоляторы (рис. 15.5) армируют в приспособлении, рассчитанном на несколько гнезд. Секции изоляторов 4 и 5

устанавливают на основание приспособления 6, затем в отверстия изоляторов помещают штыри 2 (арматура), закрепленные в траверсе 3, которая шпильками 1 прижимается к стойкам приспособления.

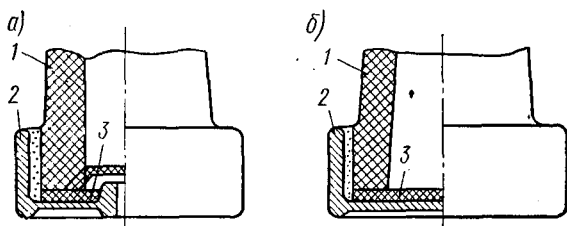


Рис. 15.6. Армирование крупных фарфоровых изоляторов

После этого в кольцевой зазор между штырями и изолятором помещают цементную массу и выдерживают ее до пяти суток.

Крупные опорные изоляторы (рис. 15.6) можно армировать без приспособления. На арматуру 2 помещают уплотнение 3, на которое ставят изолятор 1 с равномерным зазором по его образующей и арматуры (рис. 15.6, а, б). В зазор помещают цементную массу и после ее отвердения с одной стороны изолятор переворачивают и армируют вторую сторону с последующей выдержкой в данном положении согласно производственной инструкции.

Для сокращения времени, затрачиваемого на отверждение цементной массы, изоляторы после армирования иногда обрабатывают в паровой камере при 100%-ной влажности и температуре 70°С в течение 16 ч.

Для крупных изоляторов, применяемых в установках, подверженных сотрясениям или ветровой нагрузке (воздушные выключатели), целесообразно вместо армирования цементной массой применять механическое крепление арматуры к изолятору (рис. 15.7). На его конусную поверхность 1 помещают резиновый манжет 6, на который устанавливают полукольца 5 и кольцо 4. На основание 8 в кольцевую выточку помещают уплотнительное кольцо 9; к основанию 8 гайками 2 через шайбы 3 шпильками 7 прижимают кольцо 4 с учетом равномерного распределения усилия по окружности, что достигается с использованием моментного ключа.

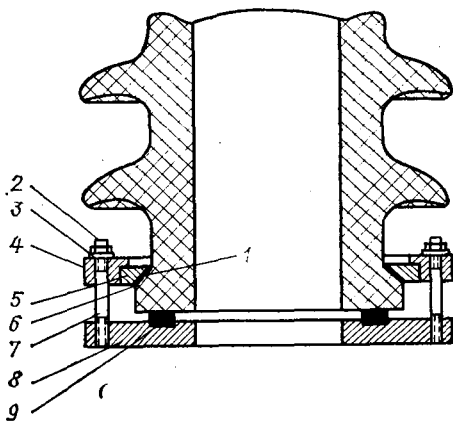


Рис. 15.7. Механическое крепление арматуры с изоляторами

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПЕЧАТНОГО ЭЛЕКТРОМОНТАЖА**§ 16.1. ИЗГОТОВЛЕНИЕ И НАНЕСЕНИЕ РИСУНКА СХЕМЫ
НА ОСНОВАНИЯ**

Печатным электромонтажом называют способ получения изображения электрической схемы в виде токопроводящих проводников на плоском диэлектрическом основании, изготовляемом из листового гетинакса, стеклотекстолита, текстолита и других диэлектриков.

Изготовление печатного электромонтажа на основании требует проведения многих технологических процессов: изготовления оснований, нанесения рисунка схемы на основание, получения токопроводящих проводников схемы, припайки элементов к проводникам схемы, защиты оснований от климатических воздействий и других вспомогательных технологических процессов.

Основания для печатного монтажа изготовляют из листовых диэлектрических материалов, удовлетворяющих требуемому пределу прочности, влагопоглощаемости, электрической прочности и другим. Для этого листы материала разрезают на полосы требуемой ширины, из которых штамповкой (вырубкой) получают основания нужных размеров и конфигураций с последующим сверлением отверстий, необходимых при технологической обработке. Основания, предназначенные для электрохимического осаждения токоведущих проводников схемы, для лучшего сцепления осаждаемого металла подвергают пескоструйной обработке кварцевым песком с последующей подготовкой их поверхностей перед нанесением токопроводящих схем.

Для нанесения рисунка схемы на поверхность основания используют фотографический, сеточный, офсетный способы, а также вакуумное испарение и др.

При фотографическом способе копируют рисунок схемы с прозрачного фотоснимка. Для этого фотооригинал печатной схемы наносят на белую чертежную бумагу черной тушью по координатной сетке (отпечатанной голубой краской) с размерами, обеспечивающими увеличение 2 : 1, 5 : 1, 10 : 1.

На сетке в соответствии с чертежом указывают центры монтажных и контрольных отверстий, после чего с помощью лекал изображают проводники. На готовом фотооригинале с помощью лупы проверяют качество линий и их соответствие чертежу. При этом фотооригинал может быть в негативном и позитивном изображениях.

При фотографировании фотооригинал крепят к раме (рис. 16.1) с использованием пневматических держателей, где при равномер-

ном освещении фотоаппаратом с широкоугольным объективом его фотографируют на фотопленку или стекло с уменьшением до нужных размеров. После проявления, промывки и сушки фотопленку проверяют на столе с подсветом, а затем с пленки делают рабочие диапозитивы.

Фотографический способ нанесения рисунка схемы применяют как при изготовлении сетчатых трафаретов, так и для нанесения негативного или позитивного изображения схемы на основание. Негативное изображение наносят при электрохимическом осаждении проводников схемы, а позитивное — при химическом травлении. При изготовлении сетчатых трафаретов применяют негативное и позитивное изображение.

Перед нанесением схемы этим способом поверхность основания покрывают из пульверизатора слоем светочувствительной эмульсии, после чего основание помещают в центрифугу, где при ее вращении раствор равномерно растекается по поверхности основания, его просушивают обдувающим теплым воздухом. Затем основания подвергают экспонированию, т. е. сильному облучению светом с использованием рамы для фотографирования. После экспонирования изображение проявляют в теплой воде. При этом места пленки, не подвергавшиеся облучению, вымывают, а оставшиеся участки задубливают.

В состав светочувствительной эмульсии входит (г): поливиниловый спирт 70—100, этиловый спирт 30, двухромовый аммоний 10—20, дистиллированная вода 1000, с добавкой 5% эмульгатора ОП-7 или ОП-10.

Необходимо отметить, что светочувствительная эмульсия между употреблениями должна храниться в закрытой стеклянной посуде в темном месте.

Изготовление сеточного трафарета, применяемого для печатания рисунка схемы на основаниях. Для изготовления сеточного трафарета применяют натуральный шелк, капрон, нейлон и др. Сетку трафарета из соответствующего материала натягивают на раму. Поверхность материала обезжиривают и сушат. После этого на материал в темноте кистью наносят слой светочувствительной эмульсии. На этот слой после его просушивания перпендикулярно первому слою наносят второй слой светочувствительной эмульсии. На светочувствительный слой сетки трафарета помещают позитив схемы эмульсионной стороной и далее подвергают ее экспонированию в светокопировальной установке. Время экспонирования устанавливается опытным путем. Необлученные участки вымываются теплой

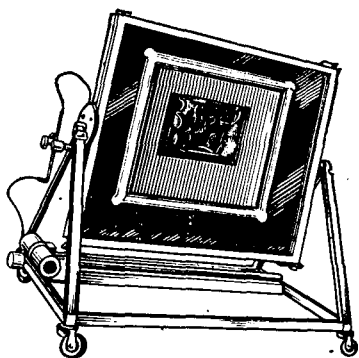


Рис. 16.1. Рама для фотографирования

водой ватным тампоном. Оставшуюся пленку на поверхности сетки окрашивают анилиновой краской с уксусной кислотой. После этого изображение задубливают в растворе хромового ангидрида.

Подготовленный трафарет используют для печатания изображений на основаниях при помощи станка (рис. 16.2).

Офсетный способ нанесения рисунка схемы. При офсетном (печатном) способе схему наносят кислотоупорной или токопроводящей пастой на плоскочечатную машину, приводимую в движение

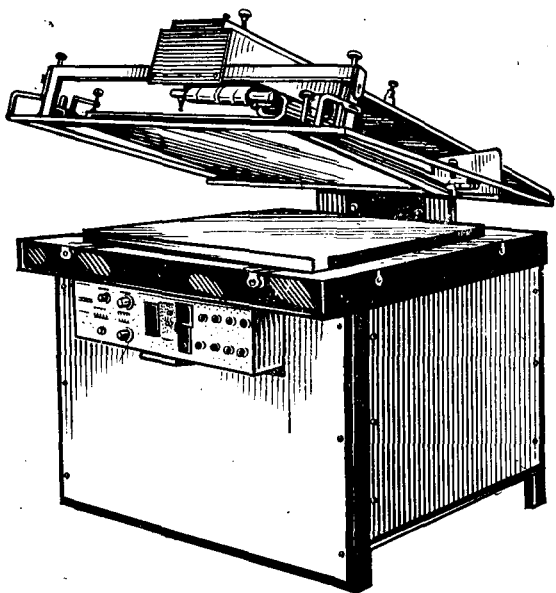


Рис. 16.2. Станок для печатания рисунка схемы

электродвигателем 4 через редуктор 3 (рис. 16.3). На столе 1 закрепляют клише 6 и основание 5. При перемещении барабана 2 по направляющим сначала наносят краску на клише, а потом изображение на офсетную резину и при дальнейшем движении с резины на поверхность основания.

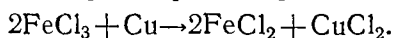
Офсетный способ нанесения изображения на основание применяется в массовом производстве.

§ 16.2. МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОСХЕМ НА ОСНОВАНИЯХ

Известны следующие методы получения электросхем: химическое вытравливание, электрохимическое осаждение, метод переноса и др.

Метод химического травления применяется при использовании фольгированных оснований, на которые наносят рисунки схемы по методике, описанной выше. Участки схемы, незащищенные краской, вытравливают в ванне раствором хлорного железа, плотность которого $13 \cdot 10^{-4}$ кг/м³, температура 25° С.

Медь вытравливается раствором хлорного железа по реакции



После вытравливания свободных участков фольги основания промывают в холодной проточной воде; защитную краску с рисунка схемы снимают в последнем растворе с последующей тщательной промывкой и просушиванием оснований в термостате.

Основания, прошедшие травление, мойку и сушку, визуально проверяют на отсутствие разрывов в проводниках и других дефектов. Затем их передают на сверление контактных отверстий и подвергают обезжириванию порошком «Новость» с последующей промывкой в проточной воде. Рисунок схемы и контактные отверстия подвергают металлизации; для этого их погружают в двуххлористое олово на 2 мин с последующей промывкой.

Далее основания промывают в ванне раствором палладия в течение 4 мин. Потом выполняют химическое и гальваническое меднение с выдержкой для каждого процесса в течение 15 мин и тщательно промывают. После этого основания облуживают в ванне сплавом Розе, зачищают у них кромки и производят окончательный осмотр.

Метод электрохимического осаждения. Основания, подготовленные из нефольгированного листового диэлектрика, для улучшения адгезии осаждаемого металла с поверхностью основания подвергают пескоструйной обработке. После обезжиривания, промывки и сушки на них наносят рисунок схемы по методике, описанной выше. Для активизации проводимости незащищенных участков схемы основания помещают в спиртовой раствор азотнокислого серебра (20—30 г/л) и выдерживают в растворе 3—7 мин с целью высадки молекулярного серебра на незащищенных участках схемы (контактные гнезда).

После этого проводят химическое меднение в растворе углекислой меди (100—150 г/л), едкого натра (130—150 г/л), глицерина

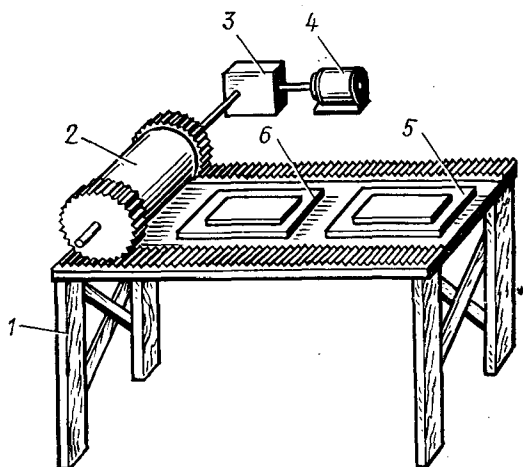


Рис. 16.3. Плоскопечатная машина

(100—125 г/л) и формалина (30—40%); температура раствора должна быть 20—24° С. Весь процесс химического меднения занимает 15—20 мин при непрерывном покачивании оснований до получения осажденного на серебре слоя меди толщиной 1—2 мкм. Этот слой меди по толщине является недостаточным, поэтому медь на основание наращивают методом гальванического осаждения при замкнутном состоянии всех проводников схемы специальной проводочкой, удаляемой после гальванического осаждения меди.

Электролитическое осаждение меди проводят в электролите, состоящем из медного купороса (200—250 г/л), серной кислоты (50—70 г/л) и этилового спирта (20—30 г/л) при температуре электролита 18—25° С и плотности тока $(3,5—4) \cdot 10^2$ А/м². Для получения плотного слоя осажденной меди целесообразно применять реверсирование тока.

После гальванического осаждения меди основание промывают в проточной воде и просушивают в струе очищенного сухого воздуха. Затем проверяют плотность сцепления проводников с поверхностью основания, отсутствие у них коротких замыканий и разрывов, электрическое сопротивление и электрическую прочность между проводниками.

Годные основания обрубают штампом, обезжиривают, промывают и сушат при температуре 60—70° С. Отверстия в основаниях обрабатывают раствором соляной кислоты и покрывают сплавом Розе, состоящим из 52,5% висмута, 32% свинца, 15,5% олова, имеющего температуру плавления 130—140° С. После этой операции основания снова промывают и сушат.

При длительном хранении поверхности оснований покрывают спирто-канифольным лаком с выдержкой их на воздухе и последующим просушиванием в термостате при $t = 100 \div 110^\circ \text{С}$.

Метод переноса. Перенос рисунка схемы с матрицы на поверхность диэлектрического основания выполняется по следующей технологии: на хорошо отполированную матрицу, из нержавеющей стали краской наносят негативное изображение схемы с использованием сетчатого трафарета. Краска состоит из 65% литопонных густотертых белил, 5% натуральной олифы, 2,5% печатных белил, 3% синего сухого ультрамарина и 2% сиккатива. Краской закрывают всю поверхность матрицы, не подлежащую металлическому осаждению.

Подготовленную указанным способом матрицу декапируют в 10%-ном растворе соляной кислоты в течение 0,5—1,0 мин. После промывки ее помещают на катодную шину гальванической ванны, содержащей меднокислый электролит (сернокислая медь 200—250 г/л, серная кислота 20—75 г/л).

Процесс осаждения ведется при плотности тока $5 \cdot 10^2$ А/м², где матрицы выдерживают по времени в зависимости от требуемой толщины проводников электрической схемы. После процесса осаждения на матрицу меди участки, покрытые краской, очищают в растворе едкого натра с промывкой в горячей воде.

Основания после пескоструйной обработки покрывают клеем БФ-4 или К-350-61 из пульверизатора и просушивают. Затем на основание кладут матрицу с осажденным рисунком и под гидравлическим прессом прикладывают давление $1 \cdot 10$ МПа в течение 10—20 с. Осажденный на матрице медный рисунок схемы приклеивается к поверхности основания, а освободившаяся от рисунка матрица снова подвергается гальваническому осаждению рисунка схемы и т. д.

Изготовление печатных схем методом переноса имеет незначительный расход меди, не загрязняет основания химикатами, как при других способах. К недостаткам относится невозможность получения металлизированных контактных отверстий и недостаточная разрезающая способность.

§ 16.3. МОНТАЖ И ПАЙКА ЭЛЕМЕНТОВ НА ПЕЧАТНОМ ОСНОВАНИИ

Навесные элементы (резисторы, конденсаторы, транзисторы и др.) целесообразно размещать на стороне основания, не имеющей печатного монтажа (при одностороннем монтаже), что облегчает проведение пайки навесных элементов с проводниками схемы.

Навесные элементы на печатной плате рекомендуется размещать параллельно друг другу. Нужная прочность крепления элементов достигается следующим образом: выводы элементов вставляют в металлизированные отверстия, изгибают и затем припаивают к металлизированным отверстиям, создавая при этом электрический контакт с печатным монтажом.

Групповая пайка. Групповой пайкой навесных элементов схемы осуществляют одновременную пайку всех монтажных соединений основания. Перед пайкой поверхности очищают от защитных покрытий. Для пайки применяют припой марки ПОС-61. В качестве флюса используют состав из следующих компонентов: 10% канифоля, 30% стеарина, 57% парафина и 2% триэтанолamina. Иногда в качестве флюса используют спирто-канифольный флюс, наносимый на поверхность основания путем погружения или пульверизацией.

При одностороннем расположении навесных элементов можно применить групповую пайку погружением.

Пайка погружением. Пайка погружением обеспечивает одновременную пайку всех электрических соединений, выполняемую по схеме (рис. 16.4) с использованием бумажной маски. Перед пайкой на поверхность основания наносят соответствующий флюс, после чего основания из положения I приводятся в соприкосновение с зеркалом расплавленного припоя II с выдержкой в течение времени, заданного инструкцией, с последующим выносом основания из припоя III.

Для пайки соединений схем печатного монтажа применяют также устройство, содержащее ванну с припоем (рис. 16.5) [27]. Процесс пайки проходит в такой последовательности: из положения I

ванна с припоем поднимается в положение II (участок $a-b$ циклограммы (рис. 16.5, б), при этом приспособление 1 («дворник»), укрепленное впереди держателя, с основанием 2 погружаются в расплав припоя и при горизонтальном перемещении основания «дворник» снимает шлак с поверхности припоя (участок $b-e$). Затем ванна I поднимается из положения II в положение III (участок $e-z$) до соприкосновения мест паяк основания с зеркалом припоя

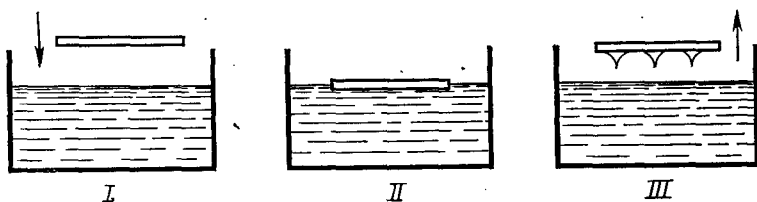


Рис. 16.4. Схема устройства для групповой пайки

(положение $z-d$), при котором осуществляется пайка. После этого ванна I возвращается в исходное положение ($d-e$). Транспортирующее устройство ванны I и держатель основания занимают исходное положение и цикл пайки повторяется.

Пайка волной припоя. Способ пайки волной или струей припоя получил наибольшее применение при групповой пайке контактных соединений печатных оснований. Принудительно создаваемая «волна» припоя в зоне ее изгиба очищается от оксидной пленки и

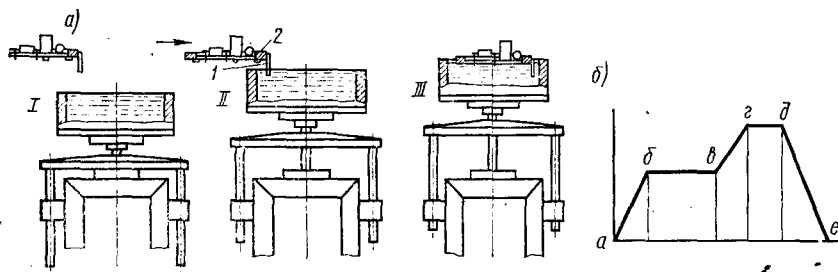


Рис. 16.5. Схема устройства для групповой пайки со шлакоудалителем

это способствует качественной пайке контактных соединений, расположенных на основании припоя, перемещаемого относительно его волны.

Для принудительного получения волны на поверхности расплавленного припоя применяют многие способы, однако лучшим из них считается создание в ванне с припоем «горба» при помощи электромагнитного бегущего поля (рис. 16.6) [27]. На вертикальной стенке ванны I с припоем 2 выполнена выемка 3. Снаружи к стенке выемки примыкает трехфазный плоский линейный индуктор бегущего поля 4 с обмоткой 5. Изнутри ванны к бортам выемки 3 прикреплен

шихтованный магнитопровод 7, снабженный рядом горизонтальных каналов 6, которые служат для дополнительного подвода расплава к полости выемки и для замыкания дополнительно индуцированных в объеме расплава электрических токов 10, подогревающих припой.

При включении в сеть обмотки трехфазного индуктора вдоль вертикальной стенки выемки начинает перемещаться бегущее электромагнитное поле, которое увлекает за собой расплавленный металл по каналу, образованному стенкой выемки и поверхностью магнитопровода. Далее расплав поступает в сопло 8 и вытекает из него в виде сформированной струи 9 жидкого припоя. При перемещении основания относительно струи припоя происходит пайка контактных соединений.

Рабочие характеристики установки (высота, температура) струи припоя и т. п.) легко регулируются путем изменения пара-

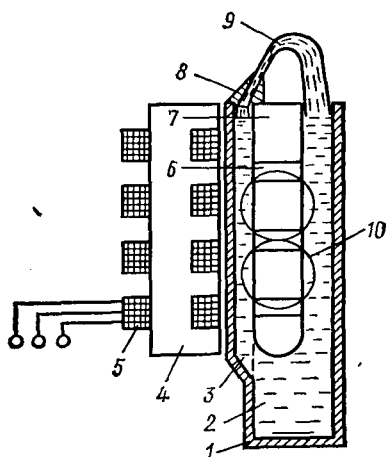


Рис. 16.6. Схема устройства для групповой пайки с бегущим электромагнитным полем

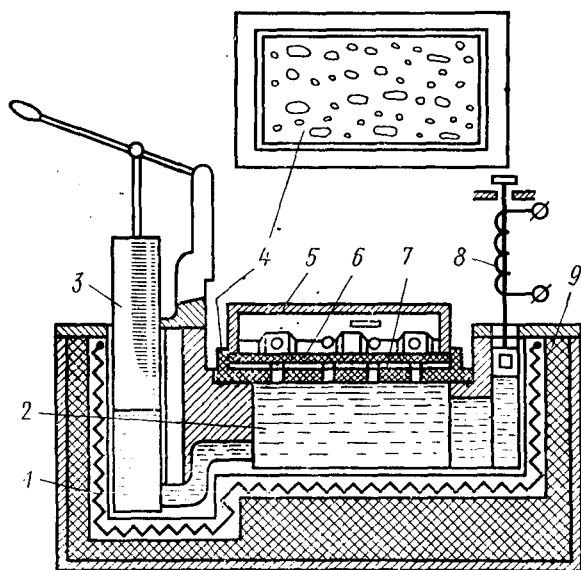


Рис. 16.7. Схема устройства для избирательной групповой пайки

метров тока и магнитного поля и тем самым создают преимущества по сравнению с другими установками, применяемыми для групповой пайки печатных оснований.

Избирательная пайка оснований. Избирательная пайка применяется в тех случаях, когда не требуется облуживать все соединения — пайка должна быть в нескольких точках. Для защиты мест, не подлежащих пайке и облуживанию, их окрашивают через трафарет и пайку производят в установке с применением шаблона с соответствующими отверстиями (рис. 16.7).

Печатное основание 6 с резиновой прокладкой 7 помещают на шаблон 4 и закрепляют прижимом 5. Для улучшения пайки вибратором 8 создают колебания припоя. Припой 2 под давлением поршня 3 подают через отверстия шаблона и прокладки к местам пайки. Установка имеет электрический нагреватель 1 и теплоизоляционную футеровку 9.

§ 16.4. МНОГОСЛОЙНЫЙ ПЕЧАТНЫЙ МОНТАЖ

Многослойный печатный монтаж отличается от однослойного монтажа соединением в одном пакете нескольких изолированных одна от другой печатных оснований, что позволяет повысить плотность монтажа с уменьшением его габаритов.

Технология изготовления многослойного печатного монтажа более сложная по сравнению с однослойным монтажом. Фотооригиналы и шаблоны с использованием малоусадочных фотопленок, базовые отверстия на фотошаблонах и заготовках оснований выполняют с повышенной точностью. С большой точностью выполняют также межцентровые расстояния и диаметры всех отверстий на печатном основании с применением для этого координатно-сверлильного станка с программным управлением. При этом тщательно соблюдают все технологические режимы процесса, проводят строгий пооперационный контроль на всех операциях технологического процесса, так как обнаруженные дефекты в готовых многослойных основаниях практически неисправимы и приводят к браку. Некоторые операции, например изготовление фотошаблонов, нанесение светочувствительных растворов на заготовки, экспонирование, необходимо проводить в помещениях, оборудованных установкой для кондиционирования воздуха. При изготовлении многослойных печатных оснований необходимо освоить дополнительную операцию, связанную с прессованием (склеиванием) слоев между собой в многослойное печатное основание, имеющее прямоугольную форму с числом слоев от 2 до 15 и более. Число слоев обычно зависит от сложности схемы и способа изготовления. При размещении схемы в многослойном основании желательно, чтобы каждая функциональная цепь размещалась на одном слое.

Конструктивно-технологические варианты изготовления многослойных оснований можно разделить на две группы — с примени-

ем химико-гальванической металлизации (многослойные печатные основания без межслойных соединений) и без их применения (многослойные печатные основания без межслойных соединений).

Многослойные печатные схемы изготавливают методами: металлизации сквозных отверстий, попарного прессования, послойного наращивания и методом выступающих выводов.

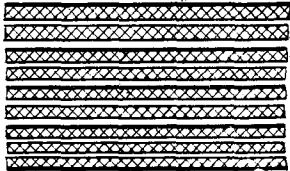
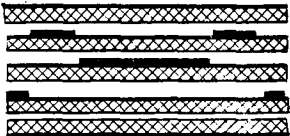
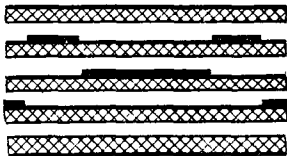
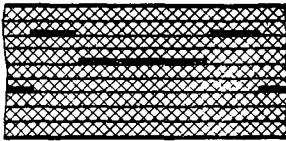
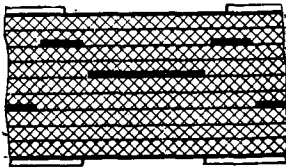
Технологический процесс изготовления печатных оснований металлизацией сквозных отверстий состоит в том, что прессование (склеивание) всех печатных слоев основания ведется одновременно с использованием прокладочной стеклянной ткани, пропитанной смолой. Внутренние слои многослойного печатного основания изготавливают на одностороннем фольгированном диэлектрике химическим методом. Наружные слои выполняют позитивным методом, межслойные соединения — в виде металлизированных отверстий, обеспечивающих соединение внутренних слоев через торцы контактных площадок, образующихся в отверстиях при сверлении. Наряду с односторонним фольгированным диэлектриком может применяться и двусторонний. В этом случае на заготовках внутренних слоев могут быть выполнены межслойные соединения в виде металлизированных отверстий.

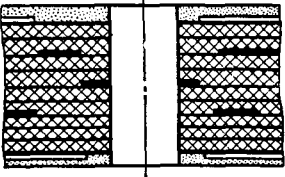
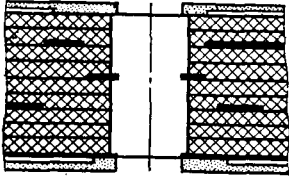
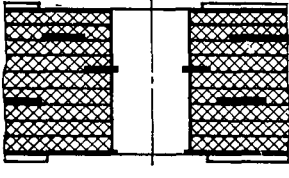
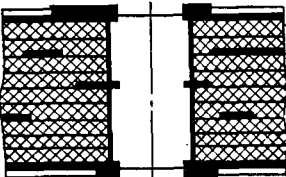
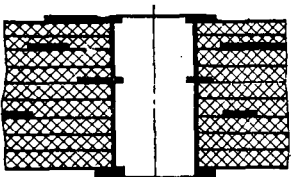
Для получения надежных межслойных соединений применяют специальный травящийся фольгированный диэлектрик марки ФДМТ-1 и ФДМТ-2 по ТУ-16503-113—72. Металлизация сквозных отверстий является основным методом изготовления многослойных печатных оснований, как обеспечивающим большое количество слоев. Многослойные платы предназначаются для установки элементов со штырьковыми и планарными выводами. В табл. 16.1 приведена технологическая последовательность изготовления многослойных печатных оснований по описанному методу с получением рисунка схемы наружных слоев фотоспособом.

При методе попарного прессования два печатных основания с двусторонним монтажом, слои которых электрически соединены между собой металлизированными отверстиями, склеиваются стеклотканью, пропитанной лаком.

Метод послойного наращивания заключается в том, что на фольгу наклеивают тонкий слой диэлектрика (пленку или стеклоткань) с нужными отверстиями, в которые гальваническим способом осаждают медь на толщину слоя диэлектрика, а затем на его поверхность осаднением наносят рисунок схемы. После этого повторно приклеивают слой диэлектрика и весь процесс повторяется до полного получения многослойного основания. Этот метод сложный, длительный и почти не применяется на практике.

Метод выступающих выводов отличается тем, что в печатных платах сверлят отверстия, в которых располагают выводы в виде полосок меди, служащие для подсоединения печатных проводников отдельных слоев и навесных элементов. В таком исполнении печатные платы в требуемом количестве одновременно склеиваются между собой.

Операции	Схемы
Изготовление заготовок фольгированного диэлектрика и стеклоткани	
Подготовка поверхности заготовок Получение рисунка схемы внутренних слоев многослойной печатной платы	
Травление меди с пробельных мест Удаление защитного слоя рисунка (раздубливание)	
Прессование многослойной печатной платы	
Получение рисунка схемы наружных слоев фотоспособом	

Операции	Схемы
Нанесение слоя лака Сверление отверстий	
Подтравливание диэлектрика в отверстиях	
Химическое меднение отверстий Удаление слоя лака	
Гальваническое меднение Нанесение защитного металлического покрытия	
Удаление защитного слоя рисунка (раздубивание) Травление меди с пробельных мест Осветление защитного металлического покрытия Механическая обработка многослойных печатных плат Маркировка Контроль Нанесение технологического защитного покрытия Упаковка	

§ 16.5. ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ПЕЧАТНЫХ ОСНОВАНИЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ

Для защиты печатных оснований от влияний внешней среды применяют материалы с высокой влагостойкостью, хорошими диэлектрическими свойствами (малыми диэлектрической проницаемостью и тангенсом угла диэлектрических потерь), термостойкостью, химической инертностью и механической прочностью.

В качестве защитных покрытий применяют лаки, смолы и различные компаунды. Лак СБ-1с на основе фенолоформальдегидной смолы после нанесения на поверхность высыхает при $t=60^{\circ}\text{C}$ в течение 4 ч, образуя плотную эластичную пленку. Для аппаратов, работающих в тропических условиях, в качестве защитного покрытия применяют лак на основе эпоксидной смолы Э-4100. Перед покрытием в лак добавляют 3,5% отвердителя № 1, смешивают их и разводят с использованием ацетона, этилцеллозольва и ксилола до вязкости 18—20 с по вискозиметру ВЗ-4. После смешивания жидкость фильтруют через марлю, сложенную в несколько слоев. В полученную смесь погружают основания с последующим стряхиванием и сушкой.

Лак УР-231 отличается повышенной влагостойкостью и температуростойкостью; он наносится на поверхность из пульверизатора из четырех слоев с сушкой после каждого слоя при $t=18\div 23^{\circ}\text{C}$ в течение 30 мин и окончательно сушится при $t=55\div 60^{\circ}\text{C}$ в течение 1,5 ч.

Для покрытия оснований используется также лак К-41 и К-45 на основе кремнийорганических смол, изделий, работающих при температурах выше 120°C .

Технологический контроль печатных оснований. Значительное разнообразие технологических процессов, применяемых при изготовлении печатных оснований, требует многократного контроля выполнения технологических операций.

В процессе контроля выясняется правильность размещения всех проводников, качество их нанесения и взаимное сочетание. Правильность размещения проверяется путем сравнения с чертежами или эталонами. Качество проводников проверяют визуально при помощи лупы. Основания проверяют также на отсутствие сколов, трещин.

Элементы, размещенные на печатных основаниях, проверяют по электрическим и механическим параметрам согласно техническим требованиям. Сопротивление изоляции измеряют мегомметром. Электрическую прочность между проводниками проверяют на пробивной установке, обеспечивающей требуемое напряжение. Согласно техническим требованиям, основания проверяют испытанием на повышенную и пониженную температуры, повышенную влажность, вибрацию и тряску. В результате проведенных испытаний параметры печатных оснований не должны изменяться.

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МОНТАЖА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

§ 17.1. ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ МОНТАЖА

Технология монтажа является процессом соединения проводниками элементов и сборочных единиц электротехнического изделия (аппарата) в соответствии с принципиальной и монтажной схемами.

Различают соединения элементов проводниками: по кратчайшим расстояниям в различных плоскостях, проводниками, изогнутыми под прямым углом, уложенными в различных плоскостях, произвольно изогнутыми проводниками по плоскости и высоте, струнный электромонтаж, жгутовый монтаж, печатный монтаж и др.

Соединения по кратчайшим расстояниям используются при разработке и наладке макетных образцов; этот способ дает возможность приблизительно определить значения выходных параметров изделия. Вследствие пересечения проводников между собой он характеризуется незначительной собственной емкостью.

При соединении проводниками под прямым углом увеличивается собственная емкость монтажа. Этот способ более сложен по исполнению и имеет меньшую механическую прочность.

Струнный электромонтаж, проводимый голыми (неизолированными) проводниками с уплотненным расположением и повышенной жесткостью, исключает касание проводников между собой.

Жгутовый монтаж создает высокую механическую прочность, упрощает технологию, обеспечивает идентичность монтажа изделий и сокращает трудоемкость электромонтажных работ.

Печатный монтаж — способ соединения элементов между собой проводниками на общей изоляционной плате (см. гл. 16); применяется в основном для слаботочных электрических цепей в серийном и массовом производствах.

Монтаж электротехнических аппаратов проводят по принципиальным и монтажным схемам, а также по операционным картам.

По принципиальным схемам монтаж выполняют в индивидуальных производствах монтажниками, имеющими высокую квалификацию.

В серийном производстве монтаж электротехнических аппаратов выполняют по монтажным схемам, в которых приводятся сведения о том, как должны быть проложены провода соответствующего сечения к элементам изделия. Благодаря этому монтаж по монтаж-

Таблица 17.1

Марка провода	Материал изоляционной оболочки	Максимальное напряжение, В	Диапазон рабочих температур, °С
МГВ МГВЭ МГВЛ МГВЛЭ МГВСЭ МГВСЛ МГВСЛЭ	Полихлорвиниловый пластикат	500	(-40)— (+70)
МШВ МГШВ МГШВЭ МГШВЭВ	Пленочный и волокнистый триацетатный пластикат	380	—
МГШВЛ МОГ МГГП	Волокнистая изоляция в полихлорвиниловой оболочке и защитной оплетке Шелковая ленточная Лавсановая изоляция	1000	(-60)— (+60)
МГТФЛ МГТФЛЭ	Теплостойкий с фторопластовой изоляцией	—	—
ЛПЛ-2 МОГ МЦСЛ	Хлопчатобумажная пряжа, шелк, капрон, стекловолокно, лак	—	—

ным схемам могут выполнять монтажники более низкой квалификации по сравнению с монтажом по принципиальным схемам, в которых закладывается принципиальное решение работы изделия без каких-либо подробностей в части укладки проводников.

В условиях массового производства монтаж проводят по операционным технологическим картам, к которым прикладывают эскизы и описания проведения монтажа, а также конструкторскую документацию в виде чертежей, применяемой оснастки и технологических инструкций.

Технологические инструкции представляют собой руководящие технические материалы с изложением сведений о порядке выполнения монтажа и предъявляемых к нему требований по техническому контролю и др.

Используются также отраслевые нормалы (отраслевые стандарты), технологические нормалы, определяющие выполнение типовых операций, например крепление элементов, изготовление и крепление жгутов и т. п.

Таблица 17.2

Материал	ГОСТ, нормали, ТУ
Кабельная бумага	ГОСТ 645—67
Канифоль	ГОСТ 19113—73
Изоляционный картон	ГОСТ 2824—75
Клей БФ-4	ГОСТ 2172—71
Перхлорвиниловый клей	МРТУ6-10-463—66
Маркировочные краски	НГ 00228000
Изоляционная хлопчатобумажная лента	ГОСТ 4514—71
Полиэтиленовая лента с липким слоем	ГОСТ 20477—75
Медицинская марля	ГОСТ 9412—77
Льняные нитки	ГОСТ 2350—73
Швейные хлопчатобумажные нитки № 11, 30	—
Припой марки ПОС-40	ГОСТ 21931—76
Припой марки ПОС-61	ГОСТ 21931—76
Спирт	ГОСТ 5208—72
Изоляционные трубки	ГОСТ 17672—72
Линоксиновые трубки	ГОСТ 9614—75
Хлопчатобумажные шнуры	ГОСТ 17306—71
Тесьма для вязки жгутов	ГОСТ 4514—71

§ 17.2. МАТЕРИАЛЫ И ПРОВОДА, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ МОНТАЖЕ

При выполнении электромонтажных работ применяют медные и алюминиевые провода и шины (табл. 17.1) [23].

Материалы, используемые при монтаже, приведены в табл. 17.2.

Соединение проводников между собой при монтаже электротехнических аппаратов выполняется пайкой с использованием припоев и флюсов, приведенных в табл. 17.3.

Таблица 17.3

Обозначение припоев	Состав, %	Температура плавления, °С	Назначение
ПМЦ-54	Медь — 54, остальное цинк	885	Для пайки деталей из стали и ее сплавов в соединениях, не подвергающихся механическим нагрузкам
ПСр-45	Медь — 30, серебро — 45, остальное цинк	725	Для пайки деталей из серебра, меди и ее сплавов

§ 17.3. ИНСТРУМЕНТЫ И ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ МОНТАЖЕ

Электрические цепи элементов схемы аппарата обычно соединяют пайкой с использованием паяльников непрерывного нагрева.

В паяльниках непрерывного нагрева имеется встроенный нагреватель с подводом теплоты к паяльнику. Паяльники выбира-

ют для пайки в зависимости от размеров соединяемых элементов и их теплоемкости. Иногда применяют паяльники с автоматическим регулятором температуры. Имеются также паяльники, в которых автоматизированы регулировка температуры и подача припоя.

При выполнении электромонтажных работ применяют различный инструмент: плоскогубцы (без насечки), круглогубцы с длин-

ными и тонкими губками, кусачки-бокорезы, торцовые кусачки, различные пинцеты, ножницы, монтажные ножи и др.

Оборудование для заготовки проводников и изоляционных трубок.

Провода и изоляционные трубки перед их использованием при монтаже подвергаются различным технологическим обработкам. Изоляционные трубки

малых сечений и длин режут на автомате ГГ-2065, работающем по схеме (рис. 17.1). Трубку 2 из бухты, уложенной на бухтодержателе 1, через направляющие втулки 3 и 5 роликами 4 подают в зону резки и обрезают ножом 6. Длина нарезаемых трубок регулируется за счет изменения скорости подачи трубки и использования сменных ножей с различным числом лезвий.

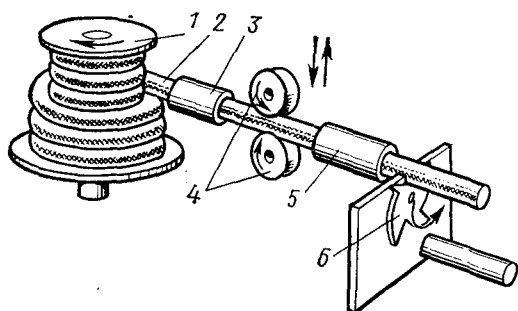


Рис. 17.1. Схема автомата для резки изоляционных трубок

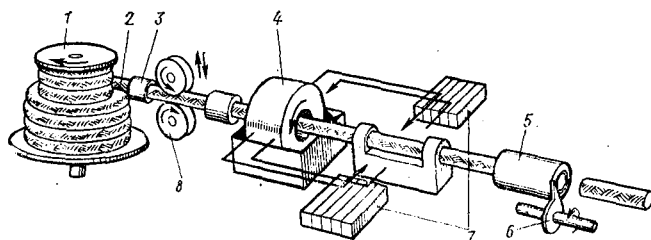


Рис. 17.2. Схема автомата для маркировки трубок

Для маркировки проводников, согласно приведенной схеме, применяют изоляционные трубки с нанесенной на них маркировкой, выполняемые на автомате ГГ-2064, работающем по схеме (рис. 17.2). Трубку 2 из бухты, уложенной на бухтодержателе 1, через направляющие втулки 3 роликами 8 подают в зону маркирования, где она маркируется знаками 7, покрываемыми краской с валика 4. Трубку с маркировкой через втулку 5 подают в зону резки и отрезают ножом 6.

Перед укладкой в жгуты провода подвергают резке на автомате ГГ-1980, работающем по схеме (рис. 17.3). Провод из бухты 7 (или катушки), установленной на бухтодержателе, через направляющие втулку 8 и скобу 6 при помощи мерного ролика 10, прижимных роликов 5 и направляющей втулки 4 подают в устройство

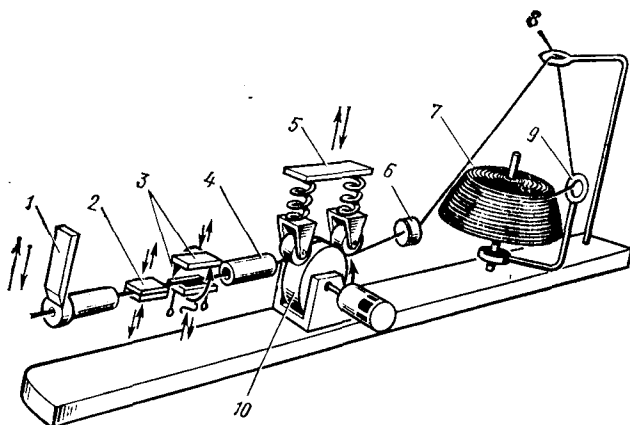


Рис. 17.3. Схема автомата для резки проводов

обжига изоляции 3. В момент обжига провод фиксируют зажимом 2. После обжига изоляции провод с помощью мерного и прижимных роликов подают в зону резки, осуществляемую ножом 1. Обжиг изоляции и резку проводят при неподвижном проводе. Поводок 9 предназначен для облегчения сматывания провода с бухты.

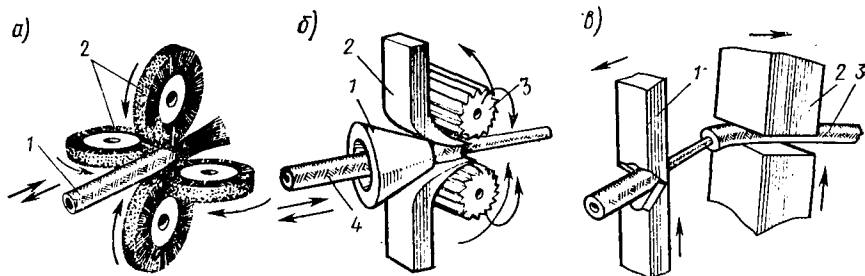


Рис. 17.4. Схемы установок для расчесывания экрана, кабеля, снятия экранирующей оплетки и изоляции с проводов

Для расчесывания экрана кабеля типа РК применяют установку (СО-10-23), работающую по схеме (рис. 17.4, а). Кабель 1 вводится в рабочую зону и расчесывается щетками 2. Снятие экранирующей оплетки проводов и кабелей выполняется на установке СЭ-1М (ГГ-1635), работающей по схеме (рис. 17.4, б).

Перемещением втулки 1 устанавливается расстояние между ножами 2 и жестко связанными с ними фрезами 3. Фрезы, вращаясь навстречу движению провода 4, загибают экранирующую оплетку, которая срезается, попадая в зазор между зубьями фрез и ножами. Круговой срез экранирующей оплетки обеспечивается радиальным вращением фрез и ножа вокруг провода.

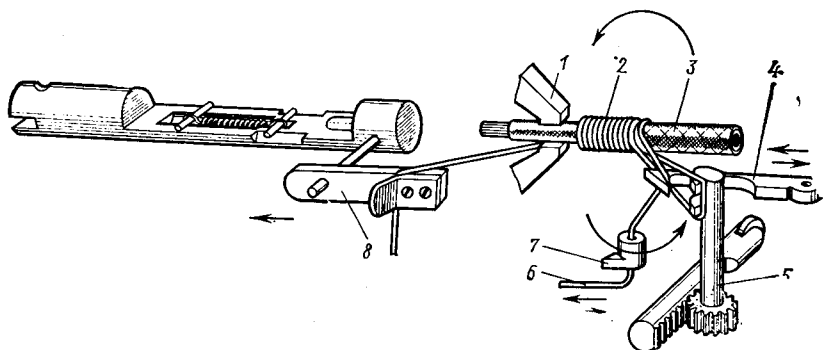


Рис. 17.5. Схема полуавтомата для наложения ниточного бандаж

Для снятия изоляции с проводов используется приспособление ГГ7885-4011, работающее по схеме (рис. 17.4, в). Обрабатываемый конец провода 3 вводится между разведенными ножами 1 и губками 2.

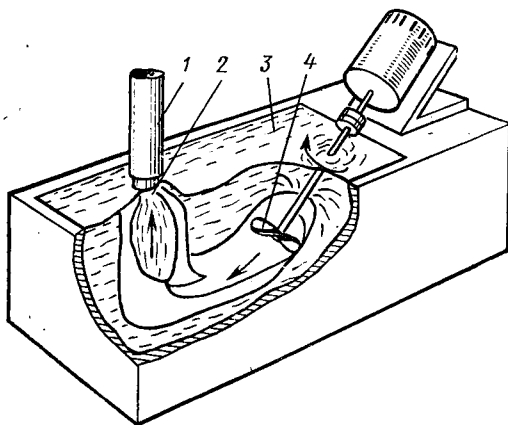


Рис. 17.6. Схема установки для лужения

Нижний нож и губки перемещаются последовательно вверх, провод фиксируется в губках, ножи надрезают его изоляцию. Затем ножи отходят от губок, снимают надрезанную изоляцию и вместе с губкой возвращаются в первоначальное положение, освобождая обработанный конец провода.

В отдельных видах монтажных работ на концы проводов наматывается бандаж из ниток (оклетневка), выполняемый полуавтоматом ГГ-1606, работающим по схеме

(рис. 17.5). Нитка 6, пропущенная через поводок 7, закрепляется на крючках захвата 5 и в зажиме 8. Вращаясь вокруг и перемещаясь вдоль неподвижного провода 3, закрепленного в губках 1, поводок прижимает нитку бандажом 2. Крючок 4 захватывает ее, затем протаскивает через специальную петлю и образует ви-

жок между крючками захвата; при этом зажим затягивает петлю под бандаж.

В процессе монтажа возникает необходимость в облуживании концов проводов и кабелей. Эта операция выполняется на установке АП-6 (ГГ-1688), работающей по схеме, приведенной на рис. 17.6. Лужение жил пучка монтажных проводов или кабеля 1 проводится погружением в волну припоя 2, создаваемую вращением крыльчатки 4 в ванне с припоем 3.

§ 17.4. ТЕХНОЛОГИЯ ПАЙКИ, ЛУЖЕНИЯ И ОБЖАТИЯ НАКОНЕЧНИКОВ

Наконечники на проводах закрепляют пайкой и обжатием. Пайка перед обжатием имеет следующие преимущества: достигается малое переходное сопротивление и его стабильность, а также хорошая механическая прочность. Однако обжатие дает некоторые технологические преимущества — малую трудоемкость, уменьшения количества оснастки и массы соединений; при обжатии не изменяется качество жилы и изоляции и, кроме этого, подобные соединения устойчивы к вибрациям.

Пайка наконечников к проводам выполняется паяльником при следующих условиях: масса стержня паяльника должна соответствовать сечению жилы припаиваемого провода, поэтому диаметр стержня паяльника (мм) [24]:

$$d \approx (1,5 \div 2) s,$$

где s — сечение провода, мм².

Мощность электропаяльника (Вт)

$$p = 10 s.$$

Температура паяльника при пайке должна быть на 50° С выше температуры плавления припоя.

Наконечники закрепляют обжатием по трубчатой части, в которую вставляют жилу, подвергаемую местному или общему сжатию. Надежность такого соединения зависит от шероховатости соединяемых поверхностей, величины давления при обжатии, а при местном обжатии от величины лунки инструмента.

В качестве основной характеристики соединения принимают коэффициент обжатия

$$k_{об} = S_1 / S_2,$$

где S_1 и S_2 — площадь жилы до и после обжатия, мм².

Обычно коэффициент обжатия принимают равным 1,33.

Удельная нагрузка обжатия

$$P = 1,06 \delta_T,$$

где δ_T — предел текучести материала.

Инструмент для обжатия может применяться как ручной, так и стационарный.

На рис. 17.7 показаны клещи ПК-1 для ручного обжатия наконечников на жилах проводов сечением 16—50 мм². При нажатии на рукоятку с силой 20 Н клещи развивают на пуансоне усилие до $2 \cdot 10^4$ Н. Клещи имеют сменные матрицы и пуансоны, позволяющие обжимать жилы различных сечений.

Стационарный инструмент, предназначенный для одновременно-го обжатия нескольких наконечников, применяется с гидравлической или пневматической системой. Для неразборных сплошных соединений жил и шин, а также для соединения жаростойких проводников применяется сварка или пайка.

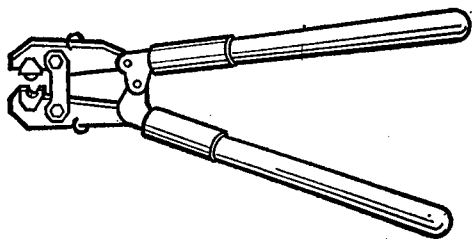


Рис. 17.7. Клещи ПК-1 для ручного обжатия

В технологический процесс пайки многопроволочной алюминиевой жилы входят следующие операции: зачистка конца жилы от изоляции; разводка конца жилы метелочкой; чистка и

обезжиривание в 5%-ном растворе щелочи при 50—60° С в течение 3—5 мин; промывка в горячей и холодной воде; нейтрализация в 10%-ном растворе азотной кислоты в течение 3 мин; лужение жилы в ультразвуковой ванне с припоем, состоящим из 80% олова и 20% цинка, при температуре $t = +300^\circ \text{C}$; время ультразвукового воздействия доходит до 10 с; обжатие жилы; напайвание наконечника в ванне обычным способом.

Качество паяных соединений проверяют визуальным осмотром — на отсутствие трещин, раковин, острых выступов припоя и наплывов флюса.

Поверхность пайки должна быть ровной, блестящей, без пор. Прочность пайки проверяют выборочно, а в необходимых случаях приложением усилия к каждому проводнику.

Для ответственных электроаппаратных изделий применяют технологическую тряску смонтированного изделия на вибростенде с частотой, заданной техническими условиями с последующей проверкой паяных соединений.

§ 17.5. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЖГУТОВ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Изготовление жгутов представляет собой процесс укладки и связывания группы проводников, расположенных в одной или трех плоскостях с подготовленными наконечниками для подсоединения к соответствующим элементам схемы или изделия.

В жгут объединяют проводники с токами промышленной частоты согласно его схеме. Провода, используемые в высокочастотных

устройствах, не объединяют в жгуты, так как при этом увеличивается емкость между проводниками.

В жгуты объединяют прямые и обратные проводники цепей переменного тока и тех цепей постоянного тока, вокруг которых требуется устранить магнитное поле.

Жгуты изготавливают с оболочкой для их крепления и экранирования, а также и без оболочки. Провода в них скрепляют непрерывным бандажом из хлопчатобумажных ниток (рис. 17.8), а для работы электросхемы при повышенной температуре — стеклянными нитками с последующей пропиткой бандажа воском или парафином; иногда их скрепляют лаком или клеем.

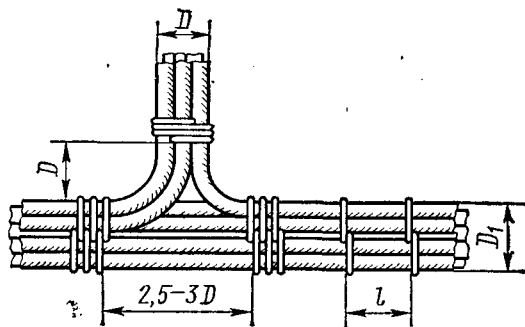


Рис. 17.8. Укладка проводов в виде жгута

Жгуты могут заключаться в оболочку — трубчатые, ленточные, полосовые и плетеные. Трубчатые оболочки могут быть мягкими и жесткими. Для мягких оболочек используют хлорвиниловые трубки. Жесткие трубчатые оболочки изготавливают из алюминиевых трубок, обеспечивающих сохранность монтажа при значительных механических усилиях; кроме того, они выполняют функции электрического экранирования.

Плетеную оболочку изготавливают из медной или алюминиевой плетенки, которая легко одевается на жгут, обеспечивая хорошее ее крепление и принятие любой формы, а также обладает экранирующим качеством. При монтаже металлическую плетенку подсоединяют к корпусу.

Ленточные оболочки выполняют из синтетической ленты или из ткани АЗТ — капроновая ткань с нитроцеллюлозным покрытием. Ленточная оболочка весьма технологична — она может быть уложена на жгут на любой его участок и в случае необходимости лента со жгута легко снимается.

Полосовые оболочки представляют собой чехол, сшиваемый вдоль жгута.

В пооперационную технологию изготовления жгутов входит подготовка по типу, расцветке и сечению, а также отрезка проводов заданной длины; укладка их в требуемом сочетании по шаблону; скрепление проводов вязкой или одеванием оболочки; прозвонка и маркирование; оконцовка проводов; контроль жгута.

Укладку проводов выполняют на плазах (рис. 17.9, а) для больших жгутов или на шаблонах для малых жгутов. Шаблон (рис. 17.9, б) представляет собой деревянную панель, на которой нанесена конфигурация жгута в натуральную величину. Концы жгута фикс-

сируют концевыми фиксаторами 1 и поворотными фиксаторами 2. Направление прокладки каждого проводника обеспечивается линией, нанесенной краской по шаблону при небольшом количестве проводников. При большом числе проводников прокладку ведут по чертежу или по таблице проводников, входящей в монтажную схему.

На шаблоне и плазе жгут 3, состоящий из отдельных проводников, связывается банджом 4. На концах проводников припаиваются или обжимаются наконечники и другие, контактирующие в данной электрической цепи элементы.

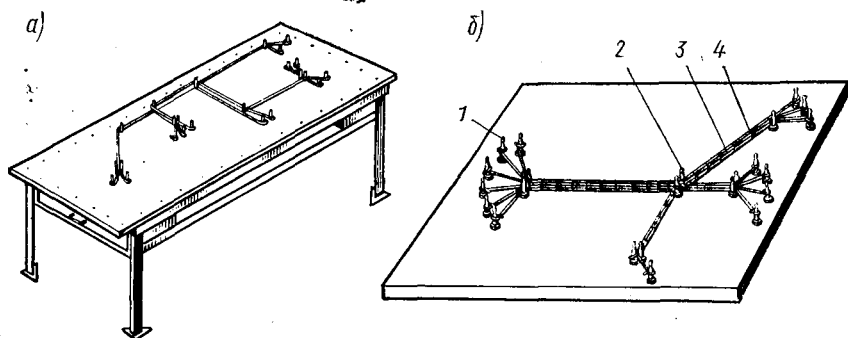


Рис. 17.9. Плаз и шаблон для укладки проводов в жгут

Технология электрических соединений. Электрические соединения в процессе монтажа осуществляются пайкой, сваркой, обжатием и винтовыми соединениями.

При выполнении паяных соединений сочленяемые поверхности очищают от загрязнений с нагревом места пайки на 50°C выше плавления припоя. При пайке применяют соответствующие флюсы. Оптимальное время пайки составляет 3—5 с. В некоторых электрических соединениях элементов схемы применяют сварку, обеспечивающую надежный электрический контакт и механическую прочность. Однако следует отметить, что сварка и пайка являются горячим видом соединений и имеют определенные недостатки, так как высокая температура изменяет свойства соединяемых металлов (сварка); кроме того, низка производительность труда и качество соединений зависит от индивидуальных особенностей исполнителя.

§ 17.6. ТЕХНИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОНТАЖА

В технический контроль электромонтажа входит визуальный осмотр соединений элементов схемы, проверка целостности соединений схемы и состояние ее изоляции. Целостность цепей и правильность их соединений проверяют прозвонкой, для чего используют тестеры, вольтметры и пробники.

Состояние изоляции определяют величинами ее сопротивления и электрической прочности. Сопротивление изоляции и электрическую прочность измеряют между всеми электрически разобщенными токоведущими элементами и между каждой из них и массой аппарата.

Сопротивление изоляции измеряют мегомметрами. Минимально допустимое сопротивление изоляции определяют техническими условиями или указаниями в монтажных схемах или чертежах.

Электрическую прочность изоляции проверяют по напряжениям, указанным в табл. 17.4 [24].

Таблица 17.4

Рабочее напряжение, В	Сопротивление изоляции, МОм		Испытательное напряжение, В	
	в нормальных условиях	при повышенной влажности	в нормальных условиях	при повышенной влажности
До 40	20	2	500	250
41—100	50	2	500	250
101—200	100	3	700	500
201—250	100	3	1000	500
500	150	5	1800	1000
1000	200	10	4000	2000

В табл. 17.4 приведены также данные по требуемому сопротивлению изоляции и испытательному напряжению в зависимости от рабочих напряжений.

Испытательному напряжению подвергается изделие в течение 10 с. При этом напряжение плавно повышается от нуля до заданного значения. Напряжение ΔU_K при определенном токе I пропорционально R_K , так как $\Delta U_K = IR_K$.

Показатели контактного соединения определяются отношением

$$R_l/R_n \leq \Delta U_K/\Delta U_n \leq a,$$

где R_n и ΔU_n — соответственно сопротивление и падение напряжения на проводе цепи, имеющей такую же длину, как и контактное соединение; $a \leq 0,5 \div 1$ — коэффициент для сварки, пайки и обжата; $a \leq 1 \div 1,2$ — для болтового соединения.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ СБОРКИ

§ 18.1. СОСТАВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ СБОРКИ ИЗДЕЛИЯ

Для многих электротехнических изделий технологический процесс сборки является заключительной операцией при их изготовлении. Исходными материалами для проектирования технологического процесса сборки служат сборочные чертежи сборочных единиц, технические условия, программа выпуска изделий на планируемый отрезок времени и руководящие указания по проектированию сборочных процессов (нормативы, оборудование, транспортные средства и др.).

Любое изделие содержит детали, из которых при сборке получают сборочные единицы и аппараты в целом.

Деталью называют элементарную часть изделия, изготавливаемую без применения сборки. Сборку, полученную из двух или нескольких деталей при любом способе их соединения, называют сборочной единицей.

В зависимости от последовательности соединения между собой сборку изделия (аппарата) можно разделить на отдельные ступени. Первая ступень — сборка сборочных единиц, состоящих только из деталей. Вторая ступень — сборка деталей с сборочными единицами первой ступени с другими сборочными единицами. Сборка деталей и сборочных единиц первой, второй, третьей и других ступеней образуют изделия (аппарат).

Число ступеней сборки указывает на сложность изделия и его расчлененность на сборочные единицы.

Сборочный состав изделия характеризуется коэффициентом расчлененности на сборочные единицы [2]:

$$k_y = N_y / N, \quad (18.1)$$

где N — общее количество деталей в изделии; N_y — общее количество узлов в изделии.

Технологические схемы и методы сборки. Технологический процесс сборки выполняют с учетом конструктивных и технологических требований на сборочные единицы и последовательность их сборки, а также конкретных производственных условий; при этом учитывают поставляемые полуфабрикаты другими предприятиями, комплекующие данное изделие. На основе этого составляют схему сборки изделия (рис. 18.1). В схеме все сборочные единицы детали вычерчивают условно в виде прямоугольников 1, 2, 3, 4, разделенных на три части, нумеруемые согласно номерам сборки (без входящих комплекующих полуфабрикатов, поступающих с других предприятий). Для деталей в нижней части прямоугольника указывают на

номер в спецификации чертежа общего вида или сборочной единицы; в средней части прямоугольника проставляют наименование и номер чертежа детали, а в верхней части — количество деталей, входящих в сборочную единицу.

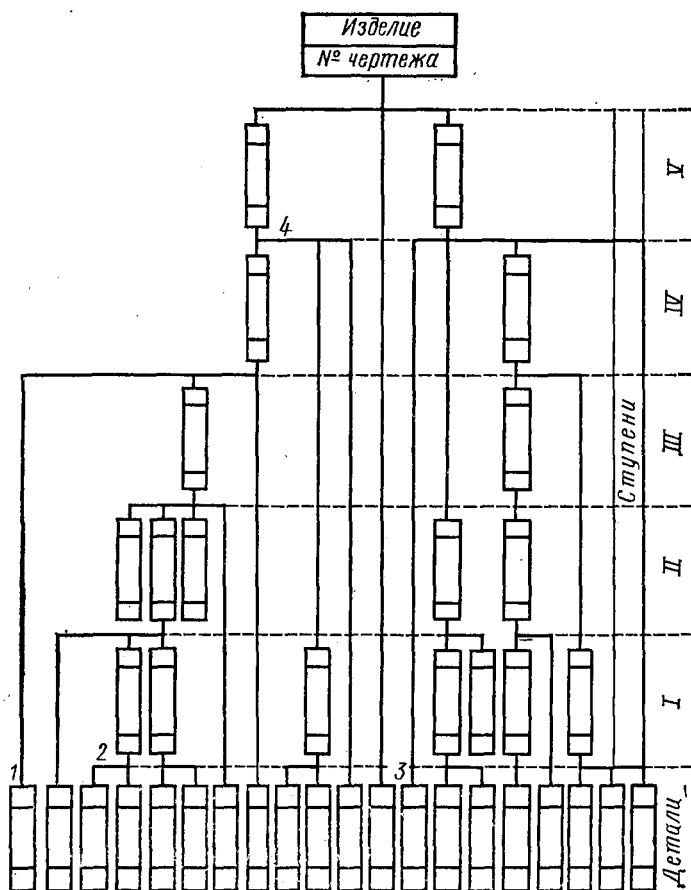


Рис. 18.1. Схема сборки изделия

В схемах сборки сложных изделий и сборочных единиц отдельные детали не указывают или указывают только основные — базовые детали. В этом случае детали находят по спецификации из чертежей сборочных единиц.

На основе схемы базового состава сборки иногда разрабатывают подробные этапы сборки сборочных единиц и изделия в целом.

Различают следующие методы сборки:

а) сборка по принципу пригонки, выполняемая путем доделки сопрягаемых деталей непосредственно в процессе их сборки. Указанный метод применяется в единичном производстве;

б) селективная сборка, дающая возможность получать сборочные единицы с хорошей точностью с использованием при этом подбора деталей, удовлетворяющих условиям их применения в сборочные единицы;

в) сборка по принципу полной взаимозаменяемости, являющаяся наиболее производительной, вследствие чего этот метод приме-

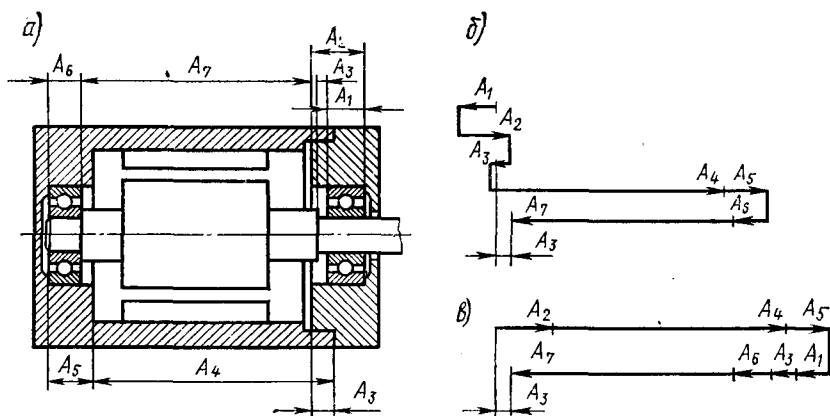


Рис. 18.2. Конструктивная схема

няется в серийном и массовом производствах. Сборку по принципу полной взаимозаменяемости производят без пригонки и подбора деталей с обеспечением при этом требований, указанных на чертеже и в технических условиях.

При выполнении сборочных соединений иногда производят геометрический расчет сопрягаемых размеров и их допусков — так называемый расчет размерных цепей, позволяющий определить величину ошибок, возникающих при сборке.

§ 18.2. РАСЧЕТ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

Технологический процесс, разработанный на сборку изделия, должен обеспечивать электрическую, физическую и размерную взаимозаменяемость, характеризующую одну или несколько деталей, координирующих относительное положение поверхностей или осей этих деталей. Основным свойством любой размерной цепи является ее замкнутость и взаимосвязанность.

Если размерную цепь рассматривать последовательно, начиная от какого-либо звена к следующему сопрягаемому, то эта цепь приведет к начальному звену. Рассмотрим линейные размерные цепи, звенья которых одномерны и расположены параллельно друг другу.

Линейные размерные цепи. На рис. 18.2 приведена конструктивная схема, на которой в качестве замыкающего звена примем осевой зазор A_3 , величина которого зависит от размеров составляю-

щих звеньев $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7$. Исходя из условий замкнутости размерной цепи, номинал замыкающего звена A_3 определяем как разность размеров двух групп звеньев — звеньев с возрастанием размеров, от которых размер A_3 увеличивается (увеличивающие звенья), и звеньев, с возрастанием которых размер A_3 уменьшается (уменьшающие звенья). При практических расчетах производят построение схемы размерной цепи, в которой увеличивающие звенья откладывают в одном направлении, а уменьшающие звенья — в противоположном.

Размерная цепь изделия (рис. 18.2, а) представляет последовательное построение размера замыкающего звена (рис. 18.2, б). Для более наглядного разделения увеличивающих и уменьшающих звеньев применяют схему (рис. 18.2, в), на которой на одной линии откладывают все увеличивающие, а на другой все уменьшающие звенья.

С учетом данных (рис. 18.2) [2] получаем

$$A_3 = \sum_s A_s - \sum_t A_t, \quad (18.2)$$

где s — суммируемые увеличивающие звенья; t — суммируемые уменьшающие звенья.

Если в уравнение (18.2) вместо номиналов подставить максимальные значения размеров всех увеличивающих звеньев и минимальные значения всех уменьшающих, то получим максимальное значение замыкающего звена:

$$(A_3)_{\max} = \sum_s (A_s)_{\max} - \sum_t (A_t)_{\min}. \quad (18.3)$$

При подстановке в формулу (18.2) минимальных значений размеров всех уменьшающих звеньев величина замыкающего звена

$$(A_3)_{\min} = \sum_s (A_s)_{\min} - \sum_t (A_t)_{\max}. \quad (18.4)$$

Предельная величина замыкающего звена равна разности между его максимальным и минимальным значениями:

$$\begin{aligned} \Delta A_3 = (A_3)_{\max} - (A_3)_{\min} &= \left[\sum_s (A_s)_{\max} - \sum_s (A_s)_{\min} \right] + \\ &+ \left[\sum_t (A_t)_{\max} - \sum_t (A_t)_{\min} \right] = \sum_s \Delta A_s + \sum_t \Delta A_t = \sum_i \Delta A_i, \end{aligned} \quad (18.5)$$

где i — суммирующая всех составляющих звеньев размерной цепи.

Заменяя отклонения составляющих размеров допусками на них, имеем

$$\delta_3 = \sum_i \delta_i, \quad (18.6)$$

где δ_3 и δ_i — допуски на замыкающие и составляющие звенья соответственно.

Произведем числовой пример расчета на максимум и минимум размерной цепи (рис. 18.2) по размерам всех составляющих звеньев, приведенных в табл. 18.1, где α — коэффициент относительной асимметрии; R — коэффициент относительного рассеивания.

Таблица 18.1

Звено	Размер звеньев	α	R	Примечания
A_1	$8_{-0,1}$	$-0,2$	$1,2$	Закон Гауса
A_2	$11_{+0,24}$	0	1	
A_3	$5_{+0,12}$	$0,4$	$1,3$	
A_4	$49_{+0,34}$	0	$1,22$	Закон Симпсона
A_5	$9_{+0,2}$	$-0,4$	$1,6$	
A_6	$8_{-0,1}$	$-0,2$	$1,2$	
A_7	$47,6_{-0,34}$	$0,2$	$1,1$	

Применяя числовые значения (табл. 18.1), получаем максимальные и минимальные значения размеров замыкающего звена:

$$(A_3)_{\max} = (11,24 + 49,34 + 9,2) - (7,9 + 5 + 7,9 + 47,26) = 1,72 \text{ мм};$$

$$(A_3)_{\min} = (11 + 49 + 9) - (8 + 5,12 + 8 + 47,6) = 0,28 \text{ мм}.$$

Допуск на замыкающее звено

$$\delta_3 = (A_3)_{\max} - (A_3)_{\min} = \sum_i \delta_i = 1,44 \text{ мм}.$$

Размерные цепи, связанные с расчетами плоскостных, кинематических и электрических цепей, описаны в [2].

§ 18.3. ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ФОРМЫ СБОРКИ

Организационная форма сборки зависит главным образом от объема выпускаемых изделий. В индивидуальном и мелкосерийном производствах при выпуске сравнительно большой номенклатуры изделий и относительно небольших партий затраты, связанные с применением механизации и автоматизации, не всегда оправдываются. Поэтому на этих производствах применяют индивидуальную форму сборки, выполняемую на одном рабочем месте с незначительной механизацией сборочных работ. К такому способу сборки можно отнести аппараты, имеющие значительные габариты и массу: воздушные выключатели, замыкатели, комплектные устройства и др. Общую сборку этих аппаратов обычно проводят под мостовым краном на одном рабочем месте группой слесарей-сборщиков из изготовленных и испытанных сборочных единиц, как, например, сосуда для сжатого воздуха, пневматического блока для управления

выключателем, делителей напряжения и других элементов аппарата.

В условиях мелкосерийного и серийных производств целесообразно применять групповые методы сборки аппаратов — контакторы, пускатели, реле и т. п. Внедрение групповых методов дает возможность повысить уровень механизации и автоматизации сборки с созданием условия для организации поточных методов производства.

Поточные методы работы определяют разбивку на операции производственного процесса, при котором рабочие места располагают по ходу сборки. На каждом из них выполняют одну или несколько операций, продолжительность которых равняется ритму, т. е. времени между двумя последовательными выпусками одинаковых изделий. При такой организации сборки сокращается длительность производственного цикла изготовления изделий с использованием при этом необходимых средств механизации и автоматизации.

В поточной линии технологический маршрут сборки проходит последовательно через все рабочие места, оснащенные оборудованием, инструментами и приспособлениями, позволяющими проводить сборочные операции любой группы аппаратов.

При групповом методе сборки аппаратов небольших масс целесообразно применять цепной конвейер непрерывного действия. Для сборки аппаратов крупногабаритных размеров и масс можно применять конвейер подвижного пульсирующего типа.

При групповой поточной конвейерной сборке себестоимость продукции по сравнению с индивидуальной сборкой значительно снижается, а капитальные работы, связанные с внедрением конвейерной сборки, окупаются сравнительно за небольшой период.

Выбор количества потоков сборки аппарата принимают, исходя из необходимого ритма выхода готового изделия [31]:

$$t_p = (F - F_1)(1 - \eta) / (N + N_1),$$

где t_p — ритм выхода готового изделия; F — фонд работы поточной линии; F_1 — потери времени, связанные с появлением дефектных узлов в процессе сборки; N — программа выпуска изделий; N_1 — число дефектных изделий; η — коэффициент, показывающий потери времени из-за остановки транспортных средств.

Сопоставляя время сборки t_c изделия, согласно технологическому процессу, с необходимым ритмом готового изделия t_p , устанавливают количество потоков K :

$$K = t_c / t_p.$$

Сборку изделий проводят последовательным, параллельно-последовательным и параллельным способами. При последовательном способе время сборки больше, чем при параллельном.

В общем случае при числе деталей и узлов n , входящих в сборку, и количестве деталей и сборочных единиц, монтаж которых совмещен по времени n_c , время сборки [31]

$$t_c = \sum_{i=1}^{n-n_c} \max_{i \leq n} t_i + t_n,$$

где t_i — время монтажа n -й сборочной единицы; i — номер детали или узла по порядку; t_n — несовмещенное время сборки, включаю-

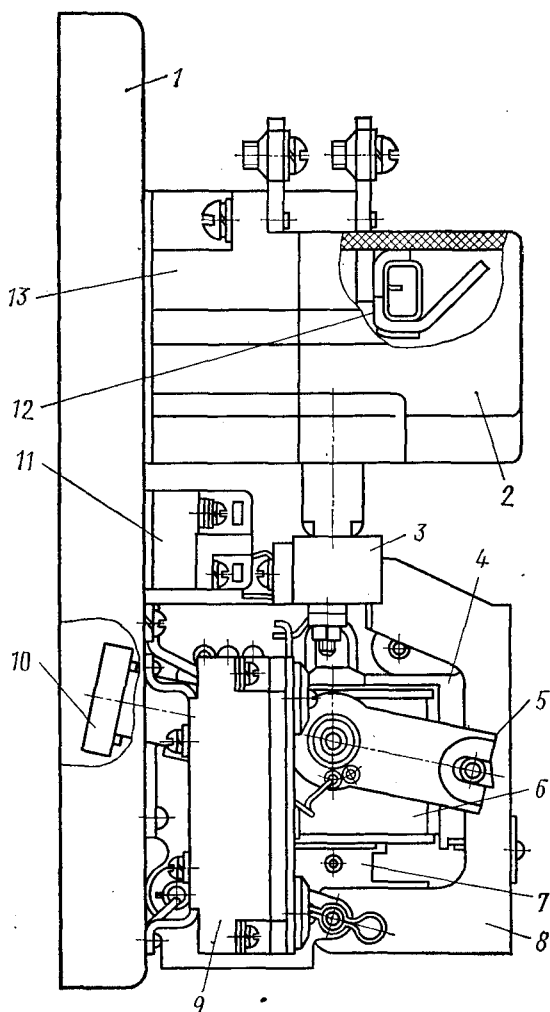


Рис. 18.3. Технология сборки контактора серии КМ-2000

щее в себя последовательные переходы при транспортировке и съема готового изделия.

Сборка контактора серии КМ-2000. Контакторы предназначены

для коммутации силовых и управляющих цепей в комплектных пусковых устройствах постоянного тока напряжением до 320 В в переменного тока напряжением до 380 В с частотой 50 Гц (рис. 18.3).

Достоинством этой серии является ее типовая конструкция, позволяющая ввести типовую технологию на всех технологических операциях. Контактторы содержат четыре основных узла — основание, подвижную систему, дугогасительную камеру и вспомогательные контакты.

В основание входит опора 1 с Г-образной стойкой для крепления электромагнитной системы и скобы для крепления вспомогательных контактов. Все соединения выполнены неразъемными (заклепочными). Подвижная система состоит из якоря 7, скобы 8 с закрепленной на ней планкой 3. На планке 3 крепятся подвижные узлы главных и вспомогательных контактов 11. Скоба 8 связана с якорем 7 и шарнирно уравнивается грузом 10 посредством рычага 5.

Дугогасительная камера состоит из основания 13, крышки 2 и главных неподвижных контактов 12. Основание 13 и крышка 2 изготовлены из дугостойкой пластмассы. Электромагнитная система, расположенная на основании 9, состоит из сердечника 4, якоря 7 и втягивающей катушки 6, изготовленной на каркасе, отпрессованном из пластической массы; сердечник и якорь шихтованные. Все металлические части контактора за исключением груза 10 выполнены из листовых металлов методом холодной штамповки, неметаллические — прессованием из соответствующих пластмасс.

Сборку узлов камеры дугогашения и вспомогательных контактов производят на конвейере, оснащенный электрическими шуруповертами, пневматическими гайковертами, пневмовибрационными приспособлениями для сборки пластмассовых деталей с помощью трубчатых заклепок.

Для общей сборки контакторов применяется шаговый тележечный конвейер, работа на котором производится бригадным методом. Собираемые контакторы расположены на тележках конвейера; рабочие места оснащены оборудованием для проведения сборочных и измерительных операций.

Технологический процесс сборки контактора разбит на отдельные операции, закрепленные за определенным рабочим местом. На каждом рабочем месте проводится сборка и регулировка сборочных единиц. В конце конвейера имеется испытательный стенд, на котором контакторы проверяются на четкость срабатывания, контролируется сопротивление изоляции катушки и камеры дугогашения путем подачи напряжения, равного $0,8 U_{ном}$, и затем контакторы, прошедшие испытания, поступают на упаковочный участок.

В процессе освоения выпуска новых аппаратов выполняют некоторые исследовательские работы, связанные с надежностью их эксплуатации. Исследуются отбросы контактов вследствие упругой деформации соударяющихся контактов, а также под воздействием электродинамических сил, возникающих при протекании через них

тока. Проверяется износоустойчивость контактов, одновременность из замыкания, измеряется контактное падение напряжения и др.

Методика проведения перечисленных исследований приведена в [29].

Исходя из условий эксплуатации контакторов, стандартом определены так называемые категории их применения, приведенные в табл. 18.2, характеризующие кратности токов и напряжений при включении и выключении относительно номинального тока, напряжения и коэффициента мощности.

Из анализа условий работы контакторов при коммутации электродвигателей видно, что наряду с обычными условиями работы иногда возникают ненормальные, т. е. более тяжелые режимы работы, чем обычные. Так, например, в наиболее часто встречающихся случаях работы контактора — включение асинхронного

Таблица 18.2

Категория применения контакторов	Характеристика нагрузки и режим работы
A_1	Неиндуктивная или слабониндуктивная печь сопротивления
A_2	Пуск электродвигателя с фазовым ротором; торможение противотоком
A_3	Пуск электродвигателей с короткозамкнутым ротором; отключение вращающегося электродвигателя
A_4	Пуск электродвигателя с короткозамкнутым ротором; отключение неподвижного или медленно вращающегося электродвигателя

короткозамкнутого двигателя с неподвижного состояния и его отключение по достижении номинальной скорости вращения. Возможен случай, когда двигатель должен быть отключен при его разгоне и тут же включен.

Учитывая приведенные условия эксплуатации, контактор должен быть испытан в режиме нормальной коммутации и режиме редко встречающихся коммутаций.

В табл. 18.3 приведены значения коммутирующего тока, напряжения главной цепи и коэффициента мощности для различных нагрузок [29].

Испытания контактора согласно значениям тока и напряжения (табл. 18.3) считаются удовлетворительными, если контактор правильно работает во всех циклах или коммутационных операциях, при этом не наблюдается установившаяся дуга или ее переброс между полюсами и на части, не находящиеся под напряжением, а также отсутствует повреждение изоляционных частей. Такой контактор считается пригодным к работе в номинальных режимах с последующим проведением чистки контактов и дугогасительных устройств.

Таблица 18.3

Категории применения контакторов	Режимы нормальных коммутаций						Режимы редких коммутаций					
	включение			отключение			включение			отключение		
	коммутируемый ток, А	напряжение, В	коэффициент мощности	коммутируемый ток, А	напряжение, В	коэффициент мощности	коммутируемый ток, А	напряжение, В	коэффициент мощности	коммутируемый ток, А	напряжение, В	коэффициент мощности
A ₁	$I_{н.р}$	$U_{н.р}$	0,95	$I_{н.р}$	$U_{н.р}$	0,95	—	—	—	—	—	0,65
A ₂	$2,5I_{н.р}$	$U_{н.р}$	0,65	$2,5I_{н.р}$	$U_{н.р}$	0,65	$4I_{н.р}$	$1,1U_{н}$	0,65	$4I_{н}$	$1,1U_{н}$	0,65
A ₃	$6I_{н.р}$	$U_{н.р}$	0,35	$I_{н.р}$	$0,17U_{н.р}$	0,35	$10I_{н}$	$1,1U_{н}$	0,35	$8I_{н}$	$1,1U_{н}$	0,35
A ₄	$6I_{н.р}$	$U_{н.р}$	0,35	$6I_{н.р}$	$U_{н.р}$	0,35	$10I_{н}$	$1,1U_{н}$	0,35	$8I_{н}$	$1,1U_{н}$	0,35

Более подробные сведения по испытанию контакторов и других электрических коммутационных аппаратов изложены в программах и методике испытания контакторов ГОСТ 11206—70, 9098—70, 8024—69, 687—70, 12450—73 и др.

Технический контроль электроаппаратов. Изготовленные электроаппараты, выключатели, автоматы, контакторы и другие должны подвергаться испытаниям согласно техническим условиям на данный вид электроаппаратуры.

В объем испытаний входят контрольные и типовые испытания.

Контрольным испытаниям подвергается каждый изготовленный предприятием электроаппарат в объеме требований чертежей и технических условий.

Типовым испытаниям подвергается один электроаппарат из вновь изготавливаемой серии с освоением технологией производства. Электроаппараты испытываются в полном или сокращенном объеме при изменении конструкции, применяемых материалов или при изменении технологии производства, если эти изменения могут оказать влияние на характеристики и параметры электроаппарата.

Типовые испытания в полном объеме проводятся по программе, включающей следующие виды испытаний и проверок:

Проверку на соответствие требованиям сборочного чертежа, испытание на механическую работоспособность, электрическую прочность изоляции, испытание на нагрев, на стойкость при сквозных токах короткого замыкания, к воздействию климатических факторов внешней среды, испытание на коммутационную способность, на надежность по механическому ресурсу.

Описанные испытания должны выполняться по методике, изложенной в ГОСТах (ГОСТ 11206—70, ГОСТ 9098—70, ГОСТ 37—78).

Следует отметить, согласно ГОСТ 637—78, допускается засчитывать испытания, проведенные на опытном образце, в качестве

типовых испытаний, если опытный образец изготовлен по технологии, предусмотренной для серийного производства.

На все виды проводимых испытаний оформляют соответствующие протоколы.

К каждому электроаппарату, прошедшему испытания и принятому отделом технического контроля, прикладывают соответствующий технический паспорт с описанием электроаппарата, принципом его работы и инструкцией для его эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Некрасов С. С., Зильberman Г. М. Технология материалов. — М.: Машиностроение, 1974.
2. Гаврилов А. Н., Ушаков Н. Н., Цветков Н. М. Технология авиационного электрооборудования. — М.: Оборонгиз, 1963.
3. Сомов Н. С. Композиция в технике. — М.: Машиностроение, 1977.
4. Веселовский С. Н. Разрезка материалов. — М.: Машиностроение, 1973.
5. Евсеев Т. Б., Глизманенко Д. А. Оборудование и технология газопламенной обработки металлов и неметаллических материалов. — М.: Машиностроение, 1974.
6. Михайлов-Тепляков В. А., Богданов М. Н. Автоматизированная лазерная резка материалов. — М.: Машиностроение, 1976.
7. Специальные виды литья/Степанов Ю. А., Анучина М. Г., Баландин Г. Ф., Константинов Л. С. — М.: Машиностроение, 1970.
8. Вольдек А. И. Индукционные магнитогидродинамические машины с жидким рабочим телом. — Л.: Энергия, 1967.
9. Труды ВНИИ ТВЧ. Промышленное применение токов высокой частоты, вып. 8. Л. — М.: Машиностроение, 1967.
10. Делимарский Ю. К., Фишман И. Р., Зарубицкий О. Т. Электрохимическая очистка отливок в ионных расплавах. — М.: Машиностроение, 1976.
11. Безручко И. И., Зубцов М. К., Балакина Л. Н. Обработка материалов давлением. — М.: Машиностроение, 1967.
12. Гулого Г. А. Оборудование и технологические процессы с использованием электрогидравлического эффекта. — М.: Машиностроение, 1977.
13. Попилов Л. Я. Справочник по электрическим и ультразвуковым методам обработки материалов. — М.: Машиностроение, 1971.
14. Детали машин. Справочник/Под редакцией Н. С. Ачеркана. — М.: Машиностроение, 1968.
15. Степанов В. В. Справочник сварщика. — М.: Машиностроение, 1974.
16. Гилевич В. А. Технология и оборудование рельефной сварки. — М.: Машиностроение, 1976.
17. Николаев Г. А., Ольшанский Н. А. Специальные методы сварки. — М.: Машиностроение, 1975.
18. Раковский В. С., Саклинский В. В. Порошковая металлургия в машиностроении. — М.: Машиностроение, 1973.
19. Тодоров Р. П., Кюнстлер Л. Н., Бакалов Г. И. Биметаллические контакты. — М.: Металлургия, 1976.
20. Филатов В. И. Технологическая подготовка производства пластмассовых деталей. — М.: Машиностроение, 1976.
21. Мишкович Р. И., Гауптман А. Г. Термическое оксидирование магнитно-мягких сплавов. — М.: Машиностроение, 1973.
22. Серебrenицкий П. П., Чехов В. Н. Механизация и автоматизация намоточных работ в электроприборостроении. — М.: Энергия, 1965.

23. Блаут-Блачева В. Н., Волоснов А. П., Смирнов Г. В. Технология производства радиоаппаратуры. — М.: Энергия, 1972.
24. Любимов М. Л. Спаи металла со стеклом. — М.: Энергия, 1968.
25. Сахаров П. В. Технология электроаппаратостроения. — М.: Энергия, 1965.
26. Библиотека технолога радиоэлектронной аппаратуры, вып. 9. Автоматизация пайки печатных плат. — М.: Энергия, 1976.
27. Сузанович Ю. Д. Технологическая подготовка производства с применением средств вычислительной техники. — Л.: ЛМИ, 1978.
28. Кнозоров Б. В. Технология металлов. — М.: Metallurgy, 1978.
29. Дзербитский С. Испытания электрических аппаратов. — М.: Энергия, 1977.
30. Технология производства электрических аппаратов управления и защиты/Волков А. В., Звягин П. П., Куксенюк П. Ф. и др. — М.: Энергия, 1977.
31. Ямпольский А. М., Ильин В. А. Краткий справочник гальванотехника. — Л.: Машгиз, 1962.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава 1. Основные сведения о технологическом процессе и его проектировании	4
§ 1.1. Производственный процесс и его составляющие	4
§ 1.2. Техническая и технологическая подготовка производства к выпуску новых изделий	6
§ 1.3. Типизация и экономический анализ технологических процессов	7
§ 1.4. Краткие сведения о технической эстетике в промышленности	10
Глава 2. Основы технологической подготовки производства с применением средств вычислительной техники	11
§ 2.1. Использование ЭВМ для проектирования технологических процессов	11
§ 2.2. Кодирование исходных данных и последовательность выполнения работ для автоматической подготовки технологии	13
Глава 3. Технология резки заготовок	15
§ 3.1. Резка заготовок из профильного проката	15
§ 3.2. Резка заготовок из листового проката	17
§ 3.3. Машина для разделительной резки	20
§ 3.4. Основы технологии лазерной резки	22
Глава 4. Технология литья	24
§ 4.1. Литье в песчано-глинистые и оболочковые формы	24
§ 4.2. Литье в металлические формы	26
§ 4.3. Центробежное литье	32
§ 4.4. Литье постоянных магнитов. Закалка и намагничивание	34
Глава 5. Технология изготовления заготовок давлением	38
§ 5.1. Свободная ковка и применяемое оборудование	38
§ 5.2. Горячая объемная штамповка	41
Глава 6. Основы холодной листовой штамповки	44
§ 6.1. Штамповка деталей вырубкой	44
§ 6.2. Штамповочно-гибочные операции	48
§ 6.3. Вытяжка	52
§ 6.4. Электрогидравлическая и магнитопульсная штамповка	59
Глава 7. Основы обработки металлов резанием	62
§ 7.1. Припуск на обработку	62
§ 7.2. Понятие о базах и их выборе	62
§ 7.3. Точность обработки деталей резанием	64
§ 7.4. Типовые методы обработки деталей резанием	67
§ 7.5. Применение станков с числовым программным управлением при металлообработке	79

Глава 8. Основы технологии изготовления пружин	82
§ 8.1. Материалы, применяемые при изготовлении пружин	82
§ 8.2. Изготовление цилиндрических пружин	82
§ 8.3. Изготовление спиральных ленточных пружин	88
§ 8.4. Изготовление листовых плоских пружин	89
§ 8.5. Изготовление тарельчатых пружин	90
Глава 9. Основы технологии сварки	92
§ 9.1. Металлы, применяемые в конструкциях, выполняемых сваркой	92
§ 9.2. Электродуговая ручная сварка	93
§ 9.3. Электродуговая автоматическая сварка под флюсом	94
§ 9.4. Электродуговая сварка в среде защитных газов	96
§ 9.5. Электрическая контактная сварка	98
§ 9.6. Специальные методы сварки	100
Глава 10. Технология электрических контактных соединений	104
§ 10.1. Разновидности контактов, применяемые для них металлы и способы изготовления	104
§ 10.2. Изготовление металлокерамических контактов	107
§ 10.3. Основы технологии биметаллических контактов	111
Глава 11. Технология поверхностных покрытий	116
§ 11.1. Виды покрытий и подготовка для них деталей	116
§ 11.2. Гальванопокрытия	120
§ 11.3. Химические покрытия	121
§ 11.4. Окраска и сушка изделий	126
Глава 12. Основы технологии переработки пластмасс в изделия	129
§ 12.1. Краткая характеристика пластмасс	129
§ 12.2. Прямое компрессионное и литьевое прессование	129
§ 12.3. Литье пластмасс под давлением и вакуумом	132
§ 12.4. Оборудование и пресс-формы, применяемые для изготовления деталей из пластмасс	135
Глава 13. Технология изготовления магнитопроводов	138
§ 13.1. Ферромагнитные материалы, магнитопроводы и их изготовление	138
§ 13.2. Изготовление шихтованных пластинчатых магнитопроводов	140
§ 13.3. Изготовление ленточных магнитопроводов	144
§ 13.4. Изготовление прессованных магнитопроводов	149
§ 13.5. Технический контроль магнитопроводов	151
Глава 14. Технология изготовления обмоток	153
§ 14.1. Классификация и конструктивные исполнения обмоток	153
§ 14.2. Провода для намотки катушек	157
§ 14.3. Намоточные станки и технология намотки катушек	158
§ 14.4. Способы защиты катушек с обмотками от воздействия внешней среды	164
Глава 15. Технология металлосоединений с изоляторами	168
§ 15.1. Металлосоединения с изоляторами с использованием сплавления. Термокомпрессионное металлокерамическое сплавление	168

§ 15.2. Получение согласованных металлостеклянных спаев . . .	171
§ 15.3. Технология сплавления несогласованного металлостеклянного спая	173
§ 15.4. Армирование фарфоровых изоляторов	174
Глава 16. Основы технологии печатного электро монтажа	176
§ 16.1. Изготовление и нанесение рисунка схемы на основания	176
§ 16.2. Методы получения электросхем на основаниях	178
§ 16.3. Монтаж и пайка элементов на печатном основании . . .	181
§ 16.4. Многослойный печатный монтаж	184
§ 16.5. Защитные покрытия печатных оснований и технологический контроль	188
Глава 17. Основы технологии монтажа электротехнических аппаратов .	189
§ 17.1. Техническая документация для проведения монтажа . .	189
§ 17.2. Материалы и провода, используемые при монтаже . . .	191
§ 17.3. Инструменты и оборудование, применяемые при монтаже	191
§ 17.4. Технология пайки, лужения и обжата наконечников . .	195
§ 17.5. Технология изготовления жгутов и электрических соединений	196
§ 17.6. Технический контроль электрического монтажа	198
Глава 18. Технологические процессы сборки	200
§ 18.1. Составные элементы и технологические схемы сборки изделия	200
§ 18.2. Расчет размерных цепей	202
§ 18.3. Организационные формы сборки	204
Литература	211

Иван Васильевич Зайцев

ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОАППАРАТОСТРОЕНИЯ

Зав. редакцией *Н. И. Хрусталева*
Редактор *З. Г. Овсянникова*
Мл. редакторы *С. Ф. Шабарина, Т. Ф. Артюхина*
Худ. редактор *Т. А. Дурасова*
Техн. редактор *А. К. Нестерова*
Корректор *В. А. Орлова*

ИБ № 2681

Изд. № Стд — 331. Сдано в набор 22.09.81. Подп. в печать 18.01.82.
Т-02210. Формат 60×90¹/₁₆. Бум. тип. № 3. Гарнитура литературная.
Печать высокая. Объем 13,5 усл. печ. л. Усл. кр.-отт. 13,5 13,41 уч.-изд. л.
Тираж 11 000 экз. Зак. № 2350. Цена 70 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.