

М. В. Антонов, Л. С. Герасимова

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Допущено Министерством высшего и среднего специального образования СССР в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по специальности «Электрические машины».



МОСКВА ЭНЕРГОИЗДАТ 1982

ББК 31.261

А 72

УДК 621.313.002.2(075.8)

Рецензенты: кафедра электрических машин ХПИ,
А. А. Рабинович

Антонов М. В., Герасимова Л. С.

А 72 Технология производства электрических машин:
Учеб. пособие для вузов. — М.: Энергоиздат,
1982. — 512 с., ил.

В пер.: 1 р. 30 к.

Изложены технологические процессы производства электрических машин и силовых трансформаторов. Рассмотрены технологические процессы штамповки и сборки магнитных систем, изготовления обмоток и изоляции, коллекторов, технологические процессы механической обработки, сварки баков трансформаторов, сборки и испытания машин и трансформаторов, описаны характерные особенности производства крупных электрических машин и мощных высоковольтных трансформаторов.

Предназначена в качестве учебного пособия при изучении курса «Технология электромашиностроения» студентами вузов.

А 2302030000-225
051(01)-82 142-82

ББК 31.261

6П2.1.081

© Энергоиздат, 1982.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Электротехническая промышленность является материальной основой электрификации страны, автоматизации и механизации производственных процессов, ускорения темпов технического прогресса во всех отраслях народного хозяйства. Повышение качества, технического уровня, надежности, долговечности электротехнических изделий — важные факторы интенсификации общественного производства.

Решениями XXVI съезда КПСС перед работниками электротехнической промышленности поставлены задачи по дальнейшей интенсификации производства, повышению производительности труда, увеличению съема продукции с каждого квадратного метра производственной площади. Большие резервы роста производительности труда и совершенствования конструкций таятся в применении новых прогрессивных технологических процессов, механизации и автоматизации производства, лучшей организации труда и всего производственного процесса.

Производство электрических машин и трансформаторов в 60—70-х годах характеризуется значительным повышением механизации и автоматизации технологических процессов. Освоенные промышленностью новые серии электрических машин и трансформаторов производятся на специализированных предприятиях с широким использованием автоматических установок и линий. Освоен ряд новых материалов, позволивших механизировать технологические процессы.

Наибольшие успехи достигнуты на заводах, производящих в массовом или крупносерийном производстве асинхронные электродвигатели серии 4А. При проектировании и подготовке производства серии 4А в стране была создана мощная научно-исследовательская технологическая база. Огромный вклад в развитие технологии производства массовых серий машин постоянного тока и асинхронных внесли Всесоюзный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт технологии электромашиностроения (ВНИИТЭлектромаш, г. Харьков) в области специальных процессов, Всесоюзный проектно-конструкторский институт технологии электротехнического производства (ВПТИэлектро, г. Ленинград) в области общемашиностроительных процессов; Бакинское отделение ВНИИТЭлектромаш в области штамповки магнитопр-

водов; Всесоюзный научно-исследовательский, проектно-конструкторский институт технологии электрических машин малой мощности (ВНИИТМЭ, г. Тбилиси) в области производства малых машин. Разработку новых прогрессивных технологических процессов и оборудования для трансформаторов осуществляет Всесоюзный научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт трансформаторостроения (ВИТ, г. Запорожье).

Ведущими научно-исследовательскими и проектно-технологическими институтами разработаны типовые технологические процессы и специальное технологическое оборудование, что позволяет резко сократить время технологической подготовки производства и трудоемкость выпускаемых изделий. Для изготовления специального технологического оборудования построены и введены в строй специализированные предприятия.

Механизация трудоемких технологических процессов в мелкосерийном и единичном производстве осуществляется оборудованием с программным управлением и быстроперенастраиваемыми манипуляторами (роботами).

Учебные институты на кафедрах электрических машин начали подготовку инженеров-технологов электромашиностроения, а также усилили технологическую подготовку инженеров-конструкторов.

Предлагаемое учебное пособие составлено в соответствии с новой программой общего курса «Технология электромашиностроения», читаемого в Московском энергетическом институте. В пособии основное внимание уделяется машинам средней мощности, выпускаемым в массовом и крупносерийном производстве и имеющим наибольшую степень автоматизации и механизации технологических процессов. При рассмотрении крупных электрических машин, турбо- и гидрогенераторов излагаются в основном специальные технологические процессы и особенности изготовления этих машин.

В настоящее время перед технологами стоят задачи не только улучшения технологии и технологического оборудования для повышения производительности труда, но и создания новых технологических процессов и технологического оборудования, позволяющих совершенствовать конструкции машин и трансформаторов. Тесное сотрудничество конструкторов и технологов при разработке новых изделий и подготовке их производства является совершенно необходимым условием как для повышения эффективности производства, так и для получения наиболее экономичных изделий. Поэтому в книге описаны не только специальные, но и общемашиностроительные технологические процессы.

В общемашиностроительных технологических процессах рассматриваются прогрессивные процессы получения заготовок для электрических машин и трансформаторов литьем, сваркой, ковкой, прессовкой и т. п., а также их последующая механическая обработка, а в специальных — основные технологические процессы,

применяемые в электромашиностроении. Основное внимание уделено специальным процессам.

Избегая давать готовые рецепты, авторы привели некоторые типовые технологические процессы с указанием режимов для лучшего ориентирования студентов при изучении курса.

Главы в учебном пособии расположены в порядке следования операций технологического процесса изготовления машин и трансформаторов. При рассмотрении технологических процессов обращается внимание на их влияние на технико-экономические показатели изделий и приводятся данные, улучшающие эти показатели.

В книге обобщен опыт, накопленный ведущими электромашиностроительными и трансформаторостроительными заводами. Книга иллюстрирована чертежами и рисунками оборудования, приспособлений и инструментов, применяемых в производстве электрических машин и трансформаторов.

Работа между авторами была распределена следующим образом: гл. 1, 2, 4, 5-я, § 6.1, 6.3, гл. 7, кроме § 7.6, гл. 8—25 написаны М. В. Антоновым; § 6.2, 7.6, гл. 26—33 — Л. С. Герасимовой; гл. 3 написана совместно.

Авторы выражают благодарность заведующему кафедрой электрических машин Харьковского политехнического института, доктору техн. наук, проф. В. А. Яковенко и главному конструктору завода «Динамо», канд. техн. наук А. А. Рабиновичу за ценные замечания, сделанные ими при рецензировании рукописи, а также редактору инж. М. Г. Александровой за существенные дополнения и правки, способствующие улучшению содержания книги.

Все замечания по содержанию книги авторы просят направлять в адрес Энергоиздата: 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

Авторы

Раздел первый

ОРГАНИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА

Глава первая

ПОНЯТИЕ О ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ

1.1. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕССЫ

Слово «технология», образованное из двух греческих слов «техно» — мастерство и «логос» — учение, означает науку о процессах производства различных изделий и необходимых для этого технических средствах. Процесс изготовления изделий состоит из комплекса работ, необходимых для производства заготовок, их обработки, сборки из деталей узлов и, наконец, сборки из узлов готовых изделий. Совокупность отдельных взаимосвязанных процессов, в результате которых исходные материалы и полуфабрикаты превращаются в готовое изделие, называется **производственным процессом**.

Производственный процесс охватывает подготовку средств производства и организацию обслуживания рабочих мест, получение и хранение материалов, изготовление деталей и сборку машин, все виды транспортировки, технический контроль на всех стадиях производства, изготовление приспособлений и инструмента, ремонт оборудования и т. д.

Технологическим процессом называют часть производственного процесса, содержащую действия по изменению формы, размеров, свойств материалов и полуфабрикатов для получения детали или изделия в соответствии с заданными техническими требованиями.

Действия по установке и снятию заготовок и узлов со станков при их обработке, хотя и не изменяют состояние заготовки, но настолько связаны с выполнением операций, что не могут быть отделены от технологического процесса.

Технологический процесс выполняется на рабочих местах, которые представляют собой участок производственной площади, оборудованный в соответствии с выполняемой работой. Технологический процесс разбивается на операции. Технологической операцией называют часть технологического процесса, выполняемого на одном рабочем месте и охватывающего все последовательные действия рабочего и станка при обработке детали. Операция является основной частью технологического процесса, и по ней определяется трудоемкость процесса, необходимое число рабочих, станков, приспособлений, инструмента.

Вспомогательные операции включают транспортировку деталей, контроль, маркировку и другие работы.

Технологический переход — законченная часть операции, ха-

рактируемая постоянством применяемого инструмента, поверхностей, образуемых обработкой, или режима работы станка.

Вспомогательный переход — законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека и оборудования, которые не изменяют формы, размеров детали, но необходимы для выполнения технологического процесса (установка заготовки, смена инструмента и т. д.).

Рабочий ход — законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров, качества поверхности или свойств заготовки.

Вспомогательный ход — однократное перемещение инструмента относительно заготовки, не сопровождаемое изменением заготовки, но необходимое для выполнения рабочего хода.

Установ — часть операции, выполняемая при одном закреплении заготовки (или нескольких одновременно обрабатываемых) на станке или в приспособлении, или в собираемой сборочной единице.

Позиция — каждое отдельное положение заготовки, занимаемое ею относительно станка при неизменном её закреплении.

Прием — законченная совокупность движений рабочего в процессе выполнения операции.

1.2. ХАРАКТЕРИСТИКА ВИДОВ ПРОИЗВОДСТВА И МЕТОДОВ РАБОТЫ

По общепринятой классификации различают три типа производств: массовое, серийное и единичное и два метода работы: поточный и непоточный.

Массовое производство характеризуется узкой номенклатурой и большим объемом выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых в течение продолжительного времени. Характерным признаком массового производства является, однако, не только количество выпускаемых изделий, а выполнение на большинстве рабочих мест только одной закрепленной за ними постоянно повторяющейся операции.

Программа выпуска в массовом производстве обуславливает возможность узкой специализации рабочих мест и расположение оборудования по ходу технологического процесса в виде поточных линий. Длительность операций на всех рабочих местах одинакова и соответствует заданной производительности.

Такт выпуска, интервал времени, через который периодически производится выпуск изделий, для всех рабочих мест будет один и тот же. Такт существенно влияет на построение технологического процесса, так как необходимо привести время каждой операции ко времени, равному или кратному такту, что достигается соответствующим расчленением технологического процесса на операции или дублированием оборудования для получения необходимой производительности.

Во избежание перебоев в работе поточной линии на рабочих местах предусматриваются межоперационные запасы (заделы) за-

готовок или деталей. Заделы обеспечивают непрерывность выпуска продукции в случае непредусмотренной остановки отдельного оборудования. Массовое производство часто называют поточно-массовым. Поточные линии проектируются комплексными. На них выполняются операции механической обработки, обработки давлением, укладки обмоток, пропитки, сборки, мойки, окраски, контроля качества продукции. Коэффициент закрепления операции $K_{з.о}$ ($K_{з.о} = O/P$, где O — число различных операций, P — число рабочих мест, выполняющих различные операции) для массового производства принимают равным 1.

Серийное производство характеризуется ограниченной номенклатурой изделий, изготавливаемых периодически повторяющимися партиями, и сравнительно большим объемом выпуска.

В зависимости от количества изделий в партии и значения коэффициента закрепления $K_{з.о}$ различают мелкосерийное производство ($20 < K_{з.о} \leq 40$), среднесерийное ($10 < K_{з.о} \leq 20$) и крупносерийное ($1 < K_{з.о} \leq 10$).

В крупносерийном производстве широко применяются оборудование специального назначения и агрегатные станки. Оборудование располагается не по типам станков, а по изготавливаемым предметам и в ряде случаев — в соответствии с выполняемым технологическим процессом.

Среднесерийное производство занимает промежуточное положение между крупно- и мелкосерийным. На размер партии в серийном производстве влияют годовой выпуск изделий, длительность процесса обработки и наладки технологического оборудования. В мелкосерийном производстве размер партии обычно составляет несколько единиц, в среднесерийном — несколько десятков и в крупносерийном — несколько сотен деталей. Следует помнить, что в электромашиностроении и трансформаторостроении слово «серия» имеет два значения, которые следует различать: серией называют ряд машин возрастающей мощности одного и того же назначения, и серией называют количество одновременно запускаемых в производство однотипных машин.

Мелкосерийное производство по своим технологическим особенностям приближается к единичному.

Единичное производство характеризуется широкой номенклатурой изготавливаемых изделий и малым объемом выпуска изделия. Для единичного производства $K_{з.о} > 40$. Характерным признаком единичного производства является выполнение на рабочих местах разнообразных операций. Продукция единичного производства — машины, изготавливаемые по индивидуальным заказам, предусматривающим выполнение специальных требований. К ним относятся также опытные образцы машин.

В единичном производстве выпускаются электродвигатели широкой номенклатуры в относительно малых количествах и часто в единичном экземпляре, поэтому оно должно быть универсальным и гибким для выполнения различных заданий. При единичном производстве применяются преимущественно универсальное оборудо-

дование (расположенное в цехах по типам станков), универсальные рабочие и измерительные инструменты. Тип производства, его организация и планирование зависят от объема производства.

Рассмотрим принятые типы производств при изготовлении наиболее массовой серии асинхронных электродвигателей серии 4А. На рис. 1.1 показан объем выпуска электродвигателей с различной высотой оси вращения. Для выпуска двигателей низших высот оси вращения, где объемы составляют более 1,0 млн. шт., организовано поточно-массовое производство. Для этого созданы автоматические линии по отдельным видам работ, которые объединяются в единый технологический поток и представляют собой технологическую цепочку. Производительность одной технологической цепочки в год:

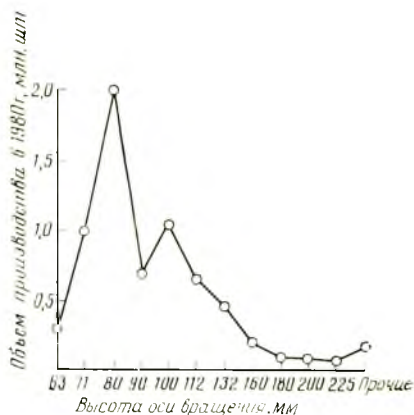


Рис. 1.1. Производство асинхронных электродвигателей серии 4А с различной высотой оси вращения.

Высота оси вращения, мм	50—63	71—100	112—132	160—200
Производительность, тыс. шт.	500	300	200	80

С ростом габаритов электродвигателей уменьшается производительность цепочки. Устанавливая на заводе одну-три цепочки и учитывая, что автоматические линии можно перенастраивать на выпуск двух-трех типов деталей и узлов, можно организовать производство нескольких модификаций двигателей одной высоты оси вращения. Заводами массового производства являются: полтавский электромеханический завод «Электромотор», выпускающий электродвигатели типа 4А71, Харьковский электротехнический завод (ХЭЛЗ), выпускающий электродвигатели типа 4А90 и моголевский завод «Электродвигатель» им. 50-летия СССР, выпускающий электродвигатели типа 4А100.

На заводах, выпускающих электродвигатели больших осей вращения, организовано серийное производство. При этом максимально использованы способы и методы поточного и массового производства. Заводы серийного производства имеют большую номенклатуру, состоящую из разнотипных машин. Часть машин изготавливается по типу крупносерийного производства, а часть — по типу средне- или мелкосерийного производства. К таким заводам следует отнести Московский электромеханический завод им. Владимира Ильича, Московский электромашиностроительный завод «Динамо» им. С. М. Кирова, Харьковский электромеханический завод (ХЭМЗ), Запорожский трансформаторный завод (ЗТЗ) и др. Большим достижением отечественного машиностроения сле-

дует считать организацию серийного выпуска турбогенераторов мощностью 200—300 МВт на ЛПЭО «Электросила» им. С. М. Кирова и Харьковском заводе «Электротяжмаш» им. В. И. Ленина.

При любом типе производств стремятся организовать работу по поточному методу. Форма поточной организации производства характеризуется расположением средств технологического оснащения в последовательности выполнения операций технологического процесса и специализации рабочих мест.

Поточная организация производства обеспечивает значительное сокращение технологического цикла, межоперационных заделов и незавершенного производства, возможность применения высокопроизводительного оборудования и резкое снижение трудоемкости и себестоимости изделий, простоту планирования и управления производством; возможность комплексной автоматизации производственных процессов. При поточных методах работы уменьшаются оборотные фонды, а оборачиваемость вложенных в производство средств значительно повышается.

Для повышения загрузки оборудования в производстве находят применение многономенклатурные поточные линии. К ним относятся переменнo-поточные и групповые линии, а также предметно-замкнутые участки линий. При переменнo-поточной обработке за каждым рабочим местом линии закреплено по несколько операций для технологически однотипных деталей. В течение определенного времени на линии ведется поточная обработка одной детали. Затем линию переналаживают для обработки другой закрепленной детали.

При групповой обработке на каждом рабочем месте одновременно осуществляется несколько операций разных технологических процессов. Это обеспечивается применением специальной оснастки и приспособлений. При групповой обработке повышается загрузка оборудования, а линия работает без переналадки рабочих мест. Переменнo-поточную и групповую обработку (сборку) выполняют на обычных и автоматических линиях.

Для обработки конструктивно и технологически сходных заготовок применяют предметно-замкнутые участки. Технологические процессы обработки этих заготовок имеют одинаковую структуру, однородные операции и одинаковую последовательность их исполнения.

Некоторые технологические методы, возникшие в поточно-массовом производстве, применяют не только в серийном, но и в единичном производстве. Применению поточных методов работы способствуют унификация и стандартизация изделий, специализация производства.

1.3. ХАРАКТЕРИСТИКА И ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОМАШИНОСТРОЕНИЯ

Отличительной особенностью производства электрических машин и трансформаторов является многономенклатурность выпус-

каемых изделий, а технологии — использование ряда специфических технологических процессов. Мощность выпускаемых изделий колеблется от нескольких ватт (или В·А) до сотен мегаватт. При производстве электрических машин и трансформаторов используется ряд материалов, не находящих применения в других отраслях.

Электрические машины и трансформаторы выпускаются, как правило, сериями. Каждая серия имеет определенную область применения и состоит из ряда машин с общими конструктивно-технологическими свойствами. Наиболее крупными являются серия общепромышленных асинхронных электродвигателей 4А с высотой оси вращения от 50 до 355 мм, серия машин постоянного тока 2П с высотой оси вращения от 80 до 500 мм, серия взрывобезопасных асинхронных двигателей ВАО, серии крановых и тяговых двигателей и т. д. Электрическая машина одной высоты оси вращения имеет многочисленные исполнения и модификации, число которых достигает нескольких десятков; например, серия асинхронных электродвигателей 4А содержит 16 высот оси вращения, а каждое основное исполнение предусматривает 25 модификаций, в том числе с фазным ротором, с повышенным пусковым моментом, многоскоростные, маложумные, со встроенным тормозом и т. п. Всего в серии более 30 000 модификаций. Большое число модификаций содержат серии 2П, ВАО.

Производство крупных электрических машин также характеризуется их большой номенклатурой. Если турбогенераторы мощностью 200 и 300 МВт выпускаются серийно, то производство гидрогенераторов приходится осуществлять так, что каждая гидроэлектростанция практически имеет свой тип гидрогенератора.

Производство электрических машин в стране каждые 10 лет почти удваивается. Для обеспечения растущего выпуска электрических машин и внедрения прогрессивной технологии электромашиностроительные заводы специализированы по определенным типам машин. Заводы, выпускающие электродвигатели серии 4А, специализированы на выпуске электрических машин, близких высот оси вращения. Серия двигателей постоянного тока 2П разделена на два отрезка и выпускается на двух заводах. Также специализированы заводы по выпуску взрывобезопасных машин, крупных машин и т. д.

Заводы, выпускающие трансформаторы, также имеют специализацию. Например, трансформаторы низших габаритов выпускает Минский электротехнический завод им. В. И. Козлова, крупные трансформаторы — Запорожский трансформаторный завод, а специальные — Московский электрозавод им. В. В. Куйбышева.

Другой отличительной особенностью электромашиностроения и трансформаторостроения является наличие специфических технологических процессов и применение в производстве материалов, используемых только в электротехнических изделиях. При производстве электрических машин и трансформаторов используются все технологические процессы общего машиностроения: черное и

цветное литье,ковка, все виды механической обработки, все виды сварки, пайка, штамповка, термообработка, гальванопокрытие, сборка, окраска и т. д. Наряду с этим используются технологические процессы, присущие только электромашиностроению: холодная листовая штамповка электротехнической стали, лакировка листов электротехнической стали, шихтовка сердечников статора и ротора, намотка секций и катушек, укладка и пропитка обмоток, сборка коллекторов. От качества выполнения этих процессов зависят технические показатели машин и трансформаторов, их надежность и долговечность. Так, от качества штамповки листов электротехнической стали, шихтовки и прессовки сердечников статора и ротора зависят основные магнитные потери и превышения температуры в машине. От способа проточки наружной поверхности ротора зависят добавочные потери, а от способа окончательной обработки валов и отверстий под подшипники в щитах зависит износостойкость поверхностей.

К материалам, применяемым только в электротехническом производстве, относятся: обмоточная электротехническая медь, листовая электротехническая сталь, пропиточные лаки и компаунды, покровные эмали и очень большая номенклатура материалов электрической изоляции (бумага, картон, лакоткани, стеклолакоткани, лавсановые пленки и ленты, слоистые пластики, пластмасса, слюда, асбест и т. д.).

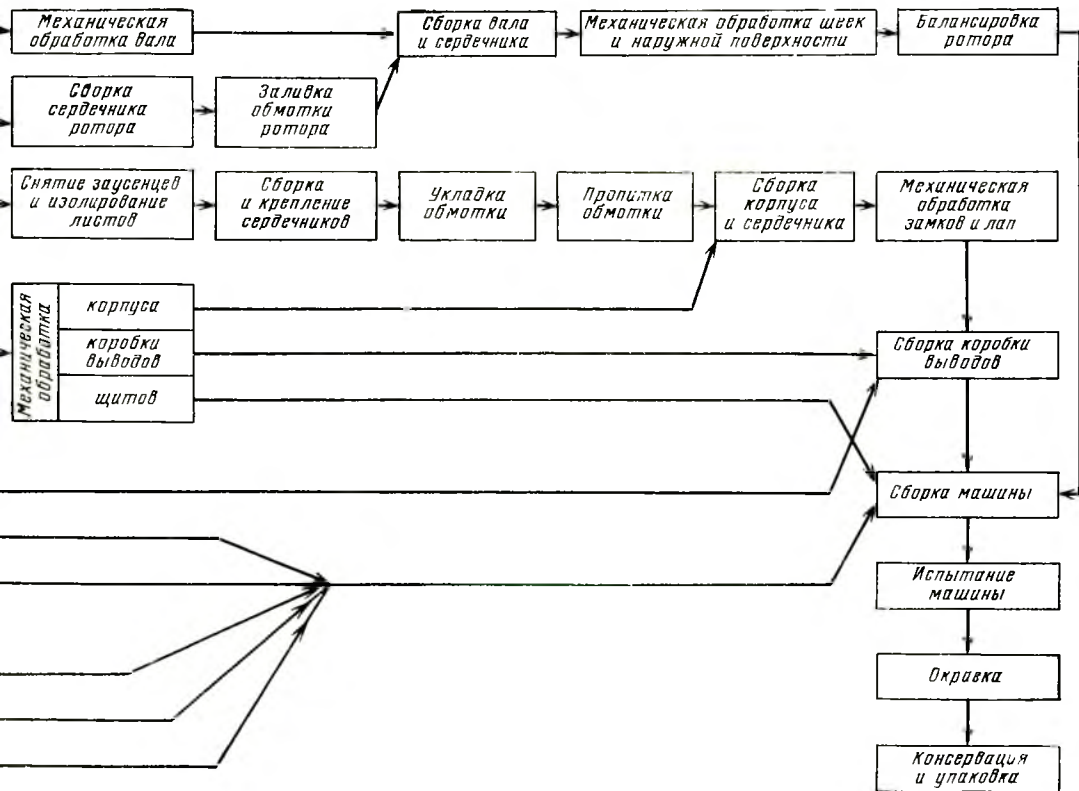
Специфические технологические процессы и материалы определяют состав специального оборудования, которое в настоящее время изготавливается как самими заводами-изготовителями, так и заводами, специализированными на выпуске технологического оборудования. К специальному оборудованию относятся: листоштамповочные автоматы, установки для сборки и крепления сердечников статора и ротора, установки по изолировке пазов, укладке обмоток, бандажировке обмотки, по пропитке узлов с обмоткой, установки пайки коллекторов и т. д.

Задачи роста производства электрических машин и трансформаторов, повышения их надежности могут быть решены на основе широкой механизации и автоматизации всех технологических процессов [1].

1.4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И ТРАНСФОРМАТОРОВ

а) Технологическая последовательность операций при изготовлении асинхронных электродвигателей

Рассмотрим последовательность операций изготовления асинхронных электродвигателей на примере двигателя серии 4А с высотой оси вращения 100 мм. Схема производства приведена на рис. 1.2, а общий вид электродвигателя — на рис. 1.3. Производство



с. 1.2. Схема производства асинхронного короткозамкнутого двигателя.

двигателя начинают с получения заготовок. Заготовку вала получают отрезкой круглого проката или поперечно-клиновой прокаткой. Механическую обработку осуществляют на автоматической линии. Листы статора и ротора штампуют из рулонной электротехнической стали на листоштамповочных автоматических установках. Листы ротора собирают на оправку, прессуют, в пазы заливают алюминиевую обмотку с замыкающими кольцами 2 и

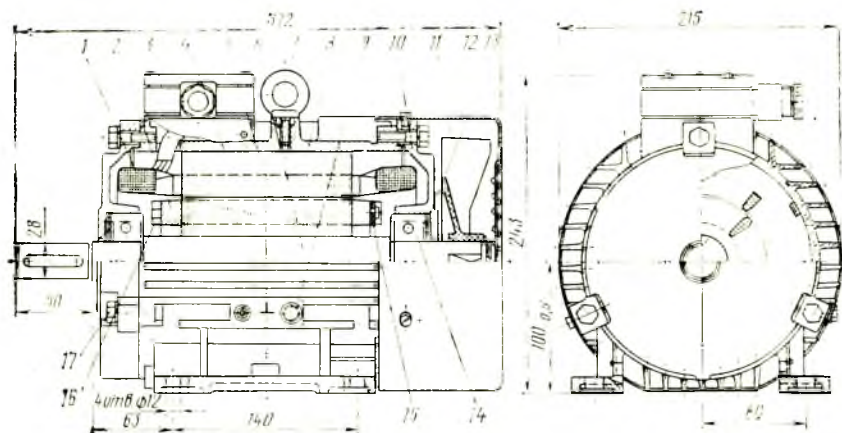


Рис. 1.3. Общий вид асинхронного короткозамкнутого двигателя с высотой оси вращения 100 мм; степень защиты IP44; 4 кВт, 220/380 В, $2p=4$.

вентиляционными лопатками 16. Затем оправку выпрессовывают, а в подогретый сердечник 5 запрессовывают вал 6, который удерживается от смещения натягом посадки. После сборки производят механическую обработку наружной поверхности сердечника и шеек вала под посадку подшипников 14. Затем осуществляют динамическую балансировку ротора. Небаланс устраняется добавлением грузов 15 к замыкающему кольцу 2. После напрессовки подшипников 14 ротор готов к сборке двигателя.

Листы статора после снятия заусенцев и лакировки собирают на оправку, прессуют и скрепляют скобами или сваркой. Наружная поверхность сердечника статора 4 обрабатывается под посадку в станину 8. В обработанный сердечник 4 на специальных станках укладывают в пазы изоляцию, обмотку и клин. Затем припаивают выводные концы, формируют лобовые части 1, скрепляют их бандажом и пропитывают обмотку в лаке. После сушки сердечник готов к сборке. Заготовки корпуса, щитов, коробки выводов, вентилятора получают литьем алюминия в кокиль. Вентилятор может быть отлит также из пластмассы. Механическую обработку литых деталей производят на автоматических линиях или агрегатных станках. Сборка двигателя начинается со сборки статора. В станину 8 запрессовывают сердечник 4. Затем на базе внутреннего диаметра сердечника обрабатывают посадочные поверхности под щит и по-

верхности лап. Производят сборку коробки выводов 3. В собранный статор заводят ротор. На подшипники надевают щиты 10 и напрессовывают их на посадочные места станины. Щиты крепят болтами 17. Затем устанавливают вентилятор 11, кожух вентилятора 12, болты грузовой 7 и заземления 9. Пружинная шайба 13 поджимает ротор для уменьшения вибрации. Собранный двигатель испытывают, окрашивают, консервируют и упаковывают.

В двигателях больших высот оси вращения, имеющих наружный диаметр сердечника статора более 450—500 мм, сборку сердечника производят непосредственно в станину. При этом последовательность технологического процесса несколько изменяется.

6) Технологическая последовательность операций при изготовлении машин постоянного тока

Технология изготовления машин постоянного тока отличается от технологии изготовления асинхронных электродвигателей. Рассмотрим последовательность операций изготовления машин постоянного тока на примере двигателя постоянного тока с высотой оси вращения 180 мм. Схема производства приведена на рис. 1.4, а общий вид двигателя — на рис. 1.5. Производство начинается с получения заготовок. Заготовку станины 21 получают из отрезков цельнотянутых труб или резкой листового проката с последующей вальцовкой его и сваркой. К станине приваривают транспортное ушко 19, лапы и вырезают окна. После сварки станину отжигают и подвергают механической обработке.

Листы основных 10 и добавочных 8 полюсов штампуют и собирают в сердечник. Листы сердечника крепят шпильками или сваркой. Для крепления полюса к станине в спинке сердечника сверлят отверстия и нарезают резьбу. Обмотки полюсов 7 и 11 наматывают из круглого или прямоугольного провода, изолируют, пропитывают и устанавливают на сердечник. В некоторых случаях обмотку наматывают непосредственно на сердечник. При этом пропитывают обмотку вместе с сердечником. Собранные полюса крепят к станине болтами.

Заготовку вала 3 получают ковкой, а обмоткодержателей 13 и щитов 1 и 15 — литьем. После механической обработки заготовки поступают на сборку.

Листы якоря 9 штампуют из электротехнической стали и лакируют. Сборку якоря начинают с того, что на вал 3 надевают обмоткодержатель 13, собирают листы 9, прессуют и надевают второй обмоткодержатель. От перемещения листы удерживаются шпонкой и обмоткодержателями. Затем на вал напрессовывают коллектор 5.

Коллектор изготавливают в следующем порядке. Медные пластины трапецидального сечения штампуют из полосы или прессуют из медного порошка и собирают в кольцо. Между пластинами для их изоляции устанавливают миканитовые или слюдопластовые

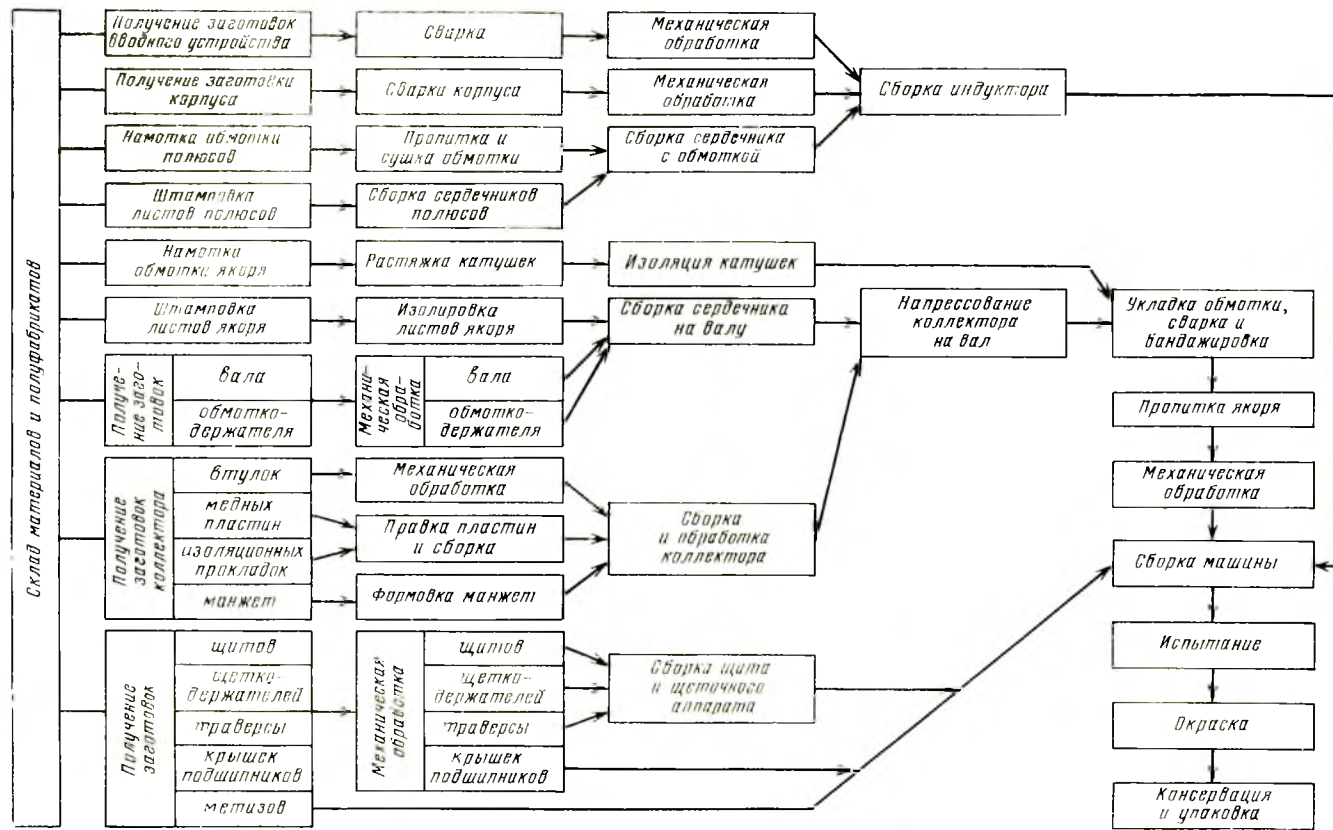


Рис. 1.4. Схема производства двигателя постоянного тока

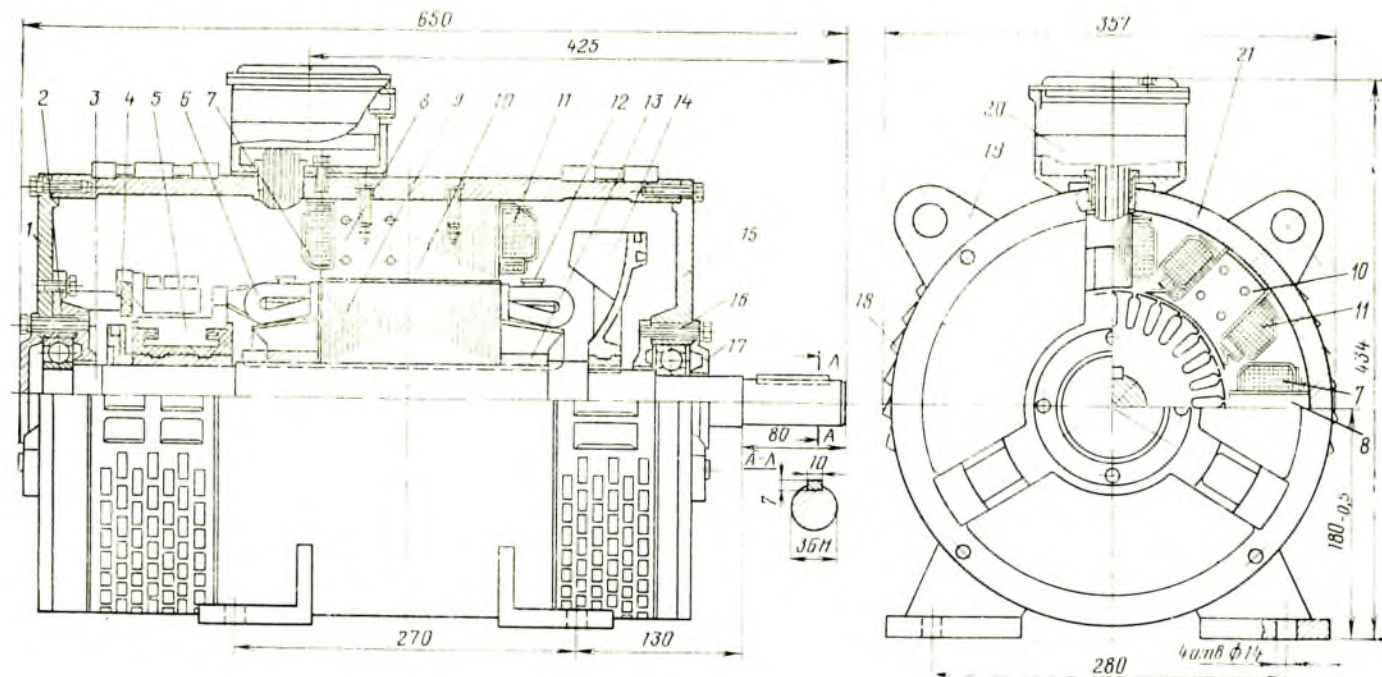


Рис. 1.5. Общий вид двигателя постоянного тока с высотой оси вращения 180 мм; степень защиты IP22; 15 кВт, 220 В, 1500 об/мин.

прокладки. Кольцо прессуют и обрабатывают. Затем кольцо скрепляют стальными конусными фланцами или пластмассой. Собранный коллектор подвергают динамической формовке.

Следующая операция сборки якоря — укладка обмотки 6. Обмотку якоря изготавливают из круглого или прямоугольного провода. Обмотку из круглого провода укладывают в пазы машинным способом. При этом пазовую изоляцию устанавливают в пазы якоря до укладки обмотки. Обмотки из прямоугольного провода получают гибкой провода в специальных приспособлениях или намоткой на шаблоны с последующей растяжкой и формовкой. В этом случае пазовую изоляцию накладывают на катушки до их укладки в пазы якоря. После укладки обмотки в пазы якоря и шлицы коллектора концы обмоток приваривают к коллектору, а лобовые части 6 бандажируют стальной проволокой или стеклянной нетканой бандажной лентой 12. Собранный якорь пропитывают в лаке и сушат. Далее производят механическую обработку поверхности коллектора и шеек вала под подшипники и выполняют динамическую балансировку якоря. Небаланс устраняют установкой грузов в кольцо 4 и вентилятор 14.

На якорь надевают крышки подшипников 16 и подшипники. Затем якорь вводят в индуктор и ставят щиты 1 и 15. На щите 1 предварительно собирают траверсу 2 со щеткодержателями и щетками. Щиты крепят болтами. Устанавливают наружные крышки подшипников 17 и также крепят болтами. Затем производят установку щеток, монтаж якорных концов в вводном устройстве 20, крепление жалюзи 18. Собранный двигатель испытывают, окрашивают, консервируют и упаковывают.

в) Технологическая последовательность операций при изготовлении трансформаторов

Технология изготовления трансформаторов отличается от технологии изготовления электрических машин, хотя используются одинаковые материалы. Рассмотрим последовательность операций изготовления трансформаторов на примере трансформатора III габарита. Схема производства приведена на рис. 1.6, а общий вид трансформатора — на рис. 1.7.

Магнитопровод 5 изготавливают из холоднокатаной электротехнической стали. Сталь режут на полосы нужного размера, которые термообработывают, изолируют и подают на сборку. На сборку поступают также ярмовые балки 4, 21 и шпильки 19, 20 для скрепления магнитопровода. Листы электротехнической стали шихтуют, укладывают в определенной последовательности и скрепляют. Для скрепления на ярмовую часть устанавливают балки и стягивают их шпильками, производят прессовку магнитопровода.

Обмотку 3 наматывают из прямоугольного провода в виде цилиндра на специальном станке. Между слоями обмотки и между витками прокладывают изоляцию из электрокартона. В зависимости от формы изоляцию изготавливают штамповкой или резкой

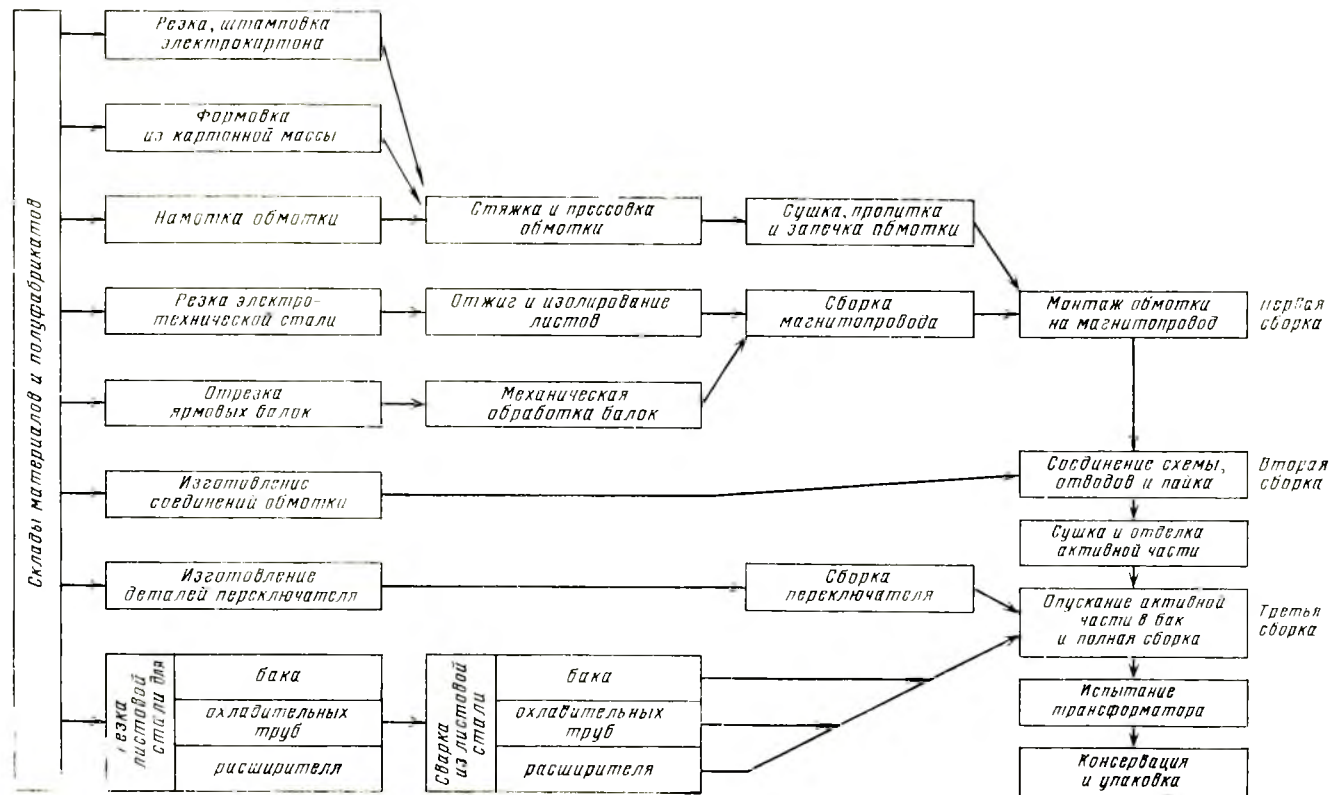


Рис. 1.6. Схема производства трансформатора III габарита.

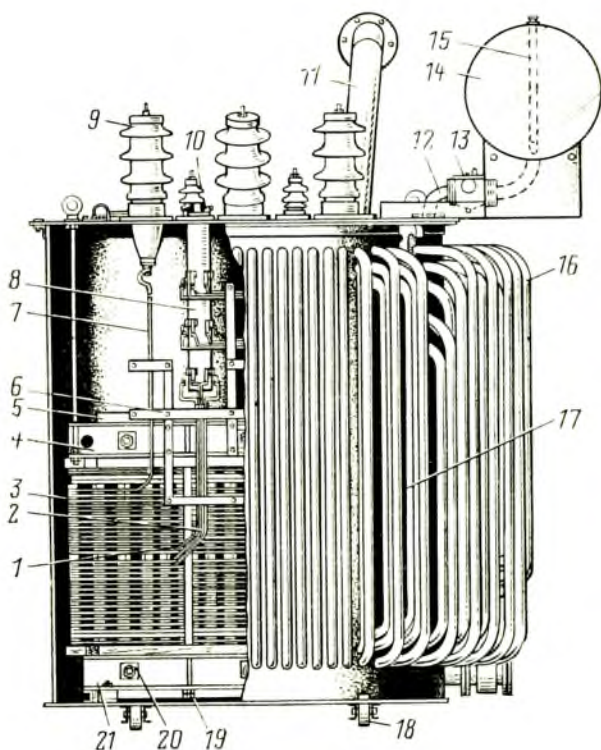


Рис. 1.7. Общий вид трансформатора III габарита.

из листа или формовкой из картонной массы. После намотки обмотку стягивают, прессуют, сушат, пропитывают и запекают. Магнитопровод и обмотка поступают на первую сборку.

На первой сборке производят монтаж обмотки и изоляции. Для этого распрессовывают и расшихтовывают верхнее ярмо, устанавливают изоляционные детали на низ стержней, насаживают обмотки, устанавливают изоляционные детали на верхние части обмоток, шихтуют и прессуют верхнее ярмо.

Затем производят вторую сборку. На второй сборке выполняют соединение схемы, сборку отводов и пайку. Линейные отводы 7 припаивают твердым припоем к обмотке и подводят к выводам. Регулировочные ответвления 2 подводят к макету переключателя, устанавливаемого с технологическими целями. Все отводы закрепляют деревянными планками 6, которые крепят к магнитопроводу. Необходимые соединения изолируют.

После второй сборки производят сушку активной части 1 трансформатора. Во время сушки происходит усадка изоляции, деревянных и электрокартонных деталей, вследствие чего ослабевает прессовка обмоток и крепление отводов, поэтому после

сушки активную часть подвергают отделке, которая включает в себя опрессовку ярем, подирессовку обмоток. После этого производят третью сборку.

На третьей сборке опускают активную часть 1 в бак 17 и полностью собирают трансформатор. Бак 17 с охлаждательными трубами 16, расширитель 14 и некоторые другие узлы трансформатора изготавливают сварными из листовой стали на сварочных участках. Во время полной сборки устанавливают верхнюю крышку бака, собирают на ней выводы высокого 9 и низкого 10 напряжения, выхлопную трубу 11, маслопровод 12, газовое реле 13, расширитель 14 с указателем уровня масла 15, переключатель 8, катки тележки 18.

Затем производят прямо-сдаточные испытания, готовят трансформатор к отправке, выполняют консервацию и упаковку трансформатора.

Глава вторая

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА

2.1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

В промышленности Советского Союза действует Единая система технологической подготовки производства (ЕСТПП), которая своими стандартами устанавливает систему организации и управления процессом технологической подготовки производства, предусматривает применение типовых технологических процессов, стандартной оснастки, инструмента, оборудования и средств механизации. На основе государственных стандартов ЕСТПП разрабатываются отраслевые стандарты (ОСТ) и стандарты предприятий (СТП), которые конкретизируют и развивают отдельные положения ЕСТПП применительно к отрасли или предприятию. Составной частью ЕСТПП является Единая система технологической документации (ЕСТД), в которой изложены стадии разработки технологических документов и их виды, общие требования к документам и правила их оформления.

Разработка технологической документации производится параллельно с разработкой конструкторской документации. Для каждой стадии конструкторской документации разрабатываются соответствующие технологические документы.

К технологическим документам относятся графические и текстовые документы, в которых определяют технологический процесс изготовления или ремонта изделия, комплектацию деталей, сборочных единиц, материалов, оснастки, маршрут прохождения изделия по службам предприятия.

По виду технологические процессы делятся на единичные и типовые. Единичный процесс применяется при изготовлении изделий одного наименования, а типовой может применяться как рабо-

чий для изготовления нескольких наименований деталей или служить информационной основой для разработки рабочего процесса, стандарта. Каждый вид технологического процесса по своему назначению может быть рабочим или перспективным, а по степени детализации содержания может быть маршрутным, операционным или маршрутно-операционным. Степень детализации содержания, как правило, выше в массовом и крупносерийном производстве.

Каждый выпускаемый в обращение документ имеет самостоятельное обозначение. В соответствии с ЕСТПП установлена многоаспектная система обозначения, согласно которой обозначение документа включает код организации разработчика, вид технологического документа, вид технологического процесса по его организации и методу выполнения и порядковый номер.

Виды технологических документов и правила их оформления приведены в ЕСТД.

В комплект технологических документов входят основные документы:

- маршрутная карта (МК);

- карта технологического процесса (КТП);

- ведомость деталей к типовому технологическому процессу (ВТП).

Основной документ полностью и однозначно определяет технологический процесс изготовления изделия по всем или отдельным видам работ.

Маршрутная карта заполняется для деталей узлов каждого исполнения изделия в соответствии с вариантами конструктивного исполнения и типа производства. Она служит исходным документом для разработки и составления последующих документов и содержит описание технологического процесса по всем операциям. Операции располагаются в строгой последовательности, с указанием данных об оборудовании, оснастке, материальных и трудовых нормативах. Маршрутная карта является обязательным документом.

Карта технологического процесса содержит описание технологического процесса изготовления изделия (включая контроль и перемещения) по всем операциям одного вида работ, выполняемых в одном цехе в технологической последовательности, с указанием данных о средствах технологического оснащения, материальных и трудовых нормативах.

Ведомость деталей к типовому технологическому процессу содержит перечень деталей, изготавливаемых по типовому технологическому процессу, с указанием трудовых нормативов и при необходимости — данных о материалах, технологической оснастке и режимах обработки. Ведомость деталей к типовому технологическому процессу следует применять совместно с МК. Кроме основных документов при разработке технологической документации, в зависимости от типа и характера производства, разрабатываются документы общего назначения.

Ведомость расцеховки (ВР) содержит данные о маршруте прохождения изготавливаемого изделия по службам предприятия.

Ведомость оснастки (ВО) содержит перечень технологической оснастки, необходимой для выполнения данного технологического процесса. Записи в ВО производят в технологической последовательности в соответствии с маршрутной картой.

Ведомость материалов (ВМ) содержит данные о заготовках, нормах расхода материала, маршруте прохождения изделия и его составных частей. Ведомость материалов содержит материалы, записанные в спецификациях сборочных единиц, комплектов и технических требованиях на чертежах.

Комплектовочная карта (КК) содержит данные о деталях, сборочных единицах и материалах, входящих в комплект изделия. Запись в КК должна производиться в технологической последовательности выполнения операций.

Карта эскизов (КЭ) содержит эскизы, схемы и таблицы, необходимые для выполнения технологического процесса.

Технологическая инструкция (ТИ) содержит описание приемов работ или технологических процессов изготовления изделия, правил эксплуатации средств технологического оснащения, описание физических и химических явлений, возникающих при отдельных операциях. Допускается в ТИ описание процессов изготовления смол, компаундов, клея, заливки смолами и компаундами и т. п.

2.2. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ

Рациональные конструкции изделий, обеспечивающие необходимые эксплуатационные требования, не могут быть созданы без учета трудоемкости и материалоемкости их изготовления. Соответствие конструкций изделий требованиям минимальной трудоемкости и материалоемкости определяет технологичность конструкции.

Конструкцию изделия следует считать технологичной, если изделие можно изготовить с минимальными затратами, используя экономичные и производительные методы, при этом изделие будет соответствовать современному уровню техники. Оценку технологичности конструкции данного изделия по сравнению с другим или оценку нескольких конструктивных вариантов одного изделия производят, сопоставляя их трудоемкость, себестоимость и материалоемкость. Отработка изделия на технологичность начинается на стадии технического задания и производится на всех этапах проектирования изделий. Однако трудоемкость и материалоемкость изделия зависят не только от конструкции, но в значительной степени и от выбранных технологических процессов, оснащенности производства.

При отработке конструкции изделия на технологичность конструкторская служба решает следующие основные вопросы:

выбор конструкции, обеспечивающей простоту компоновки и конструктивных решений изделия, сборочных единиц и деталей;

рациональное разделение изделия на самостоятельные сборочные единицы, обеспечивающие возможность параллельной независимой сборки, контроля и испытаний сборочных единиц и изделия, удобство эксплуатации и ремонта;

сокращение используемых марок и сортментов материалов; ограничение различных видов обработки;

обеспечение высокой степени стандартизации и унификации, взаимозаменяемости, а также широкого заимствования отработанных элементов предшествующих конструкций;

ограничение многообразия размеров и посадок;

выбор баз и системы простановки размеров;

выбор прогрессивных изоляционных и проводниковых материалов, обеспечивающих требуемую электрическую и механическую прочность, а также нагревостойкость изоляции и стойкость её к климатическим и другим воздействующим факторам.

При отработке конструкции изделия на технологичность технологическая служба решает следующие основные вопросы:

выбор наиболее рациональных заготовок, обеспечивающих наименьший расход материала и затрат на обработку;

обеспечение рациональной преемственности деталей изделий, находящихся в производстве;

механизация и автоматизация процессов обработки, сборки, контроля и испытания, сокращение до минимума пригоночных, доводочных операций и регулировочных работ;

применение высокопроизводительного оборудования, типовых и групповых технологических процессов;

выбор рациональных методов и средств неразрушающего контроля;

рациональность простановки размеров с точки зрения выбора технологических баз;

метрологическое обеспечение;

обеспечение высокого качества изготовления деталей, сборочных единиц и изделий при оптимальных затратах.

Технологичность конструкции изделия — понятие относительное. Технологичность одного и того же изделия будет разной для различных типов производств. Изделие, технологичное для единичного производства, может быть малотехнологично в массовом производстве и совершенно нетехнологично для производства с высокой автоматизацией. Технологичность конструкции одного и того же изделия будет разной для заводов с различными производственными возможностями. Технологичность конструкции изделия — понятие комплексное. Ее надо рассматривать во взаимной связи всех технологических процессов, применяемых при изготовлении изделия, начиная с хранения материалов на складах, подачи их в цехи, получения заготовок и кончая транспортировкой изделия к потребителю. Понятие технологичности изделия распространяется не только на область производства, но и на область эксплуатации и ремонта. Последнее важно, так как затраты на все виды ремонта превышают иногда себестоимость нового изделия. При

конструировании и разработке технологии необходимо предусматривать такие методы обработки, которые повышают технико-экономические показатели изделия и его надежность. Технологичность конструкции оценивается качественно и количественно. Качественная оценка («хорошо» — «плохо», «допустимо» — «недопустимо») предшествует количественной. Количественную оценку выполняют по принятым показателям технологичности путем расчета их значений.

Основными показателями технологичности являются: удельная трудоемкость t_n , удельная технологическая себестоимость c_T .

Удельная трудоемкость определяется как отношение общей трудоемкости изделий T_n к номинальному значению основного параметра P :

$$t_n = T_n / P.$$

Для электрических машин и трансформаторов за номинальное значение основного параметра принимают номинальную мощность.

Удельная технологическая себестоимость определяется как отношение технологической себестоимости изготовления изделия к номинальному значению его основного параметра:

$$c_T = C_T / P,$$

где C_T — технологическая себестоимость изготовления изделия,

$$C_T = C_M + C_Z + C_{\text{до}},$$

здесь C_M — стоимость материалов, затраченных на изготовление изделия; C_Z — основная заработная плата производственных рабочих; $C_{\text{до}}$ — расходы на содержание и эксплуатацию оборудования, инструмента, приспособлений.

Чем меньше t_n и c_T , тем технологичнее конструкция. Оценка технологичности конструкции проводится по ГОСТ 18831-73.

Коэффициент унификации определяется как отношение количества унифицированных сборочных единиц изделия к унифицированным деталям, не вошедших в состав сборочных единиц, к общему количеству этих элементов (крепёжные детали в расчет не принимаются):

$$k_y = (E_y + D_y) / (E + D),$$

где E_y и D_y — количество унифицированных сборочных единиц и унифицированных деталей, не вошедших в состав сборочных единиц; E и D — общее количество сборочных единиц и деталей, являющихся составными частями изделия.

Удельная материалоемкость определяется как отношение массы изделия M к номинальному значению его основного параметра P :

$$k_{y,m} = M / P.$$

Коэффициент использования материала определяется как отношение массы изделия к массе материала M_n , израсходованного на его изготовление:

$$k_{n,m} = M / M_n.$$

Коэффициент $k_{n,m}$ — характеризует качество продукции и технологию получения заготовок. Чем ближе коэффициент к единице, тем технологичнее конструкция изделия.

Общие правила обеспечения технологичности конструкций изделий приведены в ЕСТПП. Технологичность деталей и узлов электрических машин и трансформаторов рассматривается в последующих главах.

2.3. СТАНДАРТИЗАЦИЯ, НОРМАЛИЗАЦИЯ И УНИФИКАЦИЯ

При производстве электрических машин и трансформаторов используются материалы и комплектующие изделия, выпускаемые промышленностью в соот-

ветствии с требованиями ГОСТ и ОСТ. Однако использование всех типоразмеров и марок материалов, а также всей номенклатуры комплектующих изделий, указанных в ГОСТ, настолько усложнили бы снабжение материалами, их хранение и выдачу цехам, изготовление и хранение деталей, планирование и учет работы цехов, что практически ни один завод не смог бы работать, поэтому службы стандартизации завода совместно с другими отделами и производственными службами разрабатывают ограничительные стандарты предприятия (СТП), которые ограничивают сортаменты и марки применяемых материалов. Так же выпускаются СТП, вносящие ограничения по использованию на заводе допускаемых ГОСТ крепежных изделий, резьб, отверстий, радиусов, диаметров, чистоты поверхности деталей, посадок, сварных швов и т. п. Кроме того, унифицируют и нормализуют детали выпускаемых электродвигателей и детали продукции вспомогательного производства. Это крайне необходимо, так как завод, выпускающий электродвигатели одной высоты оси вращения, должен изготавливать большое количество различных модификаций. Унифицируют и нормализуют детали изделия и оснастки: кабельные наконечники, крышки подшипников, уплотнения подшипников, грузовые болты, скобы, детали штампов, мерителей, кондукторов, резцов и т. п. Эти мероприятия позволяют резко уменьшить номенклатуру применяемых материалов и деталей, инструмента и оснастки, уменьшить число переналадок станков, лучше организовать производство. Широкая унификация позволяет разрабатывать типовые и стандартные технологические процессы для группы деталей с общими конструктивными признаками. Типизация технологических процессов резко сокращает время на подготовку производства и освоение изготовления деталей и узлов в цехах, а также повышает качество технологических процессов.

Основным технологическим параметром унификации электрических машин является наружный диаметр сердечника статора. Зная один наружный диаметр сердечника и изменяя внутренний диаметр, число пазов и длину, получают большое количество различных типоразмеров. При этом их производство удается осуществлять на одном оборудовании, без его переналадки. Механическая обработка, штамповка, сборка и сварка сердечников, пропитка, общая сборка, испытания осуществляются на одном и том же оборудовании и оснастке. Исключение составляет оборудование для механизированной намотки обмоток из круглого провода. Для этого оборудования основным технологическим параметром является внутренний диаметр сердечника. При переходе на другой диаметр сердечника статора происходит изменение типажа оборудования. Поэтому наиболее экономичным, с точки зрения производства, является случай, когда на заводе изготавливаются машины одной высоты оси вращения или нескольких, близких между собой.

Однако специализация каждого завода по выпуску двигателей только одной высоты оси вращения делает подотрасль электромашиностроения менее мобильной при изменении номенклатуры. Вопрос специализации заводов должен решаться не только с точки зрения производства машин. Необходимо также учитывать зоны потребления, транспортные расходы, перспективы развития и т. д.

2.4. ПОРЯДОК РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Для правильного построения технологического процесса изготовления изделия необходимо иметь исходные данные. К ним относятся рабочие чертежи, технические условия и производственная программа. В тех случаях, когда технологический процесс разрабатывается для конкретного предприятия, необходимо также иметь данные о возможных в условиях данного предприятия способах получения заготовок, типаже оборудования, технологической оснастке, технико-экономических показателях, производственных

площадях и др. Разработка технологических процессов производится для конструкций, отработанных на технологичность.

В общем случае разработка технологических процессов включает комплекс взаимосвязанных работ: выбор заготовок; выбор технологических баз; подбор типового технологического процесса; определение последовательности и содержания технологических операций; выбор и заказ новых средств технологического оснащения; назначение и расчет режимов обработки; нормирование процесса; определение профессий и квалификаций исполнителей; организацию производственных участков; выбор средств механизации и автоматизации элементов технологических процессов, средств и методов контроля, а также внутрицеховых средств транспортирования; составление планировок производственных участков и разработку операций перемещения изделия и отходов; оформление рабочей документации на технологические процессы.

Состав и последовательность работ зависят от сложности изделия и типа производства. Рабочие чертежи должны содержать необходимые данные для изготовления, контроля, приемки, эксплуатации и ремонта изделия. Производственная программа (количество изделий, подлежащих изготовлению в определенный промежуток времени) необходима для того, чтобы можно было из многообразия средств производства и методов обработки выбрать наиболее экономичные. При выборе средств производства учитывают необходимое количество электроэнергии, технологического пара и воды, сжатого воздуха. Методы обработки (пропитка в лаках и компаундах, окраска и т. д.) оказывают определенное влияние на окружающую среду, что также необходимо учитывать при разработке планировок и выборе специального оборудования.

В основу разработки всего технологического процесса положены технико-экономические показатели. Из всех возможных вариантов должен быть выбран вариант с наименьшими затратами. При этом должны быть учтены все затраты начиная с получения, разгрузки и хранения материалов и полуфабрикатов и кончая упаковкой и отгрузкой изделия.

Подготовка производства нового изделия или расширение номенклатуры выпускаемых изделий — это сложный комплекс взаимосвязанных работ, в котором принимают участие все службы и подразделения завода. На рис. 2.1 показана примерная схема подготовки производства нового изделия. Конструкторская разработка нового изделия по всем этапам может осуществляться в отраслевом институте, либо конструкторскими службами заводов. В любом случае конструкторская документация на предприятии выдается всем службам и цехам отделом главного конструктора *ОГК*. Он же несет ответственность за ее техническое состояние, своевременное внесение всех изменений и т. д. Получив чертежи и исходные данные, службы отделов главного технолога *ОГТ*, главного металлурга *ОГМет*, главного сварщика *ОГС* разрабатывают технологические процессы и всю необходимую документацию.

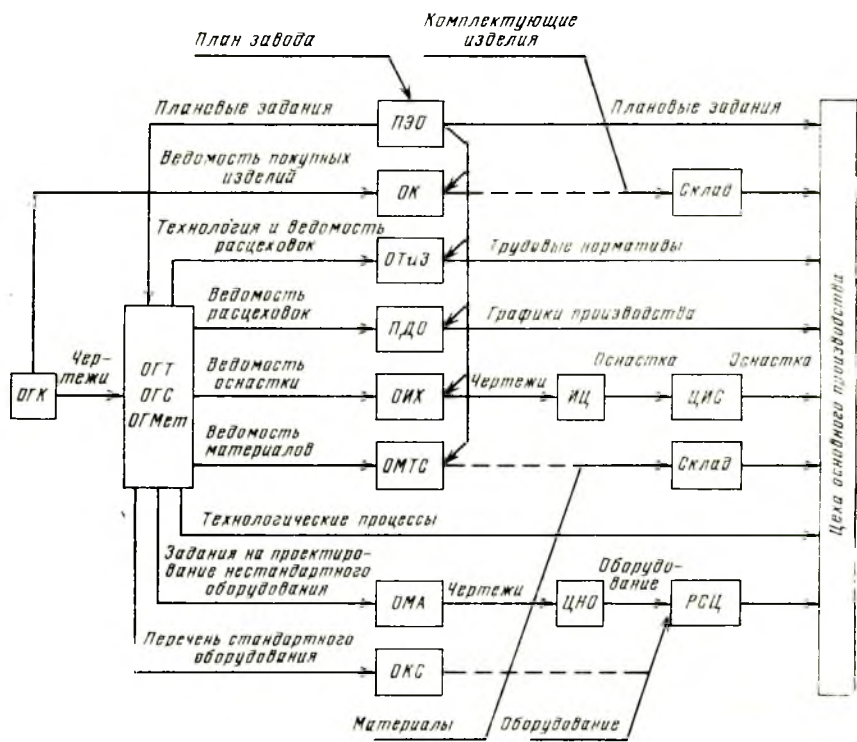


Рис. 2.1. Примерная схема подготовки производства нового изделия.

Документация на разработанные технологические процессы выдается заинтересованным службам и цехам для дальнейшей подготовки производства. В планово-диспетчерский отдел ПДО завода выдаются ведомости расцеховки для разработки и выдачи цехам графиков производства деталей, узлов и изделий.

В отдел труда и заработной платы ОТиЗ выдаются ведомости расцеховки и другая технологическая документация для составления трудовых нормативов цехам (количество рабочих по профессиям, их квалификация, фонд заработной платы и т. д.). Отдел труда и заработной платы для составления трудовых нормативов должен получить из планово-экономического отдела ПЭО плановые задания на соответствующий период времени. В отделы материально-технического снабжения ОМТС и комплектации ОК направляются ведомости материалов из ОГТ и ведомости покупных изделий из отдела ОГК. Отделы материально-технического снабжения и комплектации, получив из отдела ПЭО плановые задания, производят расчет необходимых материалов и осуществляют их доставку на завод, хранение и выдачу в цеха.

Отделу инструментального хозяйства ОИХ выдаются ведомости инструмента и оснастки. На основании этих ведомостей

отдел *ОИХ* производит проектирование оснастки и инструмента или их приобретение. Получив плановые задания из отдела *ПЭО*, отдел инструментального хозяйства составляет план инструментальному цеху *ИЦ*, который производит изготовление и испытание оснастки и инструмента. Готовая оснастка и инструмент сдаются на центральный инструментальный склад *ЦИС*, где хранятся и выдаются в цеха в соответствии с нормой расходования.

При необходимости изготовить на заводе средства механизации или автоматизации отдел *ОГТ* составляет и передает в отдел механизации и автоматизации *ОМА* технические задания. Отдел механизации и автоматизации проектирует необходимые средства и передает чертежи в цех нестандартного оборудования *ЦНО*, который производит их изготовление, а после установки в цехах — отладку и сдачу. Стандартное оборудование приобретается отделом капитального строительства *ОКС* и устанавливается в цехах. При необходимости организации новых участков отдел главного технолога разрабатывает их планировку, производит заказ оборудования.

Таким образом, в цеха основного производства поступают стандартное и нестандартное оборудование, материалы, оснастка, инструмент. Производятся все необходимые строительные работы, монтаж оборудования и его энергоснабжение, устройство вентиляции и т. д. Кроме того, в цеха должны поступить плановые задания, графики производства, трудовые нормативы. После этого осуществляется отработка всей технологической цепочки и при необходимости обучение рабочих и инженерно-технических работников цеха работе на новом оборудовании по новой технологии при новой организации труда. Последовательность подготовки может быть несколько иной в зависимости от масштабов производства и организационной структуры производства.

При расширении номенклатуры выпускаемых изделий или освоении модификаций схема подготовки производства упрощается. Как правило, она ограничивается проектированием и изготовлением новой оснастки, а иногда приобретением новых материалов. Сроки подготовки производства нового изделия составляют один-три года, подготовка производства при расширении номенклатуры длится до одного года.

Глава третья

ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ И ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И ТРАНСФОРМАТОРОВ

3.1. АТТЕСТАЦИЯ УРОВНЯ ПРОИЗВОДСТВА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

В последние годы на отечественных электромашиностроительных и трансформаторостроительных заводах проводится периодическая аттестация достигнутого уровня производства.

Аттестация уровня производства — это система, состоящая из аттестации уровня качества изделий, аттестации уровня технологии, аттестации уровня организации производства.

Для оценки уровня производства приняты три категории: высшая В категория, I категория, II категория.

В основу методических материалов по аттестации уровня технологии и уровня организации производства легли следующие положения. К высшей (В) категории относятся предприятия, цехи, участки, имеющие лучшие показатели, достигнутые на аналогичных предприятиях в СССР и за рубежом. К I категории относятся предприятия, цехи, участки, имеющие средние показатели, достигнутые на аналогичных производствах в СССР. Ко II категории относятся предприятия, цехи и участки, имеющие показатели ниже средних, достигнутых в отрасли.

Объекты, подлежащие аттестации, объединяются по классификаторам в группы, имеющие сопоставимый технологический и организационный уровень производства.

В основу классификаторов положены общие признаки: аналогичность выпускаемой продукции, характеристика производства (тип, численность работающих, объем производства), характеристика деталей и узлов.

Для определения категории уровня по классификационным группам принята номенклатура технико-экономических показателей.

Для определения в категориях уровня качества изделий, уровней технологии и организации производства, предусматривается система расчета оценок по количеству баллов.

Уровень производства предприятия в баллах определяется по формуле

$$V_{\Pi} = V_K K_1 + V_T K_2 + V_O K_3,$$

где V_K — технический уровень изделий; V_T — уровень технологии; V_O — уровень организации; K_1, K_2, K_3 — коэффициенты, характеризующие значимость соответственно технического уровня изделия, уровня технологии, уровня организации производства.

Технический уровень изделий определяется по формуле

$$V_K = (0,5a_{3,K} + a_B + 2a_1 + 3a_{II})/100,$$

где $a_{3,K}$ — удельный вес изделий категории В со знаком качества, % общего объема; a_B — то же изделие категории В без знака качества, %; a_1 — то же изделие I категории, %; a_2 — то же изделие II категории, %.

Под уровнем технологии производства V_T понимается система взаимосвязи показателей, характеризующих прогрессивность и экономичность принятых на предприятиях технологических методов осуществления производственного процесса.

Уровень организации производства определяется по формуле

$$V_O = \frac{A_{01} + 2A_{02} + 3A_{03}}{100},$$

где A_{01}, A_{02}, A_{03} — суммарный удельный вес аттестованных показателей соответственно категорий В, I и II, %; 1, 2, 3 — баллы, условно присваиваемые соответственно категориям В, I и II.

Всесоюзным институтом трансформаторостроения на основании большого статистического материала для аттестации уровня технологии обмоточно-изоляционного производства предложены следующие показатели: C_M — степень охвата рабочих механизированным трудом; $Y_{M,T}$ — уровень механизированного труда в общих трудовых затратах.

Степень охвата рабочих механизированным трудом, %, определяется отношением числа рабочих, выполняющих работы механизированным способом, к общему числу рабочих на данном участке (в цехе). К рабочим, выполняющим работу механизированным способом, относятся рабочие, выполняющие работу при помощи машин и механизмов с электрическим, пневматическим или другими приводами или наблюдающие за действием автоматических машин и механизмов. К этой категории рабочих относятся и палладчики.

Уровень механизированного труда, %, в общих трудовых затратах определяется по формуле

$$У_{м,т} = \frac{P_a K}{P} 100\% = C_{мK},$$

где P_a — число рабочих во всех сменах на участке (в цехе), занятых механизированным трудом; P — общее число рабочих на участке (в цехе); K — коэффициент механизации, выражающий отношение времени механизированного труда к общим затратам времени на данном оборудовании или рабочем месте.

Аттестация показывает, что на заводах все больше внимания уделяется вопросам технологии, разработке и внедрению новых высокопроизводительных технологических процессов и специального технологического оборудования, модернизации действующего оборудования, внедрению поточно-механизированных и автоматических линий, позволяющих получить максимальный экономический эффект.

Внедрение системы повышения качества выпускаемой продукции на трансформаторостроительных заводах страны позволило повысить качество новых трансформаторов, резко уменьшить потери от брака, сократить число рекламаций, повысить надежность и улучшить оформление многих изделий. Возросло количество работающих с личным клеймом. Государственный Знак качества присвоен многим типам трансформаторов.

3.2. ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ И ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И ТРАНСФОРМАТОРОВ

В электромашиностроении на уровень производительности труда влияют факторы трех групп.

1. *Повышение технического уровня производства.* Сюда относятся механизация и автоматизация производства, модернизация действующего оборудования, внедрение совершенной технологии, применение экономичных видов сырья и материалов, улучшение качества продукции.

2. *Улучшение организации производства и труда.* Организация производства включает совершенствование управления, в частности внедрение АСУП (автоматизированной системы управления производством) и АСУТП (автоматизированной системы управления технологическим процессом), конвейеризацию, увязку работы отдельных звеньев производства. Организация труда включает в себя внедрение планов НОТ, изменение состава работающих, сокращение потерь рабочего времени, уменьшение числа рабочих, не выполняющих норм выработки.

3. *Изменение объема и структуры производства продукции,* т. е. ассортиментные сдвиги, изменение удельного веса отдельных производств.

За последние годы многое сделано для повышения технического уровня производства. Это в первую очередь относится к заводам с крупносерийным и массовым производством. Литье корпусов, щитов и других деталей осуществляют прогрессивными методами на конвейерных линиях. Для получения экономичных заготовок валов используют поперечно-клиновую прокатку. Штамповку листов сердечников осуществляют из рулонов или лент на листоштамповочных автоматических установках. Сборка сердечников и их скрепление производят на полуавтоматах. Обмоточно-изоляционные работы (изоляция пазов, укладка обмотки, заклинивание, бандажировка, формовка и т. д.) осуществляют на конвейерных линиях, оснащенных высокопроизводительными станками. Пропитку производят в автоматических установках. Механическую обработку корпусов, валов, щитов и других деталей осуществляют на агрегатных станках или автоматических линиях. Сборка машин конвейеризирована и оснащена сборочными устройствами. Все это позволило в несколько раз повысить производительность труда при изготовлении машин.

Технологические процессы и оборудование, применяемые в массовом и се-

рином производстве, также используются в мелкосерийном и даже единичном производстве.

Степень механизации мелкосерийного и единичного производства повысилась за счет применения оборудования с числовым программным управлением (практически все типы металлорежущих станков, плазморезательные машины, прессы поэлементной штамповки и т. д.). Механизация и автоматизация технологических процессов позволила уменьшить трудоемкость изделий в 2—3 раза.

За годы десятой пятилетки выполнен большой комплекс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по разработке и внедрению специального технологического оборудования, оснастки и новых технологических процессов. По плану технического перевооружения на 1980—1985 гг. предусматриваются значительный рост внедрения на предприятиях отрасли передовой технологии, механизации и автоматизации производственных процессов, а также соответствующее снижение трудоемкости и повышение основных технико-экономических показателей.

В трансформаторостроении намечено завершить работы по механизации и автоматизации изоляционного производства, предусматривающие комплексный подход к решению всех проблем изоляционного производства, начиная с раскроя исходного листа электрокартона до получения готовой детали или узла. Для автотрансформаторов мощностью 2000 мВ·А намечено перейти к изготовлению изоляционных деталей сплошной формы методом формовки и литья. Необходимо полностью обеспечить производство магнитопроводов автоматическими линиями для резки пластин с косым стыком, а производство обмоток — новым технологическим оборудованием, обеспечивающим повышение производительности труда и применение специальных проводов и фольги.

В 1980—1985 гг. предполагается завершить комплексную механизацию производства трансформаторов I и II габаритов с пространственным магнитопроводом и вмотанной в него обмоткой, интенсифицировать трудоемкий процесс сушки трансформаторов, широко внедрив сушку в парах нефтепродуктов. Будет завершена разработка комплекса Государственных стандартов на трансформаторы, предусматривающие повышение срока гарантий завода-поставщика до пяти лет. Значительно более широко будут использованы ЭВМ для выполнения расчетов автоматизированных систем управления: АСУ-материалы, АСУ-технико-экономическое планирование, АСУ-производство, а также для решения инженерно-технических и управленческих задач технологической подготовки производства — АСУТПП.

Раздел второй

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И ТРАНСФОРМАТОРОВ

Глава четвертая

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

4.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

К литейному производству относится изготовление фасонных деталей или их заготовок путем заливки расплавленного металла в форму, полость которой имеет конфигурацию детали. Методом литья можно изготавливать изделия сложной конфигурации, которые другими видами обработки — ковкой, штамповкой, сваркой — получить трудно или невозможно.

В электрических машинах литые детали составляют 35—60 % общей массы. Наибольшее применение находят отливки из серого чугуна.

Из серого чугуна отливают корпуса, щиты, коробки выводов, крышки, втулки, нажимные шайбы электрических машин общего назначения. Серый чугун является самым дешевым из литейных сплавов. Он имеет хорошие литейные свойства и обладает способностью рассеивать вибрационные колебания при переменных нагрузках. К недостаткам серого чугуна следует отнести низкую пластичность. В последние годы находит применение высокопрочный чугун, который имеет лучшие механические свойства по сравнению с серым чугуном. Из него отливают детали для электродвигателей взрывобезопасного исполнения и ответственные детали для других электрических машин. Отливки из высокопрочного чугуна имеют среднюю стоимость на 30 % выше, чем отливки из серого чугуна.

Стальное литье применяют в электрических машинах в тех случаях, когда необходимо иметь детали с высокими прочностными характеристиками или когда детали служат магнитопроводами. Из стали отливают: корпуса, щиты, детали коллекторов, нажимные фланцы машин постоянного тока, валы, втулки роторов, нажимные шайбы крупных электрических машин. Если отливка применяется для детали, которая является магнитопроводом, то следует выбирать сталь с содержанием углерода до 0,25 %. Для получения стальной отливки с хорошей свариваемостью содержание углерода не должно быть ниже 0,18 %. Стальные отливки имеют среднюю стоимость на 50 % выше, чем отливки из серого чугуна.

Наиболее прогрессивными способами получения чугунных и стальных отливок в настоящее время следует считать: литье в формы из песчано-глинистых смесей на автоматических и поточных линиях опочной и безопочной формовки, литье в кокиль, литье в оболочковые формы, литье в облицованный кокиль.

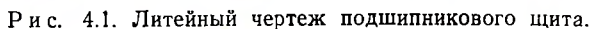
При производстве электрических машин также находит применение алюминиевое литье. Из алюминиевых сплавов отливают: корпуса, щиты, крышки, коробки выводов, вентиляторы для машин малой мощности, клинья роторов турбогенераторов, щеткодержатели и другие детали. Преимуществом алюминиевых сплавов являются малая плотность, высокая коррозионная стойкость, хорошие литейные свойства, хорошая обрабатываемость резанием. Наиболее прогрессивный способ литья алюминия — литье под давлением на горизонтальных автоматических и полуавтоматических литейных машинах.

При производстве электрических машин и трансформаторов также находят применение отливки из медных сплавов, латуни и бронзы. Для электрических машин отливают щеткодержатели, смазочные кольца, наконечники для соединения стержней обмоток и другие детали. Для трансформаторов отливают контакты, контактодержатели, втулки, фланцы и другие детали. Так как

Стоимость отливок из цветных сплавов в 3—6 раз выше стоимости отливок из чугуна.

В производстве электрических машин малой мощности для изготовления постоянных магнитов используют железнокобальтовые и никелевые сплавы.

При конструировании литых деталей конструктор должен учитывать ряд конструктивно-технологических требований. Литая деталь должна иметь внешние очертания, представляющие собой простые очертания, состоящие из простых геометрических фигур. Простые очертания детали должны быть выполнены по возможности в виде симметричных контуров, сочлененных плавными переходами. В де-



гали должно быть минимальное количество глубоких впадин, резких переходов толщин стенок, поднутрений, бобышек и выступающих частей. Для увеличения жесткости и прочности отливок при тонких стенках и глубоких нишах должны быть предусмотрены ребра жесткости. Количество стержней и съемных частей при отливке должно быть минимальным.

На основании конструкторского чертежа разрабатывается литейный чертеж детали. На литейном чертеже указываются припуск на механическую обработку, технологический припуск, технологические операции изготовления отливки, специальные требования к отливке. Припуск на механическую обработку — дополнительный слой металла, который удаляется при механической обработке, для того чтобы получить необходимую точность и качество детали. К технологическим припускам относятся литейные уклоны, напуски, приливы, усачные ребра. Технологические припуски обеспечивают качественное изготовление отливки. К технологическим операциям изготовления отливки относятся установление линии разъема модели (с указанием верха и низа, расположения ее в форме), линии разъема стержня, расположения стержневых знаков, места подвода питания, расположения прибыли. При установлении линии разъема модели учитывают, что обрабатываемые поверхности отливки должны находиться внизу, удаление модели из формы должно осуществляться легко. Следует помнить, что отливки, изготавливаемые в одной полуформе, имеют большую точность.

На рис. 4.1 приведен пример оформления литейного чертежа отливки подшипникового щита для электродвигателя. Штриховкой показаны припуски для механической обработки. Установлен разъем и предусмотрены уклоны в сторону разъема. Острые углы и кромки скруглены.

На рис. 4.2 показана форма для отливки двух ступиц электродвигателя. Для получения отверстия в ступице использованы стержни 10, установленные в стержневые знаки 5 и 12.

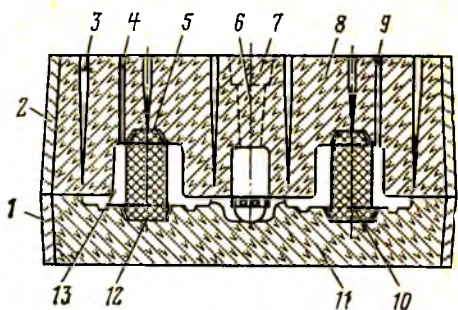


Рис. 4.2. Форма для отливки двух ступиц.

1, 2 — нижняя и верхняя опоки; 3 — вентиляционные каналы; 4, 9 — выпоры; 5, 12 — верхний и нижний знаки; 6 — летник; 7 — летниковая чаша; 8, 11 — формовочная смесь верхней и нижней опок; 10 — стержень; 13 — полость отливки.

4.3. СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ОТЛИВОК

а) Технология изготовления отливок из черных металлов

Основной задачей, стоящей перед литейным производством, является максимальное приближение формы и размеров литых заготовок к форме и размерам готовых деталей. Специальные способы изготовления литых заготовок позволяют приблизиться к размерам готовых деталей, повысить коэффициент использования металла, резко уменьшить объем механической обработки.

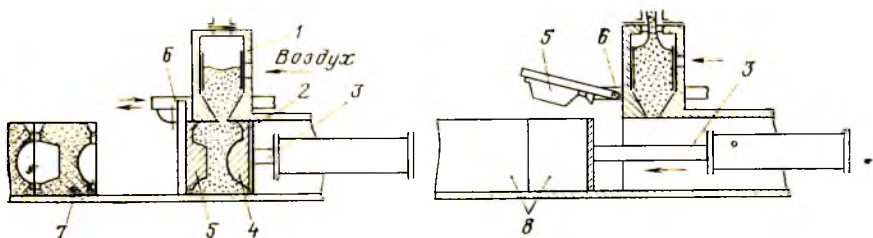


Рис. 4.3. Способ безопочной формовки.

В последнее время благодаря разработке смесей с высокой прочностью во влажном состоянии, методов выбивки форм без механических ударов опок, использования опок с высокой жесткостью, применения систем управления на основе бесконтактных датчиков и логических элементов, а также благодаря созданию надежно работающих быстродействующих формовочных автоматов широкое распространение получили автоматические и поточные линии опочной и безопочной формовки.

Самым распространенным и высокопроизводительным способом формообразования является способ уплотнения форм прямым прессованием.

Весьма эффективным способом изготовления чугунных отливок щитов электродвигателей с высотами оси вращения до 250 мм, крышек, муфт и других мелких деталей является литье в песчаноглинистые формы, получаемые на линиях безопочной формовки, со сборкой форм в горизонтальную непрерывную стопку и вертикальным разъемом. Этот способ не требует опочной оснастки, больших транспортных средств, отличается простотой выбивных устройств и автоматизацией почти всех технологических операций.

На рис. 4.3 приведен один из способов безопочной формовки. Формовочную смесь засыпают в бункер 1, из которого она сжатым воздухом подается в рабочий резервуар 2. С одной стороны резервуара находится подвижная модельная плита 4, передвигаемая штоком 3 поршня цилиндра, с другой стороны — поворотная модельная плита 5; боковые стенки модельной плиты ограничены кассетами. Формовочная смесь в резервуаре 2 уплотняется при

передвижении модельной плиты 4. После уплотнения формы рамка 6 вместе с поворотной плитой 5 отодвигается и модель извлекается из формы. Модельная плита 5 поднимается вверх, уплотненная полуформа 7 передвигается штоком 3, в результате чего образуется безопочная стопа 8. Шток 3 с подвижной плитой 4 извлекаются из полуформы и возвращаются в исходное положение. После этого все операции повторяются.

На Московском электромеханическом заводе имени Владимира Ильича эксплуатируется автоматическая линия безопочной формовки модели АЛ-2002, разработанная Харьковским филиалом ВНИИЛИТмаш. Особенность ее конструкции — наличие транспортного устройства, на котором выполняется ряд технологических операций: сборка форм в стопу, заливка и транспортировка форм к выбивному устройству. Транспортное устройство, в качестве которого используется шагающий конвейер, обеспечивает точность сборки и целостность форм в стопе по всей длине линии. Это позволяет использовать сырую смесь с пределом прочности 60—70 кПа. Эта смесь применяется в большинстве литейных цехов. Производительность линии 360 форм в час. Размер форм $600 \times 450 \times 300$ мм.

На таллинском заводе «Вольта» организован высокомеханизированный цех для отливки в металлический кокиль чугуновых станин и щитов для электродвигателей на автоматических линиях моделей А57 и А58. Кокили для заливки подшипниковых щитов состоят из двух водоохлаждаемых половин с вертикальной плоскостью разъема. Они установлены на восьмипозиционной карусельной машине с вертикальной осью вращения и периодическим поворотом стола на $1/8$ часть окружности.

На бакинском заводе «Электроцентролит» организован цех литья в оболочковые формы чугуновых станин электродвигателей серии 4А с высотами оси вращения 71—100 мм. Сущность технологического процесса изготовления оболочковых форм состоит в том, что на предварительно нагретую одностороннюю плиту с металлическими моделями наносят смесь песка и терморезактивной синтетической фенольной смолы. Под действием теплоты смолы, прилегающая к горячей оснастке, плавится и на модельной плите образуется односторонняя полутвердая песчано-смоляная оболочка. После удаления избытка смеси плита с образовавшейся на ней полутвердой оболочкой подвергается дополнительному нагреву для отверждения оболочки.

Готовая оболочковая полуформа с помощью толкателей снимается с модельной плиты и соединяется с другой полуформой. В полученную форму в вертикальном или горизонтальном положении заливают металл. Форма легко разрушается при выбивке готового изделия.

При литье в оболочковые формы уменьшаются припуски на механическую обработку отливок, что сокращает трудоемкость механической обработки и снижает массу отливок на 15—25 %.

На Томском электромеханическом заводе «Сибэлектромотор»

отливку станин электродвигателей серии 4А с высотой оси вращения 112 мм производят в облицованных кокилях.

Принцип литья в облицованный кокиль заключается в том, что на рабочую поверхность кокиля, предварительно нагретую до 200 °С, наносится слой толщиной 4—8 мм одноразовой песчано-смоляной облицовки на термореактивном связующем. В отдельных зонах кокиля толщина облицовки может быть большей или меньшей, в зависимости от условий охлаждения различных частей отливок. Таким образом, можно получать отливки с дифференцированной структурой.

Технология получения отливок в облицованных кокилях сочетает в себе преимущества кокильного литья и литья в оболочковые формы. По сравнению с литьем в чистый (необлицованный) кокиль литье в облицованный кокиль имеет следующие преимущества: повышенную стойкость кокилей (до 30 000 заливок), исключение из технологического процесса операций отжига отливок, упрощенную конструкцию кокиля (его можно изготавливать с литыми рабочими гнездами, не требующими механической обработки, что снижает стоимость кокиля), возможность получения отливок с выступающими частями и глубокими полостями, точных отливок любой конфигурации и оптимальных условий их затвердевания.

Прочностные и пластические свойства чугуна, стабильность качества отливок неразрывно связаны с особенностями процесса плавки, поэтому совершенствование технологии плавки чугуна является одной из актуальных проблем литейного производства. На многих заводах плавку чугуна производят в вагранках. В последнее время у нас в стране и за рубежом для плавки чугуна интенсивно внедряются электрические печи, особенно индукционные промышленной частоты.

Преимущества индукционной плавки серого чугуна перед получением его в вагранках следующие: возможность неограниченного использования отходов собственного производства (стружки, отходов электротехнической стали после штамповки и т. п.), повышение качества чугуна благодаря получению однородного расплава с равномерным химическим составом и меньшим содержанием вредных примесей, стабильность свойств выплавленного чугуна, уменьшение потерь металла за счет снижения угара металлической шихты, улучшение санитарно-гигиенических условий труда, сокращение потребности в дефицитном литейном коксе и литейном чушковом чугуне, сокращение транспортных расходов.

При переплаве в индукционных печах промышленной частоты стальной стружки или штамповой высеки можно получать так называемый синтетический чугун, по качеству не уступающий ваграночному.

Технология получения стальных отливок такая же, как и чугунных, но имеет некоторые особенности. Сталь по сравнению с чугуном имеет более низкие литейные свойства. Линейная усадка стали составляет около 2 %, что является причиной возникновения большого количества усадочных раковин и трещин в

отливках, имеющих резкие переходы от больших сечений к малым. При застывании сталь быстрее покрывается коркой, что препятствует выделению газов, и поэтому в стальных отливках, по сравнению с чугунными, больше газовых раковин. При охлаждении стали кристаллы, образующиеся в разное время, имеют разный состав. Это приводит к тому, что в разных точках стальной отливки показатели физико-механических свойств могут иметь различные значения.

Существует ряд способов улучшения литейных свойств стали. Уменьшение газовых раковин достигается введением различных добавок. Применяют выдержку стали в ковшах, перед заливкой, чтобы газы успели выделиться из металла. Для более свободной усадки отливок литейную форму делают с податливыми прослойками и пустотами. Высокая температура заливки стали требует применения высокоогнеупорных формовочных материалов. Форма должна иметь повышенную прочность, податливость и газопроницаемость. Во избежание образования усадочных раковин для питания массивных частей отливок широко практикуют применение прибылей. Следует иметь в виду, что прибыль выполняет свое назначение только в том случае, если жидкий металл в ней затвердевает позднее, чем в самой отливке. Рациональной формой и размерам прибыли следует уделять большое внимание, так как расход жидкого металла на прибыли доходит до 50 % и более от массы отливки, что снижает выход годного литья.

Готовые отливки из черных металлов подвергают дробеструйной очистке и грунтовке. В таком виде они поступают на склад для хранения и дальнейшей механической обработки.

6) Технология изготовления отливок из цветных сплавов

Большинство отливок из цветных сплавов получают способом литья под давлением. Литье под давлением позволяет получить литую заготовку, близкую по конфигурации и размерам к готовой детали в такой степени, что последующая механическая обработка, необходимая почти для всех способов литья, в данном случае становится минимальной или исключается совсем. Изготовление отливки литьем под давлением основано на запрессовке жидкого металла в металлическую пресс-форму при давлении 30—100 МПа.

Решающими факторами, влияющими на точность отливок при литье под давлением, являются размеры и сложность конструкции отливки, толщина стенок и направление усадки металла, точность изготовления пресс-формы, степень её износа.

Максимальная точность размеров достигается для тех элементов отливки, которые находятся в одной полуформе или образованы неподвижными частями формы.

Литье под давлением производят на специальных машинах в массовом и крупносерийном производстве. В современных машинах литье под давлением автоматизирован весь процесс литья:

дозирование металла, прессование, извлечение отливок, подготовка пресс-формы.

На рис. 4.4 показан участок литья под давлением, состоящий из двух машин 2, манипулятора 5 (робота) и прессы 3. Робот извлекает литую деталь из пресс-формы 1, опускает в ванну 4 с водой для охлаждения и после охлаждения устанавливает на пресс 3 для обрубки литника и облоя. После обрубки робот передает деталь на последующие операции. Одновременно с этим в

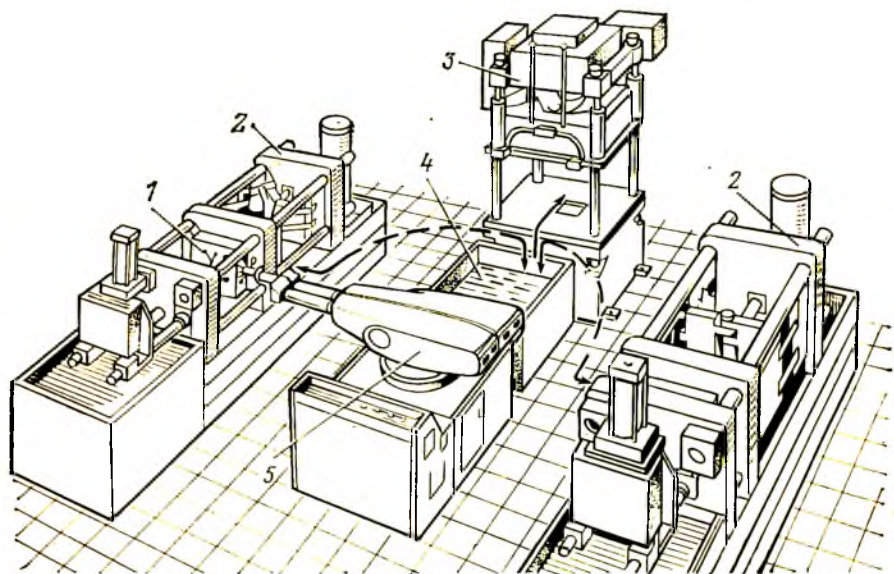


Рис. 4.4. Участок литья под давлением.

литьевой машине в автоматическом цикле производятся продувка сжатым воздухом пресс-формы, смазка ее, закрытие и впрыск дозы металла. После застывания металла пресс-форма раскрывается и робот берет отливку. Цикл повторяется. Производительность одной машины литья под давлением, работающей в автоматическом режиме, около 1000 отливок в час.

При литье под давлением пресс-формы выполняются стальными. Они имеют сложную конструкцию и высокую стоимость. До последнего времени при литье корпусов электрических машин из алюминиевых сплавов применялись пресс-формы с вертикальным разъемом. В них корпус электрической машины, коробка выводов и лапы отливались отдельно, а затем, после механической обработки, собирались. В настоящее время начинают применяться пресс-формы, имеющие четыре горизонтальных разреза. В них можно отлить корпус вместе с лапами и коробкой выводов (рис. 4.5). При этом сокращается трудоемкость литейных работ и дальнейшей механической обработки корпуса.

Р и с. 4.5. Эскиз четырехразъемной пресс-формы.

Глава пятая

5.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

41

электрических машин. Кроме того, на всех заводах ковкой получают заготовки для деталей оснастки и нужд ремонтных цехов.

Хотя горячая штамповка имеет ряд преимуществ перед ковкой, её применение в единичном и мелкосерийном производстве экономически не целесообразно. Это объясняется тем, что при свободной ковке используется универсальный (годный для изготовления различных поковок) инструмент, а изготовление специального инструмента (штампа) для небольшой партии одинаковых поковок экономически не выгодно. Исключение составляют грузовые болты, которые изготавливают горячей штамповкой, так как они, как правило, унифицированы и требуются в больших количествах.

Ковка является единственным способом изготовления тяжелых поковок (до 250 т и более) типа валов гидрогенераторов, роторов турбогенераторов, валов, втулок, ободов крупных электрических машин. Исходными заготовками дляковки тяжелых крупных поковок являются слитки массой до 320 т. Крупные поковки поступают с металлургических заводов после грубого обтачивания наружных поверхностей, чистового растачивания поверхности осевого канала, термической обработки и соответствующих испытаний на заводе-поставщике. Особенно жесткие требования предъявляются к поковкам для роторов турбогенераторов. Ротор турбогенератора является магнитопроводом, поэтому к материалу предъявляется ряд требований в отношении магнитных свойств. Роторы крупных турбогенераторов изготавливают из хромоникельмолибденованадиевой стали. Поковка после термической обработки имеет предел текучести 540—660 Па, предел прочности 735—813 Па и относительное удлинение 28—46 %.

Для бандажных колец ротора используется немагнитная аустенитовая сталь на основе γ -железа с присадками никеля и марганца. В целях получения высоких механических свойств производят упрочнение металла способами полугорячей раскатки, растяжки в клиновых кольцевых приспособлениях, гидравлического холодного растяжения [9]. При гидравлическом холодном растяжении значительно улучшаются механические свойства металла, повышается предел упругости на 15—22 % и текучести на 8—10 %, обеспечивается направленное распределение механических свойств по сечению заготовки. Кроме того, гидравлическое растяжение является проверкой прочности кольцевых заготовок, предназначенных для весьма нагруженных в механическом отношении бандажных колец.

На электромашино- и трансформаторостроительных заводах для получения деталей и заготовок используется прессование горячего алюминия, металлических порошков, пластических масс.

5.2. СВОБОДНАЯ КОВКА

К основным операциямковки относятся: осадка (уменьшение высоты заготовки за счет увеличения площади поперечного сечения), протяжка (удлинение заготовки за счет уменьшения площади поперечного сечения), прошивка (получение полостей в заготовке за счет вытеснения металла), отрубка (отде-

ление части заготовки), гибка (придание заготовке изогнутой формы по заданному контуру), скручивание (поворот части заготовки вокруг продольной оси).

Перед ковкой каждый металл или сплав должен быть нагрет до определенной температуры. Если нагреть сталь до температуры, близкой к температуре плавления, наступает пережог. При пережоге наступает полная потеря пластичности и пережженный металл представляет собой неисправимый брак и может быть отправлен только на переплавку.

Ниже температуры пережога лежит зона перегрева. Механические свойства изделия, полученного обработкой давлением из перегретой заготовки, оказываются низкими. Брак по перегреву в большинстве случаев можно исправить отжигом. Таким образом, максимальную температуру нагрева, т. е. температуру начала ковки, следует назначить такой, чтобы не было ни пережога, ни перегрева.

В процессе ковки металл остывает, соприкасаясь с более холодным инструментом и окружающей средой. Заканчивать ковку также следует при определенной температуре. Если продолжать деформирование при более низких температурах, металл упрочится и, вследствие падения пластичности, в изделии могут образоваться трещины.

Таким образом, каждый металл и сплав имеет свой строго определенный температурный интервал горячей обработки давлением.

Ковкой достигается не только изменение формы заготовки, но и улучшение ее механических свойств. Исходной заготовкой при ковке может быть слиток или прокат. При ковке слитка происходит частичная заварка пористости и раковин. Микроструктура металла становится полосчатой (волокнуистой). Полосчатость является стойким образованием и не может быть разрушена ни термической обработкой, ни последующей обработкой давлением. Металл с явно выраженной полосчатостью микроструктуры характеризуется анизотропией механических свойств. При этом параметры прочности (предел текучести, временное сопротивление и др.) отличаются незначительно друг от друга по разным направлениям, а параметры пластичности (относительное удлинение, ударная вязкость и др.) вдоль волокон выше, чем поперек их.

Так как направление волокон зависит от характера деформирования заготовки, желательно в готовой детали получить такое расположение волокон, при котором она имела бы лучшие служебные свойства. При этом общими рекомендациями являются следующие: необходимо, чтобы наибольшие растягивающие напряжения, возникающие в деталях в процессе работы, были направлены вдоль волокон, а если какой-либо элемент этой детали работает на срез, то желательно, чтобы перерезывающие силы действовали поперек волокон; необходимо, чтобы волокна подходили к наружным поверхностям детали по касательной и не перерезались наружными поверхностями детали, повторяли бы их форму.

Как правило, на заводах организуют кузнечные цеха или участки, оснащенные пневматическими или паровоздушными ковочными молотами или ковочными гидравлическими прессами. При свободной ковке нагретая заготовка укладывается на нижний боек и универсальным инструментом — верхним бойком — последовательно деформируется на отдельных участках заготовки. Металл свободно течет в стороны, не ограниченные рабочими поверхностями инструмента, в качестве которого применяются плоские или фигурные бойки, а также различный подкладной инструмент.

Для поковок небольшой массы (до 300—500 кг) исходной заготовкой служит сортовой прокат или прессованный металл. Сортовой прокат разделяется на заготовки.

5.3. КОВКА НА РАДИАЛЬНО-КОВОЧНЫХ МАШИНАХ

Для получения заготовок валов диаметров от 60 до 150 мм и длиной от 500 до 1200 мм используют радиально-ковочные машины. Их производительность достигает 200—300 тыс. заготовок в год,

что определяет область их эффективного использования. Радиально-ковочные машины являются дорогостоящим сложным оборудованием и их применение должно быть экономически обосновано. Частые переналадки при большой номенклатуре заготовок снижают эффективность использования машины, поэтому ее приобретению должны предшествовать рассмотрение номенклатуры заготовок для валов и при необходимости конструкторско-технологическая их доработка в части унификации.

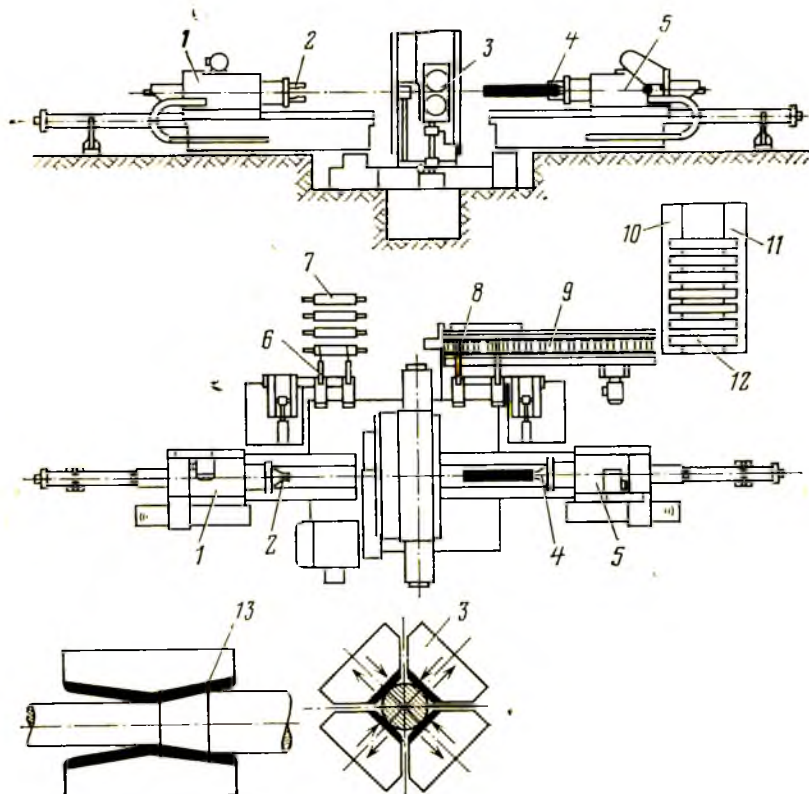


Рис. 5.1. Схема радиально-ковочной машины.

Рассмотрим принцип работы радиально-ковочной машины на примере образца, работающего на Новокаховском электромашиностроительном заводе им. 50-летия Великой Октябрьской социалистической революции. Схема машины представлена на рис. 5.1. Ковку заготовок валов производят из круглого проката, который нарезают нужной длины. Заготовки проката 12 помещают в индукционный нагреватель, который имеет два индуктора 10 и 11 и нагревают два конца вала до температуры 1100°C . Нагрев производят с определенной скоростью. При слишком большой ско-

рости нагрева между более нагретыми (поверхностными) и менее нагретыми (внутренними) слоями металла могут возникать напряжения. Последние могут возрасти настолько, что будет нарушена целостность металла — образуются внутренние микро- и макротрещины. При слишком медленной скорости нагрева увеличивается поверхностное окисление металла и образуется окалина. Кроме безвозвратных потерь металла с окалиной, последняя, вдавливаясь в поверхность металла, при деформации вызывает необходимость увеличения припусков на механическую обработку. Окалина также ускоряет износ деформирующего инструмента, так как ее твердость значительно больше твердости горячего металла.

Нагретая заготовка сталкивается на приводной рольганг 9 и с него загрузочным устройством 8 подается к захвату 4. Заготовка зажимается захватом и зажимная головка 5 движется влево, вводя конец заготовки в зону ковочных бойков. Ковочные бойки 3, армированные твердым сплавом 13, совершают колебательные движения по заданной программе, обжимая конец вала. При этом захват 4 вращает заготовку. После того, как обжат один конец вала, зажимная головка 5 подает вал влево, сквозь бойки, которые разведены в стороны, к зажимной головке 1. Захват 2 зажимает откованный конец вала, а захват 4 отпускает заготовку. Зажимная головка 1 отходит влево до тех пор, пока второй конец заготовки не окажется в зоне бойков. После этого бойки обжимают второй конец вала. Обжатый с двух концов вал разгрузочным устройством 6 переносится на место остывания 7. Остывание обжатых заготовок должно происходить равномерно. При остывании заготовок, сложенных в большой пакет, часть заготовок может искривиться.

Получение заготовок валов на радиально-ковочных машинах позволяет экономить до 30 % металла по сравнению с изготовлением валов из проката. При этом снижается трудоемкость токарных работ на 40—50 %, так как кроме того, что заготовка по форме близка к детали, припуск на обжатых концах вала оставляют в пределах до 1 мм. На экономию металла оказывает влияние допуск на прокат. С увеличением допуска излишний металл на обжимаемых концах уходит в длину вала, и его обрезают при дальнейшей обработке.

5.4. ПОПЕРЕЧНО-КЛИНОВАЯ ПРОКАТКА

Поперечно-клиновое прокатывание используется в крупносерийном и массовом производстве для получения заготовок ступенчатых тел вращения (валов, пальцев). Принцип поперечно-клиновой прокатки показан на рис. 5.2. Круглая, нагретая до ковочной температуры заготовка 4 помещается между вальцами 2 и 3, на которых расположен рабочий инструмент 5. Инструмент имеет винтовые поверхности 6 и цилиндрические выравнивающие 7. Вращаясь в одну сторону, вальцы за один оборот вальцуют деталь. После вальцовки отрезной резец 1 отрезает заготовку.

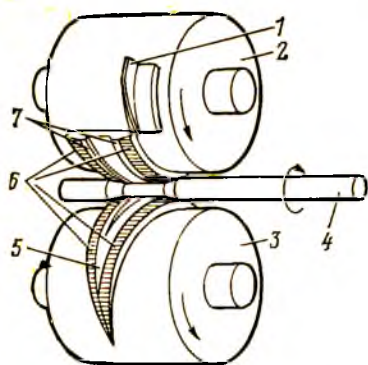


Рис. 5.2. Принцип поперечно-клиновой прокатки.

Установка поперечно-клиновой прокатки (рис. 5.3) состоит из магазина заготовок 9, подающего устройства 8, высокочастотного индукционного нагревателя 5 и ковочного пресса 1. Исходной заготовкой служит сортовой прокат длиной до 9 м. Установка работает следующим образом: исходная заготовка 10 подается на транспортные ролики 11. Подающий механизм 6 подхватывает заготовку 7 и постепенно подает ее в нагреватель 5. Пройдя нагреватель, заготовка через направляющие 13 поступает в ковочный пресс 1 до упора 15. После касания упора движение заготовки

прекращается, включается муфта 2 и за один оборот валков 12, 16 инструмент 4, 14 придает заготовке требуемую форму. В конце прокатки нож 3 отрезает прокатанную часть, которая падает на транспортер. После этого происходит подача материала и цикл повторяется. Установка работает в автоматическом режиме после того, как произошла прокатка первой заготовки.

Инструмент состоит из двух частей, закрепленных на валках. Инструмент изготавливают из инструментальной стали. Срок службы одного комплекта достигает 700 тыс. деталей, при этом через каждые 70—100 тыс. деталей необходимо производить восстановление инструмента. Диаметр рабочих валков 500—700 мм. Поперечно-клиновой прокаткой получают заготовки диаметром до

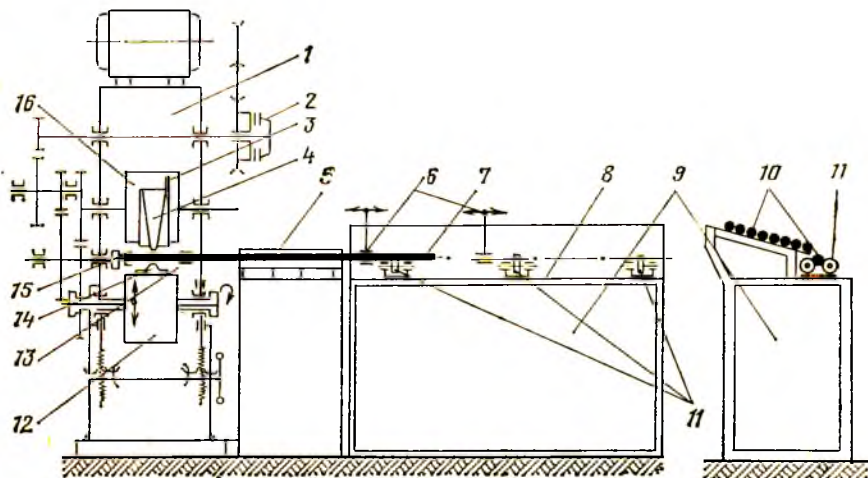


Рис. 5.3. Схема установки поперечно-клиновой прокатки типа UL—35.

80 мм с допуском $\pm 0,5$ мм и длиной до 630 мм с допуском $\pm 0,4$ мм; при этом экономия металла доходит до 50 % и сокращаются затраты на последующую механическую обработку. Производительность одной установки составляет 0,8—1,2 млн. заготовок в год. Наименьшая партия однотипных деталей составляет 8—12 тыс. шт.

Установки для поперечно-клиновой прокатки находят широкое применение для изготовления валов электрических машин массового производства на могилевском заводе «Электродвигатель», Новокаховском электромашиностроительном заводе им. 50-летия Великой Октябрьской социалистической революции и др.

5.5. ГОРЯЧАЯ ПРЕССОВКА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Прессованием горячего алюминия марки АД-31 можно изготавливать корпуса электродвигателей серии 4А с высотой оси вращения до 180 мм. Процесс прессования осуществляется следующим образом. Заготовка алюминия 2 (рис. 5.4, а), имеющая

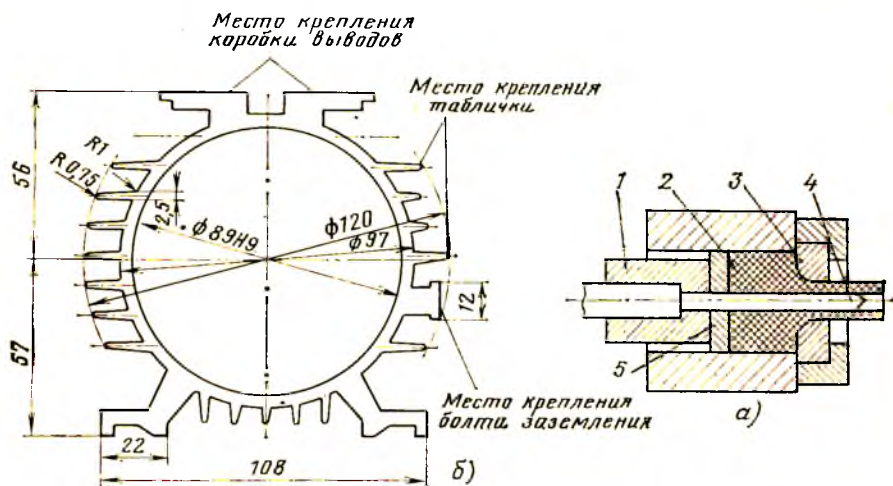


Рис. 5.4. Принцип горячего прессования алюминия.

а — схема прессования; б — поперечное сечение прессуемого профиля.

сквозное отверстие, нагревается до температуры 400°C и в результате движения пуансона 1 с пресс-шайбой 5 выдавливается в зазор между матрицей 3 и иглой 4. Матрица (рис. 5.4, б) имеет конфигурацию станины (ребра, лапы, площадка для установки коробки выводов и т. п.). Внутренний диаметр получаемой заготовки имеет минимальный припуск под обработку для посадки сердечника статора. Заготовки прессуют длиной до 10—12 м. После прессовки производят правку профиля растяжкой на растяжных машинах.

В таком виде заготовки поступают на электромашиностроительные заводы, где их разрезают на нужную длину. Материал прессованных заготовок обладает более высокими физико-механическими свойствами по сравнению с материалами заготовок, получаемых методом литья под давлением.

Более высокие механические свойства прессованных материалов позволяют получить станину с увеличенным оребрением (увеличивается поверхность охлаждения) по сравнению с литыми, а также снизить температурные перепады на станине благодаря лучшей теплопроводности за счет более высокой плотности материала. Для прессования используют вертикальные или горизонтальные гидравлические прессы с усилием до 50 МН. Производительность одного прессы в год до 2500 т заготовок.

5.6. ПРЕССОВКА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ

В производстве электрических машин используются детали, изготовленные из металлических порошков: контактные кольца, коллекторные пластины, полюсные наконечники, крышки подшипников, постоянные магниты, втулки, шестерни, рычаги, контакты, подшипниковые втулки. Изготавливаемые детали можно разделить на токоведущие, конструкционные и антифрикционные. Исходными материалами для изготовления деталей являются металлические порошки, состоящие из мелких частиц (0,5—500 мкм) различных металлов и их окислов. Основными технологическими свойствами порошков являются текучесть, прессуемость и спекаемость. Из антифрикционных материалов изготавливают подшипники скольжения, имеющие пористость 10—35 %. Металлическая основа является твердой составляющей, а поры заполняются маслом, графитом, пластмассой и выполняют роль мягкой составляющей.

Прессование порошков осуществляют в пресс-формах на гидравлических, механических и механогидравлических прессах давлением 200—1000 МПа в зависимости от формы прессуемой заготовки, размеров и требуемой плотности. При использовании вибрационного прессования давление может быть уменьшено в 50—100 раз.

В процессе прессования порошка увеличивается контакт между частицами, уменьшается пористость, деформируются и разрушаются отдельные частицы. Прочность заготовки обеспечивается силами механического сцепления порошков, электростатическими силами притяжения и трения. После извлечения заготовки из пресс-формы ее размеры, вследствие упругого последействия, увеличиваются на 0,3—0,5 % в направлении прессования и 0,1—0,2 % в направлении, перпендикулярном прессованию. Для повышения прочности заготовки их спекают. В процессе спекания одновременно протекают процессы диффузии, восстановления поверхностных окислов, рекристаллизации и др. Точность заготовок по высоте и диаметру достигает 11—12 квалитетов, шероховатость поверхности Ra4—Ra10. Спеченные заготовки можно обрабаты-

вать резанием (точение, сверление, фрезерование, нарезание резьбы и т. д.), сваривать, ковать. Максимальная масса металлокерамических заготовок достигает 2 кг. При автоматизации процесса производительность одного пресса достигает нескольких тысяч заготовок в час.

Схема автоматического прессования коллекторной пластины показана на рис. 5.5, а. Порошок, загружаемый в приемный бункер 1, перемещается в рукав 3 под действием собственного веса. Рукав заканчивается над пресс-формой 4 и может перемещаться по столу 5 пресса. Нижний пуансон 6 сделан составным, и положение составных частей определяет количество засыпаемого порошка. После заполнения пресс-формы рукав отходит в сторону и дает возможность провести прессование верхним пуансоном 2. При прессовании подпружиненная часть пуансона опускается. После прессования заготовка выталкивается нижним пуансоном и основанием 7, а рукав перемещается для следующей засыпки, сталкивая деталь в тару. Деталь показана на рис. 5.5, б. Использование материала в металлокерамических заготовках достигает 95—98 % [6].

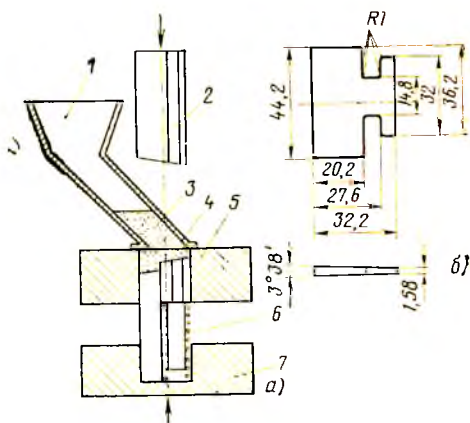


Рис. 5.5. Схема автоматической формовки коллекторной пластины из металлопорошка.

5.7. ПРЕССОВКА ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПРЕСС-МАТЕРИАЛОВ

а) Виды деталей из пресс-материалов

При производстве электрических машин и трансформаторов используются детали, полученные из пластмасс. Для электрических машин из пластмасс изготавливают коробки зажимов, дистанционные прокладки в обмотках, гайки к коробкам выводов, вентиляторы, кожухи вентиляторов, пазовые клинья и т. д. У трансформаторов пластмассовые детали используют в переключающих устройствах, деталях изоляции, крепежа и т. д.

Пластмассы во многих случаях удовлетворяют требованиям эксплуатации и производства электрических машин и трансформаторов, так как обладают сравнительно высокими механическими и электроизоляционными свойствами, коррозионной и химической стойкостью, низкой гигроскопичностью, малой вязкостью, красивым внешним видом, технологичностью, возможностью получения деталей сложной формы и т. д.

В большинстве случаев пластмассы состоят из смолы (связующего вещества), наполнителей, пластификаторов и красителей. В пластмассах применяют также естественные и синтетические смолы. Содержание связующего в пластмассах колеблется в пределах 30—60 %.

Пластмассы в зависимости от химических свойств связующего делятся на термореактивные и термопластичные.

Термореактивные пластмассы (реактопласты) под влиянием температуры и давления плавятся и заполняют форму, а при дальнейшем нагревании претерпевают химические превращения и переходят в неплавкое и нерастворимое состояние, сохраняя полученную форму. Термореактивные пластмассы не могут быть подвергнуты вторичной переработке. Из пресс-формы их удаляют в горячем состоянии.

Термопластичные пластмассы (термопласты) под действием температуры и давления плавятся и хорошо заполняют форму, при охлаждении же затвердевают. Изделия из термопластов (капрона, полистирола, органического стекла и др.) можно многократно перерабатывать. Из пресс-форм детали удаляют после охлаждения.

б) Технология производства деталей из термореактивных пресс-материалов

В качестве основного оборудования при изготовлении деталей из реактопластов используются вертикальные однопозиционные или роторные гидравлические прессы. В прессах целесообразно

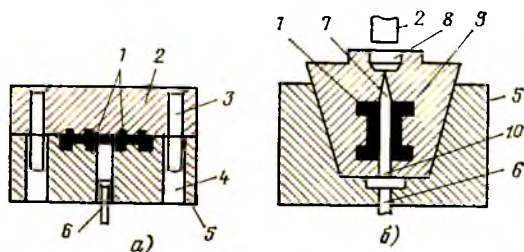


Рис. 5.6. Конструкция пресс-формы для переработки пресс-материалов прессованием (а) и пресс-литьем (б).

1 — изделие; 2 — пуансон; 3 — направляющая колонка; 4 — направляющая втулка; 5 — матрица; 6 — выталкиватель; 7 — литейный канал; 8 — загрузочная камера; 9 — вкладыш; 10 — поднутряющий штырь.

применять два рабочих давления: низкое (например, 0,8 МПа) для создания давления формования и высокое (например, 25 МПа) для создания давления при выдержке пресс-материала в пресс-форме с целью его полимеризации.

Прессы оснащаются пресс-формами. Выбор того или иного типа пресс-формы зависит от применяемого метода (прессования, пресс-литья), конструкции прессуемых деталей, оборудования и требуемой производительности. На рис. 5.6, а показана пресс-форма для прессования, а на рис. 5.6, б пресс-форма для пресс-литья.

Прессуемый материал укладывают в пресс-форму в виде порошка, гранул или таблеток. Наиболее эффективно использование

таблеток. Таблетирование материала производят из порошка на таблетировочных машинах. Использование таблеток дает следующие преимущества: уменьшается объем загрузочного пространства пресс-форм, уменьшается содержание воздуха в таблетках по сравнению с рыхлым материалом и вследствие этого достигается ускорение процесса нагревания и прессования, получается более равномерный и удобный предварительный нагрев таблеток (вне прессы) по сравнению с рыхлым материалом, уменьшаются при загрузке таблеток по сравнению с процессом дозирования рыхлого материала.

Волокнистые материалы (АГ-4) перед прессованием жгутируют. Это необходимо для уменьшения объема материала и получения возможности помещения его в загрузочную камеру пресс-формы. Жгутирование производят, пропуская материал через специальную фильеру или в пресс-форме на прессе.

Процесс прессования состоит из следующих операций:

дозировка пресс-материала. Она может быть весовая, объемная, штучная (для таблеток);

предварительный нагрев материала токами высокой частоты (нагрев происходит быстро и равномерно, так как материал прогревают по всему объему одновременно);

загрузка пресс-материала в пресс-форму;

опускание ползуна прессы и смыкание пресс-формы;

нагрев пресс-материала в пресс-форме (180—200 °С);

подпрессовка — это операция кратковременного размыкания и смыкания пресс-формы для выпуска газообразных продуктов во время прессования;

выдержка под высоким давлением (15—40 МПа). Она начинается с момента смыкания пресс-формы. Время выдержки колеблется от 1 до 1,5 мин на 1 мм толщины детали в зависимости от применяемого пресс-материала;

распрессовка, снятие детали и очистка пресс-формы;

термообработка, ее производят для некоторых деталей из определенных материалов.

Литье реактопластов под давлением — прогрессивный, производительный процесс. Сложность данного процесса заключается в том, что реактопласты при нагреве быстро переходят из пластического состояния в твердое.

в) Технология производства деталей из термопластичных пресс-материалов

Технологический процесс литья термопластов состоит из следующих основных операций: дозирования, нагрева и расплавления материала, инжекции (вспрыска под давлением) пластифицированного материала в сомкнутую форму, охлаждения деталей в форме, размыкания последней и удаления из нее готовых деталей.

Наибольшее распространение получают червячные литьевые машины. Процесс литья под давлением на червячной литьевой

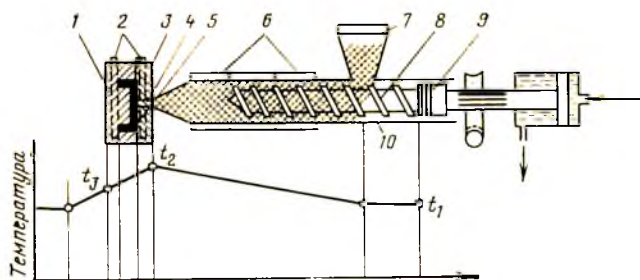


Рис. 5.7. Схема процесса литья под давлением на червячной литейной машине.

машине показан на рис. 5.7. Материал в виде гранул засыпается в бункер 7, откуда захватывается дозатором-пластификатором 8, нагревается, пластифицируется и продвигается в переднюю зону нагревательного цилиндра 10, где за счет теплоты, получаемой от нагревателей 6, окончательно пластифицируется (плавится и переходит в вязкотекучее состояние).

Расплавленный материал периодически проталкивается через мундштук в центральный канал с соплом 4 и в полость 5 предварительно сомкнутой и придвинутой формы, при этом происходит заполнение формы под давлением (вспрыскивание материала). Заполненная форма некоторое время выдерживается под напорным давлением материала. Во время выдержки под давлением за счет охлаждения формы водой, протекающей по каналам 2, изделие в форме остывает и твердеет.

После окончания впрыскивания поршень 9 отводят в правое положение и одновременно размыкают форму на две полуформы 1 и 3. Изделие толкателем выбрасывается из полости формы. Затем начинается отливка следующей детали.

Изменение температуры материала в процессе литья показано на рисунке ломаной линией, где t_1 — комнатная температура термопласта, t_2 — температура вязкотекучего состояния. В момент впрыска температура термопласта снижается до значения t_3 .

В литейных машинах можно отливать детали самой сложной конфигурации с тонкими поднутрениями.

Глава шестая

РАСКРОЙНО-ЗАГОТОВИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

6.1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ РАСКРОЯ ЛИСТОВОГО И ПРОФИЛЬНОГО ПРОКАТА

Листовой прокат в силу ряда причин может иметь волнистость. Горячекатаный прокат всегда покрыт слоем окалины, а во время хранения его поверхность может частично подвергаться коррозии.

Для получения качественных деталей и узлов, для обеспечения качественной сварки и окраски металл должен быть выправлен, очищен от продуктов атмосферной коррозии (ржавчины), окалины и других загрязнений. На заводах с крупносерийным производством для подготовки металла используют поточные линии. Подготовка металла начинается с правки его в многовалковых листо-правильных машинах. Наибольшее применение находят семивалковые листоправильные машины. Правку проката производят с точностью 1—2 мм/м. После выправки металл очищают в дробе-метных камерах. Очищенный металл для предохранения от коррозии пассивируют или грунтуют и сушат в печах. В таком виде металл поступает на дальнейшую обработку. Подготовку профильного проката производят на аналогичных линиях.

Резка металла является одной из основных операций для получения заготовок. Способы резки, виды оборудования для резки листовых материалов и профильного проката, а также области применения приведены в табл. 6.1, 6.2 соответственно.

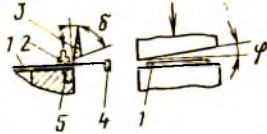
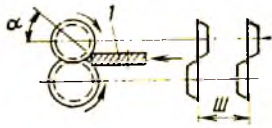
Резку производят по картам раскроя, которые предусматривают наиболее полное использование материала и минимальные отходы. Рассматривая детали на технологичность, выбирая способ резки, необходимо учитывать влияние последствия резки на трудоемкость последующих операций.

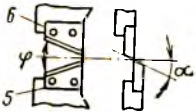
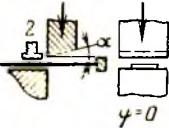
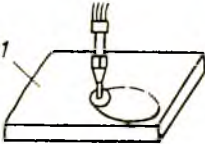
В тех случаях, когда металл неэкономично резать способами, приведенными в табл. 6.1, или технически трудно, применяют кислородную (газовую) или плазменно-дуговую резку; при этом из листов можно вырезать детали любой формы, скашивать кромки под сварку, разрезать профильный металл большой толщины.

Процесс кислородной резки металла основан на способности металла сгорать в струе технической чистого кислорода и удаления этой струей образующихся продуктов горения. Резка начинается с нагрева металла в начале реза подогревающим пламенем резака до температуры воспламенения металла в струе кислорода. Металл сгорает с выделением теплоты, которая передается через образовавшийся шлак нижележащим слоям; происходит сгорание металла по всей толщине разрезаемого листа с образованием узкой щели (реза). Образующиеся в процессе резки окислы и шлаки удаляются из реза струей кислорода, а также под действием собственного веса. Кислородная резка может осуществляться с применением ацетилена, природного газа, пропан-бутана или паров жидкого топлива (керосина). При кислородной резке температура воспламенения металла в кислороде должна быть ниже температуры его плавления. Лучшие всех металлов и сплавов этому требованию удовлетворяют низкоуглеродистые стали, температура воспламенения которых в кислороде — около 1300 °С, а температура плавления — около 1500 °С.

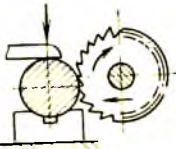
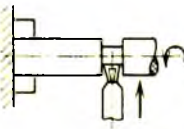
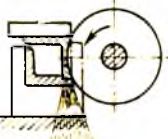
Сущность плазменно-дуговой резки заключается в проплавлении металла концентрированным дуговым разрядом в виде плазменной струи. Плазменная струя представляет собой направленный поток ионизированных частиц газа, имеющего температуру 10 000—20 000 °С. Плазму получают, пропуская поток газа через столб электрической дуги (рис. 6.1). При этом столб дуги сжимается, что приводит к повышению в нем плотности энергии и температуры, а газ ионизируется. Существуют две схемы устройств плазменных горелок (плазмотронов).

В плазмотронах первого типа (рис. 6.1, а) дуга 1 горит между неплавящимся вольфрамовым электродом (или электродом, имеющим циркониевую или гафниевою вставку) 2 и соплом 5. Столб дуги располагается в канале 4 корпуса горелки, изолированном от электрода керамической прокладкой 3. По ка-

Наименование оборудования	Схема режущего механизма	Наименование операций и область применения
Гильотинные приводные и рычажные ножницы		Резка на полосы и штучные заготовки. Рычажные ножницы применяются при малом объеме производства
Роликовые ножницы с несколькими парами прямых роликовых ножей		Резка тонколистового материала (до 2 мм) на несколько полос шириной $Ш$. Большие точность и производительность, чем при гильотинных ножницах
Роликовые ножницы с наклонными ножами (наклон позволяет получить малые радиусы закруглений)		Получение небольшого количества круглых и криволинейных заготовок из тонколистового материала вместо холодной штамповки

Наименование оборудования	Схема режущего механизма	Наименование операций и область применения
Виброножницы (ножи совершают 1500—2000 ход/мин)		Получение небольшого количества криволинейных заготовок из тонколистового материала по шаблону и разметке
Эксцентриковый пресс с отрезным штампом (ножи параллельные)		Получение штучных заготовок из полос. Высокая производительность
Газорезательная машина (автоматическая, полуавтоматическая)		Получение криволинейных заготовок из толстолистового материала

Примечание. 1 — разрезаемый материал; 2 — прижим; 3 — верхний нож; 4 — упор; 5 — нижний нож; 6 — верхний подвижный нож.

Наименование оборудования	Схема режущего инструмента	Ширина реза, мм	Производительность (ориентировочно)	Область применения и особенности применения оборудования
Пресс-ножницы		1,5—2,5	20—40 ход/мин	Резка профильного проката. Ножи должны соответствовать профилю проката, но должны быть с уклоном, как у гильотинных ножниц. У среза материал снимается, поэтому в ряде случаев необходим припуск для подрезки. Производительность высокая
Отрезные станки с дисковыми зубчатыми фрезами-пилами или сегментными плитами		3—4,2	10—300 мм/мин	Резка профильного проката с большими размерами сечения. Чистота и точность реза значительно выше, чем у пресс-ножниц, но производительность ниже. Для повышения производительности применяются зажимы для пакетной резки
Отрезные токарные и токарно-револьверные станки		3—12	20—30 мм/мин	Резка круглых, квадратных, шестигранных прутков. Срез чистый и точный. Производительность высокая
Отрезные станки с дисковыми пилами трения (без зубцов)		3—12	20—500 мм/мин	Резка профильного проката углового, коробчатого, труб и др. При резке материал плавится, поэтому требуется дополнительная обработка для удаления наплывов металла. Производительность очень высокая. Из-за сильного шума требуется установка в отдельном помещении

Примечание. Меньшие значения относятся к малым сечениям проката, большие — к большим.

палу через столб дуги пропускают плазмообразующий газ. Канал и сопло охлаждаются водой. Из сопла выходит ярко светящаяся плазменная струя 6.

В плазмотронах второго типа (рис. 6.1, б) дуга горит между электродом и заготовкой 7. При этом плазменная струя совпадает со столбом дуги, что обуславливает ее повышенную эффективность.

В качестве плазмообразующего газа используют аргон, азот, водород, воздух. Плазменная струя обладает большими технологическими возможностями. В частности, плазменной струей производят резку листов алюминия и его сплавов (толщиной до 80—120 мм), коррозионно-стойкой стали, медных сплавов. Плазменной струей независимой дуги режут неэлектропроводные материалы: керамику, стекло, бетон и т. д. Плазменно-дуговая резка по сравнению с кислородной резкой имеет ряд преимуществ: скорость реза в 3—5 раз выше; на нижней кромке заготовки практически не образуется грат, тепловые деформации значительно ниже.

Чистота и ширина реза зависят от способа резки. Машинная резка дает более чистые кромки и меньшую ширину реза, чем ручная. Ниже приведена ориентировочная ширина реза в зависимости от толщины разрезаемого металла:

Толщина металла, мм	5—15	15—30	30—60	60—100	100—150
Ширина реза, мм	2—2,5	2,5—3,0	3,0—3,5	3,5—4,5	4,5—5,5

Машинная резка дает возможность не только повысить производительность и качество резки, но и улучшить условия труда. Машины для резки согласно ГОСТ 5614-74 делятся на два основных типа: стационарные и переносные.

Стационарные машины изготавливаются трех классов точности исполнения заданного контура детали: первый класс $\pm 0,5$ мм, второй класс $\pm 1,0$ мм, третий класс $\pm 1,5$ мм.

Основным рабочим инструментом машины для кислородной резки является газовый резак, а для плазменно-дуговой резки — плазмотрон. У стационарных машин основным узлом, автоматизирующим процесс резки, является система копирования. В таких машинах применяются принципы механического, электромагнитного, фотоэлектрического, дистанционно-масштабного и программного копирования. Наиболее совершенным является программное копирование. В машинах с программным управлением автоматизируются все операции резки. Такие машины обеспечивают автоматическое зажигание пламени, автоматическое регулирование всех параметров резки: расстояние от сопла до поверхности металла, мощность пламени, скорость резки, последовательность резки деталей. Программносителем, как правило, является перфокарта. При работе на машинах с программным управлением за счет точного соблюдения технологического процесса и точного исполнения карты раскроя металла можно повысить коэффициент использования металла на 6—12 %. К стационарным машинам относятся машины типов АСШ-70, «Днепр», «Юг», СГУ-61, «Одесса», «Кристалл».

Одним из основных требований при разделке листового материала является экономичный раскрой листов с минимальными отходами. Детали из листового материала должны иметь форму и размеры, обеспечивающие наименьший раскрой листа. Для крупных деталей и деталей кольцевой формы это требование часто бывает трудно выполнить. В таких случаях приходится коль-

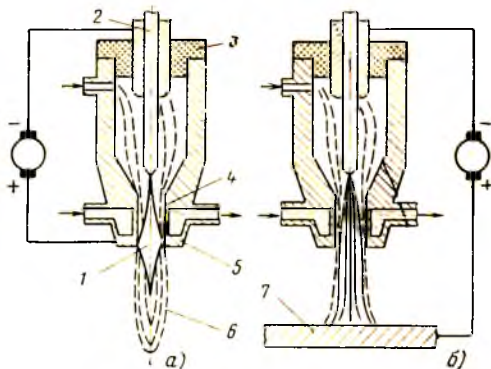


Рис. 6.1. Схема получения плазменной струи, выделенной из дуги (а) и совмещенной с дугой (б).

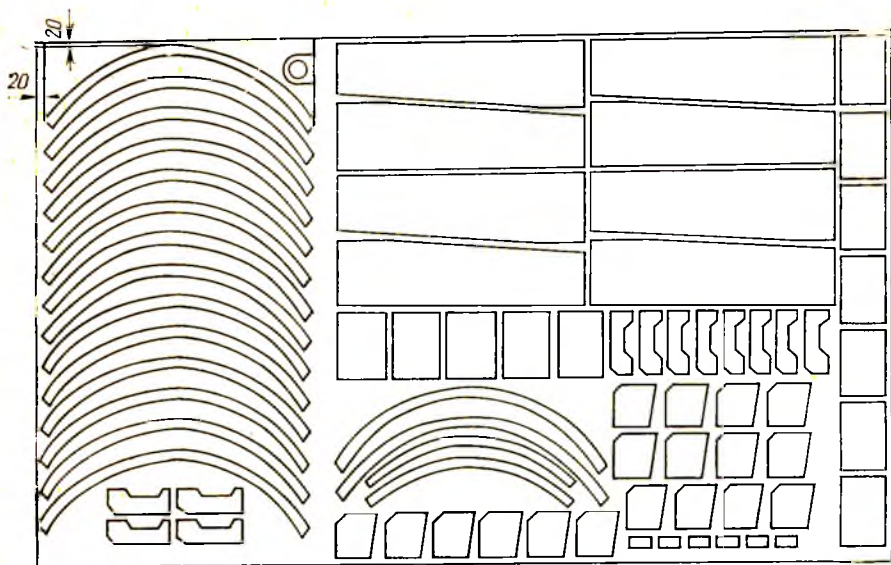


Рис. 6.2. Комбинированный раскрой листов стали на детали крупной электрической машины.

цо составлять из нескольких частей, хотя это увеличивает трудоемкость изготовления. Наилучшее использование площади листа получается при комбинированном раскрое из одного листа разных деталей. Для этого составляются карты раскроя. На рис. 6.2 показан комбинированный раскрой листов стали на детали крупной электрической машины. Резка по комбинированному раскрою осуществляется на машинах с программным управлением.

6.2. АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСКРОЯ РУЛОННОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СТАЛИ

Для оперативного обеспечения производства электротехнической стали необходимой ширины на заводах применяют автоматические линии продольной и поперечной резки рулонной стали. Схема линии модели Н4208 показана на рис. 6.3. Линия работает по методу «тянущего реза». Рулоны стали устанавливаются на наклонную плоскость питателя 1. Дозатор с помощью пневмоцилиндра отсекает один рулон и подает его на загрузочную тележку 2, которая обеспечивает установку рулона на барабан разматывателя. Тележка имеет гидравлический привод горизонтального перемещения и подъема до совпадения осей рулона и разматывателя. Разжим сегментов барабана разматывателя 3 для закрепления на нем рулона осуществляется с помощью пневмоцилиндра. Разматыватель имеет свой привод. В процессе заправки ленты двигатель через редуктор вращает барабан разматывателя, а в процессе резания двигатель работает в генераторном режиме,

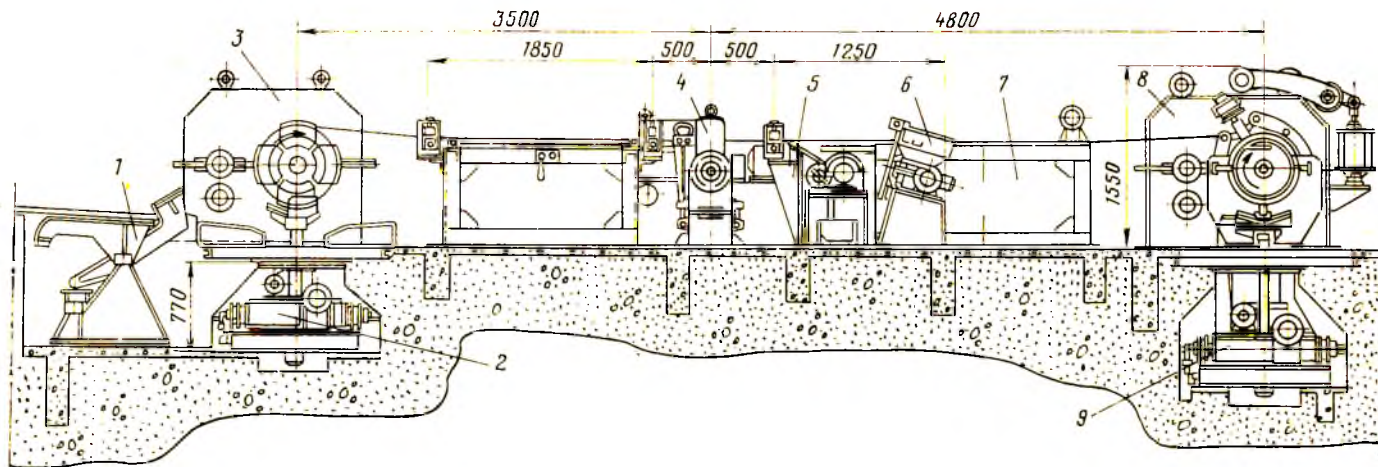


Рис. 6.3. Линия продольной резки рулонной стали модели Н-4208.

осуществляя торможение барабана разматывателя (для регулирования натяжения лент при резке).

Рулон на ленты режут на многодисковых ножницах 4 со съемной режущей головкой. Режущая головка состоит из двух горизонтальных валов (один вал с приводом) с комплектом дисковых ножей. Устройство режущей головки позволяет быстро производить замену головки и вести установку и настройку ножей вне линии. Кромкокрошитель 5 рубит боковые кромки ленты на

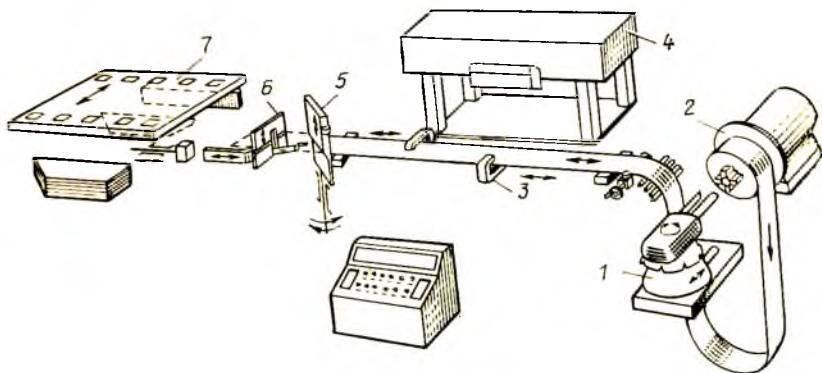


Рис. 6.4. Автоматическая линия поперечной резки рулонной стали модели Л-519.

крошку, которая сыпается на транспортер и эвакуируется в отходы. Заусенцы удаляются с боковых кромок разрезаемых полос с помощью зачистного устройства 6 и через систему натяжных и направляющих устройств 7 поступают на намотыватель 8. Наматыватель оборудован электроприводом постоянного тока, благодаря чему исключаются резкие рывки при вращении и с помощью системы автоматического регулирования поддерживается постоянная скорость резания (более 120 м/мин). Разгрузочная тележка 9 имеет сталкивающую плиту, с помощью которой разрезанные рулоны снимаются с барабана намотывателя, а затем транспортируются к месту их хранения.

На рис. 6.4 показана схема автоматической линии модели Л519, которая обеспечивает получение из рулонной стали косоугольных и прямоугольных пластин без отверстий. Загрузочная тележка 1 подает рулон к разматывателю 2. Благодаря тому, что рулон на тележке фиксируется по внутреннему диаметру, отпадает необходимость центрирования рулона по оси барабана разматывателя. Разматывающее устройство с петлеобразователем предназначено для удержания рулона и постепенного его разматывания в процессе работы линии. Контроль петли ленты и остановка привода вращения барабана разматывателя осуществляется с помощью микропереключателя, установленного на качающемся рычаге, на который воздействует петля ленты. В крайнем нижнем положении

рычага привод отключается. Механизм подачи ленты 3 клещевого типа с двумя попеременно действующими каретками подачи. Возвратно-поступательное движение подачи осуществляется гидроприводом, который питается от гидростанции 4. Поворотные ножицы 5 обеспечивают получение пластин с различным углом скоса поперечной кромки. Угол поворота ножиц регулируется упорами. Механизм уборки пластин и обрезки уса 6 предназначен для

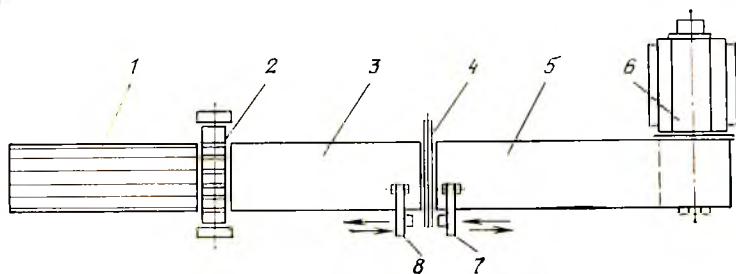


Рис. 6.5. Линия совмещенной резки рулонной стали.

уборки отрезанных пластин от поворотных ножиц, обрезки одного из острых углов пластины (уса) и подачи пластины на пластинно-укладчик 7. При необходимости линии поперечной резки могут иметь устройства для пробивки отверстий в отрезаемых пластинах.

Для изготовления косоугольных пластин без отверстий для трансформаторов II и III габаритов разработана линия совмещенной резки (рис. 6.5), на которой объединены операции продольной и поперечной резки.

Разматывающее устройство 6 обеспечивает механизированную установку рулона электротехнической стали и разматывание его во время работы линии. Для компенсации рассогласования скоростей разматывателя рулона и подачи предусмотрен петлевой приемок с электрическими датчиками, контролирующими петлю. При максимальной петле привод разматывателя отключается, при минимальной — включается. Лента рулона 5 подается в гильотинные ножницы 4 подающими каретками 7, перемещающимися возвратно-поступательно с помощью кривошипно-шатунного механизма. Движение каретки регулируется изменением радиуса кривошипа, а высокая точность хода достигается благодаря быстро-настраиваемым механическим упорам. На каретках расположены захватывающие устройства, которые сцепляются с лентой рулона только при движении каретки к гильотинным ножницам. Гильотинные ножницы 4 имеют гидравлический привод и ножи, оснащенные твердым сплавом. После отрезки карта 3 механизмом подачи 8 подается в дисковые ножницы 2. Механизм подачи 8 аналогичен механизму подачи 7. Дисковые ножницы оснащены твердосплавными ножами, настройка которых осуществляется вне линии. На дисковых ножницах предусмотрен механизм закатки заусенцев,

состоящий из нескольких пар роликов. Разрезанные карты 1 укладчиком подаются в контейнер или на поддон. Для взятия пластин на укладчике имеются специальные электромагнитные захваты [5].

6.3. ГИБКА ЗАГОТОВОК

Известно много способов гибки заготовок в холодном и горячем состояниях. В электромашино- и трансформаторостроении в основном используется гибка металла в холодном состоянии на гибочных машинах, листогибочных гидравлических прессах и трех- или четырехвалковых листогибочных вальцах.

На листогибочных вальцах выполняют вальцовку листовой стали для образования цилиндрических, конических, сферических и седлообразных поверхностей и кольцевую гибку (вальцовку) профильной стали (уголков, швеллеров, двутавровых балок.). На листогибочных прессах изготавливают гнутые профили и производят гибку листовой стали под углом. На роликогибочных станках производят вальцовку уголков, швеллеров и балок. Во избежание структурных изменений, появления значительного наклепа и полной потери пластических свойств стали, при холодной гибке заготовок, остаточное удлинение не должно выходить за границы предела текучести. При изготовлении гнутых профилей на листогибочных прессах внутренние радиусы закруглений для конструкций из углеродистой стали, воспринимающих статическую нагрузку, должны быть не менее 1,2 толщины листа, а для конструкций, воспринимающих динамическую нагрузку, не менее 2,5 толщины листа. Для листовых деталей из низколегированных сталей минимальные значения внутренних радиусов закругления должны быть на 50 % больше, чем для углеродистой стали.

Листогибочные вальцы имеют три или четыре горизонтальных вала, на которых гнут листовую сталь, максимальная ширина которой 2100—8000 мм при максимальной толщине 20—50 мм. Наибольшее распространение имеют трехвалковые вальцы с пирамидальным расположением вальцов (рис. 6.6). Два приводных нижних вала 4 вращаются в одном направлении. Верхний валок 2 перемещается по высоте и вращается в результате трения между валками и изгибаемым листом 1. Один подшипник верхнего вала может откидываться в сторону, для того чтобы можно было извлечь согнутую деталь. Перед гибкой листовых деталей цилиндрической формы подгибают оба торца листа 1 на подкладном листе 3. Подкладной лист должен иметь ширину, в 2 раза превышающую расстояние между осями нижних валков, а радиус гибки должен быть меньше на 10—17 % радиуса гибки детали с учетом упругой деформации стали. Толщина подкладного листа обычно принимается 25—30 мм, однако она должна быть не менее 2-кратной толщины вальцуемого листа, а мощность вальцов должна быть достаточной для гибки листа в 3 раза более толстого, чем вальцуемый. После подгибки подкладной лист снимают и приступают

к вальцовке, для чего листы пропускают через вальцы несколько раз в обоих направлениях. Степень изгиба листа регулируется подъемом или опусканием верхнего валька 2.

При гибке листовой стали на четырехвалковых вальцах подгибка кромок производится одновременно с вальцовкой (рис. 6.7). Верхний 1 и нижний 4 валки являются приводными и вращаются

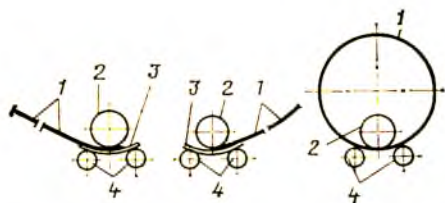


Рис. 6.6. Схема вальцевания листового проката на трехвалковых вальцах.

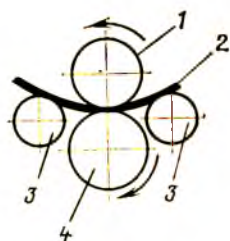


Рис. 6.7. Схема вальцевания листового проката на четырехвалковых вальцах.

в разные стороны, передвигая изгибаемый лист 2. Два боковых валька 3 не имеют привода и могут перемещаться по наклонным направляющим, приближаясь или отдаляясь от верхнего валька. Подгибка кромок осуществляется во время гибки за счет давления одним из боковых валков.

При гибке листовых деталей цилиндрической формы необходимо обеспечить перпендикулярность продольной оси листа и оси валков, так как при неправильной установке листа в вальцах кромки свальцованного цилиндра не совпадают, что является основным видом брака при вальцовке. Укладка листов между валками без перекосов осуществляется одним из следующих способов: столы для укладки листовой стали, предназначенные для гибки и поддержания деталей во время гибки, должны иметь поверхность из листовых полос, расположенных строго перпендикулярно к оси валков. На столах или рольгангах устанавливают перпендикулярно валкам линейку или упоры, по которым ориентируют лист. Вальцуемый лист подают торцом в упор заднего валька вальцов, на-

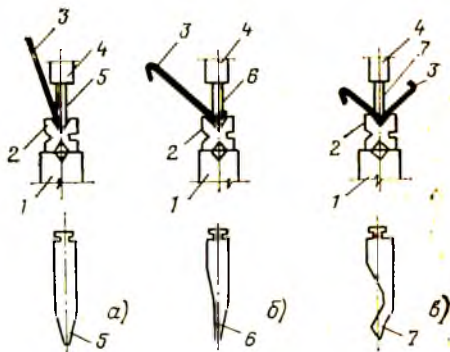


Рис. 6.8. Схема изготовления гнутых профилей на листогибном прессе.

а — первый гиб; б — второй гиб; в — третий гиб; 1 — стол прессы; 2 — нижний штамп; 3 — обрабатываемый лист; 4 — ползун; 5—7 — верхние штампы.

носят вспомогательные линии по образующим цилиндрической поверхности, которые при вальцовке совмещают с осью нижнего вала.

Для гибки листовых деталей с большей длиной линии изгиба и малыми радиусами закругления на заводах широко используются листогибочные прессы. На листогибочных прессах можно гнуть из листовой стали гнутые профили, заменяющие сложные составные сварные элементы (рис. 6.8). Наиболее часто применяются листогибочные прессы усилием от 1,6 до 3,15 МН с длиной стола 4750—5650 мм, а наибольшая длина изгибаемого листа 6000 мм. Максимальная толщина листа, изгибаемого на листогибочных прессах, 16—20 мм. Она ограничивается мощностью пресса, а также значительным снижением пластических свойств стали при увеличении толщины листа. Благодаря гидравлическому приводу пресса нечувствительны к точности настройки. Отклонение толщины листа в пределах допуска не влияет на работу пресса. Рабочими инструментами листогибочного пресса являются матрица и пуансон, которые изготавливаются из легированных марок сталей X12M и могут быть составными или цельными по длине.

Глава седьмая

СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

7.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Сваркой называется технологический процесс получения неразъемных соединений различных материалов. Сварку применяют для соединения однородных и разнородных металлов и их сплавов, металлов с некоторыми неметаллическими материалами (керамикой, графитом, карборундом, стеклом, и др.), а также пластмасс. Для соединения двух металлических элементов сваркой необходимо соединяемые элементы привести в такое состояние, чтобы начали действовать внутренние силы сцепления между атомами. Эти силы проявляют свое действие в том случае, когда атомы кристаллов металла сближаются между собой на расстоянии не менее $4 \cdot 10^{-10}$ см. Такие условия могут быть созданы двумя способами: применением нагрева и одновременно достаточно сильного сжатия свариваемых деталей внешней силой или расплавлением кромок свариваемого металла и заполнением шва жидким металлом. По ряду общих признаков способы сварки можно разделить на две основные группы: сварка с применением давления и сварка плавлением. На рис. 7.1 приведена схема классификации основных видов сварки.

Сварка является экономически выгодным, высокопроизводительным и в значительной степени механизированным технологическим процессом. Внедрение сварки в процесс изготовления электрических машин и трансформаторов связано с возможной за-

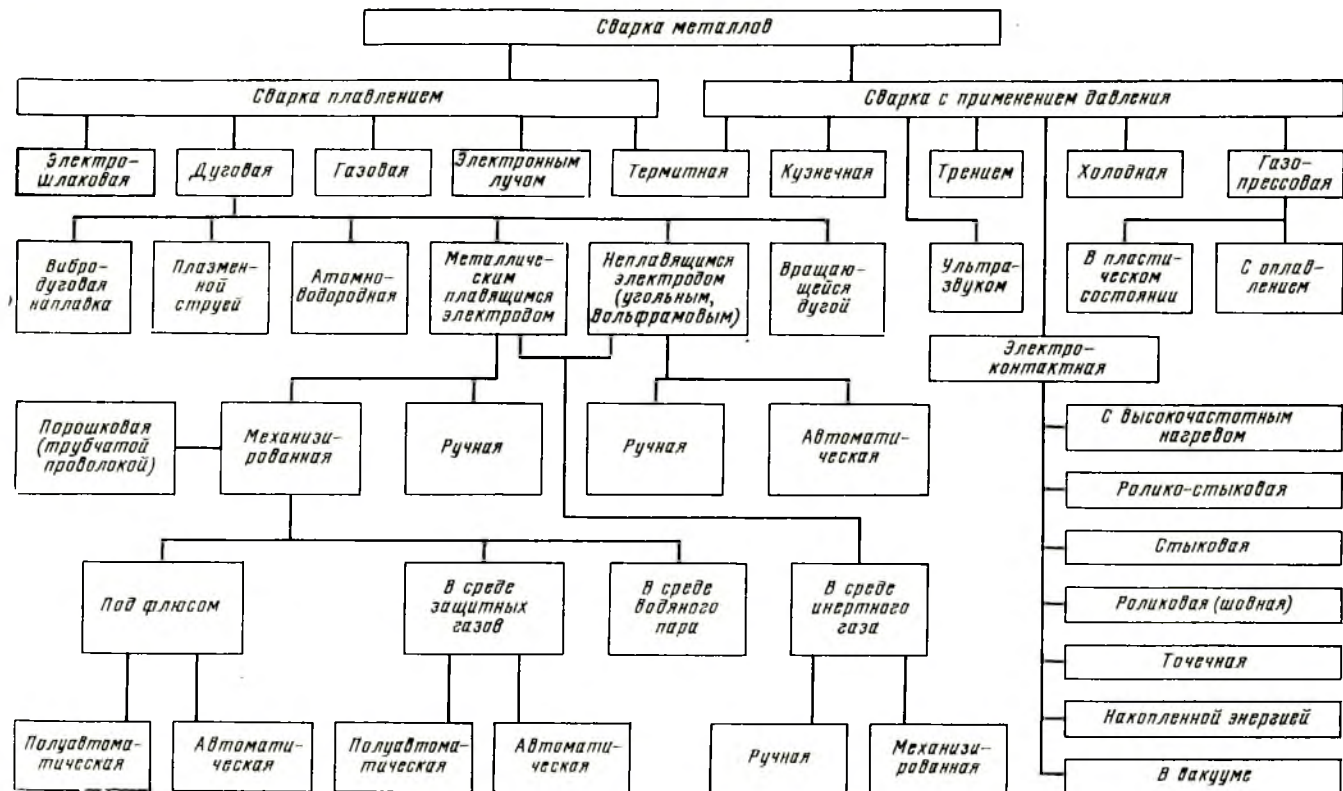


Рис. 7.1. Схема классификации основных видов сварки.

меной литых и кованных деталей и узлов прокатно-сварными или комбинированными, включающими литые, кованные и штампованные элементы, соединенные сваркой. Такая замена является экономически целесообразной, особенно, если конструкция имеет сложную геометрическую форму, а также при единичном и мелкосерийном производстве. Применение сварки в этих случаях приводит к экономии металла, сокращению трудоемкости, снижению себестоимости и улучшению условий труда.

В электромашино- и трансформаторостроении применяют многие способы сварки, но главным образом электросварку.

В данной главе не рассматривается принцип каждого способа сварки, так как это относится к курсу технологии металлов и излагается в специальной литературе [2].

7.2. СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Соединения деталей и узлов конструкции, образуемые с помощью сварки, называют сварными соединениями, а часть сварного соединения, образуемую расплавленным в процессе сварки и затем затвердевшим металлом, — сварным швом. Металл, из которого изготовлены свариваемые детали, принято называть основным металлом. В большинстве случаев недостаточно расплавить только один основной металл для заполнения зазора между соединяемыми деталями. Поэтому одновременно с расплавлением основного металла в пламя горелки вводят присадочную проволоку, конец которой расплавляется и дает дополнительный жидкий металл, образующий шов. Расплавленный металл присадочной проволоки или прутка, смешиваясь с расплавленной частью основного металла, образует металл шва.

Металл шва по своему составу и строению отличается от основного и присадочного металлов. Металл шва имеет структуру литого металла и поэтому, как правило, обладает несколько меньшей прочностью и вязкостью, чем основной прокатный металл. Для того чтобы при сварке деталей получить сварное соединение равнопрочным основному металлу, толщину шва несколько увеличивают по сравнению с толщиной основного металла. Это утолщение часто называют усилением. Однако излишнее утолщение шва является вредным, так как при вибрационных и ударных нагрузках такой шов может начать разрушаться в месте резкого перехода от наплавленного металла к основному, вследствие возможных концентраций в этих местах собственных внутренних

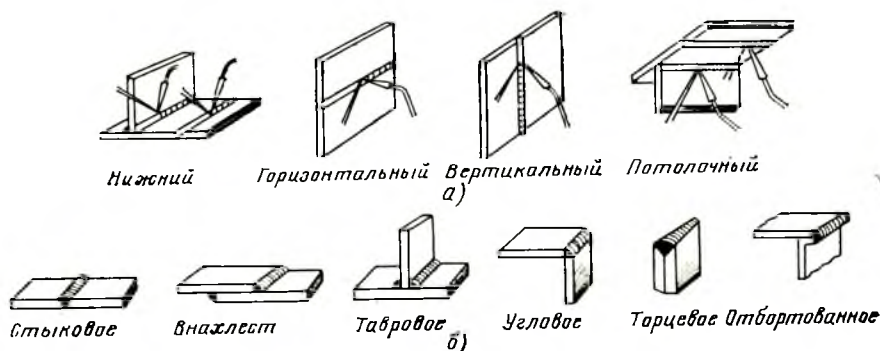


Рис. 7.2. Сварные швы и соединения.

а — виды сварных швов в зависимости от их положения в пространстве; б — виды сварных соединений в зависимости от взаимного расположения свариваемых деталей.

напряжений. В зависимости от положения в пространстве сварные швы бывают нижние, горизонтальные, вертикальные и потолочные (рис. 7.2, а). Самый простой для выполнения нижний шов, так как при сварке этим швом капли расплавленного металла стекают вниз, в сварочную ванну. Наиболее трудным для выполнения является потолочный шов.

В зависимости от взаимного расположения свариваемых деталей различают следующие наиболее распространенные виды сварных соединений: стыковое, внахлест, тавровое, угловое, торцовое и отбортованное (рис. 7.2, б). В зависимости от протяженности различают прерывистые и непрерывные (сплошные)

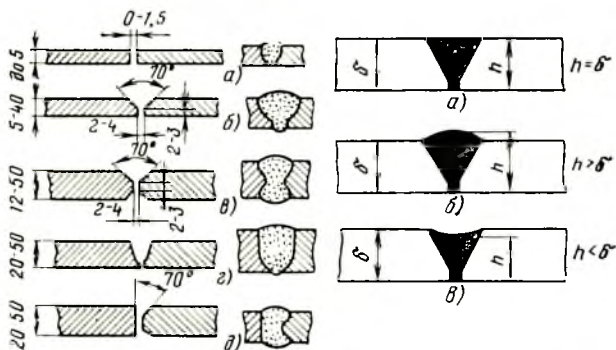


Рис. 7.3. Стыковые швы.

а — шов без скоса кромок, односторонний; б — У-образный шов со скосом кромок, односторонний; в — Х-образный с двумя симметричными скосами двух кромок; г — У-образный с криволинейными скосами двух кромок, двусторонний; д — К-образный с двумя симметричными скосами одной кромки.

швы. Соединения, где не требуется герметичность сварных швов, выполняют прерывистым швом, получаемым при полуавтоматической или ручной сварке. Наименьшая по сравнению с другими типами швов концентрация внутренних напряжений наблюдается у соединения встык. Стыковые швы применяются при сварке металлических деталей толщиной от 3 до 80 мм. При толщине листов более 5 мм в случае ручной сварки и 12 мм при автоматической сварке стыковые швы нуждаются в предварительной обработке кромок листов в месте предполагаемого стыка. Операция подготовки кромок называется разделкой стыка, размеры и форма стыка определяют название шва (рис. 7.3).

Элементы подготовки кромок под сварку и размеры сварных швов указываются в стандартах и разделяются по видам сварки: сварка под флюсом, полуавтоматическая сварка в среде углекислого газа и ручная дуговая сварка.

Перед сваркой осуществляют сборку узлов. Узлы сложной конфигурации собирают по шаблонам из тонколистовой стали. Размеры шаблонов определяют с учетом припусков на механическую обработку. Более простые узлы собирают в приспособлениях с механическими, гидравлическими или пневматическими зажимами. Собранные под сварку узлы соединяют с помощью прихваток (коротких швов), ширина которых должна быть не более $\frac{2}{3}$ ширины или катета будущего шва. Длину прихваток устанавливают в 4—5 раз больше толщины свариваемого металла, но не менее 10 и не более 100 мм. Расстояние между прихватами выбирают в 30—40 раз больше толщины свариваемых деталей, но не более 500 мм. Общие размеры прихваток должны быть такими, чтобы при сварке они перекрывались наложенным швом. Собранные и прихваченные конструкции попадают на участок сварки, где проваривают все швы.

При сварке почти всегда возникают остаточные сварочные напряжения, как правило, растягивающие напряжения в шве и сжимающие в основном металле. Для уменьшения остаточных сварочных напряжений при создании свар-

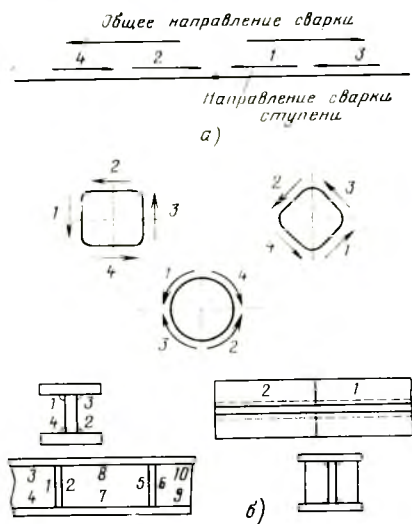


Рис. 7.4. Схема наложения сварных швов:

а — обратноступенчатый способ; б — метод уравнивания деформаций. Цифры обозначают порядок нанесения швов.

тия внутренних напряжений, испытания на прочность и плотность сварных швов, отделки и окраски изготовленных металлоконструкций.

Для изготовления металлоконструкций применяются различные виды малоуглеродистых сталей из профильносортового проката.

Материалы для изготовления сварных стальных конструкций необходимо выбирать не только по эксплуатационным требованиям, но и с учетом возможности высококачественной сварки. Например, малоуглеродистые стали лучше свариваются (не образуют трещин и т. п.), чем высокоуглеродистые и легированные. Поэтому одним из основных критериев качества сталей для сварки является их свариваемость.

7.3. СВАРКА УЗЛОВ МАШИН ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Основным элементом сварного корпуса (рис. 7.5) взрывобезопасного электродвигателя серии ВАО является цилиндрическая обечайка 1, к которой привариваются ребра 3, фланцы 2 и 5 и мелкие сварные узлы: лапы 4, патрубков 6.

Для изготовления корпусов используется листовой и полосовой прокат толщиной от 3 до 25 мм из малоуглеродистых сталей: Ст2, Ст3, 08 кп, сталь марки 20.

Наиболее металлоемкой деталью является обечайка. При серийном изготовлении станин для получения максимального коэффициента использования металла целесообразно применять полосу шириной, равной длине обечайки плюс припуск на обработку торцов; длина полосы при этом должна быть кратной развернутой длине заготовки. Резка полос осуществляется на гильо-

ных конструкций и разработке рабочей технологии сборки и сварки узлов необходимо избегать применения пересекающихся швов, располагать швы симметрично, не применять швов с излишними размерами катетов и усилений, применять, где это возможно, прерывистые швы, при наложении длинных швов (свыше 1 м) использовать обратноступенчатый способ наложения швов от середины к концам (рис. 7.4, а), сварку конструкций с симметричным расположением швов вести по методу уравнивания деформаций (рис. 7.4, б).

В готовых узлах уменьшение сварочных напряжений достигается высоким отпуском (при температуре 550—680 °С) в течение нескольких часов, прокаткой, проковкой сварных швов и околошовной зоны.

Технологический процесс изготовления сварных металлоконструкций машин и трансформаторов состоит из следующих основных операций: резки заготовок из листового и профильного проката, изготовления из заготовок деталей, подготовки поверхности в зоне шва, сборки узлов с предварительной прихваткой, сварки, зачистки швов и поверхностей от шлака и графа, сня-

тинных ножницах с применением торцевого и бокового упоров. Допуск на отрезаемую длину $\pm 1,5$ мм. Гибку обечайки производят на трехвалковых вальцах.

Продольный шов обечайки сваривают в большинстве случаев за две операции: первая — сварка под слоем флюса стыка цилиндра с внешней стороны за один проход на автомате марки АДС-1000 или головкой АБСК на флюсовой подушке; вторая — ручная или полуавтоматическая подварка стыка с внутренней стороны по концам обечайки.

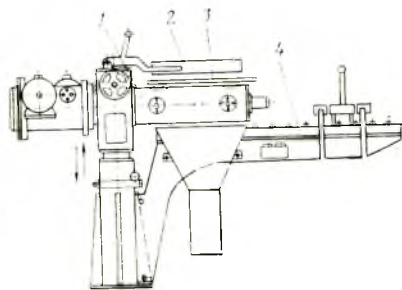
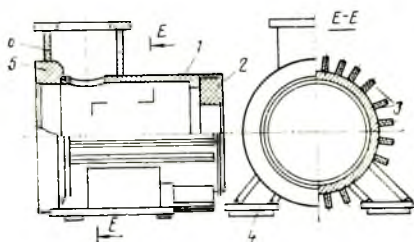


Рис. 7.5. Эскиз сварной станины взрывобезопасного электродвигателя серии ВАО.

Рис. 7.6. Установка типа ОБ-1428 для автоматической сварки обечайки станин стыковым швом.

Производительнее и высококачественнее односторонняя автоматическая сварка под флюсом с двусторонним формированием шва на установке типа ОБ-1428 (рис. 7.6), разработанной ИЭС им. Е. О. Патона.

Установка состоит из разжимного устройства 1, флюсодержателя 2, роляганга 4, медной подкладки 3. Она комплектуется головкой АБСК, сварочным трансформатором типа ТДС-1000 и шкафом управления.

Для приварки к обечайке фланцев кольцевыми швами применяется автоматическая сварка под флюсом на автомате типа АДК-500-6 проволокой марки Св-08а диаметром 2—5 мм.

Сборку под сварку мелких узлов типа патрубка, лап, а также сборку этих узлов с обечайкой осуществляют в приспособлениях.

Сварка мелких узлов и приварка их к корпусу в основном производится полуавтоматической сваркой в среде углекислого газа проволокой марки Св-08Г2С диаметром 1,0—2,0 мм на полуавтоматах типов А-537 и А-547У.

Корпуса взрывобезопасных электродвигателей изготавливают обычно оребренными. Количество ребер от 12 до 32 в зависимости от габарита и исполнения электродвигателя. Трудоемкость установки и приварки ребер составляет около 30—40 % общей трудоемкости сборки под сварку и сварки станины.

Для сборки и сварки ребер с обечайкой используют полуавтоматические установки, имеющие делительную головку с делительным диском и разжимной оправкой для закрепления обечайки, электропривод для поворота делительной головки, механизм фиксации и прижима свариваемого ребра к цилиндру обечайки и пульт управления. Сварка ведется под флюсом.

После приварки каждого ребра делительный диск вместе с обечайкой поворачивают.

Установку комплектуют сварочной головкой АБСК с источником питания. Применение такой установки повышает точность и снижает трудоемкость приварки ребер на 20—30 %.

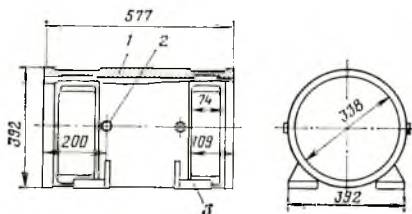


Рис. 7.7. Эскиз сварной станины электродвигателя постоянного тока серии 2П.

Для устранения сварочных деформаций, возникающих при приварке ребер, корпуса малых и средних габаритов с толщиной стенки до 10 мм подвергают дорнованию по внутреннему диаметру. Процесс ведут на гидравлических прессах. В процессе дорнования внутренний диаметр корпуса увеличивается на 2—3 мм, при этом устраняют как

сварочные деформации, так и эллипсность цилиндра, что облегчает получение необходимой точности при последующей механической обработке внутреннего диаметра.

Сваренные корпуса после зачистки от шлака, брызг и наплывов металла подвергают контролю: внешнему осмотру, проверке геометрических размеров, гидравлическим испытаниям на специальных стендах. Цель гидравлических испытаний — проверка прочности и плотности сварных швов.

Дефекты сварных швов, расположенных на необрабатываемых поверхностях, можно устранить подваркой швов без разделки, а устранение дефектов на обрабатываемых поверхностях требует разделки кромок.

Корпус электрической машины постоянного тока является магнитопроводом, что предопределяет выбор материала и большую толщину стенок (до 60 мм). Корпус изготавливают либо сварным из стального проката, стальных труб, либо из стального литья. Корпуса электродвигателей постоянного тока серии 2П (с высотой оси вращения 112—200 мм) выполняют сварными (рис. 7.7) из стальных труб. Диаметр труб 216—402 мм, толщина стенки 18—38 мм. К обечайке 1 корпуса приваривают бобышки 2 и лапы 3, изготовленные из листовой стали Ст3.

Изготовление осуществляется на специализированном участке с поточным расположением оборудования. Участок состоит из отделения изготовления лап, линий изготовления обечаек, сборки и сварки корпусов.

7.4. СБОРКА И СВАРКА КОРПУСА СТАТОРА КРУПНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

Корпус статора крупной электрической машины представляет собой сварную конструкцию из листового проката. Основными элементами (рис. 7.8) являются обшивка 5, 7, торцевые стенки 1 и 3, поперечные стенки 2, продольные ребра 4 и лапы 6. Корпуса собирают на плитах, на которых выполняют и сварку. При сборке применяют упоры в виде угольников, прикрепленных к плите. Перед сборкой корпуса собирают торцевые стенки. Для этого размечают плиту, на которую наносят наружный контур торцевой стенки 1, осевые линии и положение упоров. После установки и закрепления упоров по контрольным линиям плиты собирают стенки, состоящие из отдельных сегментов. Собранные стенки сваривают порошковой проволокой полуавтоматической сваркой.

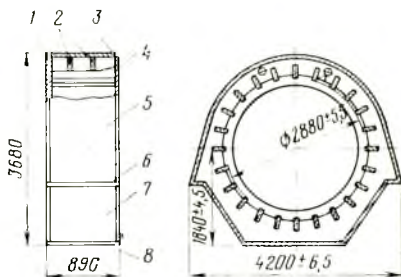


Рис. 7.8. Эскиз сварного корпуса статора крупной электрической машины переменного тока.

Корпус начинают собирать с установки лап 6 и крепления их скобами к упорам. Затем устанавливают торцевую стенку 1 по осевым линиям и прихватывают ее к лапам. На лапы наносят риску, соответствующую положению стенки 2.

Для фиксации положения стенки 2 на торцевую стенку устанавливают и прихватывают две временные распорки, а на лапы две планки. На распорки ставят стенку 2 и после совмещения осевых линий прихватывают стенку к распоркам и лапам. Аналогично устанавливают следующую стенку. На стенке 2 по шаблону размечают пазы под ребра и вырезают их газовой резкой. После вырезки и зачистки пазов устанавливают и прихватывают ребра 4, затем на ребра помещают торцевую стенку 3, выверяют её по осевым линиям и прихватывают к ребрам и лапам.

Собранный каркас корпуса сваривают порошковой проволокой полуавтоматической сваркой. Первыми приваривают ребра к стенкам, затем стенки к лапам. Для сварки с другой стороны узел открепляют от упоров и кантуют на 180°. Затем устанавливают листы обшивки 5, 7, 8 и приваривают к стенкам и лапам [11].

7.5. СБОРКА И СВАРКА ОСНОВНЫХ УЗЛОВ ГИДРО- И ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ

а) Сборка и сварка узлов гидрогенератора

Корпус статора гидрогенератора — наиболее крупный узел (наружный диаметр до 20 м, высота 3—4 м) — выполняют разъемным,

из нескольких секторов. Основные элементы корпуса (рис. 7.9): обшивка 7, полка 4, верхние и нижние опорные пояса 1, стыковочные плиты 2, 3, фундаментные плиты 6, клинья 5. Полки секторов также собирают из нескольких частей.

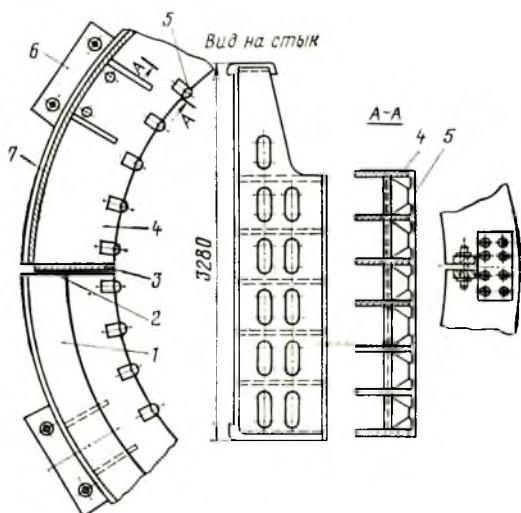


Рис. 7.9. Элементы корпуса статора гидрогенератора.

Секторы корпусов собирают большей частью в универсальных приспособлениях. Приспособление (рис. 7.10) состоит из трех

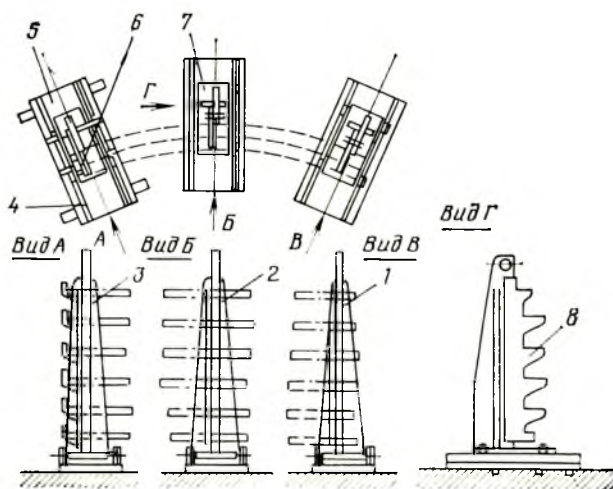


Рис. 7.10. Универсальные приспособления для сборки секторов корпуса статора гидрогенератора.

сварных стоек 1—3, смонтированных на подвижных тележках 7. К стойкам прикреплены (болтами) сменные плиты — шаблоны 6 и 8 с упорами, фиксирующими положение каждой полки свариваемого сектора. Тележки имеют ролики, с помощью которых стойки перемещаются по рельсам 4 в радиальном направлении. Рельсы прикреплены к плитам 5. Стойки зафиксированы в любом из радиальных положений, что обеспечивает возможность сварки на них секторов с диапазоном внутренних диаметров до 5 м.

Настройку приспособления на каждый тип корпуса гидрогенератора осуществляют следующим образом. К стойкам болтами крепят плиты-шаблоны, выверяют перпендикулярность их плите 5 и высоту. По нанесенным на плите 5 контрольным линиям и установленной полке-эталоны находят положение каждой стойки. После этого крепят тележки 7 к плитам 5 планками. Плиты 5 со стойками устанавливают на стендовые плиты.

После настройки приспособления опорный пояс 1 сектора (см. рис. 7.9) устанавливают на кронштейны приспособления и закрепляют распорными домкратами.

По шаблонам на опорный пояс накладывают и прихватывают ребра и угольники.

Угольники и ребра проверяют по высоте и при необходимости подрезают. На угольники и ребра кладут первую из средних полок 4 и после ее прихватки к ним устанавливают ребра и угольники для следующей полки. Закрепив все средние полки таким же образом, устанавливают и прихватывают листы обшивки 7 и верхний пояс 1. После этого размечают и обрезают концы полок, устанавливают и прихватывают попарно соединенные болтами стыковочные плиты 2 и 3. В таком положении сектор сваривают. После сварки всех швов в нижнем положении сектор вынимают из приспособления и кантуют для сварки с другой стороны.

Так как скрепленная болтами пара стыковочных плит приварена к одному из торцов сектора, то для подгонки и приварки одной из плит к торцу следующего (смежного) сектора все сектора собирают в кольцо по разметке на плите.

Технология сборки и сварки остова ротора зависит от его конструкции.

Различают три типа конструкций остова ротора: барабанные, дисковые и спицевые. При диаметре остова до 4,5 м применяют неразъемные барабанные и дисковые, а свыше 4,5 м — разъемные барабанные и спицевые.

Барабанный остов ротора (рис. 7.11) состоит из литой втулки 4, дисков 2, радиальных ребер 3, косынок 5 и клиновых полос 1. Детали остова поступают на сборку после механической обработки. Остов собирают по разметке. На диске размечают положения ребер и пазы под клиновые полосы. При сборке остова нижний диск устанавливают на подкладки.

Сборку производят в такой последовательности: в отверстие нижнего (правого) диска 2 устанавливают и прихватывают втулку 4, затем по разметке устанавливают ребра 3, подгоняя их от-

носителем втулки с зазором не более 2 мм. На ребра и вторую заточку втулки помещают верхний (левый) диск 2 и, совмещая пазы верхнего и нижнего дисков с помощью отвеса, прихватывают их. Затем устанавливают и прихватывают клиновые полосы 1 и косынки 5. 5. Собранный узел сваривают на полуавтомате в угле-

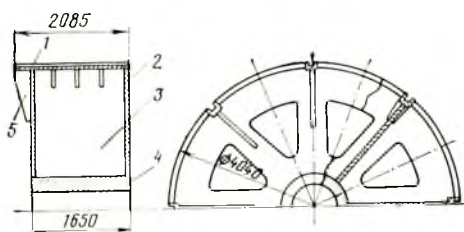


Рис. 7.11. Эскиз барабанного остова ротора гидрогенератора.

кислом газе (начинают с приварки в вертикальном положении ребер к втулке). Ребра к диску приваривают с диаметрально противоположных сторон, а клиновые полосы к ребрам и дискам — через одну полосу. После кантовки узла на 180° сваривают его с другой стороны в той же последовательности.

Спицевой остов ротора выполняют разъемным. Он состоит из радиальных спиц, сопрягаемых с центральной частью остова стыковочными плитами. Сборка остова ротора состоит из предварительной сборки деталей и узлов и узловой сборки.

Крестовины гидрогенераторов (верхние и нижние) служат для поддержки направляющих подшипников и подпятников. В зависимости от диаметра статора и давления на подпятник крестовины бывают

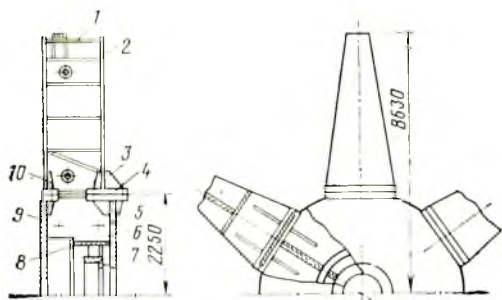


Рис. 7.12. Эскиз крестовины лучевого типа гидрогенератора.

двух исполнений: мостовые с двумя и четырьмя балками двутаврового сечения и лучевые, состоящие из центральной части и сопрягаемых с ней радиальных лап.

Мостовые крестовины применяют в основном в генераторах малой и средней мощности, крестовины мощных гидрогенераторов выполняют лучевыми (рис. 7.12).

Перед сборкой крестовины предварительно собирают и соединяют электрошлаковой сваркой нижний и верхний диски 5 и 9. Сборку центральной части начинают с установки на подкладки нижнего диска. На размеченный диск устанавливают цилиндр 7, ребра 6, полуцилиндры 8. Затем размечают места сопряжений диска со стыковочными брусками 4 и вырезают уступы под бруска.

После прихватки перечисленных деталей укладывают верхний диск 9, затем размечают и устанавливают спаренные бруска 4 и ребра 3 и 10.

Собранные детали сваривают полуавтоматической и ручной

сваркой в нижнем и вертикальном положениях, после чего узел кантуют на 180° и производят дальнейшую сварку. Сваренный узел подвергают отжигу и механической обработке.

Сборку лапы верхней крестовины начинают с предварительной сборки стенки 1 и полки 2. Состыкованные стенки и полки соединяют полуавтоматической сваркой в углекислом газе и при необходимости правят.

Лапу собирают по разметке. На закрепленную к плите струбцинами полку 2 устанавливают стенку 1, ребра 6, упоры, фланцы и после подготовки и проверки по высоте — верхнюю полку. Лапу сваривают в углекислом газе. Сборка и сварка лапы с центральной частью производится аналогично сборке центральной части крестовины со спицами [10].

б) Сборка и сварка узлов турбогенератора

Корпус статора турбогенератора — крупногабаритный сварной узел, который должен быть прочным и газоплотным. В зависимости от способа крепления сердечника статора и метода охлаждения обмоток корпуса имеют несколько исполнений.

Согласно требованиям железнодорожных перевозок некоторые крупные статоры выполняют разъемными из трех частей (средней и концевых): в средней части помещают сердечник статора, в концевых — газоохладители.

Основными элементами корпуса (рис. 7.13) являются наружная обшивка 2, внутренние (поперечные) стенки 3, торцевые стенки 1, лапы 4 и продольные ребра (клинья), крепящие листы сердечника [9].

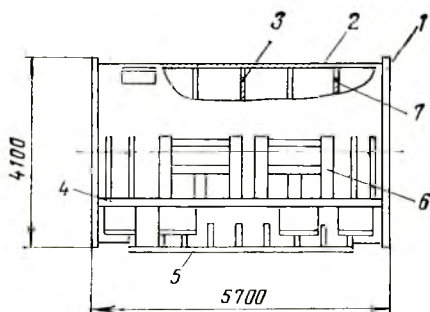


Рис. 7.13. Эскиз корпуса статора турбогенератора.

В зависимости от положения корпуса возможны два способа сборки: горизонтальный и вертикальный. Наибольшее распространение имеет сборка корпуса в вертикальном положении. Ее выполняют после предварительной сборки и сварки торцевых и внутренних стенок, состоящих из отдельных элементов — сегментов. Торцевые стенки, изготавливаемые из толстолистового проката, соединяют электрошлаковой сваркой. Перед сборкой торцевая стенка проходит механическую обработку по всем поверхностям.

Внутренние стенки изготавливают из четырех сегментов и собирают по копиру на плите. Перед сборкой первой стенки на плиту наносят ее контур и две взаимно перпендикулярные осевые линии. По нанесенным линиям собирают и прихватывают первую стенку, а на ней собирают последующие. Таким образом, все внутрен-

ние стенки укладывают друг на друга, образуя пакет. После сварки стыков внутренние стенки снова укладывают в приспособление и скрепляют планками. Механическая обработка стенок по внутреннему и наружному диаметрам выполняется в пакете.

Корпус статора собирают в вертикальном положении на плите с применением специальных угольников, обеспечивающих перпендикулярность корпуса по отношению к плите. После установки и выверки по отвесу угольники прикрепляют к плите. К угольникам крепят лапы корпуса,

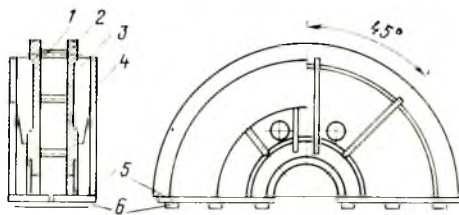


Рис. 7.14. Эскиз наружного щита статора турбогенератора.

затем устанавливают торцевую стенку, выверяют относительно базовых линий на плите и прихватывают к лапам. На выставленную торцевую стенку помещают и прихватывают распорки, на которые укладывают внутреннюю стенку. После совмещения базовых линий

на плите и стенке внутреннюю стенку прихватывают к лапам. После сборки всех стенок устанавливают листы обшивки. Последний лист подгоняют по месту и обрезают по ширине.

После сборки стенок, лап и листов приваривают стенки к листам обшивки (полуавтоматической сваркой в углекислом газе) и кантуют корпуса на 180° для приварки с другой стороны. Затем корпус перекаптовывают на 90° (лапами вниз) и устанавливают перегородки и ребра, расположенные между стенками. После следующей кантовки корпуса на 180° (лапами вверх) устанавливают рамку 5 в нижней части статора.

Дальнейшую сварку производят на роликовом стенде, где стыки наружной обшивки соединяют автоматической сваркой под слоем флюса, а также обшивку приваривают к торцевым стыкам.

После сварки на роликовом стенде корпус помещают на сборочную плиту для установки коробки выводов, фланцев и крепления транспортных лап. Детали устанавливают по разметке и приваривают порошковой проволокой полуавтоматической сваркой. После полной сварки корпус передают на испытание.

Наружный щит статора (рис. 7.14) выполняют из двух половин (полущитов), каждая из которых состоит из наружного 2 и внутреннего 4 дисков, соединенных ребрами 3 и стыковочными плитами 5 в местах разъема щита.

Сварка щита несколько затруднена тем, что высота внутренних ребер незначительна. Полушиты собирают по разметке. После разметки мест установки ребер наружный диск укладывают на технологические подкладки, высота которых равна выступающей части стыковочной плиты. По разметочным линиям устанавливают ребра, проверяют их перпендикулярность к диску 2 и прихватывают. Таким образом собирают второй полушит. Для уменьшения деформаций от сварки собранные полушиты соединяют попар-

но с помощью технологических распорок 1 и планок 6. Скрепленные детали полуштитов сваривают полуавтоматической сваркой в углекислом газе, затем устанавливают и приваривают ручной электродуговой сваркой внутренний диск 4.

Сваренные полуштиты в спаренном виде отжигаются для снятия внутренних сварочных напряжений. Отожженные полуштиты отделяют друг от друга, распорки 1 и планки 6 удаляют. После очистки от окалины и механической обработки щиты испытывают сжатым воздухом на газоплотность и жидкостью под давлением на прочность.

7.6. СБОРКА И СВАРКА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ

В конструкциях трансформатора многие детали и узлы имеют общие конструктивные признаки, одинаковое назначение и часто отличаются только размерами. Все многообразие металлоконструкций трансформаторов можно объединить в шесть основных групп: 1) баки; 2) крышки и днища; 3) тонколистовые объемные конструкции (расширитель, фильтры и др.); 4) системы охлаждения; 5) ярмовые балки, крюки и подъемные приспособления; 6) тележки, катки, каретки и т. п.

На каждую группу разрабатывают обычно типовые технологические процессы.

Значительная трудоемкость сборочных работ при сварке металлоконструкций трансформаторов требует широкого применения сварочно-сборочных приспособлений и широкого внедрения новых, более прогрессивных видов сварки. Значительное повышение производительности труда и точности изготовления конструкций обеспечивает комплексная механизация и автоматизация сборочно-сварочных работ на базе созданных механизированных поточных и автоматических линий сварки узлов.

Основными видами сварки металлоконструкций трансформаторов является автоматическая и полуавтоматическая. Основной вид шва — стыковой. Сварку производят автоматами типа ТС-17М, АДС-1000, АДФ-500 или полуавтоматами типа ПШ-5, ПШ-54.

При серийном и массовом производстве трансформаторов I—III габаритов сварочно-сборочные работы выполняют на поточных линиях, каждая из которых предназначена для сварки определенной группы узлов. Одна линия предназначена для пооперационной сварки баков, вторая — для сварки расширителей, третья — для сварки радиаторов и четвертая — для сварки мелких узлов, приварки шпилек к крышке бака и дну расширителя. На каждом рабочем месте предусматривается необходимый рабочий инструмент и установлен манипулятор, облегчающий повороты и перемещение деталей и узлов при сварке. Каждая линия имеет законченный цикл изготовления узла. Для сварки применяют сварочные тракторы типа ТС-17М-У, точечные шовные пневматические машины

типа МПТ, МШП и полуавтоматы типа А-547У для сварки в среде углекислого газа.

Бак трансформатора является крупногабаритным и наиболее трудоемким узлом. Дно, обечайка и рама, соединенные сваркой, образуют бак, на который устанавливают крышку. Соединение бака с крышкой должно быть плотным, чтобы обеспечить герметичность трансформатора. Дно бака штампуют на прессе усилием 2,5 МН. Сначала штампуют на штампе по заданному радиусу одну сторону заготовки, затем другую. Крышку выполняют за три перехода, выполняемых на трех отдельных штампах. Первой операцией является обрубка радиуса, второй — отбортовка заготовки по всему контуру, третьей — пробивка всех необходимых отверстий. Плоскую раму бака изготавливают гибкой в горячем состоянии; до установки на бак в ней пробивают все отверстия на том же штампе, что и при штамповке крышки.

Для изготовления обечайки от листа металла отрезают заготовку нужной ширины, по длине равную полному периметру бака, и в ней штампуют все необходимые отверстия. Затем на вальцах (или гибочных штампах) изготавливают овальную обечайку, края которой прихватывают между собой в нескольких местах электросваркой, и на установке производят сварку продольных швов сварочным трактором ТС-17м-У. Для сварки продольного шва устанавливают обечайку на кронштейне вдоль стыка и с помощью пневмозажима прижимают стык шва к сварочной головке трансформатора. Включают сварочный трактор и производят сварку на флюсовой подушке за один проход. Сварочный ток 170—300 А — в зависимости от толщины свариваемого металла. После того как сварены продольные швы, обечайку на специальной установке калибруют для придания правильной формы, затем к ней электросваркой приваривают дно и раму. Скомплектованный бак устанавливают на напольный толкающий конвейер, расположенный вдоль сварочных кабин поточно-механизированной линии, в которых выполняется приварка дна к баку, рамы к баку, фланцев для крепления радиаторов, охлаждающих ребер к стенкам бака, подъемных крюков, различных штуцеров и мелких деталей.

Дно и раму к баку приваривают на специальном манипуляторе, позволяющем в процессе сварки поворачивать бак. Сварку выполняют в среде углекислого газа полуавтоматом типа А-547У. Полностью готовый бак испытывают давлением 50 кПа в ванне, заполненной водой.

При изготовлении баков с радиаторами радиатор набирают из овальных или круглых труб, ввариваемых в трубные решетки, к которым привариваются верхняя и нижняя крышки. Для соединения радиаторов с баком в верхнюю и нижнюю крышки радиатора вваривают патрубки с фланцами. Радиаторы сваривают на поточной линии с применением механизированных приспособлений и манипуляторов. Все сварочные работы разбиты на операции, примерно равные по трудоемкости, и на каждом рабочем месте выполняют только определенную операцию. На поточной линии

радиаторы сваривают в такой последовательности: сборка труб с трубными решетками, сварка труб с трубными решетками, приварка верхней крышки, приварка нижней крышки, приварка патрубков с фланцами, испытание на герметичность сварных швов в готовом радиаторе. Проверяют герметичность сварных швов сжатым воздухом, после чего радиатор поступает на окрасочный конвейер.

При изготовлении ребристых баков охлаждающие ребра приваривают к стенкам бака на полуавтоматической многоэлектродной машине восемью сварочными контурами, в каждом из которых имеется по два наружных и по два внутренних электрода. Общее количество электродов 32. Одновременно включают по две пары электродов с каждой стороны машины, что позволяет обеспечить достаточно высокую производительность машины. Весь процесс сварки на ней происходит автоматически без участия рабочего [22].

Сварка расширителей выполняется на поточно-механизированной линии в следующей последовательности: вальцовка обечайки из заготовок с заранее проштампованными отверстиями, сборка обечайки — прихватка продольного стыка на контактной точечной машине типа АТП-10, сварка продольного шва обечайки шовной контактной сваркой на машине типа МПШ-150, сборка обечайки с днищем (донышко приваривают шовной контактной сваркой на машине типа МПШ-200, шпильки крепления маслоуказателя предварительно приваривают к днищу контактной сваркой на машине типа МПТ-75), установка, приварка арматуры, крепление кронштейнов на специальном приспособлении, сварка в среде углекислого газа полуавтоматом типа А-547, испытание сварных швов (давлением 50 кПа в ванне с водой) и подварка течей (сваркой в среде углекислого газа), приварка шпилек, крепление маслорасширителя к крышке трансформатора (контактной сваркой на машине типа МПТ-200), окраска деталей и узлов (на окрасочном конвейере непрерывного действия).

При мелкосерийном и индивидуальном производстве трансформаторов IV—VIII габаритов организация производства сварных металлоконструкций иная. Изготовление определенных узлов производят на специально оборудованных участках. Так, в сварочном цехе имеются участки по изготовлению баков, ярмовых баков, расширителей и тонколистовых конструкций, систем охлаждения. Имеются также участки по отдельным видам работ: испытаниям, окраске и др.

На рис. 7.15 показан сваренный бак трансформатора, стенка которого может состоять из нескольких (двух-шести) частей, соединяемых между собой встык как по периметру, так и по высоте. Сборку частей стенок производят на сборочной плите или стенде. Стыки сваривают сварочным трактором в горизонтальном положении. Сварной шов (после зачистки от шлака и брызг металла) проверяют на маслоплотность с помощью вакуум-камеры. При обнаружении дефекта производят подварку шва вручную.

Форму обечайке придают вальцовкой на трехвалковых вальцах. Разметку стенки под вальцовку начинают с нанесения осевых линий и линий перегиба с обеих сторон листа. Завальцевав и проверив радиус вальцовки (по шаблону) полустенок, их укладывают встык на сборочной плите. С помощью стяжных струбцин сводят до предела края нижнего замыкающего стыка, подравнивают концы стыкуемых полустенок и прихватывают по всей длине шва. Аналогично собирают и прихватывают верхний замыкающий шов.

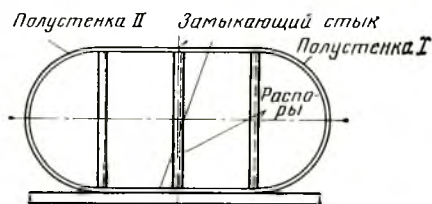


Рис. 7.15. Сборка стенки и установка технологических распорок овального бака.

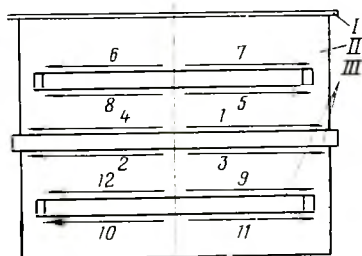


Рис. 7.16. Последовательность сварки стенок, рамы и жесткостей овального бака.

I — рама; II — стенки; III — жесткости; 1—12 — последовательность сварки; стрелки указывают направление сварки.

Для сохранения размеров образовавшегося бака и во избежание деформации стенок во время дальнейшей сборки бак фиксируют установкой распорок, прихватываемых по малой, а иногда и по большой осям бака. Замыкающие стыки заваривают в нижнем положении по подварочному шву сварочным трактором. Все сварные швы после очистки их от шлака испытывают с помощью пневмокамеры. Последней технологической операцией изготовления бака является приварка подъемных скоб для кантовки и подъема бака. На стенки бака устанавливают и прихватывают сначала одну полураму, а затем (повернув бак на 180°) — другую, после чего стыки рам сваривают между собой и приваривают раму бака к стенке с внутренней и наружной сторон. Сварка полуавтоматическая в среде углекислого газа.

Стенку (с приваренной рамой) устанавливают на дно, уложенное шипами вверх на сборочной плите, совмещают осевые линии стенки и дна и прихватывают стенку к дну снаружи и изнутри полуавтоматической сваркой. Для разметки стенки бака под установку крюков, косынок, наборов жесткостей, радиаторных и сливных патрубков бак укладывают на бок и в таком положении устанавливают и приваривают полуавтоматической сваркой под слоем флюса все указанные детали. Затем вырезают газовой резкой отверстия под патрубки. Всю сварку производят в нижнем положении.

нии, кантуя бак. Ребра жесткости и патрубки приваривают к стенке бака полуавтоматической сваркой в среде углекислого газа в последовательности, показанной на рис. 7.16.

Все детали к верхней части стенки приваривают аналогично описанному, для чего бак поворачивают на другой бок. Последними приваривают снаружи бака скобы, пластины, краны, уголки крепления шкафа, дутья, а внутри бака — упоры и бобышки. Сварка полуавтоматическая в среде углекислого газа по разметке. Затем снова поворачивают бак и приваривают к раме проволоку под установку резины, срезают технологические распоры, зачищают все швы от шлака и брызг металла, а также места подварки и прихватки.

При соответствии бака чертежным размерам его закрывают технологическими заглушками и испытывают на маслоплотность. После испытаний бак рамой устанавливают на крышку так, чтобы совпали стороны высокого и низкого напряжения бака и крышки, совмещают осевые линии крышки и бака и подмечают (кернером) крышку под сверловку по отверстиям рамы. Бак красят снаружи и внутри, зачищают пластины заземления и предъявляют ОТК.

Конструкция разъемного бака, широко применяемого в новых сериях мощных трансформаторов, сложнее, а его изготовление более трудоемко, чем овального бака со съемной крышкой. Стенка бака представляет собой две (а иногда три при баке с двумя разъемами) обечайки. Верхняя часть бака (колокол) представляет собой сложной формы сварной узел крышки с верхней обечайкой. Нижняя часть бака (дно) может быть плоской (если разъем внизу по дну), а чаще — это сложный сварной узел собственно дна и нижней обечайки. Разъем бака осуществляют по плоским рамам, привариваемым к нижней и верхней частям бака. Изготовление таких баков с достаточной точностью требует высокой квалификации рабочих и хорошей оснащенности рабочих мест. Подробнее о производстве металлоконструкций трансформаторов см. [24].

Ярмовые балки несмотря на различие в конструкции имеют одно назначение и к ним предъявляют одинаковые требования: балки и связанные с ними части должны без повреждения выдерживать усилия, возникающие при коротких замыканиях трансформатора, должны быть достаточно жесткими, чтобы обеспечить пресовку ярем магнитопровода, осевую пресовку обмоток и выдержать подъем трансформатора без возникновения остаточных деформаций.

В мощных силовых трансформаторах конструкция ярмовых балок сложная, с большим числом ребер жесткости. Сборку и сварку таких ярмовых балок производят на специальных сборочных стеллажах, широко применяя шаблоны и кондукторы. Сварка полуавтоматическая под слоем флюса или в среде углекислого газа.

Ярмовые балки трансформаторов средней мощности изготавливают в следующей последовательности: заготовка стенки, ребер, пластин и полос с последующей проверкой качества реза, не-

плоскостности деталей и габаритных размеров; установка стенки на сборочный стеллаж, разметка и прихватка ребер жесткости; поворот стенки на 90° , установка и прихватка верхней полки и пластины под брусья; кантовка на 180° , установка и прихватка нижней полки; поворот на 90° , установка и прихватка косынок; кантовка на 180° , установка и приварка подъемных крюков с постановкой клейма в месте приварки; сварка ярмовой балки — полуавтоматическая; разметка под сверловку; сверловка отверстий на сверлильном станке; зачистка сварных швов, притупление острых кромок; подготовка к окраске и окраска; контроль ОТК.

В процессе изготовления ярмовых балок производят текущий контроль: наблюдение за выполнением технологического процесса, измерение основных параметров и катетов сварных швов (швометром) в процессе сварки.

В готовой ярмовой балке проверяют привязки различных узлов и деталей, входящих в балку, качество сварных швов, чистоту обработки острых кромок, место клеймения, привязку отверстий в деталях балки, перпендикулярность полок относительно стенок, прогиб ярмовой балки по стенке и полкам.

После окраски баки трансформаторов в соответствии с требованиями ГОСТ 11677-75 должны подвергаться испытаниям на механическую прочность при избыточном давлении более $0,5 \cdot 10^5$ Па, а баки трансформаторов мощностью от 1000 кВ·А испытываются в вакууме с остаточным давлением 50 кПа. Эти испытания проводятся для определения запаса прочности, необходимого для нормальной работы трансформаторов [18].

Объем и методы испытаний устанавливаются заводом-изготовителем. По имеющейся практике установлена целесообразность измерения при этих испытаниях прогибов отдельных точек и механических напряжений в местах, где предполагаются наибольшие напряжения. Точки, в которых проводятся измерения, должны задаваться конструктором на основании расчетов, определяющих наиболее слабые места. Измерение прогибов производят по натянутой струне, а механических напряжений — тензометрами.

Для получения надежных результатов измерений бак должен быть надежно загерметизирован, все заглушки люков и патрубков, крышка и прочие детали должны быть привернуты всеми болтами, предусмотренными конструкцией бака. К баку должен быть подключен воздухопровод для создания нагрузки внутри бака (избыточное давление или вакуум).

Персонал, проводящий испытания, должен пройти специальное обучение и инструктаж.

7.7. ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОРПУСОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И БАКОВ ТРАНСФОРМАТОРОВ ИЗ ЛИСТОВОЙ СТАЛИ

Фирма «Чоок Вартман» изготавливает специальные линии для изготовления корпусов электрических машин и баков трансформаторов из рулонной стали толщиной до 2,5 мм. Принцип получения

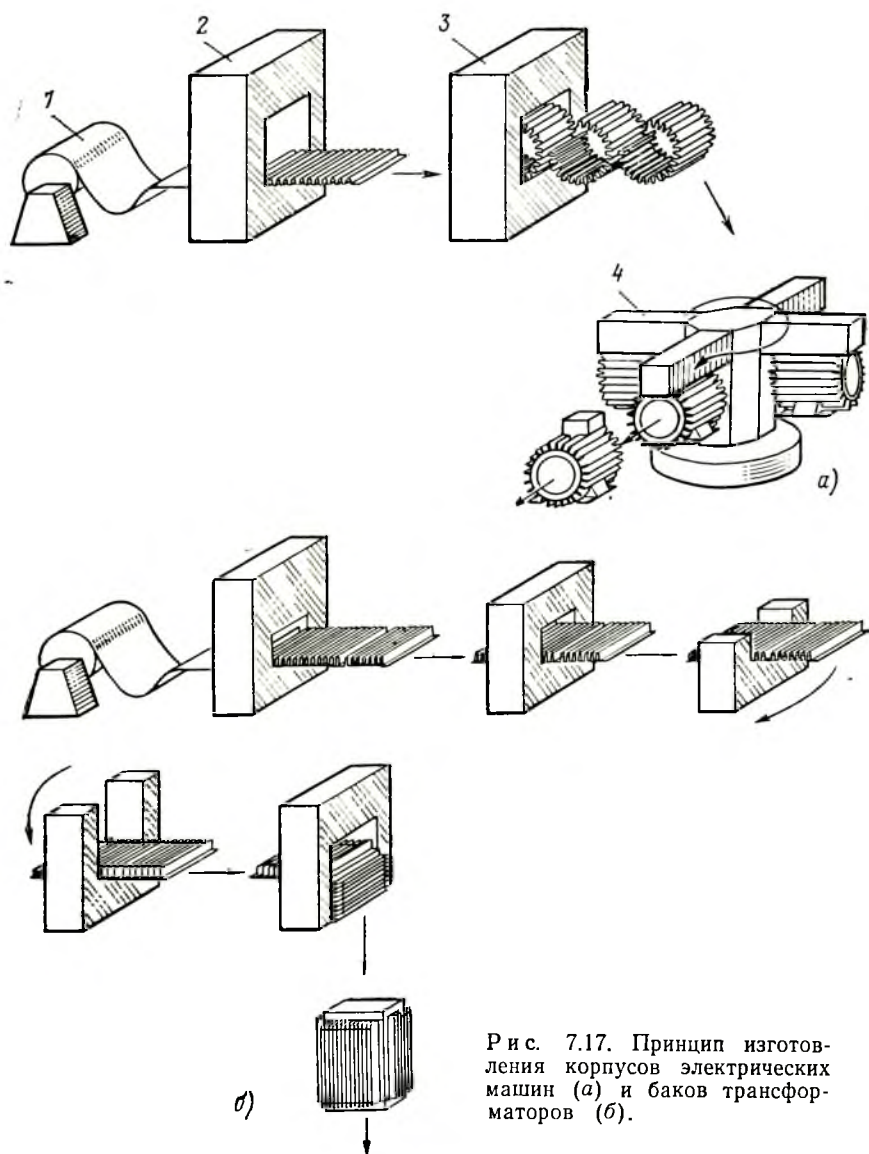


Рис. 7.17. Принцип изготовления корпусов электрических машин (а) и баков трансформаторов (б).

корпусов электрических машин показан на рис. 7.17, а. Для получения корпусов рулонная сталь из размотчика 1 поступает в гибочную машину 2, которая производит гибку ребер. Затем в машине 3 отрезается заготовка нужной длины и изгибается в кольцо. В установке 4 последовательно привариваются: сердечник статора, лапы, коробка выводов, два кольца для крепления щитов и устройство для подъема машины. Кроме того, загибаются и прива-

риваются края ребер. На рис. 7.17, б представлен процесс изготовления бака трансформатора.

Наибольший интерес представляет гибка ребер. На рис. 7.18 показана последовательность работы гибочных механизмов. Радиус гибки ребра в вершине больше, чем толщина листа, и поэтому при гибке обычными способами будет получаться упругое пружинение металла. Упругое пружинение зависит от многих факторов

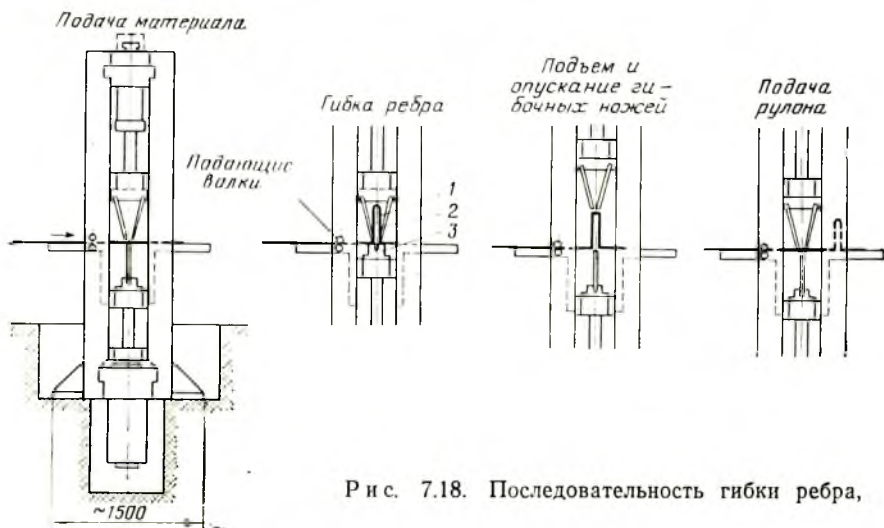


Рис. 7.18. Последовательность гибки ребра,

и не стабильно, учесть его практически невозможно. Для устранения его влияния в конце гибки ребра производится вытягивание металла сверх предела упругости. Для этого ножи 2 прижимают лист к планкам 3, а нож 1 продолжает движение вверх, вытягивая металл сверх предела упругости.

Конфигурация ребер для корпусов и баков показана на рис. 7.19, а размеры, мм, в таблице.

Таблица

<i>H</i>	<i>L</i>	<i>T</i>	<i>S</i>	<i>B</i>	<i>R</i>
Трансформаторные баки					
35—360	400—1600	≥ 35	1—1,75	7—8	3
Корпуса электродвигателей					
35	600	29	2	9	4,5
40	660	29	2	9	4,5
45	780	30	2,5	9	4,5
50	930	30	2,5	9	4,5
50	950	30	2,5	9	4,5

На рис. 7.20 показаны поперечный и продольный разрезы двигателя со степенью защиты IP44. Циркуляция воздуха внутри машины, которая обеспечивается вентилятором, показана прерывистой линией. Воздух, проходя внутри ребер (на поперечном разрезе отмечено точками), отдает им теплоту. Снаружи ребра обдуваются воздухом от вентилятора, установленного вне машины. Таким образом, теплота отводится от машины через тонкие ребра, имеющие развитую поверхность. Это одно из положительных свойств ребристого корпуса. Второе положительное свойство — малая масса.

Технология изготовления статора отличается от известных технологий. Ребристое кольцо надевают на сердечник с обмоткой и

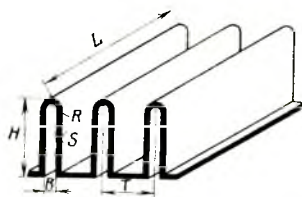


Рис. 7.19. Конфигурация ребер для корпусов и баков.

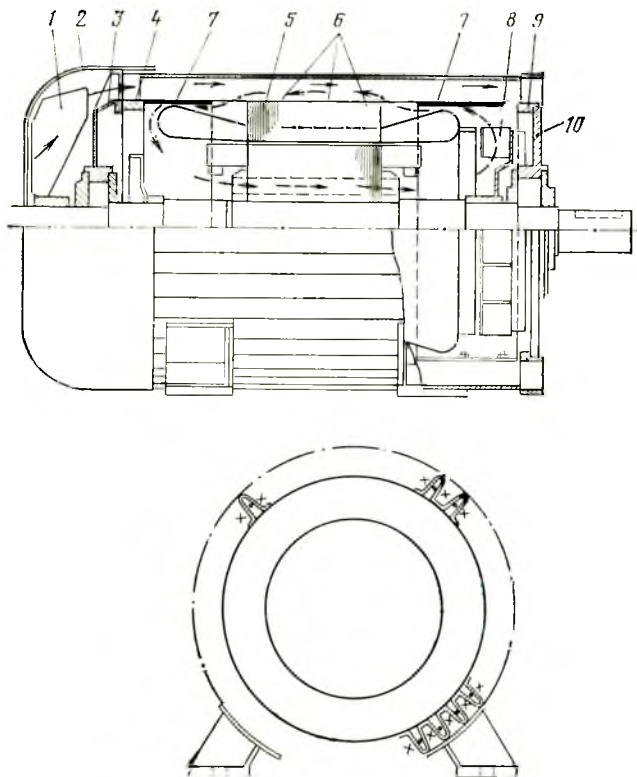


Рис. 7.20. Конструкция электродвигателя с ребристым корпусом (степень защиты IP44).

1 — наружный вентилятор; 2 — кожух вентилятора; 3, 10 — щиты задний и передний; 4, 9 — кольца; 5 — сердечник статора с обмоткой; 6 — место приварки корпуса к сердечнику; 7 — воздухонаправляющие экраны; 8 — внутренний вентилятор.

закрепляют электрозаклепками или короткими швами. При этом обмотка не нагревается выше допустимой температуры. Затем с торцов приваривают два кольца, в которых растачивают замки для крепления щитов. Проточка замков на корпусе с обмоткой является некоторым недостатком данной конструкции, но все остальные преимущества столь очевидны, что с этим следует согласиться. В остальном двигатель имеет традиционные конструкторские решения и известную технологию.

Производительность линии до 15 000 статоров в год. Обслуживают установку два человека.

7.8. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ СВАРКЕ

Сварочные работы выполняются в отдельных цехах или на изолированных участках, оборудованных приточно-вытяжной вентиляцией. Производство сварных стальных конструкций требует точного выполнения правил техники безопасности, охраны труда и промышленной санитарии. Помимо соблюдения общих для машиностроительного производства правил, необходимо помнить о вредности и опасности, связанных с выполнением сварочных работ. Электриче-

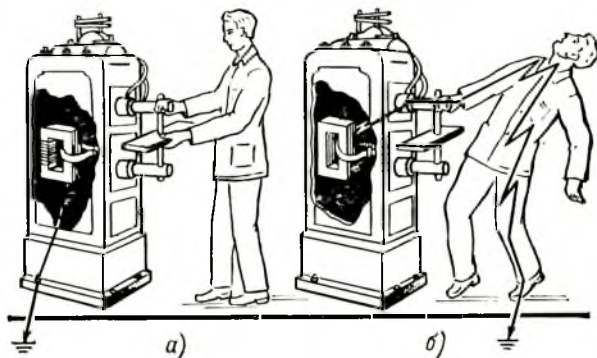


Рис. 7.21. Последствия повреждения первичной обмотки трансформатора контактной машины.

а — машина заземлена; б — машина не заземлена.

ская дуга является источником излучений с различной длиной волны — видимых световых, ультрафиолетовых и инфракрасных, которые вредно действуют на зрение. Кроме того, при дуговой сварке и особенно при контактной сварке образуются брызги расплавленного металла, поэтому необходимо применение щитков, шлемов-масок с густоокрашенными специальными стеклами, через которые сварщик наблюдает за процессом сварки. Кроме того, необходимы рукавицы и специальная производственная одежда из плотных материалов.

Необходимо ограждать сварочные посты щитами, занавесами, перегородками и др. Как при дуговой сварке, так и при контактной и других видах сварки выделяются газы и дым, поэтому рабочие места сварщиков и резчиков необходимо оборудовать вытяжными зонтами, колпаками, отсосами, а все помещение — общей усиленной вентиляцией.

По характеру работы сварщик не должен касаться токоведущих частей. Особенно опасна работа внутри баков, резервуаров, в сырых помещениях, на открытом воздухе в сырую погоду, поэтому необходимо строго соблюдать требования и правила электробезопасности, надежно заземлять корпуса свароч-

ных машин и аппаратов, следить за исправностью электросварочного оборудования и изоляции всех его частей. Повреждение изоляции может привести к поражению током, как показано на рис. 7.21, а, б. В опасных случаях необходимо применять для сварщика деревянные подмости, резиновые коврики и другие приспособления, усиливающие изоляцию тела сварщика от земли.

При изготовлении сварных конструкций с применением стали, содержащей марганец, следует помнить, что газовая резка этой стали может производиться только на открытой эстакаде с применением обдува зоны резки воздухом для удаления пыли и окислов марганца в сторону от резчика. При сварке или резке внутри бака рабочие должны пользоваться респираторами с активной подачей воздуха в лицевую часть.

При сварке в среде углекислого газа усиливается опасность поражения сварщика и окружающих световым излучением, поэтому на рабочих местах необходимо иметь передвижные ширмы и ограждения. Для защиты глаз от лучей пламени применяют очки со светофильтрами, стекла Г-1 или Г-Зв. В обращении с баллонами газа необходимо соблюдать особую осторожность. Нельзя допускать, чтобы баллоны падали, нагревались, хранились со снятым предохранительным колпаком, так как это может привести к взрыву баллона. Для транспортировки и хранения баллонов используют специальные стойки и тележки.

При сварке можно применять только редукторы с исправными манометрами. С горелкой и резаком необходимо обращаться осторожно, предохраняя их от повреждений и загрязнений, следить за плотностью всех соединений горелки. Запрещается производить сварочные работы в непосредственной близости от огнеопасных и легковоспламеняющихся материалов.

К выполнению сварочных работ допускаются только аттестованные рабочие, сдавшие минимум по правилам техники безопасности.

Глава восьмая

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ

8.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Механической обработке подвергается большинство деталей и узлов электрической машины. В задачу механической обработки входит получение деталей заданной чертежом конфигурации, степени точности и чистоты поверхности, которые обеспечили бы надежную работу машины в течение всего эксплуатационного периода.

Определить, с какой точностью и шероховатостью поверхности необходимо обрабатывать деталь или узел, можно только, рассмотрев сборку машины, изучив технологию сборки, служебное назначение и работу каждой детали.

Высокая точность обработки позволяет правильно собрать машину, увеличить надежность работы подшипникового узла, уменьшить неравномерность воздушного зазора и, как следствие, снизить шум и вибрацию машины. В современных электрических машинах с высокоиспользованными активными материалами долговечность и надежность работы находится в прямой зависимости от вибрации.

В то же время, выбирая точность, следует учитывать, что низкая точность и необоснованное завышение ее недопустимы, так как

в первом случае электрическая машина получается неработоспособной и ненадежной, а во втором — резко усложняется ее производство и, следовательно, завышается себестоимость.

На рис. 8.1, а, б показано влияние точности и отделочных методов обработки на себестоимость изготовления деталей. Как правило, при повышении точности изготовления детали, себестоимость возрастает по гиперболической кривой. Объясняется это тем, что

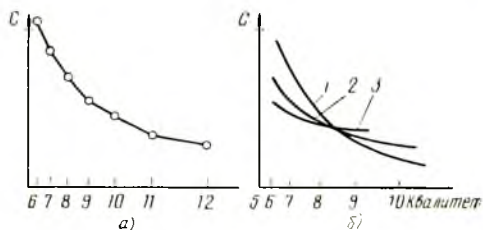


Рис. 8.1. Влияние точности (а) и отделочных методов обработки (б) на себестоимость изготовления детали.

1 — чистовое точение; 2 — предварительное шлифование; 3 — чистовое шлифование.

по мере повышения точности (уменьшение допуска) приходится изменять технологический процесс и вводить дополнительное оборудование, обычно более дорогое и менее производительное. Средняя экономическая точность различных методов обработки зависит от уровня развития технологии и приводится в технологических справочниках, которые по мере совершенствования технологии периодически корректируются.

Механическая обработка цилиндрических поверхностей деталей электрических машин общего назначения производится по 7—9-му качествам. При обработке некоторых деталей специальных электрических машин, а также машин с повышенными требованиями к вибрации и шумам назначаются 6—7-й качества. Назначение допусков на линейные размеры производится по 8—10-му качествам.

Разрабатывая деталь, подвергаемую механической обработке, следует предусматривать возможность получения заготовки для нее, по форме и размерам максимально приближенной к готовой детали. Это позволяет сократить время обработки, более экономно использовать металл и оборудование, иметь минимальные отходы производства. Выбирая материал детали, следует помнить, что режимы резания при обработке чугуна в 1,2—1,3 раза выше, чем при обработке стали, а при обработке алюминия в 3—5 раз выше, чем при обработке чугуна. Правильный выбор материала для детали во многом определяет трудоемкость ее изготовления.

На электромашиностроительных заводах практически используют все виды механической обработки: резание, сверление, фрезерование, шлифование и др. Выбор оборудования зависит от программы выпуска и требуемой точности обработки.

Детали машины единичного производства обрабатывают на универсальных станках, оснащенных специальной оснасткой, или на станках с числовым программным управлением (ЧПУ). Станки с ЧПУ позволяют механизировать и автоматизировать обработку в

единичном и мелкосерийном производстве. Они находят все более широкое применение на заводах.

С увеличением серийности производства используют полуавтоматические и агрегатные станки общего назначения с применением быстро перенастраиваемой оснастки и инструмента.

В массовом производстве обработка выполняется на специализированных автоматических линиях и агрегатных станках, которые разрабатываются и изготавливаются на станкостроительных заводах по заданиям электромашиностроительных предприятий.

8.2. ПРИПУСК НА ОБРАБОТКУ

На себестоимость обработки деталей влияет припуск. Припуск — слой металла, оставаемый на заготовке и удаляемый с поверхности заготовки в процессе обработки. Большой припуск влечет за собой излишний расход материала, снижает производитель-

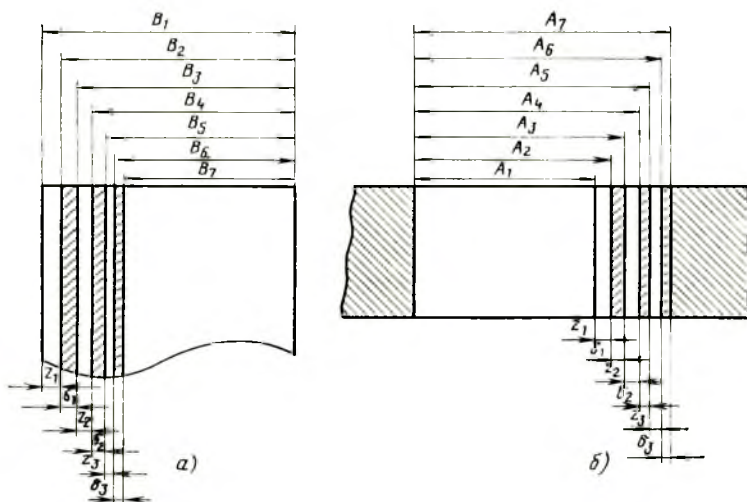


Рис. 8.2. Схема расположения межоперационных припусков и допусков.

a — вал; b — отверстие; A_1 — размер отверстия в заготовке; A_2 и A_3 — наименьший и наибольший размеры отверстия после первой операции; A_4 и A_5 — наименьший и наибольший предельные размеры после второй операции; A_6 , A_7 — наименьший и наибольший предельные размеры после третьей операции; B_1 — размер заготовки вала; B_2 и B_3 — наименьший и наибольший предельные размеры заготовки после первой операции; B_4 и B_5 — наибольший и наименьший предельные размеры после второй операции; B_6 и B_7 — наибольший и наименьший размеры после третьей операции; z_1 и δ_1 — межоперационные припуск и допуск на первую операцию; z_2 и δ_2 — межоперационные припуск и допуск на вторую операцию; z_3 и δ_3 — межоперационные припуск и допуск на третью операцию.

ность труда, увеличивает расход режущего инструмента и электроэнергии. Малый припуск не всегда обеспечивает получение заданных чертежом размеров детали из-за неполного удаления с заготовки поверхностного дефектного слоя. Малые припуски требуют более точной установки детали при обработке, что удорожает обработку. В конечном счете малые припуски могут увеличивать се-

бестоимость изготовления детали. Припуск на обработку должен быть оптимальным.

Припуски можно разделить на промежуточные и общие. Промежуточный припуск — слой металла, снимаемый с заготовки при ее обработке на данном переходе. Общий припуск — слой металла, снимаемый с заготовки на всех стадиях ее обработки до получения готовой детали. Общий припуск равен сумме промежуточных припусков и определяется как разность размеров заготовки и готовой детали. Припуски на обработку плоских деталей задаются на одну сторону, а при обработке цилиндрических, как правило, на диаметр. На рис. 8.2 схематически показано расположение межоперационных припусков и допусков. На припуск влияют следующие факторы: размеры дефектного поверхностного слоя заготовки, погрешности размеров и формы заготовки, погрешность базирования и закрепления. При прочих равных условиях припуск будет тем больше, чем больше размеры деталей.

8.3. БАЗЫ, ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ И ВЫБОР

При конструировании изделия и разработке технологических процессов большое значение имеет правильный выбор баз. Точность обработки детали, быстрота ее установки в приспособление, конструкция приспособления в сильной степени зависят от выбранной базы.

Базами называют исходные поверхности, линии или точки, определяющие положение заготовки в процессе ее обработки на станке или готовой детали в собранной машине. Различают конструкторские, технологические, измерительные и сборочные базы.

Конструкторскими базами называют поверхности, оси или точки, определяющие положение детали относительно других деталей при ее работе в машине. За конструкторские базы часто принимают не материальные, а геометрические элементы деталей машин (осевые линии отверстий и валов, оси симметрии и т. п.). Сборку изделия производят, сопрягая конструкторские базы его элементов друг с другом.

Технологическими базами называют поверхности, используемые для определения положения заготовки или изделия в процессе изготовления. При использовании приспособлений за технологические базы принимают реальные поверхности, непосредственно контактирующие с элементами приспособления. При установке с выверкой используют как реальные поверхности заготовки, так и геометрические линии и точки, материально представляемые на заготовке в виде разметочных рисок. Технологические базы делятся на черновые, промежуточные и окончательные.

Черновые базы используются на первых операциях обработки, когда обработанных поверхностей на заготовке еще нет. Они служат для создания промежуточных или окончательных технологических баз. В общем случае в электромашиностроении последовательно применяются все три указанные технологиче-

ские базы. Однако нередки случаи, когда простые детали обрабатывают полностью за одну установку, используя черновую базу. К таким деталям относятся крышки подшипников, простые подшипниковые щиты, различные втулки и кольца. При обработке заготовок на автоматических линиях в приспособлениях-спутниках вся обработка может быть произведена при одной установке заготовки. В этом случае также используют только черновые технологические базы. Подобные варианты базирования заготовок используют для обработки на агрегатных станках, многошпиндельных автоматах и полуавтоматах, станках с программным управлением.

Кроме того, технологические базы делят на основные и вспомогательные. Основные базы — это поверхности, предусмотренные конструкцией и выполняющие определенную роль при ее работе в изделии. Вспомогательные базы — это поверхности, специально создаваемые на детали с учетом технологических требований. При необходимости после завершения обработки эти поверхности могут быть удалены. Возможность создания вспомогательных технологических баз должна быть предусмотрена и оговорена в конструкции детали. Примерами вспомогательных баз могут служить центровые гнезда валов, приливы на подшипниковых щитах и др.

Измерительная база — это поверхность, линия или точка поверхности, относительно которой измерением проверяют положение обработанной поверхности.

Сборочными базами являются обработанные поверхности, которыми деталь присоединяется к другим деталям, определяющим ее положение в узле или машине. Сборочными базами подшипникового щита являются отверстия, которыми он монтируется на подшипник и корпус. Сборочными базами вала являются поверхности, на которые насаживаются подшипники, сердечник, коллектор, возбудитель и т. п.

На рис. 8.3, 8.8, 8.9 показаны базы на некоторых деталях электрических машин.

При выборе технологических баз для обработки заготовок следует использовать принцип совмещения баз, т. е. в качестве технологической базы брать поверхность, являющуюся измерительной базой. Лучшие результаты достигаются при совмещении технологической, измерительной и конструкторской баз, т. е. тех поверхностей, которые определяют положения детали в собранном изделии.

При выборе баз руководствуются общими положениями с учетом особенностей каждого из них:

1) деталь должна удобно устанавливаться и выниматься из приспособления за минимальное время;

2) базовые поверхности должны быть ровными и иметь достаточную площадь для устойчивого положения детали в приспособлении;

3) усилия резания, зажима и собственного веса должны подвергать деталь наименьшим деформациям;

4) черные (необработанные) поверхности детали следует использовать только в первой операции для получения чистых баз;

5) для деталей, у которых обрабатываются все поверхности, за черновую базу (первую) принимают поверхность, имеющую наименьший припуск.

Учитывая взаимосвязь конструкторской, измерительной и технологических баз, технолог при выборе баз и построении технологических процессов должен анализировать не только детальные, но и сборочные чертежи изделия.

При построении маршрута обработки следует соблюдать принцип постоянства баз; на всех основных технологических операциях использовать в качестве технологических баз одни и те же поверхности заготовки.

Разрабатывая технологический процесс, технолог на операционном эскизе для каждой установочной базы определяет элементы крепления. Элементы крепления деталей — опоры и зажимы изображаются на эскизах определенными знаками.

8.4. ОБОБЩЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ОБРАБОТКИ КОРПУСА МАШИНЫ С СЕРДЕЧНИКОМ

На рис. 8.3 показан корпус машины с правильной простановкой основных размеров. Одним из важнейших требований является соосность поверхности внутреннего диаметра сердечника B и поверхностей замка. Замком на корпусе называют две поверхности: поверхность A , на которую помещают подшипниковый щит, и поверхность B , которая определяет положение щита в осевом направлении. Соосность этих поверхностей определяет равномерность воздушного зазора в машине.

При простановке размеров за базу принимают замок, который будет находиться на стороне выходного конца вала. На рисунке это левый замок. От него проставлены размеры: l_2 — до другого замка, l_1 — до сердечника, l_4 — до отверстия в лапе. От замка также проставляются другие размеры, которые определяют положение выводной коробки, грузового болта, болта заземления, надписной таблички и т. д.

Главными размерами также являются: h — высота оси вращения, G — диаметр замков, l_3 — расстояние между отверстиями в лапах.

Такая простановка размеров от одной базы используется, в основном, для всех конструкций корпусов с сердечниками и создает условия экономичной механической обработки и правильной сборки.

Для обеспечения требуемых размеров имеется несколько технологических схем обработки. Выбор схемы обработки определяется размерами и конструкцией корпуса, программой выпуска и наличием оборудования. Рассмотрим некоторые из этих схем.

Схема первая. Корпус залит на сердечник (рис. 8.4.) На операции 1, приняв за базу торец сердечника, так как он являлся ба-

зой при отливке корпуса, внутреннюю поверхность сердечника подвергают хонингованию. Хонингование производят плавающей (самоцентрирующейся) хонинговальной головкой. На операции 2 за базу принимают внутреннюю хонингованную поверхность и торец сердечника. Корпус с сердечником устанавливают внутренней поверхностью за разжимную оправку до упора торца сердечника в

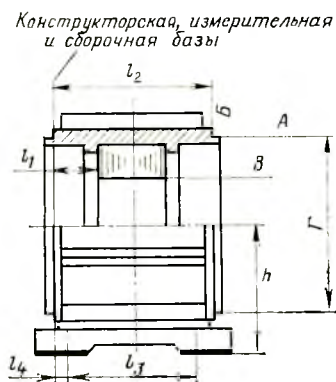


Рис. 8.3. Корпус машины с сердечником.

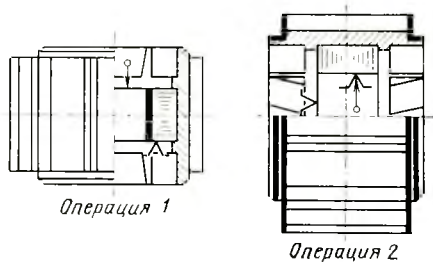


Рис. 8.4. Операции обработки корпуса, залитого на сердечник.

буртик оправки. Разжав оправку, обрабатывают два замка. Таким образом, обеспечивается соосность внутренней поверхности сердечника с замками и замков между собой. На последующих операциях производят сверление отверстий, нарезание резьбы, фрезерование лап, сверление отверстий в лапах и т. д. Как правило, эти операции проводятся на базе внутреннего диаметра сердечника и замка.

Схема вторая. Корпус и сердечник изготавливают отдельно. Запрессовку сердечника в корпус производят после укладки в него обмотки и пропитки. Поэтому при обработке корпуса окончательно обрабатывают внутреннюю поверхность, под запрессовку сердечника, а замки и поверхности лап обрабатывают с технологическими припусками. При этом обработку корпуса можно производить по двум вариантам. При первом варианте (рис. 8.5, а) за черновую базу принимают внутренний диаметр и торец корпуса (операция 1) и производят предварительную обработку лап, которые в дальнейшем служат чистой базой. Лапы фрезеруют, сверлят и разворачивают в них отверстия для получения более точного размера по диаметру. Затем на базе плоскостей и отверстий лап обрабатывают внутреннюю поверхность корпуса окончательно, а замки предварительно (операция 2). На этой же базе производят сверление в корпусе отверстий, нарезание резьбы, фрезерование плоскости под коробку контактных зажимов и т. д. Затем в корпус запрессовывают сердечник с обмоткой. Сердечник обработан по наружному диаметру на базе его внутреннего диаметра.

После запрессовки сердечника на базе внутреннего диаметра сердечника и его торца производят окончательную обработку замков (операция 3). Окончательную обработку лап производят, принимая за базу внутренний диаметр сердечника и замок (операция 4). Такое базирование позволяет более точно получить размер высоты центров и размер от замка до отверстия в лапе. Этот вариант получил название расточного. Он используется, в частности, при обработке корпусов электродвигателей серии 4А с высотами оси вращения 225, 250 мм.

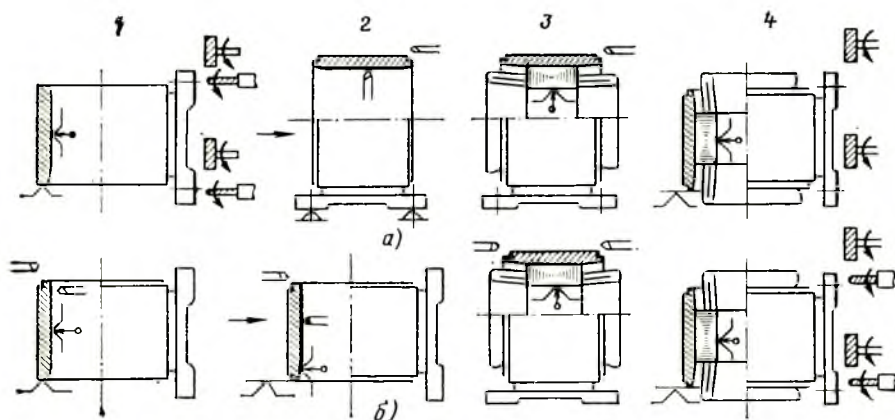


Рис. 8.5. Операции обработки корпуса с запрессованным сердечником:
а — расточной вариант; б — токарный вариант.

При втором варианте (рис. 8.5, б), который получил название — токарного, за черновую базу также принимают внутренний диаметр корпуса, а чистовую базу создают, обрабатывая предварительно один из замков, который в дальнейшем служит чистовой базой (операция 1). На базе этого замка обрабатывают окончательно внутреннюю поверхность корпуса и предварительно второй замок (операция 2). После запрессовки сердечника на базе внутреннего диаметра сердечника и торца сердечника производят окончательную обработку замков (операция 3). На базе окончательно обработанного базового замка и внутреннего диаметра сердечника фрезеруют плоскости лап и сверлят в них отверстия (операция 4).

Схема третья (рис. 8.6). Схему используют в тех случаях, когда сердечник набирают непосредственно в корпус, а размеры корпуса с сердечником столь велики, что не представляется возможным их установка на оправку для обработки двух замков за один установ. В этом случае поступают следующим образом. Корпус базируют на внутренний диаметр и торец. Производят предварительную обработку одного замка (операция 1). Далее на базе этого замка производят окончательную обработку второго замка и

внутренней поверхности (операция 2). Затем в корпус набирают сердечник, прессуют его и скрепляют. При этом внутренняя поверхность сердечника получается неровной — гребенчатой, так как при сборке листы сердечника базировались по наружному диаметру и все погрешности проявились на внутреннем диаметре. Для получения правильной поверхности внутренний диаметр сердечника обрабатывают. Для того чтобы при обработке зубцы листов не сместились, в каждый паз навстречу друг другу заби-

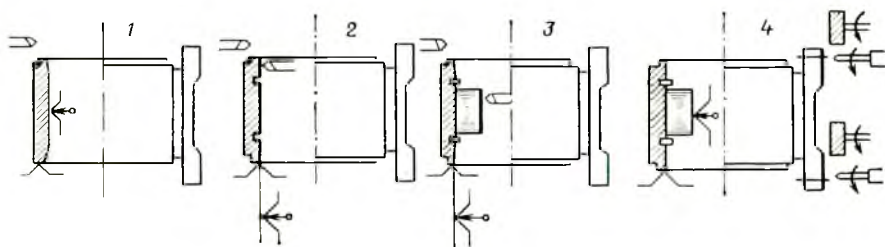


Рис. 8.6. Операции обработки корпуса с набранным в него сердечником.

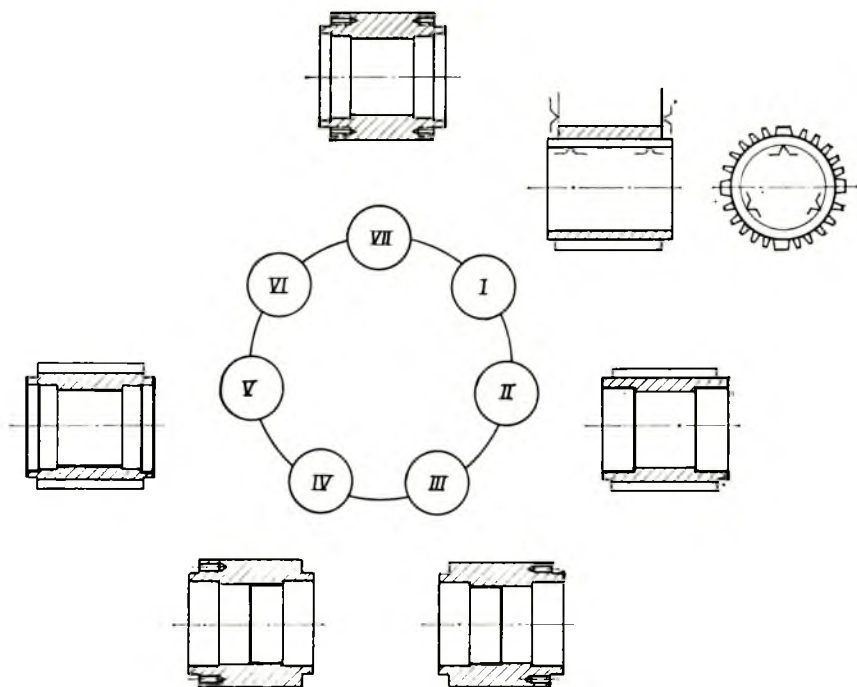
вают два стальных технологических клина. Забивка и выбивка клиньев производится вручную. Обработку внутреннего диаметра сердечника и второго замка в окончательный размер производят на базе окончательно обработанного замка (операция 3). Таким образом, обеспечивается соосность внутреннего диаметра с замками и замков между собой. Затем производят фрезерование лап и сверление отверстий в них, а также сверление отверстий и нарезание резьбы для крепления щитов. При этом одной из баз всегда служит базовый замок.

Схема четвертая. Корпус машины постоянного тока после сборки с полюсами не подвергается механической обработке. В этом нет необходимости, так как в машине имеется неравномерный воздушный зазор под каждым полюсом, обусловленный формой полюсного башмака, поэтому корпус обрабатывают в окончательный размер до сборки с полюсами. На первой операции за черновую базу принимают торец и, как правило, внутренний диаметр. Производят обработку торца и части внутренней поверхности. Затем на базе обработанного замка и внутренней поверхности обрабатывают второй замок и всю остальную внутреннюю поверхность. При необходимости получить высокую точность корпус обрабатывают сначала предварительно, а затем окончательно.

При окончательной, чистовой обработке используют точное оборудование, которое работает в ненапряженных режимах. После токарной обработки производят сверление отверстий, обработку лап, клеммной коробки и т. д. Следует отметить большую трудоемкость при сверлильных работах. Необходимо просверлить по окружности корпуса отверстия и сделать их цековку для крепления основных и добавочных полюсов. При этом угловое смещение

отверстий должно быть минимальным, так как их отклонение вызывает несимметрию магнитного потока и резкое ухудшение коммутации. Как правило, сверление производят на агрегатных сверлильных станках, имеющих высокую точность.

Схема пятая. Корпуса крупных электрических машин, как правило, имеют сварную конструкцию, а сердечник набирается непосредственно в корпус из сегментов. Сердечники, набранные из сегментов, по внутреннему диаметру из-за большой сложности не об-



Р и с. 8.7. Технологическая схема обработки корпуса на семипозиционном агрегатном станке.

рабатываются. Поэтому обработку корпуса крупной электрической машины производят в окончательный размер. При этом стремятся основные поверхности, которые определяют равномерность воздушного зазора, обрабатывать за один установ корпуса на станке.

Для примера рассмотрим технологию токарной обработки корпуса электродвигателя с высотой оси вращения 100 мм на семипозиционном агрегатном станке (рис. 8.7).

На позиции *I* производят крепление корпуса. Корпус ориентируют по внутреннему диаметру специальным разжимным устройством и крепят на станке с двух сторон за утолщения на ребрах охлаждения. На позиции *II* обрабатывают часть внутренней поверхности. На позиции *III* производят предварительную обработ-

ку левой половины внутреннего диаметра корпуса под сердечник и сверлят отверстия на правом торце. На позиции *IV* производят предварительную обработку правой половины внутреннего диаметра корпуса под сердечник и сверлят отверстия на левом торце. На позиции *V* корпус обрабатывают сразу двумя головками. Правая головка производит предварительную обработку правого замка, а левая головка производит предварительную обработку левого замка и окончательную обработку поверхности под сердечник. На позиции *VI* производят контроль всех размеров. Окончательно замки и лапы обрабатывают после запрессовки сердечника. На позиции *VII* выполняют нарезку резьбы во всех отверстиях.

8.5. ОБОБЩЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ОБРАБОТКИ ВАЛА И ВАЛА С СЕРДЕЧНИКОМ (РОТОРА)

Вал с сердечником показан на рис. 8.8. На рисунке приведены основные размеры и правильная их простановка. Конструкторской, измерительной и сборочной базой является торец шейки вала, на котором фиксируется подшипник. От этой базы проставляют основные размеры: l_1 — до свободного конца вала, l_2 — до сердечника, l_3 — расстояние между подшипниками. Размер l_4 — определяет полную длину ротора. Одним из важнейших требований является соосность поверхности ротора *В* с поверхностями под подшипники *Б* и поверхностью рабочего конца вала *А*. Соосность этих поверхностей определяет равномерность воздушного зазора в машине.

Построение технологического процесса изготовления вала и ротора зависит от точности заготовки, жесткости вала и объема выпуска. Валы с малой жесткостью при запрессовке в сердечник могут незначительно деформироваться, и поэтому обработку шеек под подшипники и выходной конец вала производят после запрессовки. Жесткие валы обрабатывают в окончательный размер, так как при запрессовке размеры сохраняются. С окончательными размерами также изготавливают валы крупных электрических машин, потому что обработка ротора по наружному диаметру не производится.

В табл. 8.1 приведены технология и пооперационные эскизы обработки на автоматической линии валов и роторов асинхронных электродвигателей.

Легко увидеть, что это технология обработки жесткого вала. На операции *1* создают технологическую базу. Для этого фрезеруют торцы валов и сверлят в них специальными сверлами глу-

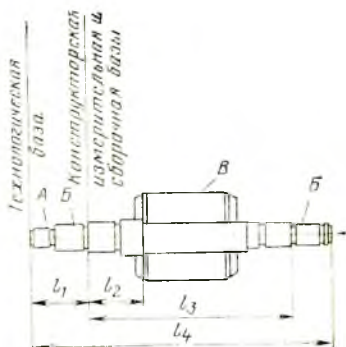
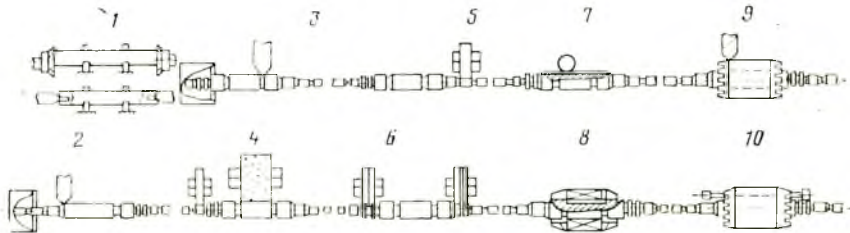


Рис. 8.8. Вал с сердечником.

Таблица 8.1

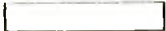
Номер операции	Содержание операций	Оборудование	Модель



1	Фрезерование торцов и центровка вала	Фрезерно-центровальный станок	МР-76
2	Обточка средней части и короткого конца вала	Гидрокопировальный токарный полуавтомат	ЕМ-41
3	Обточка длинного конца вала	Гидрокопировальный токарный полуавтомат	ЕМ-41
4	Шлифование средней части вала под запрессовку сердечника и шейки под вентилятор окончательно	Центровой круглошлифовальный станок с двумя шлифовальными бабками	ЗЛ161-И
5	Шлифование выходного конца вала окончательно	Центровой круглошлифовальный станок	ЗЛ161-Г
6	Шлифование шеек под подшипник окончательно	Центровой круглошлифовальный станок с двумя шлифовальными бабками	ЗЛ161-Е
7	Фрезерование шпоночного паза	Горизонтально-фрезерный станок	МА-57
8	Сборка вала с сердечником	Горизонтально-монтажный гидравлический пресс	МА-52А
9	Обточка ротора поверху	Гидрокопировальный токарный полуавтомат	ЕМ-8
10	Балансировка ротора	Балансировочный станок	9В730

хне отверстия. Фрезы настраивают так, чтобы получить чертежную длину вала. Дальнейшую обработку ведут, базировав вал или ротор на центровые отверстия и торец. Центровые отверстия и торец часто служат базой при некоторых операциях сборки электрической машины. На операции 7 производят фрезерование шпоночного паза. При наличии у вала нескольких шпоночных пазов (на выходном конце вала, для крепления сердечника, для крепления вентилятора и т. д.) их располагают в одну линию и принимают одной ширины. Это позволяет все пазы фрезеровать одной фрезой при одноразовой установке вала на станок.

Валы небольших электрических машин, как правило, не жесткие, поэтому технология их изготовления несколько иная. Кроме того, заготовки для небольших валов могут быть получены с малыми припусками, что также может изменить порядок и состав операций.

Эскизы	Номер операции	Содержание операции	Оборудование
	1	Рубка заготовок	Пресс кривошипный усилием 0,63 МН
	2	Нагрев до температуры 1200 С	Установка ТВЧ
	3	Прокатка профиля	Стан для поперечно-клиновой прокатки
	4	Фрезерование торцов в размер	Горизонтальный фрезерный станок
	5	Очистка детали от окалины и заусенцев после фрезерования	Вибрационная установка
	6	Шлифование выходного конца вала, поверхностей под вентилятор, под подшипники предварительно и под накатку рифлей окончательно	Бесцентрово-шлифовальный станок

Эскизы	Номер операции	Содержание операции	Оборудование
	7	Подрезание упорных торцев с зачисткой канавок, прорезание канавки под кольцевую пружину	Токарный станок
	8	Фрезерование шпоночных пазов	Вертикально-фрезерный станок
	9	Накатка рифлей и резьбы	Резьбонакатный полуавтомат
	10	Запрессовка вала в сердечник ротора	Гидропресс усилием 0, 25 МН
	11	Шлифование выходного конца вала, поверхностей под подшипник и под вентилятор	Бесцентрово-шлифовальный станок
	12	Обточка сердечника ротора круглым вращающимся резцом	Токарный автомат

Рассмотрим технологию изготовления валов и роторов для электродвигателей к стиральным машинам на заводе в г. Грюнхайне (ГДР). Заготовки валов получают поперечно-клиновой проточкой с минимальными допусками, что позволяет не производить токарную обработку. Базами при обработке служат шлифованные цилиндрические поверхности и торцы. В табл. 8.2 приведены технология и пооперационные эскизы изготовления валов и роторов.

8.6. ОБОБЩЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ОБРАБОТКИ ПОДШИПНИКОВЫХ ЩИТОВ

Подшипниковый щит показан на рис. 8.9. Одним из важнейших требований к щиту является соосность поверхности гнезда под подшипник *А* и поверхности замка *Б*. Соосность указанных поверхностей определяет равномерность воздушного зазора в машине. На работоспособность машины, шум и вибрацию оказывает влияние шероховатость поверхности *А*. Для нормальной работы машины и подшипникового узла поверхность гнезда под подшипник должна быть обработана с полем допуска не выше 5—7-го квалитетов, а шероховатость должна быть не выше $Ra\ 0,8$.

На рис. 8.9 показаны основные размеры и правильная их простановка. Конструкторской, измерительной и сборочной базами служит поверхность замка. От базы проставлены размеры: l_1 , определяющий длину замка и l_2 — до торца подшипникового гнезда. Размер l_3 — ширина подшипникового гнезда.

Подшипниковый щит имеет форму диска, что определяет его невысокую жесткость. Поэтому при обработке щита большое значение имеет способ его крепления. Как правило, стараются крепление осуществить на большем диаметре. Если конструкция щита не представляет возможности закрепить щит, то на нем делают специальные технологические приливы, за которые крепят во время обработки. При токарной обработке щитов применяют две основные схемы зажимов: радиальную и тангенциальную.

При радиальном зажиме (рис. 8.10, *а*) зажимные усилия прилагаются к наружным поверхностям ушек щита (или технологических приливов) и направлены по радиусу к центру щита. При тангенциальном зажиме (рис. 8.10, *б*) зажимные усилия прилагаются к боковым сторонам ушек щита (или технологических приливов) и направлены по касательной к окружности, центр которой

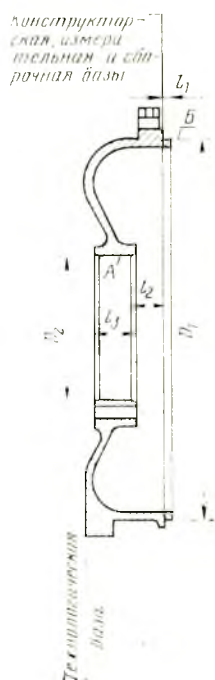


Рис. 8.9. Щит подшипниковый

находится на оси детали. При этом силы, прилагаемые к двум сторонам каждого ушка, имеют противоположное направление. Предпочтение отдают тангенциальному зажиму, так как при нем меньше деформируется щит. Сильная деформация щита при креплении приводит к тому, что после обработки щит, находясь в зажимном

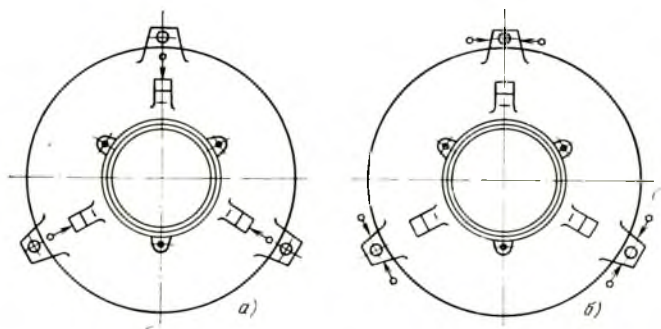


Рис. 8.10. Схемы радиального (а) и тангенциального (б) зажимов щитов при обработке.

устройстве, имеет размеры, соответствующие чертежу, а после освобождения от зажимного устройства размеры изменяются столь сильно, что выходят за допуски, разрешенные чертежом. Как правило, сначала производят черновую обработку, а затем чистовую.

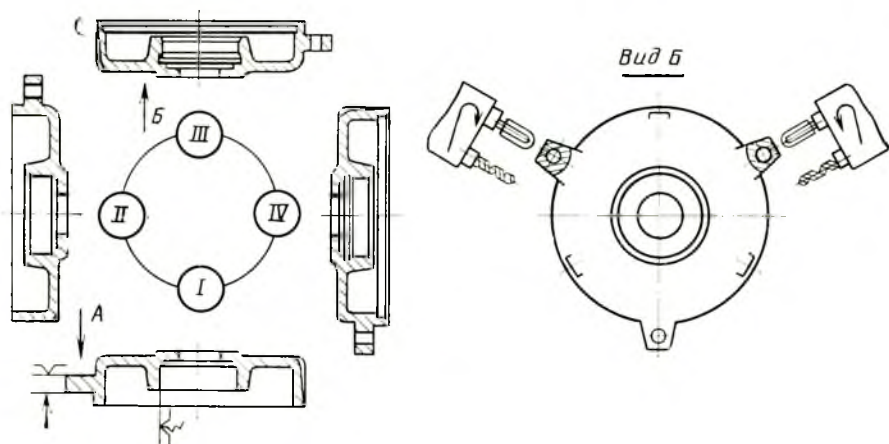


Рис. 8.11. Технологическая схема обработки щитов двигателей с высотой оси вращения 80—112 мм на четырехпозиционном агрегатном станке.

При чистовой обработке уменьшают усилия крепления по сравнению с черновой. Это возможно, так как при чистовой обработке резец снимает ровную, тонкую стружку без ударов, кроме того, меньше усилие резания. Обработка с большими усилиями резания мо-

жет привести к тому, что резец будет отжимать обрабатываемую поверхность. Точные размеры получить при этом нельзя.

На рис. 8.11 показана технологическая схема обработки щитов электродвигателей с высотой оси вращения 80—112 мм на четырехпозиционном агрегатном станке. При установке щит центрируют по отверстию под подшипник специальным убирающимся устройством. Щит зажимают в осевом направлении по ушкам. Зажимные усилия прилагают к плоскости ушек напротив опорных мест приспособления, что исключает деформацию щита.

Технология обработки включает: черновую расточку отверстий под подшипник и под вал, сверление отверстий в ушках; черновую проточку замка, подрезку торца, расточку канавки в отверстии под подшипник; чистовую расточку отверстий под подшипник и под вал, чистовую проточку замка.

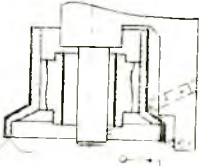
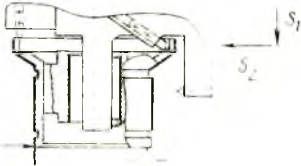
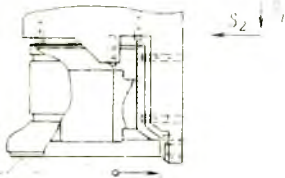
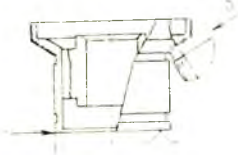
Щиты крупных электрических машин, имеющие большие размеры, но маленький выпуск, обрабатывают на универсальных станках, или станках с ЧПУ. Порядок обработки, как правило, сохраняется тот же, что был рассмотрен выше.

8.7. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ТИПА ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ

В электрических машинах имеется большое количество деталей типа тел вращения. К ним относятся крышки подшипников, уплотнительные и запорные кольца, обмоткодержатели, втулки и конусы коллекторов и т. д. Схемы обработки деталей подобного типа аналогичны. В качестве примера рассмотрим обработку втулки коллектора как наиболее сложной детали. Заготовку для втулок коллекторов получают методомковки или точного литья по выплавляемым моделям. Обработке подлежат почти все поверхности. Втулка коллектора является ответственной деталью. В собранном коллекторе с некоторыми ее поверхностями соприкасается изоляция, и поэтому они обрабатываются с точностью по 7—8-му квалитетам и шероховатостью не выше Ra 0,8—1,6.

Технологическая схема обработки втулки коллектора на шестишпиндельном автомате приведена в табл. 8.3.

На позиции I крепят втулку, принимая за базу внутреннюю поверхность большего отверстия и торец. Если заготовка имеет низкую точность и большие неровности, то эти поверхности предварительно обрабатывают. На позиции II производят предварительную расточку отверстия и предварительную обточку наружного диаметра. На позиции III подрезают торец, обтачивают канавки и растачивают и обтачивают фаски. Затем переустанавливают деталь, принимая за базу наружную обработанную поверхность меньшего диаметра и обработанный торец. На позиции V окончательно растачивают внутреннее отверстие, протачивают выточки, снимают фаски, окончательно обтачивают наружный диаметр и подрезают торец. На позиции VI обтачивают конус.

№ позиции	Вид обработки	№ позиции	Вид обработки
I	Установка детали	IV	Переустановка детали
II		V	
III		VI	

В рассмотренной технологии ответственные поверхности внутреннего и внешнего диаметров обрабатывают дважды: предварительно и окончательно. Обработку производят многолезцовыми головками. В них устанавливают несколько резцов, настроенных на нужный размер, и ведут обработку сразу нескольких поверхностей. Многолезцовые головки повышают производительность труда и обеспечивают высокое качество обрабатываемых поверхностей. После токарной обработки на вертикально-фрезерном станке производят фрезерование четырех пазов.

При токарной обработке на универсальном станке все поверхности обрабатывают последовательно; при этом необходима смена резцов, так как проточка внутреннего отверстия, наружной поверхности, канавок и конуса производится различными резцами. Смена резцов занимает большее время, чем смена детали, поэтому на универсальном станке сначала обрабатывают одним резцом поверхности у всей партии деталей, затем меняют резец и обрабатывают другие поверхности и т. д.; при этом втулку приходится 7—8 раз ставить на станок и снимать, что резко увеличивает трудоемкости операции. При обработке втулки на станках с числовым управлением смена инструмента происходит автоматически по заданной программе, поэтому обработку можно производить за время двух установок втулки, что повышает производительность труда.

8.8. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ ТУРБО- И ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ

К основным деталям турбогенераторов, подлежащих механической обработке, относятся корпус статора, вал ротора, центрирующее и бандажное кольца, контактные кольца, корпуса подшипников, пазовые клинья ротора и др. У гидрогенераторов обрабатывают вал, остов ротора, крестовину, подшипник, подпятник и их детали и др.

Детали и узлы турбо- и гидрогенераторов имеют большие габариты, поэтому их обработку производят на специальных станках. Для получения необходимой точности и качества обработки станки оснащают сложной оснасткой и специальным инструментом.

Вал ротора турбогенератора представляет собой сложную тяжело нагруженную конструкцию. Он является наиболее трудоемким и ответственным узлом в машине. Вал изготавливают из поковки. Поковку получают с металлургических заводов после грубого обтачивания наружных цилиндрических поверхностей, чистового растачивания поверхности осевого канала, термической обработки и соответствующих испытаний. На электромашиностроительных заводах вал подвергают дальнейшей обработке. Чистовую обточку производят на токарных станках. Поковку вала устанавливают в кулачках планшайбы и на двух люнетах, расположенных по обе стороны бочки ротора. Окончательной обработке не подвергают шейки под подшипники, поверхности под уплотнения и под контактные кольца. Для обеспечения соосности их обрабатывают после сборки ротора.

Следующей и наиболее ответственной операцией является фрезерование пазов под обмотку и вентиляционных пазов. Эту операцию выполняют на специальных роторно-фрезерных станках (рис. 8.12). Вал устанавливают на два люнета, а один конец его захватывают кулачками планшайбы делительного механизма. С обеих сторон станины станка расположены фрезерные бабки, которые имеют шпиндели с фрезами. Фрезы изготавливают фасонными, они имеют профиль паза. Фрезерование пазов простой формы производят одной фрезой за один проход, а сложной — несколькими фрезами за несколько проходов. Одновременно фрезеруют два паза, расположенные на роторе диаметрально, что облегчает последующую балансировку. Большое значение имеет точность поворота ротора при фрезеровании пазов. В последние годы для фрезерования пазов используют станки с программным управлением, которые обеспечивают высокую точность обработки.

Ответственной деталью является бандажное кольцо, которое предназначено для удержания лобовой части обмотки от деформаций при вращении ротора. Заготовки бандажных колец изготавливают из немагнитной аустенитной стали с присадками никеля и марганца. Для получения высоких механических свойств заготовок производят упрочнение металла способом полугорячей раскатки или гидравлического растяжения [9]. Механическую обработку бан-

дажных колец производят на карусельных станках за два установа. Так как бандажное кольцо имеет тонкие стенки, а масса достигает одной тонны, следует внимательно относиться к его креплению в станке. При креплении сжимающая сила не должна быть велика, чтобы не вызвать погрешностей из-за искажения геометрической формы.

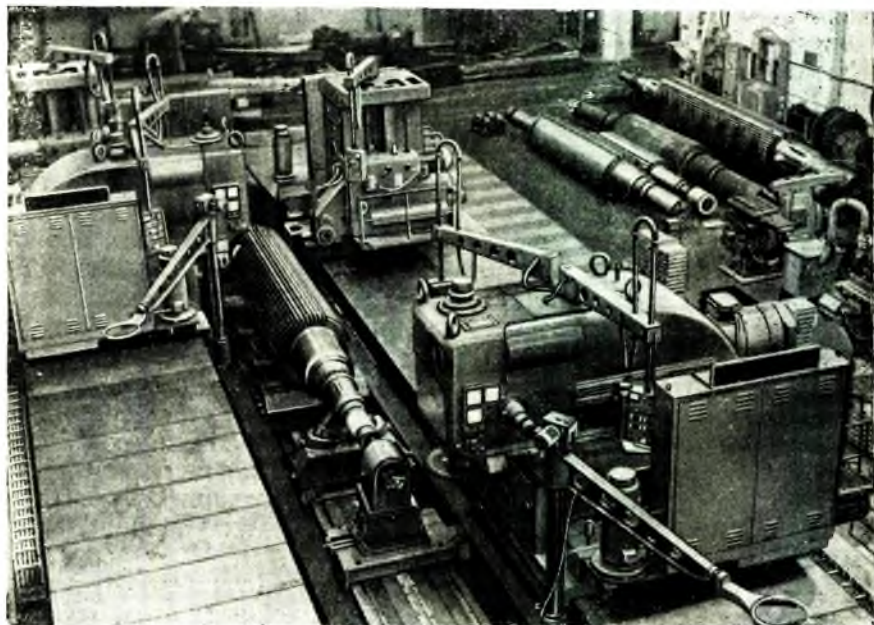


Рис. 8.12. Роторно-фрезерный станок для обработки вала турбогенератора.

Корпус турбогенератора поступает на механическую обработку после сварки и испытания на газоплотность. Обработке подлежат следующие поверхности (см. рис. 7.13):

- 1) торцевые стенки 1 для установки крышек газоохладителей, поверхность прилегания наружных щитов и расточка центрального отверстия. В дальнейшем расточка служит базой при расстановке (разгонке) клиньев статора и установки центрирующей колонки;
- 2) поверхности 7 для опоры нажимных колец;
- 3) опорные поверхности рабочих лап 4;
- 4) поверхности ребер 6, брусьев для крепления рымов, рым-лап и кантовочных приспособлений.

Обработку начинают с фрезерования опорных поверхностей 4. Для этого корпус устанавливают горизонтально на плите на транспортные лапы 5. Затем, не снимая корпуса, а заменяя инструмент, обрабатывают поверхность ребер 6. Обработка этих поверхностей

с одной установки обеспечивает их взаимное расположение под углом 90° , что важно для крепления рым-лап. Токарную обработку корпуса производят на специальной установке. Внутри корпуса располагают борштангу, на обоих концах которой установлены планшайбы с резцодержателями.

Сверление отверстий в торцевых стенках для крепления наружных щитов и отверстий в лапах для крепления рым-лап производят переносным горизонтально-сверлильным станком.

Производство гидрогенераторов следует считать единичным, так как практически каждая гидроэлектростанция имеет гидрогенератор собственной конструкции, поэтому гидрогенераторы имеют больше оригинальных деталей, чем турбогенераторы, которые производят серийно. Корпус гидрогенератора механической обработке не подвергаются. Необходимые размеры обеспечивают подгонкой при сборке.

При изготовлении остова ротора, крестовины, подшипника и других узлов производят необходимую механическую обработку деталей, а затем после сборки обрабатывают узел. Как правило, обработку производят по разметке на универсальных станках. Качество обработки и производительность труда во многом зависят от квалификации станочников.

Технология механической обработки деталей и узлов турбо- и гидрогенераторов является специфичной и рассмотрена подробно в [9, 10]. В данном параграфе рассмотрены лишь некоторые общие вопросы.

8.9. ОБРАБОТКА НАРУЖНОЙ ПОВЕРХНОСТИ РОТОРА ВРАЩАЮЩИМИСЯ РЕЗЦАМИ

В последние годы на электромашиностроительных заводах широкое применение находит метод обработки наружной поверхности ротора вращающимися резцами. Резание вращающимися резцами называют *ротационным резанием*.

Наружную поверхность ротора можно обрабатывать резцами различного типа или шлифовкой. В зависимости от принятого способа обработки меняются добавочные потери в роторе. Обработка призматическими резцами и шлифованием приводит к замыканию листов электротехнической стали между собой, замыканию алюминиевой обмотки с листами электротехнической стали из-за наволакивания алюминия, упрочнению (наклепу) поверхностного слоя. Высокие температуры в зоне резания приводят к микросварке отдельных листов. Это вызывает увеличение добавочных потерь в роторе. С увеличением частоты потери увеличиваются и у высокочастотных машин могут достигать недопустимых значений. Нежелательные после механической обработки явления могут быть ликвидированы травлением поверхности ротора. Однако этот способ не нашел широкого применения на заводах ввиду своей сложности и высокой трудоемкости.

При обработке ротора круглыми вращающимися резцами дополнительные потери будут несколько меньше, чем при обработке другими видами резцов или шлифованием. Рассмотрим конструкцию резца. Круглый вращающийся резец 1 (рис. 8.13), изготовленный из твердого сплава марок Т15К6, ТК8, Т14К8, укреплен на шпинделе 2. Шпиндель вращается в двух подшипниках 5, а второй

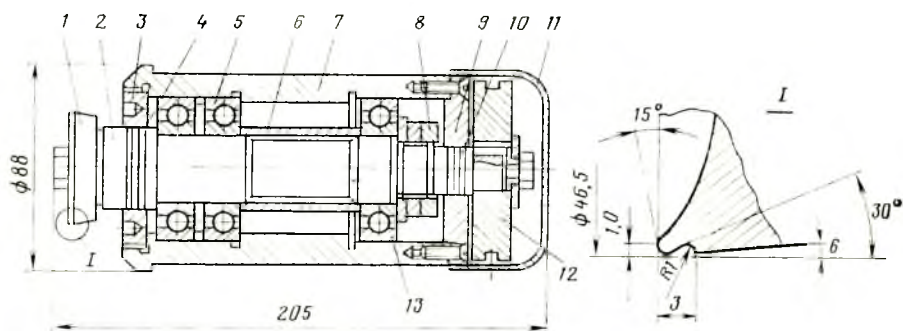


Рис. 8.13. Конструкция круглого вращающегося резца.

конец поддерживается радиальным шарикоподшипником 13. Шарикоподшипники установлены в корпусе пиноли 7. Корпус закрыт крышками 3, 9 и уплотнительными кольцами 4, 10. Шкив 12, закрытый кожухом 11, необходим при заточке резца. Шарикоподшипники 5 регулируются гайками 8 через подшипник 13 и втулку 6.

При обработке вращающимися резцами возможны схемы прямого и обратного резания, которые определяются установкой резца (рис. 8.14, а—в). Резец может быть установлен двух- или одноповоротным способом. При двухповоротном способе резец устанавливается под углом β по отношению к основной плоскости и под углом ψ к основной плоскости (рис. 8.14, а, б). При этом контактирующая с деталью точка резца должна быть расположена строго по центру станка. При одноповоротном способе резец устанавливается своей осью под углом ψ в основной плоскости и опускается на расстояние H ниже центра станка (рис. 8.15, в). При проточке наружных диаметров роторов предпочтение отдают схеме обратного резания. Лучшие результаты получаются при одноповоротном способе установки резца.

Резец вращается под действием силы резания. Частота вращения зависит от углов поворота резца и геометрии режущей части. При вращении происходит постоянное обновление контактирующей с деталью режущей части резца, что обеспечивает резкое снижение температуры в зоне резания (и, как следствие, отсутствие микросварки листов) и повышение стойкости резца в десятки раз по сравнению с резцами призматическими. При резании происходит подрезание листов жести ротора в сторону, противоположную подаче резца, что также приводит к отсутствию замыкания листов. При

ротационном резании скорость резания увеличивается в 2—4 раза и достигает $v=300\text{--}600$ м/мин. Глубина резания $t=0,4\text{--}1$ мм при подаче $s=0,4\text{--}0,7$ мм/об.

При обработке роторов ротационными резцами необходимы более жесткое крепление ротора и более жесткая система станок — приспособление — инструмент — деталь (СПИД), так как силы

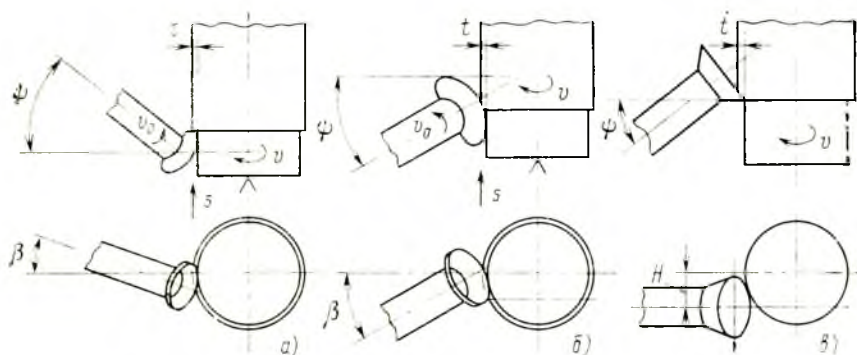


Рис. 8.14. Схема ротационного резания.

а, б — прямого и обратного резания при двухповоротном способе установки резца; в — обратного резания при одноповоротном способе установки резца.

резания в 1,5—2 раза больше, чем при обычном точении. Ротационная обработка приводит к снижению добавочных потерь в роторе на 20—25 %; при этом снижаются превышения температур ротора и статора и увеличивается КПД машины. Наибольший эффект получается в машинах малой мощности и высокоиспользуемых.

8.10. УПРОЧНЯЮЩАЯ ОБРАБОТКА ВАЛОВ И ЩИТОВ ПОДШИПНИКОВ

Для повышения износостойкости шеек вала и гнезда в подшипниковом щите под посадку подшипников производят упрочнение этих поверхностей.

Упрочнение вала осуществляют накатыванием поверхности, а упрочнение внутренней цилиндрической части поверхности щита — раскатыванием. Сущность метода упрочнения заключается в том, что поверхностные слои металла, контактируя с инструментом высокой твердости, в результате давления оказываются в состоянии всестороннего сжатия и пластически деформируются. Давление осуществляется не по всей поверхности, а только в зоне контакта. Инструментом являются ролики и шарики, перемещающиеся относительно заготовки. В результате вся поверхность оказывается пластически деформированной: микронеровности сглаживаются за счет смятия микровыступов и заполнения микровпадин.

На рис. 8.15, а показана схема обкатывания валов методом продольной подачи, а на рис. 8.15, б — поперечной подачи. На

рис. 8.15, в показана схема раскатывания роликом на консольной оправке, а на рис. 8.15, г — схема раскатывания при наличии на оправке нескольких роликов. Износостойкость поверхности после упрочнения повышается на 20—30 %. Шероховатость поверхности может достигать значений $Ra\ 0,2\text{—}0,02$.

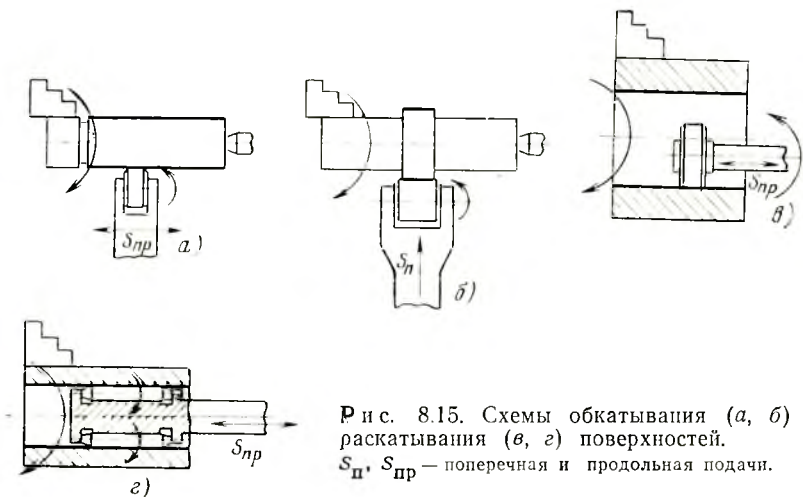


Рис. 8.15. Схемы обкатывания (а, б) и раскатывания (в, г) поверхностей.
 $S_{\text{н}}$, $S_{\text{пр}}$ — поперечная и продольная подачи.

Упрочнение производят на токарных и карусельных станках, устанавливая раскатки и накатки вместо режущего инструмента. Оно практически не изменяет размера детали.

8.11. ОБОРУДОВАНИЕ И ОСНАСТКА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Разрабатывая технологический процесс, выбирая оборудование и оснастку для механической обработки, исходят из программы выпуска, серийности производства и трудоемкости обрабатываемых деталей и узлов. Технолог, выбирая оборудование для механической обработки, ограничен небольшим кругом станков. Он может выбрать универсальный станок, станок с программным управлением, полуавтоматический станок или автоматическую линию (или агрегатный станок для деталей небольших габаритов). Из этого оборудования, как правило, только автоматические линии изготавливают для определенных деталей, а остальное оборудование станкостроительная промышленность выпускает как стандартное. Правильное использование стандартного оборудования, получение от него максимальной производительности, необходимой точности, быстрой переналадки зависит от того, как его оснащают заводские технологи; например, универсальный станок при определенном оснащении может быть приближен к полуавтоматическому станку. Установка на универсальный станок пневматического или гидравлического зажимного устройства позволяет резко сократить время закрепления детали.

На рис. 8.16 показана пневматическая оправка для крепления крупных корпусов на карусельных станках. Оправка крепится на вращающемся столе карусельного станка и работает следующим образом. При подаче сжатого воздуха через нижний неподвижный шток 7, находящийся на станке, и верхний шток 5, вращающийся вместе с приспособлением, поршни приходят в движение. Нижний

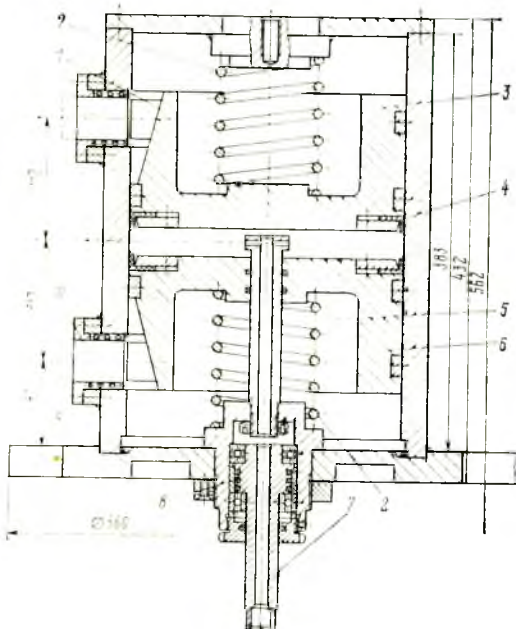


Рис. 8.16. Пневматическая оправка для крепления крупных корпусов на карусельных станках.

поршень 6 движется вниз, а верхний 3 вверх. Поршни имеют на своей юбке клиновые участки 1, которыми выдвигают зажимные кулачки 10. Всего в приспособлении шесть кулачков, расположенных в двух плоскостях, по три кулачка в каждой плоскости. Кулачки разжимают станину изнутри и таким образом крепят ее. Торцом станина опирается на плиту 9. Манжет 4 и уплотнение 8 препятствуют утечке воздуха. При снятии давления воздуха пружины 2 возвращают поршни в исходное положение. В приспособлении можно крепить станины различной высоты и диаметра, меняя зажимные кулачки.

При обработке корпусов небольших размеров на токарных станках используют горизонтальные разжимные гидравлические оправки (рис. 8.17). При подаче давления в систему поршни двигают цилиндры, имеющие клиновую плоскость, которые выдвигают кулачки.

При больших партиях деталей на токарные станки устанавливают копирующие линейки, повторяющие форму детали. Специальный шуп, двигаясь по копирующей линейке, управляет резцом; при этом сокращается время подвода резца, упраздняют-

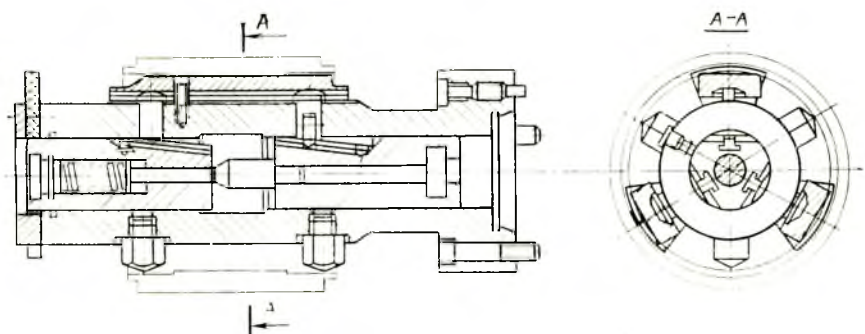


Рис. 8.17. Горизонтальная разжимная оправка для крепления корпусов небольших размеров.

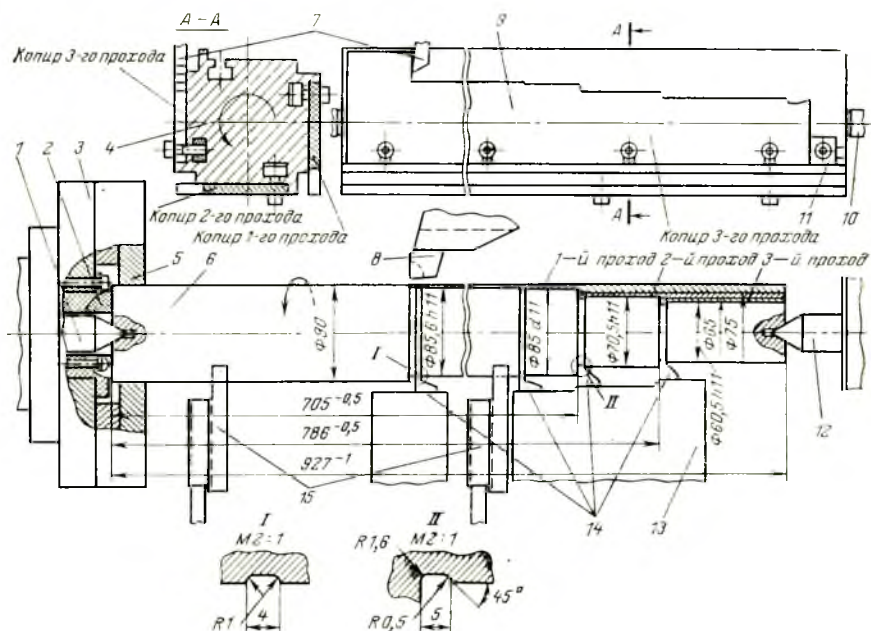


Рис. 8.18. Копирующая линейка для обработки вала.

ся промежуточные измерения. На рис. 8.18 показана схема наладки на токарную обработку одного конца вала. Заготовка 6 устанавливается на призмах 15. Призмы поднимаются и заготовка

устанавливается в двух центрах 1 и 12 и поджигается торцем до упора 2, благодаря тому, что центр 1 плавающий. Таким образом, на первой операции за базу принят торец вала и два центровых отверстия. Вращение вала обеспечивается самозажимными кулачками 5 позадкового патрона 3. На станке установлен в центрах 10 барабан 4, на котором можно установить четыре копира 9. Копир представляет собой плоский шаблон, имеющий профиль детали. Копир устанавливается до упора 11, который в свою очередь размещается на определенном расстоянии от базового упора 2. По копиру движется шуп 7 и через гидросистему управляет перемещениями проходного резца 8. Резец имеет твердосплавные пластины из сплава марок Т5К10, Т14К8.

Станок работает в полуавтоматическом цикле. Резец 8 быстро подводится к детали и по копиру в заданном режиме резания производит обточку вала, делая первый проход. Затем резец быстро отводится в исходное положение, барабан с копиями 9 поворачивается, шуп 7 касается второго копира, и резец делает второй проход. Число проходов зависит от припуска детали. Последний, чистовой проход делается с меньшей глубиной резания и подачи. Канавки протачиваются канавочными резцами 14, закрепленными на нижних подрезных суппортах 13. Боковая сторона подрезного резца протачивает торец ступени вала до нужного размера. Закончив обработку, станок останавливается.

Второй конец вала обрабатывается, как правило, на аналогичном станке, имеющем соответствующие копии и настройку. На второй операции за базу целесообразно принять не крайний торец вала, а один из торцов на обработанных ступенях. Как правило, за базу принимают торец, в который при сборке упирается подшипник. Это позволяет более точно выдержать один из основных размеров вала — расстояние между упорами, которые ограничивают положение подшипника. Второй конец вала обрабатывается так же, как и первый. При обработке группы однотипных валов необходимо осуществлять настройку станков так, чтобы при переходе с обработки одного вала на обработку другого менять не все копии, а только последние. Это сокращает время переналадки. Трудоемкость изготовления валов может быть сокращена за счет использования промышленного робота для установки вала на первый станок, перестановки вала на второй станок и снятия со второго станка. Автоматы подобного типа встраиваются в автоматические линии.

На сверлильных работах при сверлении нескольких взаимно ориентированных отверстий используют кондуктора. На рис. 8.19 показан кондуктор для сверления шести отверстий в торце станины, предназначенных для крепления шита. Кондуктор 1 устанавливают на торец станины в замок 4 и фиксируют специальным устройством 2. Кондуктор имеет шесть отверстий 3, армированных твердым сплавом. Через эти отверстия производят сверление. Просверлив первое отверстие, в него вставляют стопор 4 для лучшей фиксации кондуктора. При больших партиях деталей и

небольших габаритах используют многшпиндельные сверлильные головки, которые позволяют сверлить несколько отверстий одновременно. При этом на деталь накладывается кондуктор, и сверла через него проходят к детали. Повышение производительности труда на станках также достигается применением специальных устройств для быстрой установки режущего инструмента (резца, сверла, фрезы). Таким образом, оснащая универсальный станок, можно резко поднять его производительность.

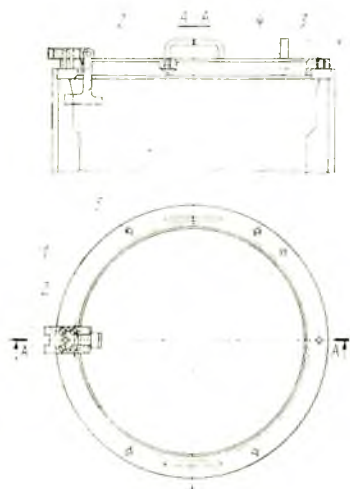


Рис. 8.19. Кондуктор для сверления отверстий.

Полуавтоматические станки широко используют в мелкосерийном и серийном производстве. Оснащая станок быстроперенастраиваемыми приспособлениями, можно обрабатывать на нем большую номенклатуру деталей. В некоторых случаях можно установить полуавтоматические станки в порядке следования технологического процесса, соединить их устройством для передачи деталей и получить автоматическую линию. Таким образом чаще всего поступают при создании линий по обработке валов и роторов

На рис. 8.20 показана линия по обработке валов, а на рис. 8.21 линия по обработке роторов. Передача деталей на них с одной операции на другую осуществляется манипулято-

рами, расположенными сверху на монорельсах. Все станки и манипуляторы связаны единой системой управления.

Автоматическая линия представляет собой ряд согласованно работающих, взаимосвязанных и автоматически управляемых станков, транспортных и контрольных механизмов, с помощью которых детали обрабатываются в строго установленные режимы и наладкой время. Изготавливаемые детали в процессе обработки автоматически перемещаются с помощью транспортных устройств между позициями линии до тех пор, пока не пройдут обработку на всех позициях. Функции рабочих, обслуживающих автоматическую линию, заключаются в контроле за работой оборудования, осуществлении его подналадки, смены инструмента, а также загрузки заготовок и выгрузки готовых деталей.

Производительность автоматической линии определяется количеством деталей, выпускаемых в единицу времени (шт/ч или тыс. шт/год). При обработке точных поверхностей следует в начале линии выполнять черновые операции, а чистовые — возможно ближе к концу линии, чтобы обеспечить охлаждение детали после черновой обработки и предотвратить ее деформацию от температурного воздействия после чистовой обработки. Для повышения

точности взаимного расположения связанных между собой поверхностей их окончательную обработку рекомендуется производить за одну установку. Простановка размеров должна быть увя-

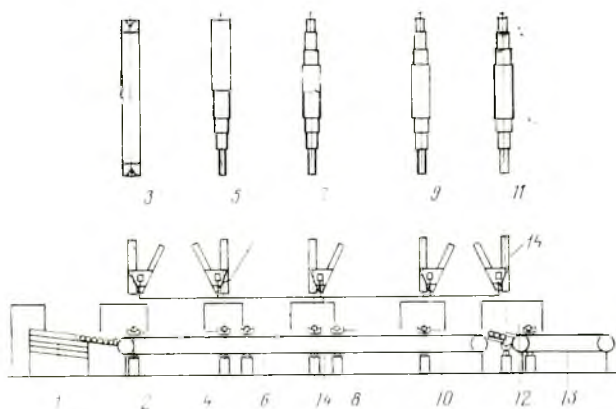


Рис. 8.20. Схема автоматической линии обработки валов.

1, 13 — накопление заготовок и готовых валов; 2, 3 — фрезерование торцев и центрование; 4, 10 — очистка центровых отверстий; 5, 7 — токарная обработка первой и второй сторон вала; 6, 8 — автоматический контроль размеров шеек вала; 9 — фрезерование шпоночного паза; 11 — шлифование посадочного диаметра под сердечник; 12 — маркировка и подсчет обработанных валов; 14 — передача валов порталным манипулятором.

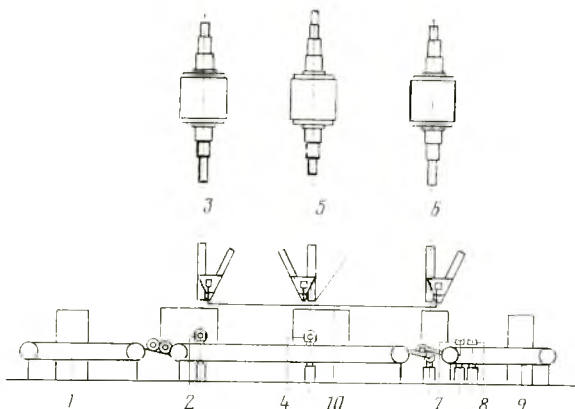


Рис. 8.21. Схема автоматической линии обработки роторов.

1, 9 — накопление узлов; 2, 3 — очистка, смазка центровых отверстий и шлифование одной стороны шеек и опорного торца под подшипники с одной стороны; 4, 5 — то же и шлифование другой стороны шеек и опорного торца под подшипники; 6 — обточка ротора по наружному диаметру; 7 — автоматический контроль; 8 — маркировка и подсчет узлов; 10 — передача роторов порталным манипулятором.

зана с технологическими базами установки детали в приспособлениях. В качестве черновых баз целесообразно принимать наиболее ответственные поверхности детали, подлежащие дальнейшей обра-

ботке. Такое базирование обеспечит равномерное распределение припуска на обработку на последующих операциях.

Опорные поверхности детали и зажимные элементы в приспособлениях должны располагаться так, чтобы усилие зажима было направлено в сторону опорной плоскости, для того чтобы свести к минимуму деформации деталей под влиянием зажимных усилий и усилий резания.

К исходным заготовкам, поступающим на автоматические линии, предъявляются повышенные требования в отношении стабильности размеров, стабильности механических свойств материалов и качества поверхности. При больших припусках на обрабатываемых поверхностях режущий инструмент работает с перегрузкой, а при очень малых припусках — по литейной корке или обрабатывает поверхность не полностью. В обоих случаях снижается точность обработки и уменьшается стойкость режущего инструмента. Заготовки должны иметь стабильные размеры, в противном случае заготовки с увеличенными габаритными размерами могут заклиниваться во время транспортировки, а с уменьшенными размерами — перекашиваться. Для обеспечения необходимой стойкости режущего инструмента в автоматическом оборудовании не следует применять форсированные режимы резания. На лимитирующих операциях режимы резания должны назначаться с таким расчетом, чтобы время между двумя переточками составляло не менее одной рабочей смены. На нелимитирующих операциях целесообразно устанавливать более низкие режимы резания. Время замены инструмента должно быть сведено к минимуму использованием бесподналадочного инструмента с установкой его на размер вне линии на соответствующих приборах.

Удаление стружки с деталей, приспособлений, из рабочей зоны обработки, отверстий в деталях производят смыванием смазочно-охлаждающей жидкостью или отсосом с помощью вакуумной установки. Контроль точных размеров деталей осуществляют непосредственно в процессе обработки автоматизированными устройствами.

В последние годы находят применение станки с программным управлением, которые позволяют механизировать и автоматизировать серийное и мелкосерийное производство. Являясь высокопроизводительным дорогостоящим автоматизированным оборудованием, они позволяют получить положительный экономический эффект только при их интенсивном использовании. Станки с ЧПУ обеспечивают резкое сокращение подготовительно-заключительного времени, связанного с переналадкой станка для обработки новой партии деталей. На станках с ЧПУ почти полностью исчезают затраты времени на настройку системы управления станков, так как в правильно организованном производстве затраты времени сводятся к замене программносителя. Сокращение вспомогательного времени увеличивает съем деталей с одного станка в 2—3 раза, а с учетом того, что один рабочий может обслуживать несколько станков с ЧПУ, производительность труда увеличивает-

ся в несколько раз. Использование станков с ЧПУ не только повышает производительность труда и облегчает труд, но и стабилизирует производство и качество при более высоком качестве изготовления деталей. Станки с ЧПУ создают предпосылки организации автоматизированных участков механической обработки с использованием ЭВМ и обучаемых манипуляторов (роботов).

Занимаясь разработкой технологии механической обработки, следует учитывать, что повышение режимов резания не является решающим фактором для повышения производительности труда, так как машинное время занимает небольшую долю общей длительности производственного цикла и во много раз больше времени уходит на наладочные работы, ожидание материалов и высвобождение станков, на транспортирование и т. п. Существенного сокращения потерь времени и уменьшения длительности производственного цикла можно достигнуть при переходе на групповую технологию. Благодаря возможностям ЭВМ принцип групповой технологии распространяется на все уровни производства (конструирование, подготовку производства, производственное планирование, изготовление деталей).

8.12. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

В электротехнической промышленности при массовом и крупносерийном производстве широко используют автоматические линии и автоматические станки, применение которых позволяет снизить производственный травматизм при обработке материалов резанием, так как при этом исключается контакт рабочего с многими опасными производственными факторами. Внедрение станков с программным управлением дает значительное улучшение условий труда и уменьшает вероятность травмирования рабочего, поскольку в процессе обработки рабочий может находиться вне зоны опасности. Однако на заводах еще эксплуатируется большое количество станков с ручным управлением.

Основные виды травм при работе на станках — ранение рук и ушибы тела.

Для групп станков общие требования безопасности заключаются прежде всего в правильном размещении оборудования в соответствии с технологией производства, с соблюдением нормальных расстояний между станками и от станков до стен и колонн здания. Необходимо, чтобы проходы между штабелями материалов и изделий были не менее 0,8 м, а их высота не больше 1 м. Во избежание захвата одежды движущимися частями станка все движущиеся части должны иметь ограждения.

На токарных станках во избежание ранения лица рабочего в зоне резания устанавливают защитные щитки из прочного прозрачного материала или работают в защитных очках или в защитной маске. Во время работы станка недопустимо убирать стружку вблизи его движущихся частей, измерять размеры детали, трогать ее рукой, устанавливать или заменять резцы, чистить или смазывать станок.

При выполнении сверлильных или фрезерных операций возникает опасность захвата одежды сверлом или фрезой. Одежда станочника должна быть прилегающей, волосы убраны под головной убор. Работать в рукавицах или перчатках, а также с забинтованными пальцами рук недопустимо ввиду опасности захвата их режущим инструментом и ранения рук. Недопустимо сверлить детали, удерживая их рукой.

ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫЕ ПОКРЫТИЯ

9.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Надежность электрических машин и трансформаторов в большой степени зависит от того, насколько они способны противостоять воздействию климатических факторов окружающей среды. К климатическим факторам окружающей среды относятся: температура, влажность воздуха, давление воздуха или газа (высота над уровнем моря), солнечная радиация, дождь, ветер, пыль (в том числе снежная), резкие смены температуры воздуха, соляной туман, иней, действие плесневых грибов, содержание в воздухе коррозионно-активных элементов. Для противодействия указанным климатическим факторам в конструкциях предусматривается целый комплекс мероприятий, в том числе металлическое и неметаллическое покрытие деталей, окраска деталей и узлов, а также окраска собранных машин и трансформаторов.

Литые детали и сварные узлы, а также собранные машины и трансформаторы, как правило, окрашивают. При этом детали после литья и сварные узлы после сварки обязательно грунтуют, для того чтобы они не подвергались коррозии в процессе производства.

Мелкие машины и трансформаторы можно собрать из окрашенных деталей и в собранном виде не окрашивать. Однако чаще всего сборку производят из грунтованных деталей, а затем окрашивают все изделие. Электрические машины и трансформаторы окрашивают различными лакокрасочными материалами. Выбор материала зависит от климатических районов, для которых предназначено изделие, условий эксплуатации, хранения и транспортирования.

Сочетание слоев последовательно нанесенных лакокрасочных материалов различного целевого назначения (грунтовка, шпаклевка, окраска) называют системой покрытия. Выбор грунтовки производят с учетом вида окрашиваемого металла, покровного материала и условий эксплуатации, а выбор шпаклевки — с учетом типа грунтовки и покровного материала.

Путем соответствующего выбора грунтовок и шпаклевок можно варьировать эксплуатационные свойства покрытий с применением одних и тех же покровных материалов. Для правильного выбора системы покрытий и технологического процесса окраски существуют общемашиностроительные типовые и руководящие материалы (ОМТРМ). Использование ОМТРМ облегчает труд технолога и позволяет избежать ошибок при разработке технологического процесса.

9.2. ПОДГОТОВКА ПОВЕРХНОСТИ К НАНЕСЕНИЮ ПОКРЫТИЙ

Перед нанесением покрытий поверхность должна быть очищена от жировых загрязнений, средств консервации, смазочно-охлаждающих жидкостей, окалины, следов коррозии и неорганических солей. В электромашино- и трансформаторостроении находят применение механические и химические способы подготовки поверхностей. Способ подготовки выбирают в зависимости от многих факторов и на основе технико-экономических расчетов.

К используемым механическим способам очистки относятся: дробеметная и дробеструйная, в галтовочных барабанах, ручным и механизированным инструментами. Дробеметной и дробеструйной очистке в камерах подвергают в основном чугунное литье. Закаленная дробь в виде литых чугунных шариков при дробеструйной обработке струей воздуха, а при дробеметной обработке — центробежной силой, образуемой рабочим колесом, выбрасывается через направляющее устройство и, ударяясь в поверхности деталей, очищает их. Мелкие литые и штампованные детали и сварные узлы очищают во вращающихся галтовочных барабанах. Барабаны могут быть четырех-, шести-, восьмигранными, а также цилиндрическими. Для ускорения и улучшения процесса обра-

ботки в барабан вместе с деталями загружают чугуны и стальные шарик и стружку, древесные опилки и пр. Ручной и механизированный (пневматический или электрический) инструмент используют при очистке крупногабаритных изделий или в случаях, когда нельзя использовать другие, более прогрессивные способы. В качестве рабочей части инструмента применяют щетки различных типов, абразивные круги, шлифовальные шкурки. Производительность труда при очистке механизированным инструментом повышается в 5—10 раз по сравнению с ручной очисткой.

Химические методы подготовки поверхности используют для обезжиривания. Под термином обезжиривание обычно подразумевают удаление с поверхности изделия не только жировых веществ, содержащихся в полировочных составах, эмульсионных охлаждающих жидкостях, но и следов пота, солей, остающихся после промывки, шлама после травления и др.

В индивидуальном, а иногда и серийном производствах поверхности обезжиривают, протирая ветошью, смоченной бензином или уайт-спиритом, хорошо растворяющими минеральные масла и консервационные смазки. Применение этих растворителей связано с взрыво- и пожароопасностью, поэтому их часто заменяют негорючими растворителями: трихлорэтиленом, перхлорэтиленом или синтетическими моющими средствами на основе препарата МЛ (МЛ-51, МЛ-52), МС (МС-5, МС-6, МС-8) и др. Обезжиривание большого количества деталей негорючими растворителями производят в моечных машинах конвейерного или тупикового типа. После обезжиривания на детали должно быть нанесено покрытие. Пролегивание детали должно быть исключено.

Для удаления с поверхностей окислов производят травление деталей в соляной, серной или ортофосфорной кислоте. После травления необходима хорошая промывка. Применение травления на многих заводах ограничено, так как необходимы нейтрализация и специальная обработка большого объема сточных вод.

Детали из алюминия и его сплавов для повышения адгезии и долговечности покрытия подвергают специальной химической обработке — хромированию, фосфатированию или электрохимическому (анодному) оксидированию. Наибольшее применение находят анодное оксидирование. Его производят в ваннах с раствором электролита при пропускании тока. Изделие служит анодом. В качестве катода используют свинцовые пластины. После оксидирования для улучшения защитных свойств окисных пленок, необходима их пассивация.

9.3. СПОСОБЫ НАНЕСЕНИЯ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

Существует много способов нанесения грунта и краски на поверхности окрашиваемых деталей, узлов и изделий. Выбор способа окраски и оборудования определяют исходя из конфигурации, количества, номенклатуры окрашиваемых объектов и материалов окраски. Рассмотрим некоторые способы окраски, применяемые в электромашино- и трансформаторостроении.

Окраска пневматическим распылением. Способ пневматического распыления находит широкое применение и позволяет механизировать процесс нанесения лакокрасочных материалов. Сущность способа заключается в том, что лакокрасочный материал при помощи сжатого воздуха превращается в тонкую дисперсную массу, которую наносят на поверхность детали. Пневматическое распыление применяют при окраске изделий, изготовленных из различных металлов, разных конфигураций и размеров в серийном и единичном производстве. В последнее время значительное распространение получил способ пневматического распыления лакокрасочных материалов в подогретом состоянии. Сущность способа заключается в том, что при подогреве вязкость и поверхностное натяжение лакокрасочных материалов понижаются. Это позволяет распылять лакокрасочные материалы с повышенным содержанием сухого остатка. Преимущество этого способа по сравнению с пневматическим распылением без подогрева следующие: уменьшение расхода растворителей для нитроматериалов до 30 %, для масляных и синтетических материалов до 40 %; повышение

производительности труда в результате сокращения числа слоев за счет увеличения их толщины и повышения укрывистости; снижение потерь на туманообразование вследствие уменьшения содержания растворителя в лакокрасочных материалах и сокращения времени распыления.

Нанесение лакокрасочных материалов способом пневматического распыления осуществляют при помощи краскораспылителей различного типа. Краскораспылители могут иметь плоскую или круглую струю. Плоскую струю обычно применяют при окраске больших и несложных поверхностей, а круглую — при малых, сложных и пространственных поверхностях. Расстояние от краскораспылителя до окрашиваемой поверхности должно быть 300—500 мм при плоской струе и 250—300 мм при круглой струе. Направление струи от краскораспылителя должно быть перпендикулярно к окрашиваемой поверхности, а скорость ее передвижения должна быть равномерной.

Окраску деталей (узлов и изделий) нужно производить в специально вентилируемых окрасочных установках, обеспечивающих необходимые санитарно-гигиенические условия труда малярам, а также создающих безопасность работы в цехе в пожарном отношении. В зависимости от типа производства и организации окрасочных работ используют два типа окрасочных камер — проходные камеры непрерывного действия для серийного и массового производства и тупиковые камеры периодического действия для мелкосерийного и единичного производства.

Окраска в электрическом поле. Сущность метода окраски заключается в том, что между системой электродов создается электрическое поле постоянного тока высокого напряжения. При этом отрицательный потенциал подается на коронирующие электроды, а положительный — на изделие. Частицы краски, приобретая отрицательный заряд и двигаясь по направлениям силовых линий электрического поля, осаждаются равномерным слоем на изделие. В электрическом поле можно окрашивать на конвейере наружные поверхности деталей (узлов и изделий) простой и сложной конфигурации как при серийном, так и при массовом производстве. Окраска в электрическом поле дает возможность значительно увеличить производительность за счет механизации процесса окрашивания, а также увеличить осаждение краски на изделия до 90 % и более. Недостатком метода является невозможность окраски изделий особо сложной конфигурации, имеющих глубокие впадины, а также внутренних поверхностей изделий. При окраске деталей сложной конфигурации предусматривается ручная подкраска. При окраске в электрическом поле отсутствует туманообразование, но выделяются вредные пары растворителей лакокрасочных материалов, поэтому окраску следует производить в вентилируемых камерах, которые, кроме того, служат ограждением электродной системы, находящейся под высоким напряжением. Окрасочные камеры применяются главным образом проходного типа с подвижным, толкающим или напольным конвейерами.

Окраска окунанием и обливом. Сущность окраски окунанием заключается в том, что предназначенные для окрашивания детали погружают в ванну, наполненную соответствующим лакокрасочным материалом. Через определенный промежуток времени детали вынимают из ванны. Лишняя краска стекает с поверхности деталей. Окунанием окрашивают детали простой конфигурации при отсутствии повышенных требований к внешнему виду деталей. Им пользуются при окраске литых, сварных и штампованных деталей. Окраска окунанием имеет ряд преимуществ: не требуется сложного оборудования и высококвалифицированных рабочих; процесс может быть полностью механизирован; позволяет окрашивать не только наружные, но и внутренние поверхности деталей. Окраску окунанием применяют лишь для изделий, окрашиваемых со всех сторон в одинаковый цвет; изделие должно иметь обтекаемую форму и гладкую поверхность; необходимы большие объемы лакокрасочных материалов, что небезопасно в пожарном отношении.

Окраска обливом мало чем отличается от окраски окунанием. При этом изделие обильно смачивается лакокрасочным материалом и окрашивается со всех сторон в один цвет.

При единичном и мелкосерийном производстве окунание изделий производится в ваннах без укрытия, с местной вытяжной вентиляцией (бортовыми отсосами). При периодической работе ванны в нерабочее время должны быть

закрыты крышками. Окувание мелких и особо мелких деталей производят на приспособлениях или в корзинах, а крупных деталей — при помощи подъемника. При крупносерийном и массовом производстве окраску окуванием осуществляют в специальных закрытых конвейерных установках, оборудованных вытяжной вентиляцией, с проемами для входа и выхода деталей.

Окраска струйным обливом с последующей выдержкой в парах растворителя. Сущность этого способа заключается в том, что окрашенное изделие сразу после камеры облива поступает в так называемый паровой туннель — камеру, в которой создается определенная концентрация паров растворителя. Атмосфера, содержащая пары растворителя, создает благоприятные условия для стекания излишков краски и ее равномерного распределения на поверхности детали без подтеков и наплывов, так как лакокрасочный материал не «схватывается» и сохраняет способность растекания. Этот способ имеет ряд преимуществ по сравнению с другими. По сравнению с окраской пневматическим распылением в 2—3 раза сокращаются потери лакокрасочного материала и уменьшается количество обслуживающего персонала. По сравнению с окраской окуванием содержание количества краски в системе в 10 раз меньше. Удельный расход краски также значительно меньше (используется 85 % лакокрасочных материалов, а при окувании — 70 %). Навеска деталей более плотная, внешний вид и качество покрытия лучше. К недостаткам струйного облива относятся загрязнение подвесок (практически единственные потери лакокрасочного материала), невозможность многоцветной окраски одного изделия, необходимость больших производственных площадей.

Для окраски деталей обливом применяются преимущественно установки конвейерного типа непрерывного или циклического действия, которые представляют собой металлическую камеру с открытыми проемами для входа и выхода деталей. Внутри камеры расположены ванна, контуры труб со специальными насадками, через которые поступает лакокрасочный материал, и лоток для стока излишков краски. Установка оборудована принудительной вытяжной вентиляцией и насосным агрегатом для подачи лакокрасочного материала в зону облива.

Окраска безвоздушным распылением под большим давлением с подогревом. Лакокрасочный материал, нагретый до температуры 70—100 °С, подается к соплу распылителя под давлением 4—6 МПа. Свободный поток жидкости (в данном случае лакокрасочного материала) при выходе из сопла со скоростью, превосходящей критическую для данной вязкости, размельчается. Сочетание гидравлического давления с нагревом дает возможность распылять лакокрасочный материал значительной вязкости, так как нагрев снижает вязкость и поверхностное натяжение. Создание мелкодисперсного факела достигается за счет падения давления при выходе лакокрасочного материала из сопла краскораспылителей до атмосферного, вызывающего мгновенное испарение части растворителя. Растворители играют в этом процессе роль распыляющего агента. Факел, получаемый при безвоздушном распылении, — с четкими границами, равномерный по всему сечению и с незначительным туманообразованием. По сравнению с окраской пневматическим распылением безвоздушное распыление имеет следующие преимущества: уменьшается расход лакокрасочного материала на 25 %, уменьшается расход растворителей, сокращается цикл окраски и повышается производительность труда вследствие возможности нанесения меньшего числа слоев, но большей толщины. Покрытия получают высокого качества (ровный глянec, равномерная толщина и почти полное отсутствие пористости). Недостаток этого способа состоит в невозможности автоматической окраски изделий особо сложной конфигурации.

Окраска кистью. Несмотря на широкое внедрение новых способов нанесения лакокрасочных материалов окрашивание кистью еще находит применение. Лакокрасочный материал наносят на поверхность и растушевывают кистью до получения качественного равномерного покрытия. Преимуществами этого способа являются простота и универсальность, позволяющая окрашивать изделия различных размеров и конфигураций; небольшой расход лакокрасочных материалов; отсутствие необходимости применения специального оборудования и сложных приспособлений. К недостаткам способа относятся низкая производительность и большая трудоемкость.

9.4. СУШКА ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

Сушка лакокрасочных покрытий является одной из основных стадий технологического процесса, во многом определяющей качество покрытия. Режим сушки задают температурой нагрева окрашенной поверхности и продолжительностью сушки. Сушка может происходить при температуре 18—23 °С (естественная сушка) или при повышенной температуре (искусственная сушка). Наибольшее распространение получила искусственная сушка. Широко применяются следующие виды искусственной сушки: конвективная, терморadiационная, терморadiационно-конвективная и индукционная.

Естественная сушка применяется редко, так как для ее осуществления требуются большие площади, оснащенные вентиляцией.

Конвективная сушка получила наибольшее распространение. Сущность этого способа сушки заключается в нагревании окрашенных изделий горячим воздухом или продуктами сгорания в специальных сушильных камерах. Сушка происходит с поверхности лакокрасочного покрытия, что приводит к образованию поверхностной пленки, препятствующей улетучиванию растворителя из нижних слоев покрытий. Это увеличивает продолжительность сушки покрытия.

Терморadiационная сушка является наиболее прогрессивной и находит все более широкое применение. Окрашенное изделие облучают инфракрасными лучами, которые вследствие их большой проникаемости поглощаются металлом изделия. Сушка лакокрасочного покрытия начинается с поверхности металла и распространяется к внешней поверхности покрытия. Этот способ сушки обеспечивает беспрепятственное улетучивание растворителя из покрытия, что уменьшает время его сушки. В качестве источников инфракрасного излучения применяются генераторы, выполненные в виде трубчатых или панельных нагревательных элементов, а также специальные лампы накаливания. Обогрев может осуществляться либо электроэнергией, либо продуктами сгорания газов.

Терморadiационно-конвективная сушка представляет собой комбинированную сушку лакокрасочных покрытий горячим воздухом или продуктами сгорания и инфракрасными лучами. Этот способ сушки рекомендуется для изделий различной конфигурации, особенно для сложной, в тех случаях, когда часть окрашенной поверхности недостаточно облучается инфракрасными лучами.

Индукционная сушка не нашла применения в электромашиностроении и здесь не рассматривается.

9.5. ПОКРЫТИЯ ИЗ ПОРОШКООБРАЗНЫХ ПОЛИМЕРОВ

В настоящее время широко применяются полимерные материалы в виде порошков для нанесения защитных и электроизоляционных покрытий. Применяемые порошковые материалы (полимеры, наполнители и др.) имеют размер частиц 0,5—500 мкм [26]. В электромашиностроении больше находят применение композиции на основе термореактивных смол.

Порошки наносят на очищенную поверхность без грунта и запекают. Покрытия из порошков имеют следующие преимущества: исключается применение растворителей (и жидкостей вообще), благодаря чему улучшаются санитарно-гигиенические условия труда, снижаются затраты на вентиляцию; снижается технологический цикл окрашивания путем замены многослойных покрытий однослойными необходимой толщины (от 50 до 500 мкм); устраняются потери лакокрасочных материалов в процессе их нанесения; появляется возможность получения ряда качественно новых покрытий с повышенной химической стойкостью и улучшенными физико-механическими свойствами.

Основными способами нанесения порошковых покрытий являются: нанесение во взвешенном слое и в электрическом поле. При нанесении покрытия во взвешенном слое деталь нагревают до температуры, превышающей температуру плавления порошка, и погружают ее во взвешенный слой. Порошок «омывает» ее, образуя покрытие. Взвешенный слой порошка в рабочей камере образуется при прохождении газа или сжатого воздуха из воздушной камеры через пористую перегородку (рис. 9.1).

Нанесение покрытия в электрическом поле основано на способности заряженного порошка перемещаться к изделию, имеющему заряд другого знака. На рис. 9.2 показана установка типа УНПК-1 для автоматического нанесения порошковой краски в электростатическом поле, разработанная научно-производственным объединением «Лакокраспокрытие». Деталь 2 подвешивают на подвеске. Окрашивание производится распылителями 3, напряжение на которых должно быть не менее 60—100 кВ. Порошок, не попавший на деталь, засасывается в рекуператор 4 и задерживается в рукавах фильтра 5. Затем он попадает в ванну 6 и через эжектор 7 подается обратно в распылители. В ванне

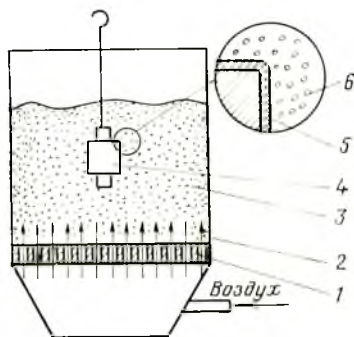


Рис. 9.1. Принципиальная схема напыления во взвешенном слое.

1 — пористая перегородка; 2 — корпус; 3 — псевдооживленный слой (взвешенный, слой); 4 — напыляемая деталь; 5 — оплавленный слой частиц (покрытие); 6 — частицы порошка.

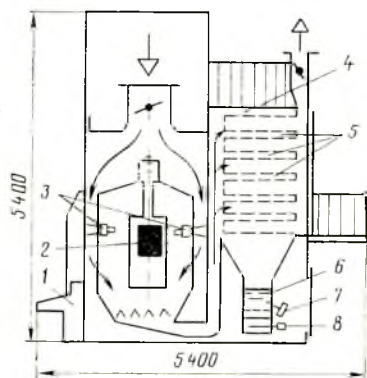


Рис. 9.2. Схема установки типа УНПК-1 для автоматического нанесения порошковой краски в электростатическом поле.

порошок находится в псевдооживленном слое. Нагреватель 8 подогревает воздух, подаваемый для псевдооживления. Управление процессом осуществляется с пульта 1. Коэффициент полезного действия системы рекуперации 0,998.

После нанесения порошка его запекают при температуре 120—200 °С в течение 30—60 мин.

В микромашинах и машинах малой мощности покрытия на основе эпоксидных смол используют как электроизоляционные. Таким способом наносят изоляцию в пазы статора и ротора. В электрических машинах большой мощности таким методом наносят изоляцию на отдельные детали (обмоткодержатели, полюсы и т. д.).

Окраска и изоляция порошками является перспективным и прогрессивным технологическим процессом.

9.6. МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ОКРАСОЧНЫХ РАБОТ

При большом объеме окрасочных работ их осуществляют на конвейерных линиях. Выбор линии производят в каждом конкретном случае. Возможны несколько схем. При необходимости обезжиривания, грунтовки и окраски деталей линия состоит из агрегата по обезжириванию и печи сушки после обезжиривания, камеры по грунтовке и печи для сушки после грунтовки, камеры по окраске и печи для сушки после окраски. Такие линии наиболее сложные.

Несколько типов агрегатов обезжиривания разработано ВПТИэлектро. Агрегаты проходного типа со струйной обработкой деталей включают в себя четыре секции: обезжиривания и травления, горячей промывки, холодной про-

мывки и сушки. На рис. 9.3 показан внешний вид одного из агрегатов обезжиривания. Размер транспортного проема 600×800 мм. Обезжиривание и травление осуществляется за 4 мин при температуре $45-70^\circ\text{C}$. Горячая промывка производится при температуре $70-90^\circ\text{C}$, а холодная при $10-20^\circ\text{C}$. Время каждой промывки 2 мин. Сушку производят в течение 4 мин при температуре 120°C . Габаритные размеры агрегата $1662 \times 2700 \times 4280$ мм.

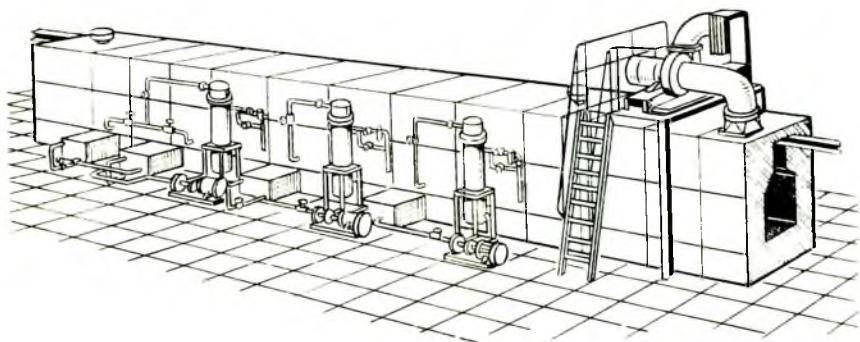


Рис. 9.3. Внешний вид агрегата обезжиривания.

На ряде заводов окраска готовых узлов и деталей производится на окрасочных линиях. На рис. 9.4 представлена схема конвейерной линии окраски металлоконструкций трансформаторов, изготавливаемых на Минском электротехническом заводе им. В. И. Козлова [22]. Окрасочный цепной конвейер 1 непрерывного действия имеет скорость движения от 0,4 до 0,9 м/мин. Детали и узлы

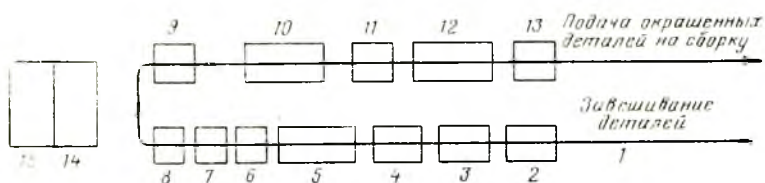


Рис. 9.4. Схема конвейера для окраски металлоконструкций трансформатора.

навешивают на конвейер специальными подвесками, а потом подают последовательно во все камеры и агрегаты. В камере 2 детали промываются из форсунок подогретой водой, в камере 3 производится обезжиривание деталей струйным методом. В камере 4 детали вновь промываются горячей водой, затем они поступают в агрегат фосфатирования 5, где покрываются плотной фосфатной пленкой. Эта пленка заменяет собой грунт, обеспечивая надежное сцепление краски с металлом. Внутренняя поверхность металлоконструкций трансформатора, работающая в масле, при таком покрытии может не окрашиваться, так как до заливки трансформатора маслом фосфатная пленка предохраняет металл от коррозии. Ввиду того, что при погружении бака в фосфатный раствор в процессе его фосфатирования в нем частично остается воздух, препятствующий полному фосфатированию дна, в камере 6 производят дополнительное струйное фосфатирование внутренней части бака также раствором из фосфата. Затем в камере 7 детали промывают горячей водой и подсушивают в конвекционной сушильной печи 8.

Сухие фосфатированные детали поступают в первую окрасочную камеру 9, где пневмораспылителем на них наносят первый слой эмали. Окрасочная камера оборудована гидрофильтром и вентиляцией. Сушку первого слоя эмали

производят в термораднационной печи 10, после чего детали поступают во вторую окрасочную камеру 11, где наносится второй слой эмали. Сушку второго слоя эмали производят также в термораднационной печи 12. Высушенные детали поступают в окрасочную камеру 13, где по трафарету на них наносят необходимые надписи и знаки, и детали этим же конвейером подают в сборочный цех. Все операции по подготовке поверхностей узлов и деталей производят без участия человека. На всем конвейере занято трое рабочих — маляры в трех окрасочных камерах. Приготовление необходимых растворов для заправки ванн обезжиривания и фосфатирования производят в специальном помещении 14, приготовление краски — в помещении 15.

9.7. ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ

В электрических машинах и трансформаторах некоторые детали имеют гальванические покрытия. Гальванические покрытия предназначены для защиты от коррозии, уменьшения контактного сопротивления, защиты контактов и контактных деталей от окисления и последующего увеличения контактного сопротивления, а также для декоративных целей.

К деталям, имеющим гальванические покрытия, относятся болты, гайки, шайбы, контакты переключателей, хомуты крепления стержней роторных обмоток и др.

По применяемым в электромашино- и трансформаторостроении материалам покрытия можно классифицировать следующим образом.

Цинкование с последующим пассивированием служит защитным покрытием для деталей из сталей от атмосферной коррозии, пресной воды, бензина, керосина, но не стойко по отношению к кислотам, щелочам и воздействию сернистых соединений.

Кадмирование с последующим пассивированием служит защитным покрытием для деталей, работающих в тропических условиях.

Оловянирование (лужение) применяется для покрытия контактов медных и латунных деталей, а также для подготовки таких деталей к пайке оловянисто-свинцовыми припоями.

Серебрение — электрохимическое покрытие медных и латунных деталей для получения надежных неокисляющихся контактных соединений.

Никелирование служит защитным покрытием деталей из меди и ее сплавов, предназначенных для работы в тропических условиях. Никелевые покрытия стойки в щелочах и органических кислотах.

Чтобы покрытие было прочно связано с материалом детали, необходимо ее поверхность подвергнуть тщательной механической и химической обработке. В процессе обработки с деталей удаляют грязь, пыль, окалину, ржавчину, масло, а также устраняют дефекты поверхности — раковины, трещины, вмятины, выпуклости, неровности, шероховатость, царапины; при этом поверхностям придают ровный, гладкий матовый или блестящий вид. Обычно применяют комплекс операций, обеспечивающих необходимое качество поверхности перед нанесением покрытия.

Гальваническое напеснение металлопокрытия — процесс осаждения тонкого слоя металла (15—20 мкм) на поверхности металлических деталей. Осаждение металла производится в ваннах, содержащих электролит, главной составной частью которого является соль осаждаемого металла. На рис. 9.5 показана схема гальванической стационарной ванны. Постоянный ток низкого напряжения от генератора или выпрямителя подводится к электродам ванны. К выводу 1 подвешивают пластины осаждаемого металла, являющегося анодом (+). К выводу 2 подвешивают покрываемую деталь 3, являющуюся катодом (—). Пластины металла и деталь должны находиться в электролите 4. Ванна снабжена

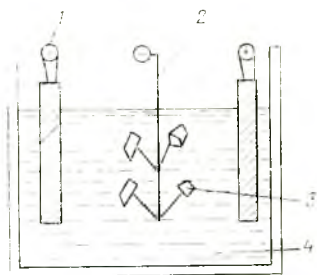


Рис. 9.5. Схема гальванической стационарной ванны.

бортовыми отсосами. В зависимости от вида металла пластин, подвешиваемых к аноду, состава электролита в ванне производятся гальванические металлопокрытия цинком, серебром, никелем и др.

9.8. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОКРАСОЧНЫХ И ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ РАБОТАХ

Окрасочные цеха или участки при размещении в общих производственных корпусах следует располагать, как правило, у наружной стены здания с оконными проемами, верхним фонарем или с легкосбрасываемыми покрытиями и изолировать от других цехов противопожарными стенами. Полы помещений окрасочных цехов и краскозаготовительных отделений должны быть масло- и бензостойкими и выполнены из негорючих материалов, допускающих легкую очистку и не дающих искр при ударе. Помещения должны быть оборудованы механической приточно-вытяжной вентиляцией, а рабочие посты — местной вытяжной вентиляцией. При окрашивании изделия должны располагаться в камерах, а рабочие — снаружи. Рабочие окрасочных цехов должны работать в спецодежде и пользоваться защитными приспособлениями (очками, респираторами, мазями и др.). Спецодежду следует стирать не реже одного раза в 10 дней. В случае необходимости для предохранения органов дыхания от воздействия тумана, образовавшегося при окраске, и паров растворителей маляры должны пользоваться респираторами типа РМП с подачей воздуха под маску. Рабочим и инженерно-техническим работникам окрасочных цехов рекомендуется для предохранения рук применять мазь Селисского, пасту «Миколан», ИЭР и другие или же составы, образующие нерастворимую пленку («биологические перчатки»).

Гальванические ванны с легколетучими и вредными растворителями и растворами (трихлорэтилен, дихлорэтан, цианистые препараты и т. д.) включаются в вентиляционную сеть раньше других ванн, т. е. должны быть расположены ближе к вентилятору. В цехах и на участках должны быть приняты достаточные меры по созданию определенного микроклимата в рабочей зоне, чтобы не превышались предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ. Все организации и предприятия, использующие в производстве вредные вещества, должны очищать выбросы в атмосферу и в сточные воды так, чтобы выбросы не превышали норм ПДК. Одним из направлений является внедрение в производство новых неядовитых веществ, а также новых технологических процессов, исключающих вредные выбросы в атмосферу и сточные воды.

Глава десятая

ВНУТРИЗАВОДСКИЕ ТРАНСПОРТНЫЕ И СКЛАДСКИЕ РАБОТЫ

10.1. ЗАДАЧИ ТРАНСПОРТНЫХ И СКЛАДСКИХ РАБОТ

Промышленный транспорт можно разделить на внешний, внутризаводской и внутрицеховой транспорт.

Внешний транспорт осуществляет связь предприятия с другими предприятиями. Преимущественно распространенным видом его является железная дорога и автотранспорт.

Внутризаводской транспорт обслуживает перевозки грузов между складами и цехами предприятия.

Внутрицеховой транспорт осуществляет перемещение заготовок деталей и узлов внутри цеха. Внутрицеховой транспорт (конвейеры, рольганги, манипуляторы, подъемные краны и т. д.) будет описан при рассмотрении конкретной технологии в соответствующих главах. В этой главе главное внимание уде-

лено внутризаводскому транспорту, работе заводских складов и транспорту для отгрузки готовой продукции.

Внутризаводские транспортные и складские работы являются составной частью материального производства. От их правильной организации зависят производительность труда, качество продукции, лучшее использование производственных площадей, ритмичная работа всех звеньев предприятия и т. д. Занимаясь вопросами транспортировки и складирования, необходимо учитывать характер производства, характер выпускаемой продукции, расположение цехов и складов на заводской площадке, климатическую зону расположения предприятия и т. д. Способы транспортирования зависят от технологических решений и оборудования и, в свою очередь, сами влияют на размещение технологических линий, взаимное расположение оборудования и рабочих мест, на организацию труда и производства в целом.

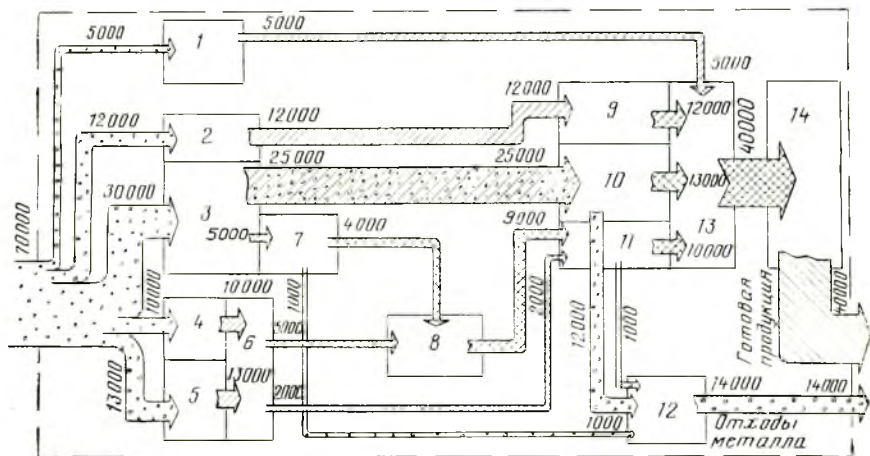


Рис. 10.1. Примерная схема грузопотоков предприятия (цифрами на стрелках указаны массы перемещаемых грузов).

1 — склад комплектующих изделий; 2 — склад проводов и изоляций; 3 — склад металлов; 4 — склад шихты; 5 — склад формовочного материала; 6 — литейный цех; 7 — кузнечно-прессовый цех; 8 — склад заготовок; 9 — изоляционный цех; 10 — цех листовой штамповки; 11 — механический цех; 12 — склад отходов металла; 13 — сборочный цех; 14 — склад готовой продукции.

Рост объема производства, расширение номенклатуры, углубление специализации и увеличение масс перемещаемых грузов усложняет и убыстряет производственные внутризаводские и внутрицеховые потоки, причем взаимосвязь технологических операций и операций перемещения усиливается. Изменяется содержание транспортных операций. Кроме собственно транспортирования, т. е. передвижения в пространстве, имеют место и тесно с ним связаны операции погрузки, разгрузки, укладки, складирования, пересчета, взвешивания, комплектации, подноски к станку и многие другие, объединяемые общим широким понятием «перемещение». Необходима комплексная организация всех процессов перемещения, включая поступление материалов, полуфабрикатов и деталей извне, перемещение их из складов в цеха, межоперационные и внутриоперационные перемещения, транспортировку производственных отходов и отгрузку готовой продукции за пределы предприятия. Основным критерием при этом должна быть оценка влияния способов выполнения операций перемещения на экономические результаты деятельности предприятия.

Примерная схема грузопотоков предприятия показана на рис. 10.1.

10.2. ВНУТРИЗАВОДСКИЕ ТРАНСПОРТНЫЕ РАБОТЫ. ТАРА И ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА

Наиболее экономичной и перспективной является централизованная система транспортного обслуживания производства. Рассмотрим ее основные положения. Все транспортные средства, ремонтная база, зарядная станция, обслуживающий персонал находятся в ведении одного лица, которое отвечает за своевременность и качество обслуживания производства, а также за правильную эксплуатацию и своевременный ремонт транспортных средств. Планирование и оперативное диспетчерское руководство осуществляются планово-диспетчерским бюро транспортного цеха. Перевозки производятся по план-графику. План-график перевозок составляется по заявкам цехов, а также диспетчерского бюро складского хозяйства. Наиболее крупные и устойчивые направления грузопотоков являются основой графика. Небольшие и неустойчивые грузопотоки перевозок могут в график не включаться, а выполняться по разовым заявкам. Для крупных и устойчивых грузопотоков разрабатываются наиболее экономичные маршруты. При необходимости жесткой синхронизации производственного процесса и потока материалов по времени составляют часовые графики. Все цеха и склады имеют погрузочно-разгрузочные площадки, где сосредоточиваются грузы, предназначенные для централизованной транспортировки, с указанием места доставки. Внутрицеховые и операционные перемещения грузов осуществляются цеховыми транспортными средствами. Централизованная система транспортного обслуживания позволяет в несколько раз снизить затраты на транспортировку и обеспечить своевременную доставку грузов. При наличии на предприятии АСУП разрабатывается автоматизированная система управления транспортом (АСУТ), которая является подсистемой АСУП.

Грузы, как правило, транспортируются в таре, обеспечивающей их сохранность. Роль и назначение производственной тары в последние годы резко возросли. Если ранее ее относили к второстепенным средствам малой механизации, то теперь четко определилась ее роль как важнейшего и наиболее массового средства механизации, активного элемента производства, способствующего улучшению организации и повышению производительности труда на основных технологических операциях. Тара подразделяется на стандартную и специальную. В настоящее время разработаны типовые конструкции стандартной производственной тары и утверждены параметрические государственные стандарты. Согласно рекомендациям СЭВ и ИСО за базовые номинальные размеры для тары приняты размеры 1200×800 мм в плане и кратные им.

Тару изготавливают из профилированного металла или пластмассы грузоподъемностью от нескольких тонн до 0,5 кг. Стандартную тару можно транспортировать при подъеме ее на вилках снизу или при строповке ее сверху крюками или специальными захватами. Тару можно складировать в пять-девять рядов по высоте, для чего в ней предусмотрены специальные фиксирующие устройства. Тару грузоподъемностью 5С кг и менее можно изготавливать с карманом, что позволяет доставать детали из тары сбоку. Унифицированную тару можно перевозить практически любым видом транспорта при установке ее в несколько рядов (в том числе автомобильным и железнодорожным транспортом). Тара позволяет в минимально короткий срок подать заготовки или детали на рабочее место, а также забрать их с рабочего места. Для этого на каждом рабочем месте должны быть предусмотрены места для тары с заготовками и готовыми деталями, а также подъездные пути для транспорта. Подача деталей в таре на рабочие места ликвидирует потери рабочего времени основных рабочих.

Для транспортировки тары и грузов используют различные транспортные средства. Наиболее широко применяемыми и перспективными механизмами для транспортировки являются вилочные авто- и электропогрузчики. Основные их преимущества: универсальность и мобильность, способность передвигаться по произвольным переменным трассам. Это качество вилочных погрузчиков особенно эффективно используется при работе со стандартной тарой. Оно позволяет выполнять с их помощью весь необходимый цикл манипуляций: транспортировку тары по любому заданному направлению, ее установку с необходимой пространственной ориентацией, многоярусное штабелирование, установку тары

в стеллажи, погрузку тары на электрокары и автомобили, погрузку тары в железнодорожные вагоны и другие подъемно-транспортные операции. Вилочные погрузчики легко оснащаются оснасткой для транспортировки бочек, рулонов, пакетов и т. д.

Необходимо учитывать, что тара с грузом является не только грузовой единицей, но и учетной производственной единицей на рабочем месте, учетной складской единицей на складе, погрузочной единицей в процессе перемещения. При разработке транспортной технологии и выборе тары основными вопросами являются: выбор типоразмера тары и ее количества; выбор способа транспортировки, типа подъемно-транспортного оборудования; планировка размещения технологического оборудования, предусматривающая проезды шириной, достаточной для перевозки тары; наличие площадок для накопления и складирования. Укрупненный ориентировочный расчет показывает, что на одного рабочего необходимо иметь на предприятии для внутривозовского применения 5—12 единиц тары. При определении необходимого количества вилочных погрузчиков исходят из того, что один погрузчик может обслужить 500 единиц тары, находящейся на предприятии.

Грузы также могут перемещаться кранами-штабелерами, которые наиболее эффективны при обслуживании многоярусных стеллажей.

При производстве крупных электрических машин и трансформаторов, когда отдельные детали и узлы имеют массу в несколько тонн или десятков тонн, основными подъемно-транспортными средствами являются мостовые краны, кран-балки, монорельсы. Эти средства используют для внутрицехового перемещения. Для межцехового перемещения применяют автомобильный, а чаще всего железнодорожный транспорт. В цехах, имеющих несколько пролетов, передачу грузов из одного пролета в другой осуществляют на рельсовых тележках, грузоподъемность которых достигает нескольких десятков тонн.

В цехах широко используют средства малой механизации, которые позволяют повышать производительность труда на отдельных операциях до 10—20 %. На рис. 10.2, а, б показаны устройства наклона тары для облегчения взятия из них деталей. Транспортер (рис. 10.2, в) позволяет транспортировать детали из-под пресса в тару. Это исключает лишние перегрузки. Двухплечевой одностоечный консольный кран (рис. 10.2, г) грузоподъемностью 300 кг имеет радиус поворота консоли 3,5 м и широко используется для переноса деталей на рабочие места. Оснащение рабочих мест индивидуальными подъемными средствами позволяет ликвидировать простои.

Хранение материалов, полуфабрикатов и готовой продукции производится на складах. В зависимости от характера действия склады могут быть снабженческими, сбытовыми и цеховыми.

Снабженческие склады призваны обеспечить приемку и хранение материалов, комплектующих изделий, сырья, необходимую подготовку их к производственному потреблению и снабжению ими всех цехов. Технологический процесс складской обработки продукции включает в себя следующие операции: выгрузку поступивших грузов, приемку их по количеству мест, рассортировку, распаковку, приемку по количеству единиц, приемку по качеству, а также операции размещения, хранения, отборки, комплектования, подготовки к отпуску и отпуску со склада.

Сбытовые склады принимают и хранят готовую продукцию. На этих складах производится накопление и хранение готовой продукции, подбор ассортимента в соответствии с установленным договором, планом реализации, упаковка продукции, маркировка тарных мест, оформление сопроводительных документов и отгрузка.

Цеховые склады призваны обеспечить накопление и хранение полуфабрикатов, необходимых для обслуживания рабочих мест и бесперебойного выполнения сменных производственных заданий.

Складские здания и используемое в них оборудование зависят от типа производства и характера груза. На рис. 10.3, а—г показаны некоторые средства механизации складских работ. При единичном и мелкосерийном производстве применяются многоэтажные двухрядные стеллажи с полками. Складирование может осуществляться электропогрузчиком (рис. 10.3, а) или штабелером с управлением из подъемной платформы (рис. 10.3, б). При наличии двухрядных

стеллажей можно брать груз из любой стеллажной ячейки. При среднесерийном производстве можно производить бесстеллажное складирование (рис. 10.3, а). В этом случае можно брать только груз из верхнего ряда. При крупносерийном и массовом производстве складировать грузы в таре или на поддонах можно в несколько рядов (рис. 10.3, б); при этом груз можно брать только из крайнего ряда. Бесстеллажное складирование, особенно в несколько рядов, позволяет лучше использовать площадь склада.

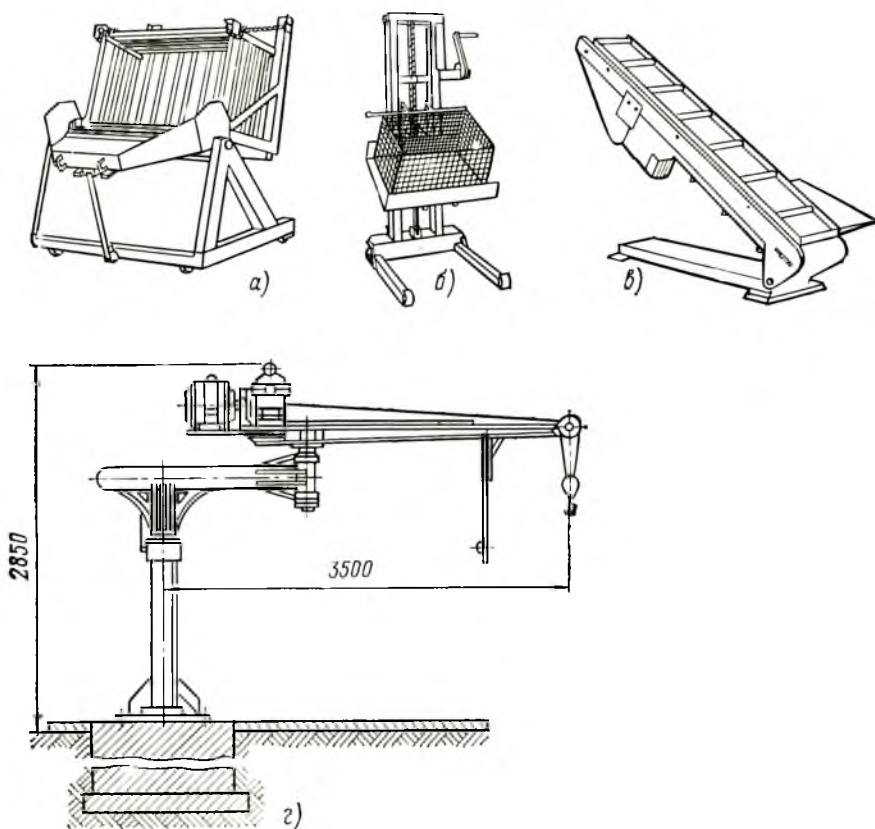


Рис. 10.2. Средства малой механизации в цехах.

Одним из обязательных элементов складского здания являются ramпы, представляющие собой наружное продолжение пола и предназначенные для удобства выполнения погрузочно-разгрузочных работ. Высота ramп со стороны железнодорожного транспорта должна быть 1,1 м от уровня головки рельса, а со стороны автомобильного транспорта — 0,9 м от уровня здания. Для въезда на ramпы внутрь складского здания устанавливаются наклонные плоскости — пандусы. Чем больше высота склада, тем больше его вместимость. При оборудовании склада кранами-штабелерами высота склада может достигать 30 м и более. Для хранения проката металла мелкого и среднего профиля используются штабелеры и стеллажи, предназначенные для подъема и хранения длиномерных грузов.

В последние годы на складах тарно-штучных грузов применяют средства автоматизации для управления транспортирующими устройствами, учета грузов и планирования работ механизмов.

Механизированный склад представляет собой многоярусные стеллажи и подъемно-транспортные механизмы. Система управления состоит из ЭВМ, УВМ и системы управления транспортными распределительными системами (ТРС). Рассмотрим порядок работы склада. По прибытии на склад грузы поступают на ТРС. Оператор вводит данные о грузах в терминальное устройство, связанное с УВМ. Управляющая вычислительная машина определяет места хранения

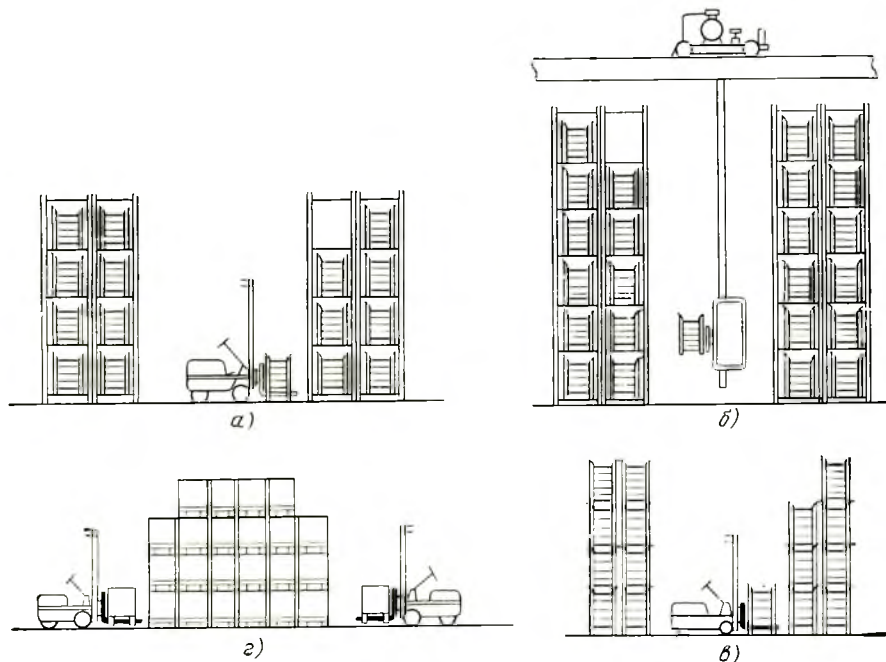


Рис. 10.3. Средства механизации складских работ.

грузов на складе и формирует команды по управлению ТРС у входа склада и кранов-штабелеров — внутри склада для осуществления операций введения груза в стеллажи. После получения сигнала от крана-штабелера о выполнении команды осуществляется обработка массива и состояния склада в памяти УВМ, а также регистрация на печатающем устройстве следующих данных: адреса стеллажного места, кода груза, количества груза в таре, время поступления на склад.

Отгрузка производится в следующем порядке. Требования на количество деталей, необходимых производству, направляются в отдел статистической обработки, который дает команду на ЭВМ предприятия. Команда состоит из кода груза, требуемого количества деталей и адреса хранения. На основе этой информации ЭВМ предприятия принимает решение о количестве необходимых ящиков, а также об отгрузке наиболее старых грузов. Получив сигнал от заводской ЭВМ, пульт дистанционного управления дублирует его на телетайп, а затем дает адрес-команду крану-штабелеру, который транспортирует груз к выходной ТРС.

Автомеханизированные склады стабилизируют работу производства, сокращают численность складских работников и площадь складских помещений.

10.3. ТРАНСПОРТИРОВКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И ТРАНСФОРМАТОРОВ

Транспортировка электрических машин и трансформаторов к потребителям может осуществляться практически любым видом транспорта: автомобильным, железнодорожным, морским и авиационным. Электродвигатели небольших габаритов транспортируют в упакованном виде или при постоянных поставках в унифицированной оборотной таре. Оборотная тара должна быть разборной. После выгрузки машин ее отправляют обратно заводу-изготовителю. Электрические машины больших габаритов транспортируют на открытых железнодорожных платформах. Для устойчивого положения на платформе двигателя

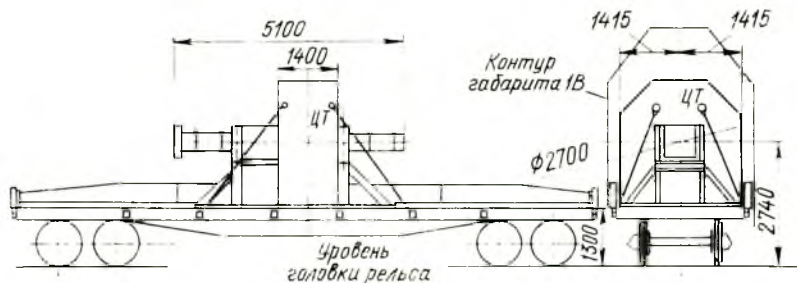


Рис. 10.4. Транспортировка ротора крупной электрической машины на платформе.

раскрепляют распорками. При этом ось вала должна располагаться перпендикулярно железнодорожному пути. При таком положении машин ротор может незначительно поворачиваться при ходе состава и это не вызовет наклепа подшипников. При расположении вала, по ходу движения состава ротор остается неподвижным и при транспортировке на далекие расстояния происходит наклеп подшипников от незначительных ударов колес на стыках рельс. Крупные электрические машины массой до 10 т устанавливают на погрузочные сани из деревянных брусев, а при большей массе погрузку осуществляют на раму сварной конструкции из швеллеров. Машины и их детали должны быть законсервированы и надежно закреплены в упаковочной таре. На упаковочной таре отмечают места строповки ящиков. Если габариты электрической машины не укладываются в железнодорожный габарит, то машину транспортируют в разобранном виде.

На рис. 10.4 показана погрузка ротора крупной электрической машины массой до 20 т. Ротор опирается валом на деревянные брусья, уложенные на опорные стойки рамы, и полусами — на брусья, расположенные под ротором, а также надежно закрепляется от продольных перемещений относительно рамы вдоль платформы.

Трансформаторы небольших габаритов могут транспортироваться любым видом транспорта. Для перевозки крупных трансформаторов основным видом транспорта является железнодорожный. В соответствии с железнодорожным габаритом трансформатор, установленный на платформе (или транспортере), должен иметь высоту от верха головки рельса не более 5300 мм. Кроме того, требуется соблюдение горизонтальных размеров груза на участке от уровня верха головки рельса до отметки 1300 мм. Выше этой отметки груз относится к категории негабаритных с определенной степенью негабаритности, и на его перевозку необходимо разрешение отдела негабаритных и особых перевозок Главного управления движения МПС.

В зависимости от размеров выхода груза за очертания железнодорожного габарита негабаритность разделяется на пять степеней (0, I, II, III, IV).

Для транспортировки по железной дороге трансформаторов больших мощностей необходимо иметь возможность увеличения отправочной (транспортной)

массы при уменьшении допустимой ширины и высоты трансформатора, поэтому перевозка трансформаторов по железной дороге осуществляется как на платформах, так и на специальных транспортерах.

При массе трансформатора до 60 т транспортировка производится на двухосных, четырехосных и реже шестиосных платформах. При отправочной массе более 60–80 т перевозка осуществляется на железнодорожных транспортерах с пониженной погрузочной площадкой (рис. 10.5).

Для лучшего использования железнодорожных габаритов применяют консольные транспортеры без несущей рамы (сочлененные транспортеры) с боковыми балками, к которым подвешивается трансформатор в своем рабочем баке. Такой способ транспортировки позволяет увеличить габарит перевозимых трансформаторов на 450–550 мм по высоте.

На платформах и транспортерах с несущей платформой трансформатор устанавливается на опорные деревянные брусья и закрепляется металлическими упорами, приваренными к стальному листу, уложенному на транспортере. Лист, в свою очередь, крепится к транспортеру с помощью болтов и дополнительных упорных пластин. Во избежание опрокидывания трансформатор, кроме того, закрепляется стальными растяжками за подъемные крюки. Необходимость соблюдения железнодорожного габарита и ограничения массы транспортируемых трансформаторов приводит к тому, что только трансформаторы небольшой мощности (до 1600 кВ·А включительно) перевозятся в собранном виде. Большинство трансформаторов приходится транспортировать частично демонтированными.



Рис. 10.5. Перевозка мощного трансформатора на транспортерах сочлененного типа (консольных).

Глава одиннадцатая

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

11.1. КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ

Качество — совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением (ГОСТ 15467-79). Для электрических машин и трансформаторов это совокупность необходимых технических параметров: к. п. д., коэффициента мощности, уровня потерь, надежности, долговечности; экономических параметров: уровня трудоемкости, материалоемкости, энергоемкости продукции в процессе изготовления и эксплуатации. Внешний вид электрических машин и трансформаторов должен соответствовать современному эстетическому восприятию, и, кроме того, они должны быть удобны в эксплуатации и ремонте.

В 1972–1973 гг. Академией наук СССР, научно-исследовательскими организациями Госстандарта СССР и рядом передовых предприятий и объединений была разработана комплексная система управления качеством продукции (КС УКП). Она была проверена в ходе широкого промышленного эксперимента и получила общее признание. Комплексная система управления качеством продукции базируется на стандартах предприятия, разрабатываемых в полном соответствии с государственными и отраслевыми стандартами. Комплекс стандартов предприятия подразделяется на основной стандарт, который определяет общее положение системы, и на совокупность специальных и вспомогательных стандартов, обеспечивающих реализацию функций КС УКП всего предприятия.

Стандарты предприятия предусматривают количественную оценку работы всех подразделений завода и цеха по повышению качества продукции.

Содержание КС У КП — совокупность мероприятий, методов и средств, направленных на установление, обеспечение и поддержание необходимого уровня качества изделий при их разработке, изготовлении, обращении и потреблении. Система дает возможность планомерно воздействовать на факторы, влияющие на технико-экономические показатели и эстетические свойства продукции на всех этапах ее жизненных циклов.

Первый этап — исследование и проектирование. На этом этапе выполняются все необходимые научно-исследовательские и конструкторско-технологические работы, направленные на создание новых образцов машин с заданными показателями качества. Выполняются они в соответствии с действующими стандартами предприятия и другой нормативно-технической документацией. На этом этапе проводится полный комплекс конструкторской и технологической подготовки производства с осуществлением мероприятий, обеспечивающих запланированный уровень качества продукции.

Второй этап — изготовление продукции. На этом этапе поддерживается необходимый уровень качества оборудования, оснастки, контрольно-измерительных средств; разрабатываются и осуществляются организационно-технические мероприятия по повышению качества, предупреждению брака и устранению причин выпуска продукции, не соответствующей стандартам. На этом этапе проводится входной контроль поступающих материалов и комплектующих изделий, контроль и испытание выпускаемой продукции, инспекционный контроль, заводская аттестация качества продукции.

Третий этап — обращение и реализация. Здесь действие системы охватывает складирование, техническое обслуживание изделий в период хранения и в процессе реализации.

Четвертый этап — эксплуатация продукции. На этом этапе осуществляются сбор и накопление информации о качестве изделий в эксплуатации, учет и анализ рекламаций, поставка запасных частей, повседневная и всесторонняя работа с потребителями. На базе изучения показателей эксплуатационной надежности ведется систематическая работа по совершенствованию конструкции и технологии.

В основе КС У КП лежат следующие положения: бездефектная работа коллектива; планирование показателей качества по трем категориям; народнохозяйственный характер осуществляемых мероприятий; системный подход к решению задач, наличие иерархических уровней управления качеством и требование к его оптимизации, базирование на стандартизации; развитие социалистического соревнования. Для производства высококачественной продукции необходима бездефектная работа всех без исключения работников предприятия. Качество труда оценивается с помощью системы показателей, тесно связанных с моральным и материальным стимулированием.

Государственная аттестация является эффективной и прогрессивной формой воздействия на качество выпускаемой продукции. В соответствии с Единой системой аттестации качества продукции вся продукция, выпускаемая промышленными предприятиями, подвергается аттестации, в ходе которой относится к одной из трех категорий качества: В, I или II.

К категории В относится продукция, которая по своим технико-экономическим показателям соответствует высшим достижениям отечественной и зарубежной науки и техники или превосходит их. Этой продукции присваивается государственный Знак качества.

К категории I относится продукция, которая по своим технико-экономическим показателям соответствует современным требованиям действующих стандартов и технических условий.

К категории II относится продукция, которая по своим технико-экономическим показателям не соответствует современным требованиям, морально устарела и подлежит модернизации или снятию с производства.

Система аттестации позволила ввести с 1972 года планирование качества изделий и оценивать работу предприятий по этому важнейшему показателю, т. е. управлять качеством. Неотъемлемым элементом управления качеством является планирование показателей по трем параметрам: удельному весу продукции высшей категории в общем объеме производства; доле новой продукции в

общем объеме выпуска; внедрению стандартов и технических условий в производство.

Управление качеством проводится на трех иерархических уровнях: межотраслевом (высшем уровне), отраслевом и предприятия. Программами управления качеством являются стандарты.

Управление качеством имеет широкий народнохозяйственный характер, так как решения, принимаемые в процессе этого управления, должны быть эффективны не только для данного предприятия, но и для народного хозяйства в целом. Системный подход к вопросам управления качеством означает, что необходимо учитывать в едином комплексе все стадии жизненного цикла машин.

На предприятиях и объединениях, внедряющих комплексные системы управления качеством, социалистическое соревнование получает особое развитие. Трудовое соперничество побуждает добиваться высоких показателей качества и эффективности производства на основе ускоренного освоения новой техники и применения передовых методов труда.

11.2. СИСТЕМА БЕЗДЕФЕКТНОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОДУКЦИИ

Одной из прогрессивных систем выпуска высококачественной продукции является система бездефектного изготовления продукции, предусматривающая обеспечение высокого качества выпускаемых заводом изделий в строгом соответствии с утвержденной конструкторской и технологической документацией.

Система бездефектного изготовления продукции исходит из диалектической неразрывности понятия качества и количества продукции, из того, что улучшение качества изделия является одним из основных средств повышения производительности труда — важнейшего условия успешного решения задачи создания материально-технической базы коммунизма. Идеологическую основу системы составляет повседневное воспитание у работающих коммунистического отношения к труду, чувства высокой ответственности за качество выполняемой работы. Бездефектная система изготовления продукции исходит из принципа: «Рабочая совесть — лучший контролер».

Работа на всех производственных участках проводится на основе широкого развертывания социалистического соревнования за бездефектное изготовление продукции и ее сдачу с первого предъявления.

Система бездефектного изготовления продукции и сдача ее ОТК с первого предъявления устанавливает полную ответственность за качество продукции самих исполнителей: рабочих, мастеров, руководителей предприятий, роль которых в обеспечении качества изделий является главной и решающей.

Положения о системе бездефектного изготовления продукции, учитывающие специфику производства, разрабатываются на самом предприятии. Так, на Запорожском трансформаторном заводе данная система внедрена с 1965 г. и успешно действует. Надежность и долговечность работы трансформатора, помимо надежных конструкторских решений и качества материалов, в большой степени зависят от качества его изготовления и, в первую очередь, от качества изготовления обмоток и изоляции. В процессе изготовления обмотки изоляционные узлы и детали подвергаются контролю на соответствие чертежу и технологии согласно пооперационным картам обмера. При заполнении карт обмера проверяются по чертежу все основные размеры деталей, правильность выполнения режимов и последовательности технологических операций, состояние рабочего места, применение оснастки, указанной в технологических картах, чистота изделия. Пооперационные карты обмера подписываются исполнителем, мастером и мастером ОТК (или контролером). Пооперационные карты хранятся в ОТК завода.

На заводе Сибэлектротражмаш внедрение системы бездефектного изготовления продукции проходит на основании плана, предусматривающего мероприятия организационного, технического и воспитательного характера. Система бездефектного изготовления продукции предусматривает получение ежедневной информации о качестве выпускаемой продукции от машинносчетной станции (виновник, стоимость брака и т. д.). В ОТК предприятия имеются карточки контроля мероприятий, касающихся вопросов качества. Введены коэффициенты качества и чистоты цехов, а также переходящие призы за качество. Оценка

качества работы цехов производится в соответствии с коэффициентом качества, который учитывает убытки из-за брака, претензии от потребителей, возврат продукции, культуру производства, отступления от технической документации. Высшее значение коэффициента качества — единица. Приз «За высокое качество» вручается цеху, выполнившему обязательные условия социального соревнования, если коэффициент качества не ниже 0,8. При сдаче продукции с первого предъявления и отсутствии претензий и рекламаций от заказчиков рабочие премируются. Особое внимание уделяется строгому соблюдению технологической дисциплины. К нарушителям технологической дисциплины применяются меры материального и морального воздействия, а цехам соответственно снижается коэффициент качества. Большое внимание уделяется внедрению прогрессивных методов технологических процессов.

На заводе Уралэлектротяжмаш им. В. И. Ленина успешно действует система учета и анализа качества продукции. Для учета и анализа качества продукции ведется журнал «Сводные данные о качестве продукции», в котором записывают потери из-за брака, возврат продукции, рекламации, соблюдение технологической дисциплины, количество продукции, принятой с первого предъявления, количество возвратов из ОТК и т. д. В цехах завода ежедневно проводят дни качества, где разбираются все случаи брака, возврат продукции из ОТК, от цехов-потребителей.

11.3. ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Контроль качества продукции на предприятии осуществляет ОТК. В состав ОТК входят цеховые бюро контроля, бюро внешней приемки и отгрузки, технические бюро, лаборатории и испытательные станции.

Бюро внешней приемки осуществляет приемку всех материалов и комплектующих изделий, поступающих на предприятие. Для этого бюро может иметь лаборатории входного контроля. Объем и вид испытаний определяются технической документацией данного предприятия, но они не могут превышать требований ГОСТ на принимаемую продукцию.

Бюро цехового контроля осуществляет контроль выполнения технологических процессов в цехе, производит контроль узлов и деталей на всех стадиях изготовления и предусмотренные технической документацией испытания. Для проведения испытаний цеховые бюро располагают необходимыми испытательными станциями. В инструментальных кладовых цехов всегда должны быть мерительные инструменты и приборы, требуемые для осуществления контроля. При несоответствии проверяемой детали или узла требованиям чертежа и технологии определяется возможность исправления их или списания в окончательный брак. Забракованные детали и узлы хранятся отдельно от годных в изоляторе брака.

Контроль осуществляют контролеры по картам технического контроля, которые разрабатываются одновременно с разработкой технологического процесса. Признанные годными после контроля детали или узлы должны иметь клеймо. Каждый контролер имеет свое клеймо.

Периодические испытания продукции осуществляет лаборатория периодических испытаний, которая подчиняется начальнику ОТК. Приемо-сдаточные испытания продукции проводятся на цеховых испытательных станциях. После приемо-сдаточных испытаний на электрическую машину или трансформатор оформляются необходимые документы, готовые машины или трансформаторы сдаются на склад для отгрузки. Отгрузка готовой продукции осуществляется под контролем ОТК.

Техническое бюро ОТК осуществляет анализ причины брака и предъявляет претензии соответствующим службам и цехам завода. Оно также производит количественную оценку работы всех подразделений и цехов завода, направленную на повышение качества продукции.

Служба ОТК выполняет контроль продукции не только основного производства, но и вспомогательного. Инструментальные, ремонтно-механические цехи, цехи нестандартного оборудования и другие также имеют бюро цехового контроля и всю продукцию предъявляют для контроля ОТК.

Глава двенадцатая

ТЕХНОЛОГИЯ ШТАМПОВКИ

12.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Под **холодной штамповкой** понимают штамповку без предварительного нагрева заготовки при температуре окружающей среды. Холодную штамповку можно подразделить на *объемную* штамповку (сортового металла) и *листовую* штамповку (листового материала). Основными разновидностями холодной объемной штамповки являются холодное выдавливание, холодная высадка и объемная формовка.

Холодная штамповка является прогрессивным технологическим процессом, ее преимущества в техническом отношении: возможность получить деталь сложной формы; возможность создать прочные и жесткие, но легкие конструкции; возможность получить детали с высокой точностью (8—9-й качества) без последующей механической обработки; возможность получить детали со стабильными размерами. К преимуществам в экономическом отношении относятся: высокая производительность процесса; экономичное использование материала; низкая стоимость деталей.

Способы холодной штамповки часто оказываются более экономичными не только по сравнению с литьем и горячей штамповкой, но и по сравнению с точением, сверлением и фрезерованием. При применении холодного выдавливания коэффициент использования металла составляет 98 % вместо 30—50 % при механической обработке. Замена литых и кованных деталей холодноштампованными дает значительные преимущества: снижение массы деталей на 25—50 %, уменьшение расхода металла на 30—70 %, снижение трудоемкости на 50—80 %. Снижение отходов обусловлено тем, что холодноштампованные заготовки по форме и размерам приближаются к готовым изделиям в большей степени, чем заготовки, полученные из слитков или проката ковкой и горячей штамповкой. Благодаря этому при изготовлении деталей холодной штамповкой почти исключается необходимость в их последующей механической обработке. Технологические процессы штамповки постоянно совершенствуются, толщина штампуемого материала увеличивается. Например, вырубку можно производить из материала толщиной до 25 мм, пробивку отверстий в материале толщиной до 35 мм, вытяжку листового материала толщиной до 20 мм, а холодную гибку производить с материалом толщиной до 100 мм.

Прогрессивным технологическим фактором развития штамповки является стремление получить полностью законченную деталь.

При производстве электрических машин для изготовления сердечников магнитопроводов наибольшее применение находит холодная штамповка листовой и рулонной электротехнической стали.

При производстве крупных трансформаторов для изготовления магнитопроводов электротехническую сталь режут на полосы, а для изготовления магнитопроводов мелких трансформаторов электротехническую сталь штамную.

При производстве электрических машин и трансформаторов также используется холодная объемная штамповка для изготовления холодной высадкой болтов, винтов, гаек и других деталей в массовом количестве из пруткового материала; изготовления холодным выдавливанием болтов, крышек подшипников, втулок и других деталей небольших габаритов; изготовления листовой штамповкой, часто с последующей гибкой хомутиков, контактов, скоб, наконечников, лопаток вентиляторов, петушков, кожухов вентиляторов и т. п.

В данной главе в основном рассматривается холодная листовая штамповка электротехнической стали при изготовлении листов статора и ротора электрических машин. В § 12.9 кратко рассмотрены технологические процессы изготовления других штампованных деталей из металлических и неметаллических материалов для машин и трансформаторов.

Вне зависимости от типа производства электрических машин технологический процесс листовой штамповки является процессом крупносерийного или массового производства. Общее количество ежегодно штампуемых в нашей стране листов магнитопроводов составляет несколько миллиардов штук.

Листы магнитопроводов диаметром до 250—350 мм штампуются на листоштамповочных установках из электротехнической стали, выпускаемой в лентах. Скорость штамповки до 1000 двойных ходов пресса в минуту. При этом используется способ последовательной штамповки многопозиционными штампами. На таких установках изготавливается ежегодно несколько миллиардов листов.

Листы магнитопроводов диаметром до 500 мм штампуются на пресс-автоматах типа «Бакинец» из электротехнической стали, выпускаемой в рулонах или листах. Скорость штамповки до 90 ходов в минуту. При этом используются совмещенные (компаундные) штампы.

Листы магнитопроводов с диаметром до 630 мм могут штамповаться по системе «Тандем», сущность этого способа состоит в том, что штамповка производится из рулона на двух последовательно работающих прессах с двумя штампами.

Листы диаметром от 500 до 990 мм штампуются на универсальных прессах или пазовых пресс-автоматах. При штамповке на универсальных прессах применяются совмещенные штампы.

листах. Толщина листов согласно стандарту 0,1; 0,2; 0,35; 0,5; 0,65; 1,0 мм. Листы поставляются в термически обработанном состоянии. При изготовлении магнитопроводов дополнительная термическая обработка не требуется.

Электротехническая сталь второго класса предназначена для изготовления сердечника магнитопроводов электрических машин, аппаратов и приборов. Она выпускается в листах, рулонах шириной от 500 до 1000 мм. Поставляется в термически обработанном и термически не обработанном состоянии. Листы могут быть без покрытия или иметь электроизоляционное нагревостойкое или ненагревостойкое покрытие. При использовании стали с покрытием дополнительная изоляция листов при сборке сердечников не требуется. Нагревостойкое покрытие должно сохранять свои свойства при низкотемпературной обработке листов и при заливке в сердечник ротора алюминиевой короткозамкнутой обмотки. Толщина покрытия на одной стороне листа — не более 5 мкм. В стандарте оговаривается коэффициент заполнения сердечника для стали с покрытием и без него. Коэффициент заполнения сердечника сталью показывает, какой объем сердечника занят электротехнической сталью. Остальной объем приходится на изоляционное покрытие листов. Чем выше коэффициент заполнения сердечника сталью, тем лучше используется объем сердечника. Для стали толщиной 0,35 мм с покрытием и без него коэффициент заполнения равен 0,96 и 0,97 соответственно.

Электротехническая сталь третьего класса предназначена для изготовления сердечников магнитопроводов электрических машин, трансформаторов и приборов. Она также выпускается в листах, рулонах, ленте резаной. Толщина стали в листах: 0,35; 0,5 мм; в рулонах и ленте 0,28; 0,30; 0,35 и 0,5 мм. Ширина рулонов 750; 860 и 1060 мм. Сталь поставляется в термически обработанном состоянии. Сталь толщиной 0,28; 0,30 и 0,35 мм изготавливают с нагревостойким электроизоляционным покрытием, а толщиной 0,50 мм — без электроизоляционного покрытия или с покрытием, не ухудшающим штампуемость. Толщина покрытия на одной стороне листа не более 5 мкм. Коэффициент заполнения сердечника сталью с покрытием и без него равен соответственно 0,96—0,97 при толщине стали 0,35 мм и 0,97—0,98 при толщине стали 0,5 мм. Лучшие марки холоднокатаной анизотропной стали имеют высокие магнитные свойства. Так, удельные потери стали марок 3414—3416 толщиной 0,35 и 0,28 мм составляют 1,03—0,95 Вт/кг ($P_{15/50}$) при магнитной индукции 1,88 Тл (напряженность магнитного поля 2500 А/кг). Сталь поставляется в пачках и рулонах массой не более 5 т.

Одним из технологических свойств стали является штампуемость. Штампуемость зависит от химического состава стали, механических характеристик и покрытия. Стандартом штампуемость не оговаривается. Лучшей штампуемостью обладают горячекатаные стали, а наихудшей — холоднокатаные анизотропные. Некоторые изоляционные покрытия оказывают «смазочное» действие при штамповке и улучшают штампуемость.

В процессе механической обработки электротехнической стали значительно снижаются ее важнейшие электромагнитные свойства, увеличиваются потери на гистерезис. При резке и штамповке образуются заусенцы и происходит наклеп поверхности реза. Заусенцы при сборке сердечников замыкают листы между собой и уменьшают коэффициент заполнения сердечника. Поэтому после штамповки заусенцы, при наличии, удаляют либо закаткой, либо срезают вращающимися резцами или абразивами. В наклепанном слое металла увеличиваются потери на перемагничивание и сопротивление магнитному потоку. Глубина наклепанного слоя составляет до 1 мм. Особенно сильное влияние наклепа сказывается в машинах, имеющих тонкие зубцы. Ухудшение магнитных свойств, связанное с технологическими операциями, может быть частично или почти полностью устранено повторным отжигом. Отжиг может производиться в слабоокислительной среде, в нейтральной среде (азот), в вакууме. С операцией отжига совмещают операцию нанесения изоляционной оксидной пленки для изоляции листов друг от друга. Изоляция листов необходима для уменьшения потерь в сердечниках от вихревых токов при прохождении по сердечнику переменного магнитного потока. В тех случаях, когда оксидация не производится, изоляцию листов осуществляют нанесением лаковой пленки толщиной 15—20 мкм (при одностороннем покрытии). Толщина оксидной пленки составляет 3—5 мкм, а ее

электроизоляционные свойства не уступают лаковой пленке. В машинах большой мощности, в которых потери в стали составляют 10—15 % общих, удельные потери играют относительно меньшую роль. Потери из-за несовершенства изоляции также незначительны. Поэтому для машин малой мощности желательно выбирать такой режим термообработки, который позволяет получить максимальную индукцию при заданной напряженности поля и минимальную толщину оксидной пленки, обеспечивающей максимальный коэффициент заполнения сердечника сталью. В машинах большой мощности режимы термообработки устанавливаются такими, которые позволяют уменьшить удельные потери, так как их составляющая в общих потерях значительна.

Для изготовления сердечников магнитопроводов электродвигателей серии 4А с высотой оси вращения до 180 мм (наружный диаметр листов статора 313 мм) используется сталь марки 2013. Применение стали марки 2013 обусловлено ее высокими магнитными характеристиками и низкими потерями на вихревые токи. После штамповки листы подвергаются рекристаллизационному отжигу и оксидации.

При изготовлении сердечников электродвигателей серии 4А с высотой оси вращения 200—250 мм (наружный диаметр листов статора 349—437 мм) используется сталь марки 2112, которая имеет электроизоляционное покрытие и не требует отжига. Применение стали с большими потерями и худшими свойствами вызвано тем, что при отжиге листов большого диаметра происходит их коробление.

Сталь марки 2011 находит применение в крановых асинхронных электродвигателях, которые работают в кратковременных режимах, а высокие магнитные параметры стали позволяют изготавливать двигатели со значительной перегрузочной способностью.

Сегменты крупных электрических машин штампуются из холоднокатаной стали марок 3411, 3412, 3413. Направление проката у холоднокатаных сталей учитывается при проектировании машин и указывается в чертеже.

В электродвигателях постоянного тока серии 2П при изготовлении сердечника якоря применяется сталь марки 2211. Для снятия наклепа после штамповки сталь отжигается, а изолирование производится нанесением лаковой пленки.

Листы полюсов машин постоянного тока и синхронных машин штампуются из электротехнической или низкоуглеродистой конструкционной листовой стали толщиной 1—2 мм.

Магнитопроводы силовых трансформаторов всех серий изготавливаются только из холоднокатаной стали марок 3412—3416 с последующим восстановительным отжигом. Применение рулонной электротехнической стали с изоляционным покрытием позволило автоматизировать изготовление пластины магнитопроводов на автоматических линиях продольного и поперечного реза, а также отказаться в ряде случаев от дополнительного изолирования пластин.

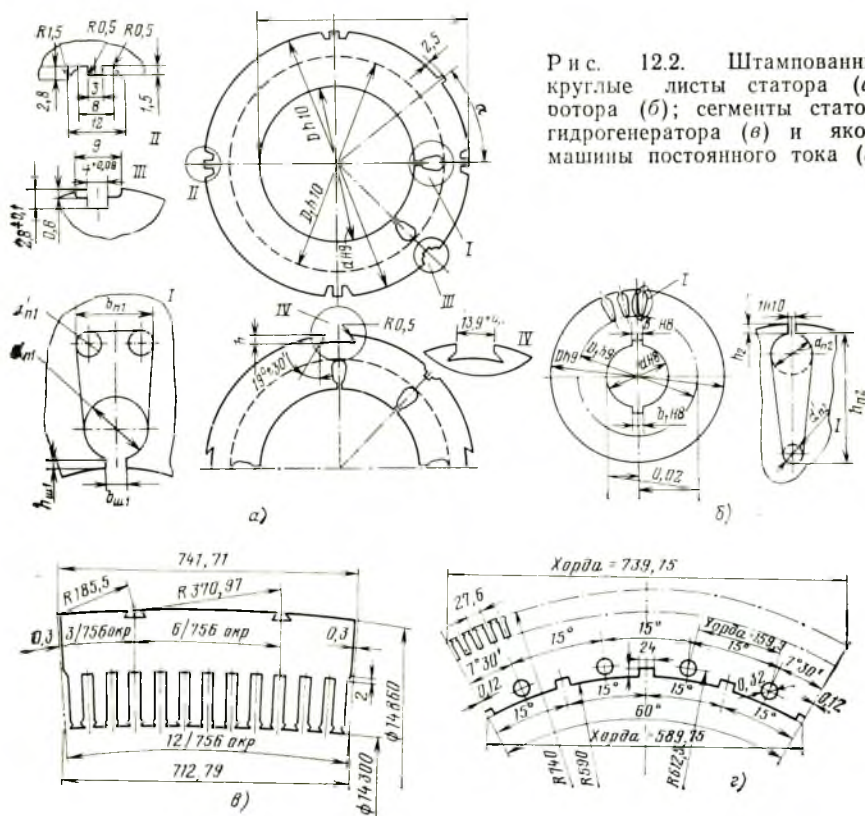
12.3. СХЕМЫ ШТАМПОВКИ, ТИПЫ ШТАМПОВ, УСИЛИЕ ВЫРУБКИ ПРИ ШТАМПОВКЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СТАЛИ

а) Требования к листам сердечников

Достигнутая точность при штамповке электротехнической стали в массовом производстве соответствует 10-му качеству. В некоторых случаях, используя высокоточную оснастку и оборудование, можно получить точность, соответствующую 9 и даже 8 качествам.

При конструировании листов статора и ротора необходимо предусматривать специальные выштамповки для облегчения подборки и скрепления листов. Формы и количество выштамповок зависят от общей конструкции сердечников и принятой технологии их изготовления.

На рис. 12.2, *а* показан лист статора. Наружный диаметр D и внутренний диаметр d имеют допуск по 10-му качеству. Для скрепления листов в сердечник применяют выштамповку под сварку *II* или под скобы *IV*. При подборе листов в приспособления предусматривают сборочные (шихтовочные) знаки размером 2×2 или 3×3 мм, которые из готовых сердечников удаляют. При



подборе листов в полуавтоматических или автоматических станках предусматривают фиксирующий знак *III*. Знак должен иметь один размер, изготовленный с большой точностью. Выштамповки следует располагать по оси паза. Высоту шлица паза $h_{ш1}$ не следует выбирать меньше 0,5—0,7 мм, а диаметр $d_{п1}$ меньше 2—3 мм. Меньшие размеры могут привести к частым сколам штампов. Размеры, указанные на рис. 12.2, *а*, относятся к листам с наружным диаметром 100—200 мм.

На рис. 12.2, б показан лист ротора. Внутренний диаметр d должен иметь наиболее высокую точность изготовления, так как он является базовым при сборке сердечника ротора и посадочным при сборке ротора с валом. Диаметр D , как правило, обрабаты-

вается в собранном роторе, поэтому допуск на его изготовление может быть менее точным. Не следует также выбирать маленькую высоту шлица паза и маленькие радиусы.

В чертежах листов указывают также несоосность внутренних и наружных диаметров.

Листы статоров, имеющих наружный диаметр свыше 500 мм, как правило, собирают в корпус машины и крепят нажимными шайбами. Поэтому в листах не делают выштамповки под сварку или скобы. В этих листах выштамповывают шихтовочные знаки в виде полуокружностей или квадратов, располагая их на наружном диаметре листа статора и внутреннем диаметре листа ротора. Шихтовочные знаки необходимы для правильной ориентации листов при сборке и для возможности различать листы, штампованные одним штампом. Шихтовочные знаки для каждого штампа делают отличными.

На рис. 12.2, *в* показан сегмент статора гидрогенератора, а на рис. 12.2, *г* сегмент якоря. Сегмент статора имеет выштамповки в виде ласточкиного хвоста для крепления листа при сборке сердечника. Разъем листа делают по пазу. Якорный сегмент имеет отверстие и шпоночный паз для крепления при сборке.

б) Основные элементы штампа

Вырубные штампы устанавливают на эксцентриковые прессы (рис. 12.3). На ползун прессы 2 крепится верхняя часть штампа — пуансон, а на стол прессы 3 нижняя часть штампа — матрица. При

включении пресс производит удар, используя кинетическую энергию вращающегося маховика 4. За один оборот эксцентрикового вала 1 ползун опускается и поднимается, совершая двойной ход. Скорость движения ползуна неравномерная. Она снижается при подходе ползуна к нижней точке, когда пресс развивает максимальное усилие вырубки. Штампующий материал помещается между пуансоном и матрицей. Пуансон, внедряясь в матрицу на незначительную (не более чем на толщину материала) глубину, разделяет металл (рис. 12.4, *а*).

При штамповке листов статора и ротора применяют комбинированную штамповку, при которой объединяют две или несколько отдельных операций. По способу совмещения операций можно

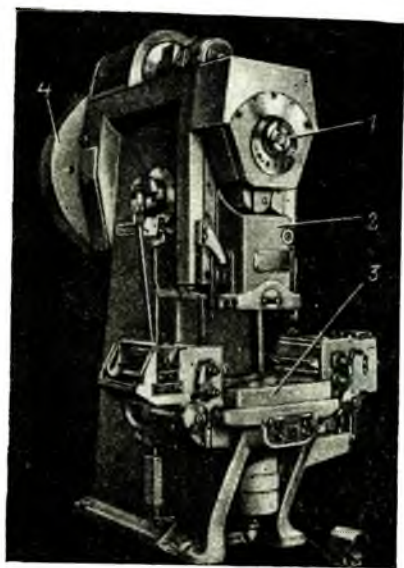


Рис. 12.3. Эксцентриковый пресс.

выделить две группы штамповки: совмещенная и последовательная. При совмещенной штамповке одновременно выполняется несколько различных операций за один ход пресса и за одну установку заготовки в штампе. Последовательная штамповка объединяет несколько различных операций (переходов), осуществляемых последовательно отдельными пуансонами за несколько ходов пресса при перемещении заготовки между ними; причем за каждый ход пресса получается готовая деталь. Рассмотрим это на примере вырубki кольца.

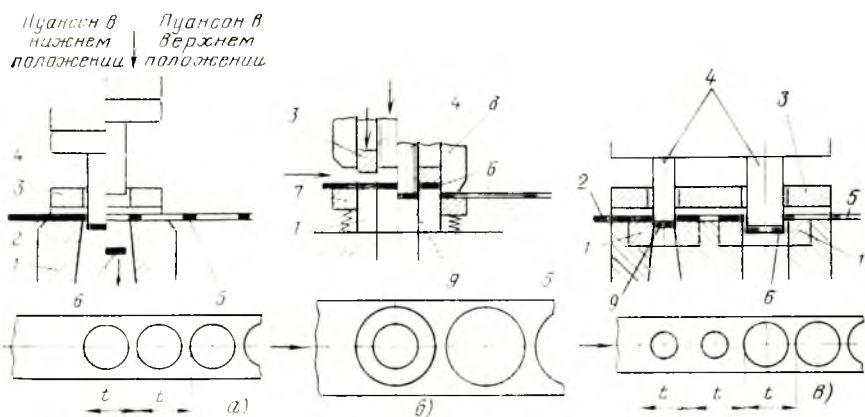


Рис. 12.4. Схемы вырубных штампов:

а — простого действия; *б* — совмещенного действия; *в* — последовательного действия.
1 — матрица пробивная; *2* — штампуемая лента; *3* — верхний съёмник; *4* — пуансон пробивной; *5* — наружный отход; *6* — вырубленное кольцо; *7* — нижний съёмник; *8* — матрица вырубная; *9* — внутренний отход; *t* — шаг вырубки.

Чтобы отштамповать кольцо, необходимо вырубить внутренний и наружный диаметры. При совмещенной штамповке (рис. 12.4, б) внутренний диаметр вырубается пробивным пуансоном, а наружный вырубной матрицей. Наружный отход и готовое кольцо остаются на матрице и их необходимо удалить. Внутренний отход может пройти сквозь матрицу на «провал». Только после удаления кольца и наружного отхода можно будет положить новую заготовку и произвести штамповку следующего кольца. Штампы, производящие несколько операций за один ход пресса, называют совмещенными или компаундными.

При последовательной штамповке вырубка внутреннего и наружного диаметров производится на двух позициях (рис. 12.4, в). На первой позиции пробивным пуансоном и матрицей вырубят внутренний диаметр кольца и внутренний отход удаляют вниз, через отверстие в матрице на провал. Затем заготовку передвигают на следующую позицию и пуансоном и матрицей вырубят наружный диаметр. Кольцо также удаляется вниз на провал через отверстие в матрице. При вырубке наружного диаметра одновре-

менно на первой позиции у следующего кольца вырубают внутренний диаметр. Наружный отход удаляется при движении заготовки. Последовательная штамповка позволяет штамповать с большой скоростью и легко механизировать процесс, так как внутренние отходы и детали удаляются на провал.

При штамповке особое значение имеет поверхность среза, которая должна быть чистой, без разрывов, трещин и заусенцев. Большое влияние на качество вырубки оказывает зазор между пуансоном и матрицей и хорошая заточка штампа. Если бы зазор был равен толщине штампуемого материала, а режущие кромки пуансона и матрицы скруглены, то вырубной штамп превратился бы в вытяжной, т. е. он бы не вырубал кольцо, а вытягивал бы колпачок. Зазор зависит от толщины штампуемого материала, его свойств, скорости штамповки. При штамповке электротехнической стали толщиной 0,5 мм двусторонний зазор принимают равным 5 % толщины листа. При слишком малом зазоре на поверхности среза образуются трещины и слоистость. При большом зазоре происходит вытягивание металла в зазор между пуансоном и матрицей и вырубка получается с рваными заусенцами. На качество поверхности среза оказывает влияние также неравномерное распределение зазора по контуру вырубки, которое зависит от конструкции штампа, точности пригонки направляющих колонок штампа, степени изношенности пресса, особенно направляющих ползуна. При этом на одной части контура поверхность среза может быть чистой, а на другой с заусенцами. Неправильный зазор и тупые кромки штампа значительно увеличивают необходимое усилие вырубки. При штамповке материала толщиной менее 0,2 мм практически применяют беззазорные штампы.

В зоне режущих частей штампа нельзя оставлять изделия или отходы, которые, накладываясь на полосу, образуют двойную толщину материала. Это может привести к сколу наиболее слабой части штампа. При высокой скорости штамповки следует несколько увеличивать зазор между пуансоном и матрицей.

При последовательной штамповке часть выштамповок проходит через отверстия в матрице. При этом они проходят не свободно, а с определенным усилием. Это усилие создается прессом через последующие выштамповки. Таким образом, отверстие матрицы по всей высоте заполнено выштамповками. Проходя через отверстия в матрице, выштамповки истирают стенки отверстия, увеличивая его диаметр, и создают усилия, которые направлены на разрыв матрицы.

На рис. 12.5, а, б показаны два варианта отверстий в матрицах. На рис. 12.5, а матрица имеет небольшой (около 3 мм) цилиндрический поясok h , после которого начинается расширение окна под углом $\beta=2^\circ$. Цилиндрическая часть отверстия в матрице определяет ее рабочую толщину. По мере затупления режущих кромок штампа их затачивают путем шлифования плоскости матрицы и торца пуансона. При шлифовании уменьшается высота h , зазор между матрицей и пуансоном увеличивается, и штамп ста-

новится непригодным к работе. Недостатками этой конструкции являются незначительная высота рабочей части и большое усилие проталкивания выштамповок через цилиндрическую часть отверстия матрицы, что вызывает ее быстрый износ.

На рис. 12.5, б отверстие в матрице сделано коническим по всей высоте под углом $\alpha = 10^\circ$. По мере заточки матрицы зазор между пуансоном и матрицей увеличивается. Допускается увеличение зазора в 2 раза против минимального значения, что соответствует срабатыванию матрицы на 12 мм. Таким образом, срок службы штампа увеличивается по сравнению с предыдущим вариантом. Недостатком этой конструкции является незначительное изменение размеров штампуемых деталей, возникающее в результате переточки штампа.

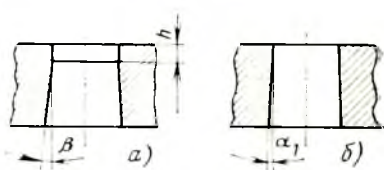


Рис. 12.5. Формы отверстий в матрицах.

а — с цилиндрическим пояском; б — с коническим отверстием.

в) Совмещенные (компаундные) штампы

При штамповке листов магнитопроводов на универсальных кривошипных прессах используются совмещенные штампы. Штамповка листов статора и ротора производится в две операции, при этом используются две схемы. По первой схеме (рис. 12.6, а) из заготовки 1 на первой операции вырубается лист статора 2 и за-

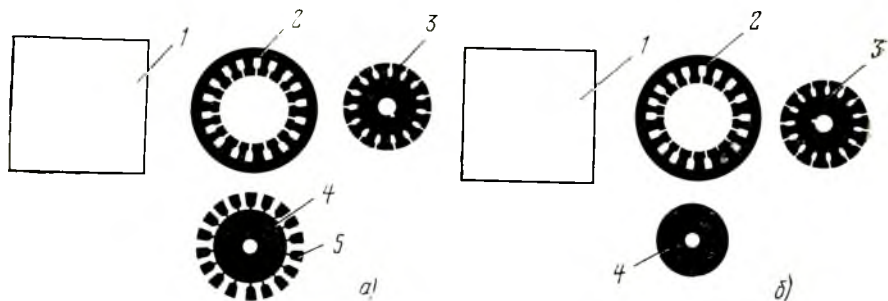


Рис. 12.6. Схемы штамповки совмещенными штампами.

готовка для ротора 4 с центральным технологическим отверстием. При этом высежки пазов статора 5 остаются на заготовке ротора. На второй позиции вырубается лист ротора 3. В случае, когда наружный диаметр ротора не обсекается и пазы ротора вырубаются на провал, высежки пазов статора обсекаются и рассыпаются вокруг штампа. Если обсекается наружный диаметр ротора, то высежки пазов не проваливаются в матрицу, а остаются вместе с высежками пазов статора на тонком слое обсеченного металла и образуют «гирлянду».

По второй схеме (рис. 12.6, б) из заготовки 1 на первой операции вырубается лист статора 2 и заготовка для ротора 4 с центральным технологическим отверстием. При этом высечки пазов статора удаляются на провал сквозь матрицу и подштамповую плиту. На второй операции вырубается лист ротора 3. Пазы ротора вырубаются на провал.

В обеих схемах центральное технологическое отверстие, получаемое на первой операции, служит для центровки заготовки на второй операции. Вырубка центрального отверстия под вал со шпоночным пазом производится на второй операции, а отходы удаляются на провал.

Основным недостатком первой схемы (рис. 12.6, а) является невозможность автоматизации штамповки из-за необходимости после каждого удара пресса (на второй операции) очищать зону штампа от накопившихся отходов (гирлянд или высечек от пазов статора). Преимущество схемы — отсутствие уклонов в пазах матрицы статорных штампов, что упрощает изготовление штампа и увеличивает его стойкость. Наибольшее распространение получила вторая схема (рис. 12.6, б) штамповки, отличающаяся простотой, удобством в работе, большой производительностью и возможностью автоматизации. Недостатком схемы является необходимость иметь уклон 10—12° в пазах статорных матриц. Общим преимуществом применения совмещенных штампов является высокая концентричность внутреннего диаметра статора по отношению к наружному и пазам [3].

На рис. 12.7 показана конструкция совмещенного штампа для вырубки (см. рис. 12.5, а) листов статора с наружным диаметром 520 мм. К верхней подкладке 10 крепится обойма матрицы 2. В обойме матрицы закреплена матрица 13 для вырубки наружного контура статорного листа и пуансоны 5 для вырубки пазов. Пуансоны 5 крепятся сухарями 12. Обойма и пуансоны для лучшего крепления залиты эпоксидной смолой 14. Пуансон отделения заготовки листа ротора 11 прикреплен к подкладке болтами. В подкладке закреплен пуансон 8 для пробивки центрального технологического отверстия. На верхней плите 1 расположены выталкиватель статорного листа 4, который через кольцо 3 опирается на резиновую прокладку, и съемник 7, работающий от пружины 9.

Четыре направляющие втулки 15 и колонки 18 обеспечивают правильное смыкание штампа. На нижней прокладке 26 укреплен обойма 29, на которой закреплен пуансон наружного контура листа статора 20, сборная матрица для вырубки пазов статора 27 и матрица для вырубки центрального технологического отверстия 21. На нижней плите 19 закреплены съемник наружного отхода 17 и съемник заготовки ротора 23. Съемник 23 работает от резинового буфера 25 через толкатели 24.

Заготовка для вырубки устанавливается в штамп, когда он раскрыт. При смыкании половин штампа происходит штамповка заготовки. Наружный диаметр статора 28 вырубается пуансоном

20 и матрицей 13. При этом образуется наружный отход 16, который снимается с пуансона 20 съемником 17. Отход остается на зеркале штампа. Пазы статорного листа вырубаются пуансоном 5 и матрицей 27, а разделение листа статора от роторной заготов-

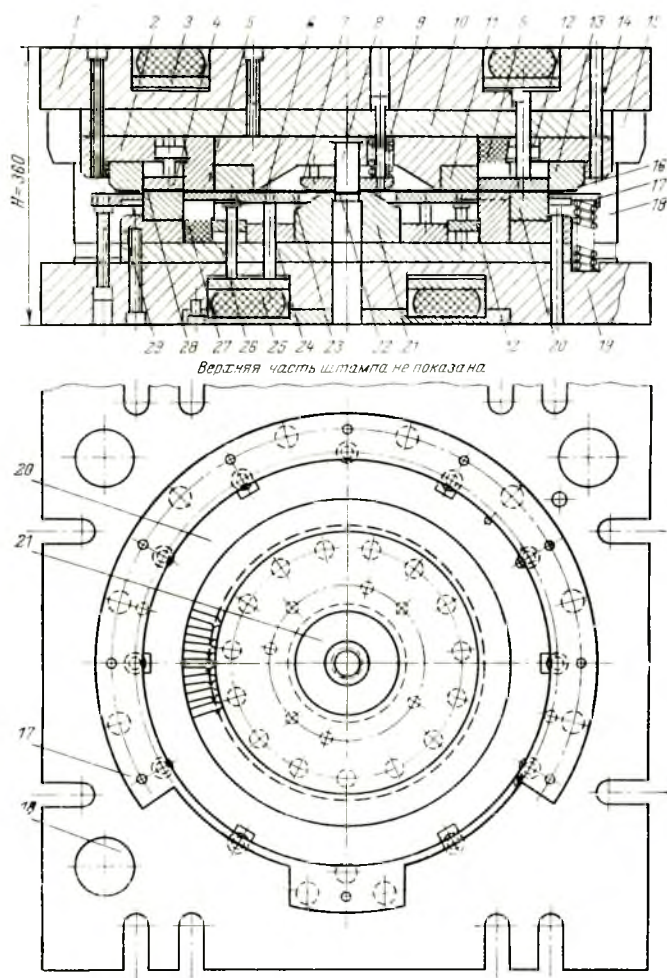


Рис. 12.7. Конструкция совмещенного штампа для вырубки листа статора.

ки производится пуансоном 11 и матрицей 27. При движении ползуна пресса вверх штамп раскрывается и вырубленный лист статора на пуансонах 5 поднимается вверх и в верхней точке раскрытия штампа сталкивается с пуансона выталкивателем 4. Центральное технологическое отверстие вырубается пуансоном 8 и матрицей 21. Съемник 7, имеющий пружину 9, снимает с пуансона

8 заготовку для ротора 6 и оставляет ее на зеркале раскрытого штампа. Отход 22 проталкивается сквозь матрицу.

Таким образом, за один двойной ход пресса вырубается лист статора, который поднимается вверх и сбрасывается, и заготовка для ротора, которая остается на зеркале штампа. Наружный отход остается на зеркале штампа, а отход центрального технологического отверстия проваливается сквозь матрицу. На втором прессе из заготовки ротора вырубается лист ротора.

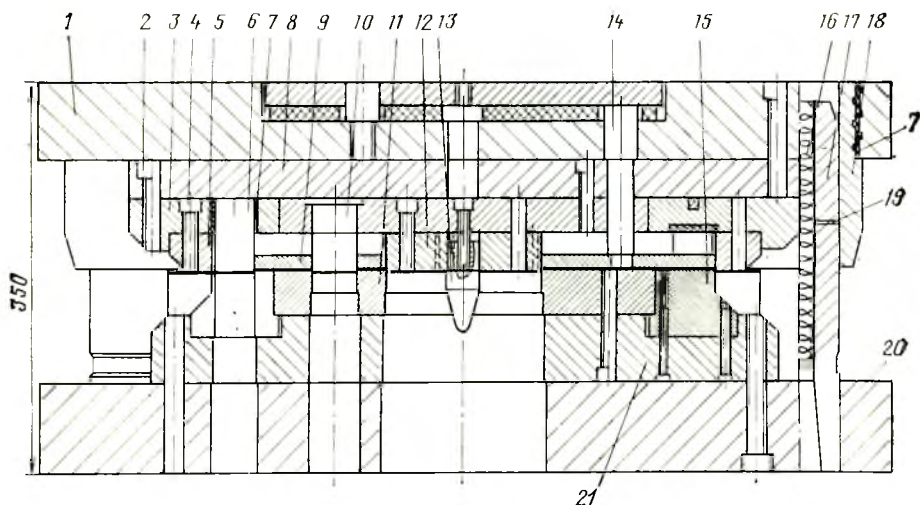


Рис. 12.8. Конструкция совмещенного штампа для вырубки листа ротора.

На рис. 12.8 показана конструкция совмещенного штампа для вырубки листа ротора. К верхней прокладке 8 винтами 2 прикреплена обойма матрицы 3, а к ней винтами 4 — матрица обесечки наружного контура листа ротора 5. В обойме установлены пуансоны для пробивки пазов 6, вентиляционных отверстий 10 и центрального отверстия под вал 12. К верхней плите 1 через стержень 14 прикреплен выталкиватель роторного листа 9. Четыре направляющие втулки 18 обеспечивают правильное смыкание штампа. Направляющие втулки и пуансоны 6 залиты эпоксидной смолой 7 для лучшего крепления.

На нижней плите 20 установлена обойма 21, в которой расположена секторная матрица 15 для пробивки пазов ротора. В обойме также находится матрица 11 для пробивки вентиляционных отверстий и отверстия под вал. Четыре направляющие колонки 17 имеют отверстия, в которых расположены фитили 16 для смазки. Смазка подается через отверстие 19.

Заготовку для вырубки устанавливают в штамп, когда он раскрыт. При смыкании половин штампа ловитель 13 ловит заготовку на центральное отверстие и правильно фиксирует ее.

Матрица 5 обсекает высечки от пазов статора (гирлянду), которые рассыпаются около штампа, пуансон 6 и матрица 15 пробивают пазы ротора. Пуансон 10 и матрица 11 пробивают вентиляционные отверстия, а пуансон 12 и матрица 11 пробивают отверстия под вал. Отходы от пазов ротора, вентиляционных отверстий и отверстия под вал проталкиваются сквозь матрицу. В отштампованных листах внутренний диаметр листа статора и наружный диаметр листа ротора отличаются на значение воздушного зазора в машине. Слой металла, равный воздушному зазору, как правило, оставляют на роторе, а затем удаляют в собранном роторе механической обработкой. В некоторых типах машин сборка листов статора производится в корпус машины. При этом листы базируются по наружному диаметру, что приводит к неровной внутренней поверхности, которую приходится обрабатывать. В этом случае слой металла, равный воздушному зазору, распределяется между статором и ротором. В машинах с небольшим диаметром сердечника часто внутренний диаметр статора и наружный диаметр ротора штампуют в окончательный размер.

г) Многопозиционные штампы последовательного действия

Многопозиционные штампы последовательного действия используются на пресс-автоматах при штамповке из ленты листов магнитопроводов с наружным диаметром до 250—350 мм. Наиболее часто применяют четырехпозиционные штампы. При этом стол и провальное окно пресса должны быть достаточно большими. Выбор следования позиций на штампе зависит от конструкции вырубаемых листов, используемого материала и применяемого оборудования. Рассмотрим две схемы штамповки. В схеме рис. 12.9, а на позиции I вырубается отверстие под вал, пазы ротора и четыре отверстия для фиксации на следующих позициях. На позиции II вырубается пазы статора, на позиции III вырубается лист ротора по наружному диаметру и удаляется на провал, и на позиции IV вырубается лист статора по наружному диаметру и также удаляется на провал. При штамповке по этой схеме концентричность внутренних и наружных диаметров листов статора и ротора определяется точностью подачи ленты и точностью изготовления штампа.

При штамповке по схеме рис. 12.9, б на позиции I вырубается предварительные пазы статора и четыре отверстия для дальнейшей фиксации ленты. Предварительные пазы статора имеют меньшие размеры, чем окончательные. На позиции II вырубается пазы ротора и отверстие под вал. На позиции III вырубается лист ротора по наружному диаметру и удаляется на провал, вырубается пазы статора в окончательный размер и почти весь наружный контур листа статора, за исключением четырех перемычек. На позиции IV обрубается перемычки и лист статора удаляют на

провал. Достоинством данной схемы является высокая концентричность внутреннего и наружного диаметров листа статора, которая определяет точность изготовления штампа. Кроме того, при окончательной вырубке пазов статора износ матрицы незначительный. Это происходит потому, что проталкиваемые через нее отходы легко сминаются.

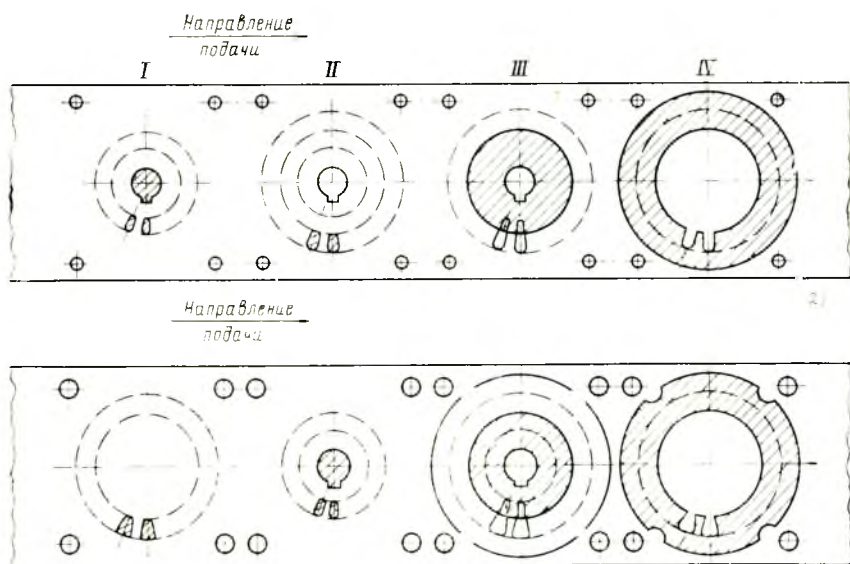


Рис. 12.9. Схемы штамповки листов магнитопроводов четырехпозиционным штампом последовательного действия.

Конструкция наиболее простого последовательного штампа для вырубki листов статора и ротора по схеме рис. 12.8, а показана на рис. 12.10. Штамп имеет верхнюю 1 и нижнюю 14 плиты. К ним через прокладки 7 и 13 обоями 10 и 12 прикрепляются режущие части. На позиции I расположены пуансон 9 и матрица 15, предназначенные для вырубki отверстия под вал, и пуансон 8 и матрица 16 для вырубki пазов ротора. Пуансон и матрица для вырубki центрирующих отверстий показаны на выноске а — а. На позиции II ловители 4 и 6 служат для центрирования ленты, а пуансон 5 и матрица 17 для вырубki пазов статора. На позиции III пуансон 3 и матрица 18 вырезают лист ротора по наружному диаметру. Лист проваливается в отверстие матрицы. И на позиции IV пуансон 2 и матрица 19 вырезают лист статора по наружному диаметру. Лист проваливается в отверстие. Съемник 11 служит для снятия ленты с пуансонов на всех операциях вырубki. Четыре направляющие втулки 20 и колонки 21 обеспечивают правильное смыкание штампа.

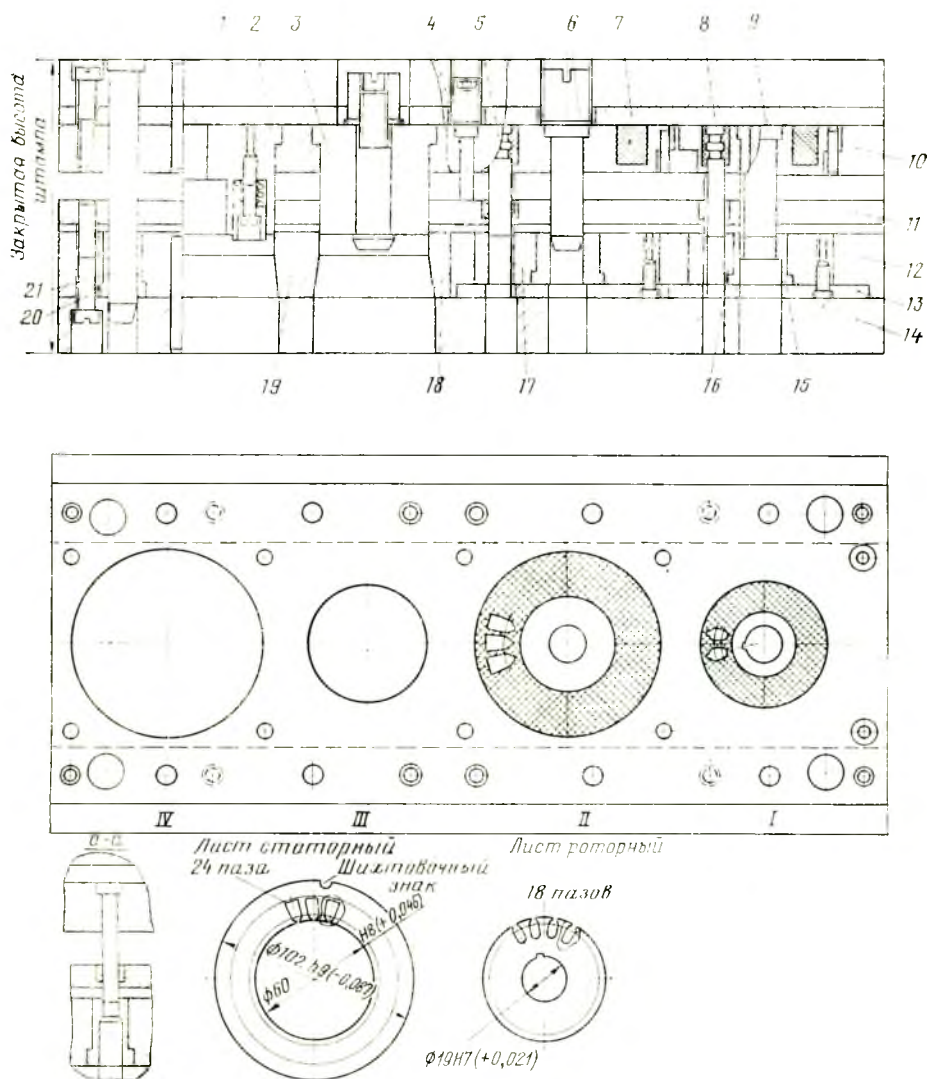


Рис. 12.10. Конструкция четырехпозиционного последовательного штампа для вырубки листов статора и ротора.

1, 14 — верхняя и нижняя плиты; 2, 19 — пуансон и матрица для вырубки листа статора; 3, 18 — пуансон и матрица для вырубки листа ротора; 4, 6 — ловители; 5, 17 — пуансон и матрица для пробивки пазов статора; 7, 13 — прокладки; 8, 16 — пуансон и матрица для пробивки пазов ротора; 9, 15 — пуансон и матрица для пробивки отверстия под вал; 10, 12 — верхняя и нижняя обоймы; 11 — съемник; 20, 21 — направляющие втулки и колонки.

д) Пазовые штампы

Пазовые штампы используются при штамповке пазов статора или ротора (якоря) на пазовых пресс-автоматах. Штампы могут вырубать пазы, разделять заготовки ротора и статора, одновременно с вырубкой пазов обсекать наружный диаметр. На рис. 12.11 показана конструкция штампа для пробивки пазов статора. К столу пресса болтами прикреплена плита матрицы 11 с установленной на ней матрицей 10. Два штифта 9 фиксируют матрицу в плите. Пуансон 8 закреплен в пуансонодержателе 6, который скреплен с плитой 4. Между пуансонодержателем и плитой проложена термически обработанная прокладка 5, предохраняющая пуансон от расшатывания. К пуансонодержателю винтами 2 прикреплен сбрасыватель 7, который скользит по пуансо-

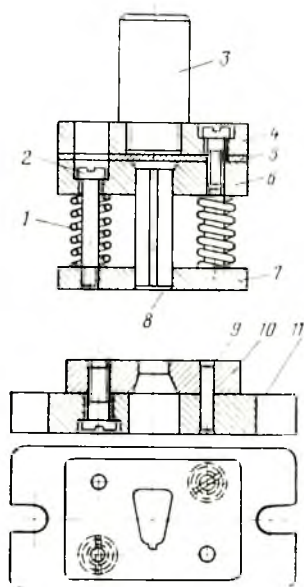


Рис. 12.11. Пазовый штамп для пробивки пазов в листе статора.



Рис. 12.12. Схема штамповки листа якоря машины постоянного тока с обсеккой наружного диаметра.

ну и отжимается двумя пружинами 1. Когда пружина находится в свободном состоянии, сбрасыватель перекрывает режущие кромки пуансона на 0,5—1 мм. Верхняя часть штампа закреплена в прессе при помощи хвостовика 3. Работа штампа происходит следующим образом. Штампуемый лист кладут на матрицу. При включении пресса верхняя часть штампа опускается. Сначала сбрасыватель 7 прижимает лист к матрице 10. Затем пуансон, сжимая пружины съемника, углубляется в матрицу и вырубает паз. При ходе штампа вверх пуансон выйдет из пробитого в листе отверстия, пружины придут в свободное состояние, и съемник поднимется вверх. После вырубки паза заготовка поворачивается на одно пазовое деление, и происходит вырубка следующего паза.

На рис. 12.12 показана схема штамповки листа якоря машины постоянного тока. Штамп пробивает один паз и обсекает наружный диаметр листа.

е) Усилие вырубки

Усилие вырубки необходимо знать для правильного выбора прессы. Номинальное усилие вырубки определяется по формуле

$$P_{\text{н}} = PK + P_{\text{с}},$$

где P — требуемое расчетное усилие вырубки (пробивки), Н; K — коэффициент, учитывающий влияние неравномерности толщины материала, затупление режущих кромок штампа и т. п. (рекомендуемое значение $K(1,3 \div 1,6)$; $P_{\text{с}}$ — усилие сжатия прижимного (съемного) устройства, Н.

Требуемое расчетное усилие вырубки (пробивки) в штампах с параллельными режущими кромками находится по формуле

$$P = p\sigma_{\text{ср}};$$

а со скошенными режущими кромками

$$P = p\sigma_{\text{ср}}k,$$

где p — периметр одновременно вырубаемого (пробиваемого) контура, м; s — толщина штампуемого материала, м; $\sigma_{\text{ср}}$ — сопротивление материала срезу, Па; K — коэффициент, зависящий от наклона кромок и равный 0,2—0,6.

Усилие сжатия прижимного (съемного) устройства следует принимать $P_{\text{с}} = (0,05 \div 0,1) P$. После расчета требуемого усилия вырубки выбирают пресс, при этом номинальное усилие прессы $P_{\text{ном}}$ должно быть больше усилия вырубки.

ж) Контроль штамповки листов, срок службы и заточка штампов

При штамповке листов магнитопровода их форма, размеры и точность изготовления должны соответствовать техническим требованиям, предусмотренным чертежом. Контроль качества отштампованных листов для выявления видимых дефектов (полнота контура, вмятины, отсутствие отверстий и др.) производится визуально-штамповщиком-оператором.

Рекомендуемый способ периодического контроля листов магнитопроводов и смены штампов заключается в следующем. Через каждые 5000 ударов штампа измеряют высоту заусенца на одном комплекте листов магнитопроводов. Результаты наносят на карту контроля. Когда отметка на карте контроля приближается к максимальному значению высоты заусенца (0,05—0,08 мм), следует снять штамп и отправить его на переточку. Кроме измерения высоты заусенцев следует проверить размеры наружного и внутреннего диаметров, а также несоосность наружного и внутреннего диаметров.

Срок службы штампа определяется количеством ударов N до полного износа. Если при каждой переточке снимается слой металла Δh , то при высоте рабочей части матрицы h число переточек

будет $h/\Delta h$. Практикой определено, что при переточке матрицы снимается слой металла 0,15—0,2 мм. Между переточками штампы, у которых режущие части изготовлены из инструментальной стали, делают 60—100 тыс. ударов, а штампы, у которых режущие части изготовлены из твердого сплава, делают 700—900 тыс. ударов. В первом случае срок службы штампа будет составлять $N_{\text{п}} = (60 \div 100) \cdot 10^3 \cdot h/\Delta h$, во втором $N_{\text{т}} = (700 \div 900) \cdot 10^3 \cdot h/\Delta h$.

При неправильной эксплуатации штампа, использовании изношенного оборудования, особенно направляющих ползуна, происходит выкрашивание режущих кромок. В этих случаях при переточках приходится снимать слой металла до 1 мм, отчего срок службы штампа резко сокращается. Сокращенный срок службы штампов снижает экономические показатели штамповочных цехов. Частая смена штампов снижает использование прессов и увеличивает загрузку инструментальных цехов. Простой оборудования из-за снятия и установки штампов составляет 10—30 % всего рабочего времени.

Стойкость штампов зависит от многих факторов (качества штампа, качества и состояния штампуемого материала, конфигурации детали, состояния пресса и т. п.), которые не поддаются расчету. Однако на каждом заводе существует определенная стойкость штампов по каждой детали. Можно считать стойкость совмещенных (компаундных) штампов равной 500—900 тыс. ударов. Стойкость последовательных штампов определена отраслевым стандартом не менее 5 млн. ударов при однорядной штамповке и 4 млн. ударов при двухрядной для штампов, имеющих режущие части из инструментальных сталей. Для штампов, имеющих режущие части, изготовленные из твердого сплава, стойкость определена не менее 50 млн. ударов. Опыт показывает, что при правильной эксплуатации штампов и точном соблюдении технологии эти цифры могут быть увеличены в 1,5—2,0 раза. Стойкость пазового штампа в твердосплавном исполнении превышает 100 млн. ударов. Можно увеличить срок службы штампов и повысить качество вырубков при принудительной заточке. Смысл принудительной заточки заключается в том, что штамп снимается на заточку несколько раньше, чем должен появиться недопустимый заусенец. При этом слой снимаемого металла меньше, чем 0,2 мм, так как затупление штампа (образование заусенца) происходит «лавинно-образно». Принудительная заточка требует высокой организации производства и культуры труда [25].

12.4. ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ШТАМПОВКИ НА ЛИСТОШТАМПОВОЧНЫХ УСТАНОВКАХ МНОГОПОЗИЦИОННЫМИ ШТАМПАМИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

Метод последовательной штамповки позволяет комплексно автоматизировать изготовление листов магнитопроводов на листоштамповочных установках на базе пресс-автоматов. Весь процесс изготовления листов, включая размотку, правку ленты, штампов-

ку и выдачу ориентированных (по пазам) листов, а также удаление и транспортировку отходов, производится автоматически.

Листоштамповочная установка (рис. 12.13) работает следующим образом: лента электротехнической стали с размотчика 3 поступает в правильное устройство 1. В правильном устройстве лента правится и, проходя в желобе 2, поступает в подающее

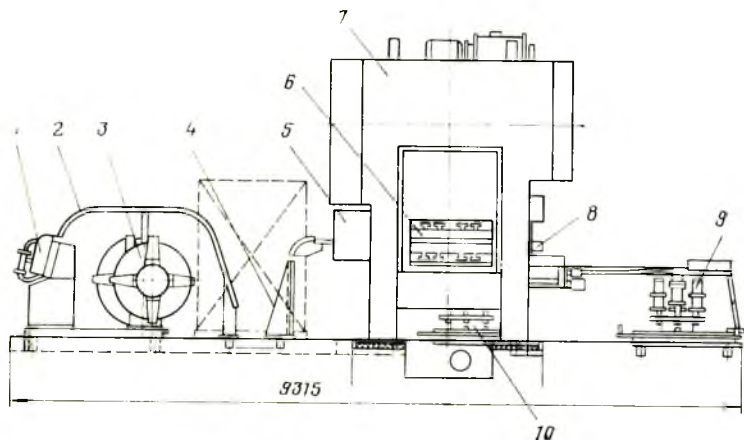


Рис. 12.13. Листоштамповочная установка.

устройство 5, образуя петлю 4. Подающее устройство при каждом ходе пресса 7 подает ленту на один шаг, уменьшая петлю. Когда петля достигнет минимального размера, автоматически включается привод размотчика, и петля увеличивается до максимального размера. Работа подающего механизма и размотчика может быть согласована так, что размотчик работает постоянно, а размер петли изменяется незначительно. Штамп 6 производит вырубку, и роторный лист поступает на роторную оправку 10, а статорный лист на статорную оправку 9. Отходы ленты измельчаются ножницами 8 и собираются в тару или по ленточному транспортеру поступают к пакетировочному прессу. При штамповке ленту необходимо периодически смазывать. После штамповки смазка испаряется с поверхности листа.

В качестве примера рассмотрим устройство и работу основных узлов автоматической листоштамповочной установки А2-200/250. Поворотное двустороннее разматывающее устройство с правильным механизмом предназначено для разматки рулона электротехнической стали, устранения кривизны и других неровностей, возникающих при намотке ленты.

Двустороннее разматывающее устройство позволяет во время разматывания ленты с одного рулона устанавливать на вторую позицию новый. Независимо от ширины ленты рулон всегда должен устанавливаться по центру правильного механизма. Для это-

го предусмотрены масштабные шкалы, позволяющие располагать прижимное устройство в соответствии с шириной ленты. Регулируемый пружинный тормоз служит для предотвращения самопроизвольного разматывания. Правильный механизм имеет семь правильных валков и две пары подающих роликов. Технические данные разматывающего устройства: ширина ленты до 350 мм; максимально допустимый внешний диаметр рулона 1200 мм; до-

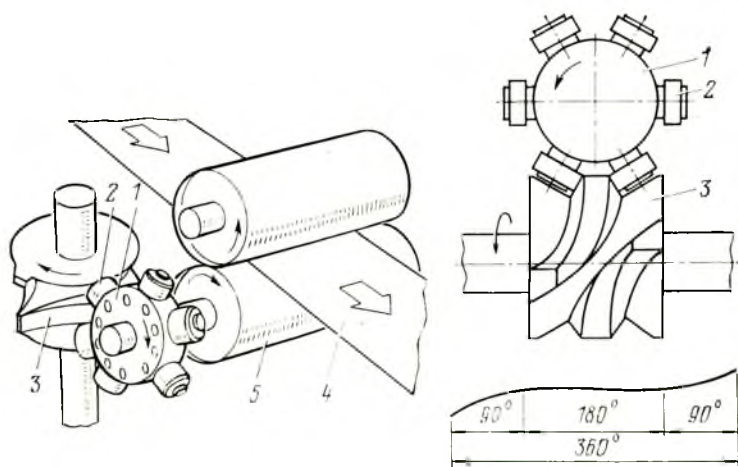


Рис. 12.14. Безынерционное подающее устройство типа «Фerguson».

пустимый внутренний диаметр рулона 400—510 мм; максимальная толщина ленты 2 мм; максимальная допустимая масса рулона 2000 кг; скорость размотки ленты (плавно регулируемая) 0,1—60 м/мин.

Подающее устройство предназначено для подачи ленточного материала. Движение от привода пресса сообщается ему с помощью устройства типа «Фerguson» (рис. 12.14). Устройство является безынерционным и представляет собой червячное соединение, в котором червяк 3 выполнен с переменным углом подъема, а шестерней служит звездочка 1. На звездочке 1 размещены подшипники 2, оси которых расположены радиально к оси звездочки. Червяк 3 и звездочка 1 находятся в постоянном беззазорном зацеплении. Червяк равномерно вращается от эксцентрикового вала пресса и делает один оборот за один цикл движения ползуна пресса. При повороте червяка на 180—200° сцепляющаяся с ним звездочка поворачивается с переменной скоростью, при этом ведущий валок подачи 5 (как правило, нижний), соединенный с валом звездочки, также поворачивается и перемещает ленту на один шаг. При дальнейшем повороте червяка до полного оборота вращения подача не происходит, так как при этом подъем винтовой линии червяка равен нулю. Точность подачи при использовании устройства «Фerguson» может достигать $\pm 0,025$ мм. Значение

подачи задается комбинацией сменных шестерен. Ранее применяемые подающие механизмы в виде клещевой или валковой подачи состояли из подающих и тянущих валков с приводом от системы шестерен и кулисного механизма. Наличие больших люфтов не обеспечивало необходимой точности подачи, которая находилась в пределах $\pm 0,1$ мм (с увеличением шага и числа ходов прессы точность подачи уменьшилась). Переход на высокие скорости штамповки вызвал появление новых типов подающих устройств.

Пресс А2-200 (см. рис. 12.13), являясь высокоточным и быстроходным, имеет жесткую двухстоечную вибростойкую станину и облегченный ползун, который перемещается в четырех роликовых направляющих, каждая из которых состоит из двух роликовых дорожек, расположенных под углом 90° друг к другу. Роликовые направляющие ползуна устанавливают с предварительным натягом с помощью клиньев и при работе обильно смазывают. Ползун прессы снабжен пневматическими уравнивателями, ограничивающими заглубление пуансонов в матрицу на 0,5—0,7 мм. Для уменьшения шума, возникающего при работе, пресс устанавливают на амортизационные прокладки, применяют шестерни с шевронным зубом, усиливают централизованную смазку (ряд механизмов помещают в масляные камеры), пуансоны штампов затачивают со скосом. На пресс устанавливают звукоизоляционный кожух, снабженный двойными экранами (окнами) из специального стекла, что позволяет контролировать производственный процесс.

Стапелирующее устройство предназначено для непрерывного автоматического стапелирования статорных 9 и роторных 10 листов. Отштампованные листы проходят через направляющие вкладыши, располагаются в «чешуйчатом» виде, перекрывая друг друга до пазов, на одном из магнитных транспортеров (либо статорных, либо роторных листов) и доставляются им к стапелирующей оправке. Шесть стапелирующих оправок для статорных листов находятся на поворотном диске карусельного типа. После наполнения оправки закрывается шибер, диск поворачивается, наполненная оправка заменяется свободной, затвор шибера открывается и процесс стапелирования продолжается.

Набранные пакеты вместе с оправками транспортируются на следующие операции. Высота набора листов регулируется. Предварительная ориентация листов по пазу производится специальной иглой, установленной на оправке. Конструктивно стапелирующие устройства для статорных и роторных листов аналогичны. Получать из прессы листы статора и ротора можно также с помощью полых оправок. Вырубленные на провал статорные и роторные листы проталкиваются сквозь матрицу и штамповую плиту и поступают в полую оправку или хобот. При получении листов в ориентированном виде отпадает последующая операция ориентирования листов при сборке сердечника. Однако при значительной длине полых оправок брак, возникающий при штамповке (увеличенный заусенец), может обнаружиться с запозданием.

12.5. ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ШТАМПОВКИ НА ПРЕССАХ ТИПА «БАКИНЕЦ» И ПО СИСТЕМЕ «ТАНДЕМ»

а) Штамповка на прессах типа «Бакинец» совмещенными штампами

Прессы типа «Бакинец», разработанные Бакинским отделением ВНИИТэлектромаш, предназначены для штамповки из полосы или рулона шириной до 500 мм листов статора и ротора с использованием совмещенных штампов. Пресс двухэтажный (рис. 12.15),

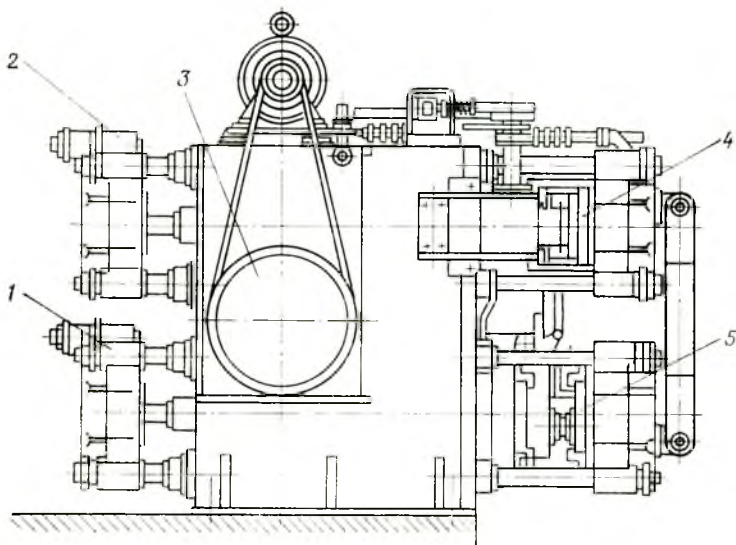


Рис. 12.15. Пресс-автомат типа А-6032 («Бакинец»).

имеет два ползуна 1 и 2, расположенных один над другим и перемещающихся на четырех колонках по направляющим втулкам станины. От центрального вала 3, на который установлена пневматическая муфта, одновременно являющаяся и маховиком, вращаются два коленчатых вала, которые сообщают возвратно-поступательное движение обоим ползунам прессы. Штамповка производится двумя совмещенными компаундными штампами 4 и 5, расположенными один над другим.

Рассмотрим технологическую схему штамповки (рис. 12.16). Материал подается в верхний штамп 1 и производится вырубка статорного листа 10 и заготовки ротора 9. Статорный лист сбрасывается с пуансона в момент полного открытия штампа, равного 80 мм, попадает на лоток 2 и по нему транспортируется на ступенирующую оправку 7. Заготовка ротора под собственным весом падает в ловитель 3. Работа ловителя 3 согласована с работой нижнего штампа 4 для штамповки роторного листа 8. Из ловителя 3 заготовка падает на ловитель штампа 4, в котором производят-

ся вырубка листа ротора. Готовый лист ротора по лотку 5 поступает на ступеллирующую оправку 6. Работа верхнего штампа, лопателя и нижнего штампа синхронизирована.

При штамповке из рулона пресс снабжается разматывающим устройством, а при штамповке из полосы подача осуществляется блоком вакуумных присосов. Присосы, работая синхронно с ходом ползунов, берут верхнюю полосу из стопы и, поворачивая ее на 90° , передвигают в зону

штампа с помощью валковой подачи. Точность подачи не играет большого значения, так как листы статора и ротора штампуются за один удар штампа. На прессе можно штамповать полосы горячекатаной электротехнической стали с пониженными требованиями: без предварительной калибровки по длине, с непараллельностью кромок полос до 3 мм и саблевидностью полосы до 3 мм, без ограничения норм волнистости и коробковатости полос. Распушение полос при взятии их из кассеты исключает слипание и подачу сдвоенных

полос под штамп. Пресс обслуживает один оператор. Стойкость штампов при работе на прессе «Бакинец» значительно выше стойкости штампов при работе на универсальных прессах, что обусловлено рядом конструктивных особенностей. В конструкции штампов применены жесткие стальные блоки плит и шариковые направляющие колонок. Штампы и полосы продуваются и смазываются, а вертикальное расположение штампа исключает засорение режущих частей. Прессы типа «Бакинец» изготавливаются усилием до 4 МН. Производительность прессы достигает 20—25 тыс. комплектов листов в смену.

Направление
подачи материала

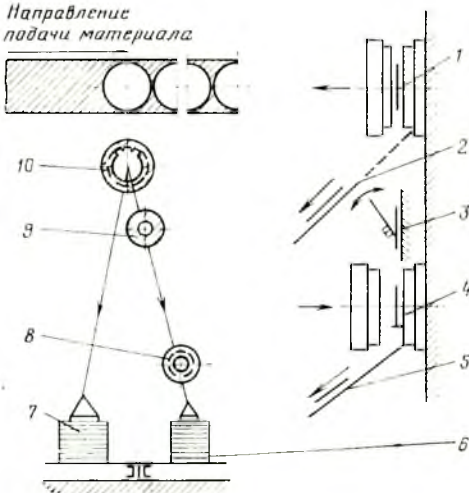


Рис. 12.16. Технологическая схема штамповки на пресс-автомате типа «Бакинец».

6) Штамповка по системе «Тандем»

Последовательная штамповка многопозиционными штампами является весьма прогрессивной, но для штамповки листов статора и ротора больших диаметров (свыше 250—350 мм) не применяется вследствие увеличения габаритов многопозиционных штампов (особенно при значительных диаметрах листов магнитопроводов), что усложняет и повышает стоимость их изготовления и эксплуа-

тацию, и соответственно увеличения габаритов пресса (а следовательно, и удорожания).

В последние годы применяется последовательная штамповка листов магнитопроводов по системе «Тандем», сущность которой состоит в том, что штамповка производится на двух последовательно работающих прессах с двумя штампами. С помощью сельсинного устройства оба пресса работают синхронно с минимальной разницей скоростей в пределах одного хода, что позволяет устанавливать минимальную компенсационную петлю между прессами. Установка (рис. 12.17) работает следующим образом.

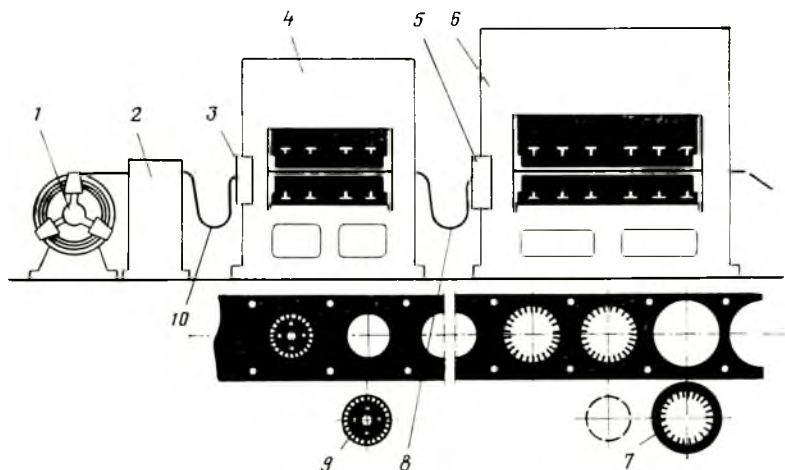


Рис. 12.17. Расположение прессов и схема штамповки по системе «Тандем».

С размотчика 1 через правильное устройство 2 лента попадает в подающее устройство 3. Между правильным и подающим устройством имеется первая компенсационная петля материала 10. На первом прессе 4 в двухпозиционном штампе вырубается лист ротора 9. На первой позиции вырубается пазы ротора, вентиляционные отверстия и отверстия под вал. На второй позиции обсекается наружный диаметр листа ротора, и он удаляется из зоны штамповки либо на провал, либо в боковое окно пресса. Между прессами материал имеет вторую компенсационную петлю 8. Устройство 5 подает ленту, и второй пресс 6 за два или три удара вырубает лист статора 7. Производится пробивка пазов и обсека наружного контура. Лист удаляется на провал либо в боковое окно. Фиксация рулона происходит ловителями штампа на четыре технологических отверстия. Отходы материала после выхода из второго пресса измельчаются для удобства транспортировки и пакетирования.

Система «Тандем» позволяет обеспечить автоматическую последовательную штамповку листов магнитопроводов диаметром до 630 мм. При этом длина штампов уменьшается в 2 раза, упроща-

ется их изготовление и эксплуатация, повышается стойкость штампов, так как затачивается каждый штамп отдельно, в то время как в многопозиционном штампе затачивается вся рабочая поверхность. Отпадает необходимость в прессах большой мощности (4 МН и более), обеспечивается равномерная загрузка прессов.

12.6. ТЕХНОЛОГИЯ ШТАМПОВКИ ЛИСТОВ СЕРДЕЧНИКОВ ДИАМЕТРОМ ОТ 400 ДО 990 ММ

а) Штамповка на универсальных прессах совмещенными штампами

На универсальных прессах вырубает листы статора и ротора асинхронных и синхронных машин, а также листы якорей машин постоянного тока. Штамповку производят на универсальных кривошипных прессах усилием до 5 МН совмещенными штампами. Подачу материалов в зону штампа, снятие заготовки, готовых листов и отходов осуществляет оператор. Штамповку выполняют из листовой электротехнической стали, которую при необходимости нарезают на карты или полосы. При этом приходится оставлять припуск на штамповку 5—7 мм на сторону, так как точно установить вручную карту в зоне штамповки трудно. Снятие заготовок и отходов производят пинцетом или крючком. Производительность составляет 3—4 тыс. листов в смену. Штамповка на универсальных прессах малоэффективна и применяется при отсутствии автоматического оборудования.

б) Штамповка на пазовых прессах

Заготовками при штамповке служат круглые листы, в которых выштамповано центральное отверстие со шпоночным пазом. Современный пазовый пресс показан на рис. 12.18. Пазовый штамп 2 вырубает пазы в круглом листе 4, который установлен на столе 3. Базой при установке листа служат центральное отверстие и шпоночный паз. Стол после каждого удара штампа поворачивается на одно пазовое деление. Поворот производится с использованием устройства типа «Фергюсон», что обеспечивает высокую точность. После пробивки всех пазов пресс останавливается. Настройка пресса на различные диаметры производится передвижением стола по направляющим 5 рукояткой 6, а настройка на вырубку различного числа пазов — сменными шестеренками. Управление прессом расположено на панели 1.

Современные пазовые прессы отличаются повышенной жесткостью конструкции, быстроходностью (до 1400 двойных ходов ползуна в минуту), более совершенным (по сравнению с ранее применявшейся храповой передачей) механизмом поворота. Жесткая конструкция пресса и простая форма инструмента допускают широкое применение твердосплавных штампов.

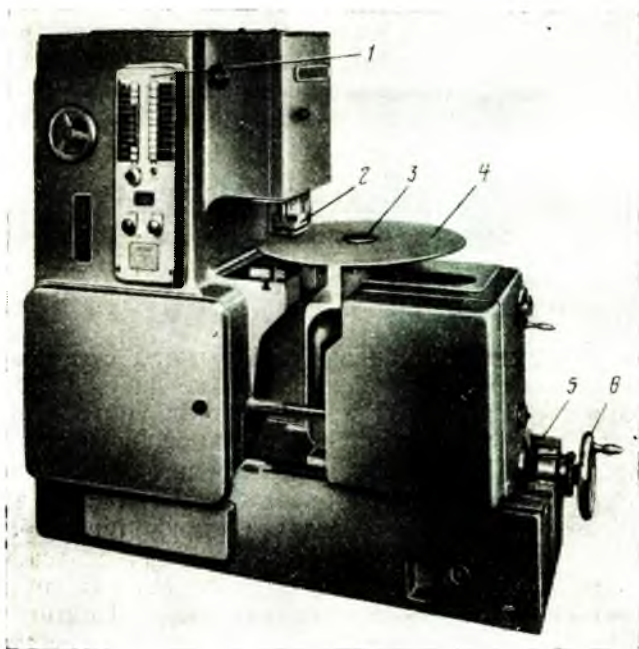


Рис. 12.18. Пазовый пресс.

На пазовых прессах можно производить пробивку пазов и вентиляционных отверстий в листах статора и ротора асинхронных двигателей, якорей машин постоянного тока, отделять лист ротора от листа статора, обрубать листы якоря по наружному диаметру с одновременной вырубкой пазов.

Специальное устройство позволяет в процессе штамповки автоматически изменять диаметры листов статора и ротора для получения конических сердечников статора и ротора.

Для повышения производительности пресс снабжают устройством для автоматической установки и зажима заготовки, снятия ее после окончания цикла и установки готовой детали на оправку для стапелирования. Такая автоматизация превращает пресс в пресс-автомат.

На рис. 12.19 показана схема штамповки листов якоря.

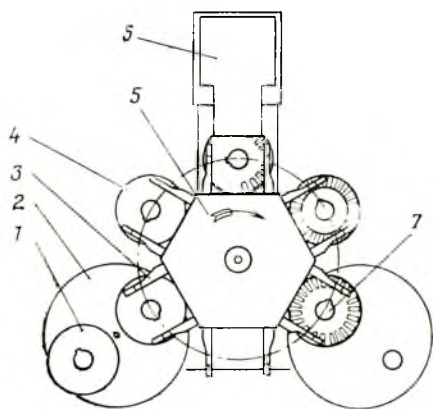


Рис. 12.19. Схема штамповки листов якоря на пазовом пресс-автомате.

заготовок 1 устанавливается на оправку поворотной плиты. 2. Вращающаяся крестовина 5 с захватами 3 подает лист на позицию 4 для ориентирования листов по шпоночному знаку. Далее лист передается в пресс 6, на котором вырубается пазы якоря. Стапелирование готовых листов производится на оправку 7 поворотной плиты. Если захваты возьмут две заготовки, пресс автоматически остановится. Для штамповки листов статора и ротора из одной заготовки два пресс-автомата могут работать последовательно в автоматическом режиме.

Преимущества пазовых пресс-автоматов: простая и дешевая конструкция штампов; значительно меньшие габариты и стоимость оборудования, малое время переналадки при смене вырубаемых листов. Эти преимущества приобретают большое значение при мелкосерийном производстве и штамповке листов магнитопроводов большого диаметра. Пазовые пресс-автоматы позволяют механизировать ручной монотонный труд штамповщика в единичном и мелкосерийном производстве. Условие и характер труда при этом улучшаются.

12.7. ТЕХНОЛОГИЯ ШТАМПОВКИ СЕГМЕНТОВ ДЛЯ КРУПНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И ЛИСТОВ ПОЛЮСА

а) Штамповка сегментов крупных электрических машин

При диаметре более 990 мм кольцевые сердечники собирают из отдельных сегментов. Формы сегментов, применяемых в крупных электрических машинах, показаны на рис. 12.2, а. К сегментным листам предъявляются высокие требования по точности размеров пазов, их взаимного расположения, формы и размеров наружного контура. Это вызвано особенностями сборки сердечников статоров из сегментных листов. При невыполнении требований по идентичности пазов в сердечнике статора появляется смещение типа «гребенки», что может привести к повреждению обмотки высокого напряжения и пробоем изоляции.

Основным методом получения сегментных листов является однооперационная штамповка совмещенными штампами. Схема штамповки сегментов статора турбогенератора показана на рис. 12.20, а. Схема раскрой электротехнической стали определяет схему штампа, который изготавливается для вырубки от двух до пяти сегментов за один ход прессы. Схема штамповки сегментов статора гидрогенераторов и ротора крупных электрических машин показана на рис. 12.20, б. С переходом штамповки сегментов из рулонной холоднокатаной электротехнической стали универсальные прессы заменяются автоматическими линиями.

Разработана технология штамповки сегментов на одноползунном пресс-автомате типа «Бакинec» усилием 2,5—4 МН. Штамповка производится штампом совмещенного действия в вертикальном положении. Кроме того, штамповка пазов сегментов может

производиться на пазовых пресс-автоматах с электронным программным устройством, которое обеспечивает требуемые геометрические размеры. При этом заготовка фиксируется на заранее отштампованные технологические отверстия.

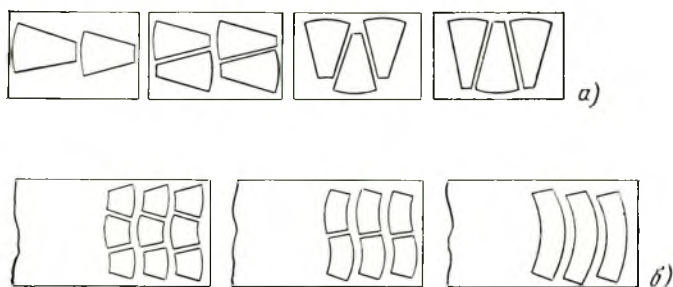


Рис. 12.20. Схемы штамповки сегментов статора турбогенератора (а) и статора гидрогенератора (б).

б) Технология штамповки листов полюса

Существуют два основных вида листов полюса: для машин переменного тока с Т-образными хвостами крепления (рис. 12.21, а) и для машин постоянного тока (рис. 12.21, б). Листы полюса ма-

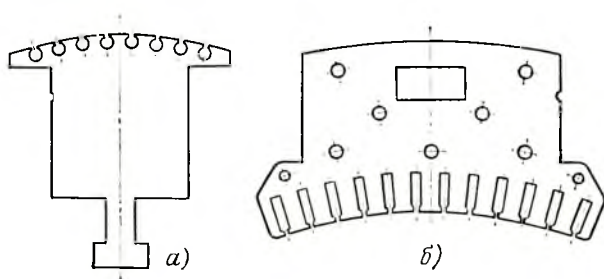


Рис. 12.21. Виды листов полюса.

шины переменного тока закрепляются на валу, а машины постоянного тока — внутри станины. Полюса могут иметь пазы для демперных или компенсационных обмоток и отверстия для шпилек или заклепок. Листы штампуют из стали толщиной 1—2 мм на универсальных прессах совмещенными штампами или на пресс-автоматах двухпозиционными штампами последовательного действия. При штамповке последовательными штампами на первой позиции пробивают отверстия под заклепки или шпильки, необходимые пазы, а на второй позиции вырубают наружный контур и листы удаляют на провал. Для их стапелирования используют полые оправки или лотки.

Электротехническая сталь поступает на заводы в листах или в виде резаной ленты. Сталь в листах используют для ручной или механизированной штамповки. Перед штамповкой листы на ножницах режут на мерные полосы или квадраты (карты). При этом оставляют припуск на установку листа — перемычку. Для ручной штамповки припуск оставляется 5—7 мм, так как вручную трудно точно установить заготовку в штамп. Для механизированной штамповки припуск может быть уменьшен до 2—3 мм.

Сталь в резаных лентах штампуют только на автоматических установках. При этом подача ленты в штамп производится с большой точностью, что позволяет штамповать с перемычками в 1,5—2 мм или без перемычек. Размер перемычки зависит от принятой технологии штамповки, конструкции штампуемого листа, точности подачи, конструкции штампа и т. п.

При штамповке кроме листов статора и ротора получают отходы, которые можно разделить на «внутренние» и «наружные».

Внутренние отходы образуются при вырубке пазов, вентиляционных отверстий, центрального отверстия под вал, отверстий под шпильки или заклепки и др. Они определяются конструкцией деталей. Общая площадь внутренних отходов определяется по формуле

$$F_{\text{вн}} = Q_1 z_1 + Q_2 z_2 + 0,785 d^2 + n_{\text{в}} 0,785 d_{\text{в}}^2 + \pi D_i \delta,$$

где Q_1 и Q_2 — площади пазов статора и ротора; z_1 , z_2 — число пазов статора и ротора; d — диаметр центрального отверстия; $d_{\text{в}}$ — диаметр вентиляционного отверстия; $n_{\text{в}}$ — число вентиляционных отверстий; D_i — внутренний диаметр статора; δ — воздушный зазор.

Для якорей машин постоянного тока первый и последний члены формулы отсутствуют.

Коэффициент потерь металла на внутренние отходы определяют по формуле

$$K_{\text{в,п}} = F_{\text{вн}} / F_{\text{заг}},$$

где $F_{\text{вн}}$ — площадь внутренних отходов; $F_{\text{заг}}$ — площадь заготовки.

Наружные отходы — это разность между площадью листа стали и общей площадью вырубленных из него листов магнитопроводов (включая внутренние отходы). Наружные отходы зависят не только от конструкции листа статора, но и от принятой схемы штамповки.

При вырубке листов магнитопроводов из полосового материала в составе наружных отходов следует учитывать также и отходы, образующиеся при раскросе листов стали.

Коэффициент потерь металла на наружные отходы можно рассчитать по формуле

$$K_{\text{н,п}} = F_{\text{нар}} / F_{\text{заг}},$$

где $F_{\text{нар}}$ — площадь наружных потерь металла.

Коэффициент использования металла при штамповке с учетом всех потерь равен:

$$K_{\text{исп}} = (F_{\text{заг}} - F_{\text{вн}} - F_{\text{нар}}) / F_{\text{заг}} = 1 - (K_{\text{в,п}} + K_{\text{н,п}}).$$

Последовательная штамповка листов магнитопроводов из ленты уменьшает количество наружных отходов по сравнению со штамповкой из полосы за счет сокращения перемычек. Механизмы подачи ленты позволяют более точно устанавливать материал на позиции штамповки, чем ручная установка или даже установка листа при помощи приспособления.

Рассмотрим влияние на наружные отходы размеров перемычек между вырубаемыми листами статора по шагу, а также по ширине при штамповке из ленты. Размеры перемычек между штампуемыми листами статоров зависят от числа рядов и расположения деталей в ленте, размера шага подачи и его точности. Известно, что с увеличением числа рядов при шахматном раскросе уменьшается расход стали, но одновременно усложняется конструкция и технология изготовления штампов и возрастает их стоимость; снижается стойкость штампов из-за уменьшения их жесткости, а также из-за того, что при выкрашивании или затуплении одной позиции приходится затачивать всю поверхность штампа; возрастают требуемое усилие, габаритные размеры и стоимость пресс-автоматов.

Математические исследования по оптимизации рядности штамповки с учетом воздействия положительных и отрицательных факторов показали, что при изготовлении листов магнитопроводов асинхронных электродвигателей диаметром до 170 мм оптимальным является двухрядный раскрой. При штамповке листов якорей, роторов (без листов статоров) с числом позиций в штампе до двух может применяться большее число рядов.

Зависимость коэффициента наружного использования металла от рядности раскроя выражается формулой

$$K_{\text{нар}} = F_{\text{дет}} i / b t,$$

где $F_{\text{дет}}$ — площадь поверхности детали, включая высежку м^2 ; i — число рядов; b — ширина ленты, м (принимается по равному или ближайшему значению сортамента на сталь); t — шаг вырубki, м.

Эта зависимость показана на рис. 12.22.

Ширина ленты для штамповки листов магнитопроводов рассчитывается по формулам:

при схеме однорядного раскроя (рис. 12.23, а — в) для листов круглой формы

$$b = D + 2l_1 + \Delta b,$$

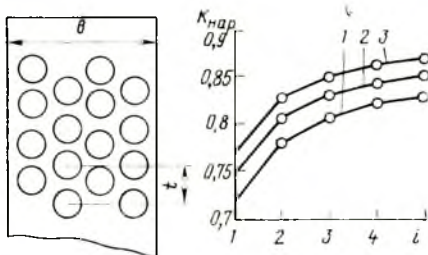


Рис. 12.22. Зависимость коэффициента наружного использования ленты $K_{\text{нар}}$ от рядности раскроя при штамповке магнитопроводов с различным наружным диаметром, мм

1 — 50; 2 — 90; 3 — 226.

для листов прямоугольной формы

$$b = L + 2l_1 + \Delta b;$$

при схеме многорядного шахматного раскроя для листов круглой формы (рис. 12.24, *г—е*)

$$b = (D + l_3)(i - 1) \sin \alpha + D + 2l_1 + \Delta b;$$

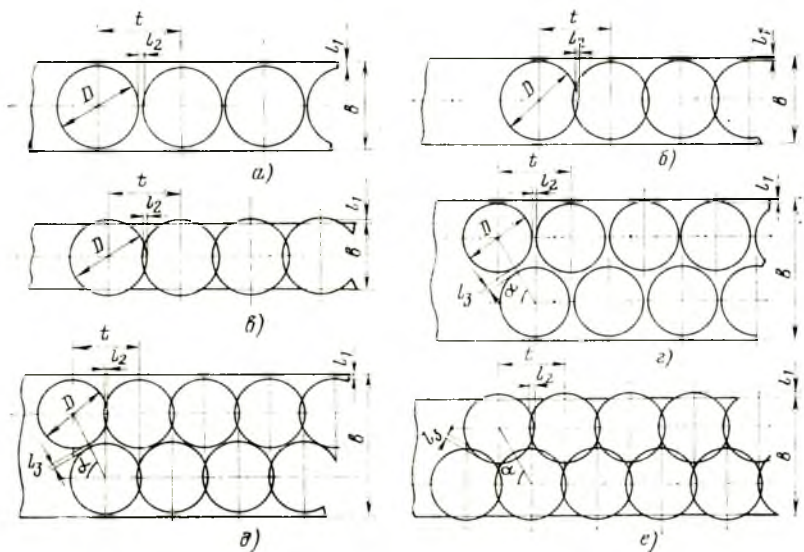


Рис. 12.23. Схемы однорядного и многорядного шахматного раскроя ленты.

при схеме многорядного раскроя листов усеченной формы

$$b = (i - 1) \sqrt{(D + l_3)^2 - \left(\frac{L_1 + l_2}{2}\right)^2} + D + 2l_1 + \Delta b,$$

где L — размер штампуемого листа поперек ленты, м; L_1 — размер штампуемого листа вдоль ленты, м; l_1 — размер перемишки по ширине ленты, м; l_2, l_3 — размер перемишки между листами, м; Δb — допуск на ширину ленты, м.

Угол смещения деталей можно рассчитать по формуле

$$\cos \alpha = t/2(D + l_3).$$

Шаг подачи материала равен:

$$t = D + l_2.$$

Ширина ленты и расположение листов магнитопроводов со сложной конфигурацией определяются графическим путем.

Минимальные размеры перемишек при расчете ширины ленты для различных раскроев приведены в табл. 12.1.

Обозначение перемычек	Схема штамповки, рис. 12.24					
	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>е</i>
l_1	$+(1,7-2,2)$	$+(1,7-2,2)$	$-(1,5-2,5)$	$+2,5$	$+2,5$	$-(1,7-2,2)$
l_2	$+(1,4-1,8)$	$-(1,5-2,5)$	$-(1,5-2,5)$	$+2,0$	$-(1,5-2,5)$	$-(1,5-2,5)$
l_3	—	—	—	$+2,0$	$+2,0$	$-(1,5-2,5)$

Раскрой по схемам рис. 12.23, *в, е* производится с отрицательными перемычками, при этом использование ленты наилучшее. При раскросе по схемам рис. 12.23, *а, г* использование ленты наименьшее, поэтому отраслевой стандарт обязывает применять при разработках схемы раскроя рис. 12.23, *в, е* и не допускает применение схем раскроя рис. 12.23, *а, г*.

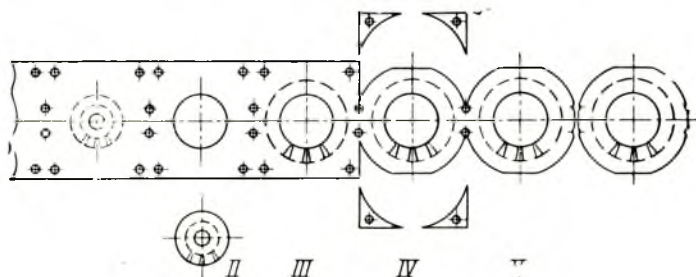


Рис. 12.24. Схема последовательной штамповки с отрицательными перемычками.

При штамповке с отрицательными перемычками ширина ленты и шаг подачи ленты меньше диаметра листа статора и на наружном контуре листа остаются лыски. Наличие лысок может отрицательно повлиять на энергетические показатели электрической машины (увеличение индукции и тока намагничивания, ухудшение контакта пакета со станиной). Отрицательные перемычки с большими лысками применяют главным образом при штамповке листов для электродвигателей с незначительной индукцией в спинке статора, а также работающих в кратковременном режиме (двигатели для стиральных машин и др.) или электродвигателей для компрессоров холодильников, интенсивно охлаждаемых циркулирующим фреоном. На рис. 12.24 показана схема штамповки с отрицательными перемычками на пятипозиционном штампе.

По разработке Бакинского отделения ВНИИТЭлектромаша для листов статора, имеющих пазы под сварку (или скобы), предложена схема штамповки, по которой сохраняется существующая форма пазов под сварку (ширина 12 мм), при этом ширина ленты уменьшается до наружного диаметра листа статора, ликвидируются боковые перемычки. На рис. 12.25 показана схема штам-

повки листов статора с шестью пазами под сварку. При такой схеме штамповки практически не ухудшаются условия охлаждения и энергетические показатели электродвигателей, а расход стали сокращается на 7,8—8,0%.

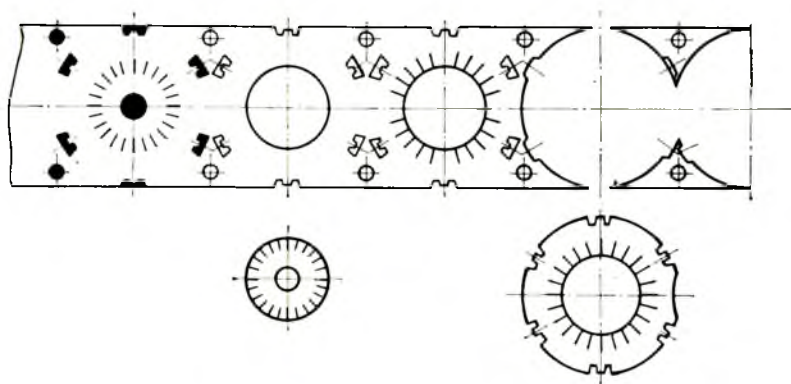


Рис. 12.25. Схема малоотходной штамповки листов с шестью пазами под сварку.

Значительную экономию электротехнической стали можно получить, применив фигурный раскрой. На рис. 12.26, *a—г* приведены схемы раскроя и штамповки рулонной стали, при которых из широких рулонов получаются узкие фигурные ленты для однорядной и двухрядной штамповки. Одновременно в ленте пробиваются центрирующие отверстия для фиксации на ловителі штампов при дальнейшей автоматической штамповке. При этом должна быть выдержана высокая точность по шагу между центрирующими отверстиями и точность их расположения внутри каждой фигуры. Фигурную ленту получают с помощью многодисковых ножниц с фигурными ножами (метод «скролайн») и на пресс-автоматах с ножевыми штампами (метод «зигзаг»). Фигурный раскрой позволяет значительно (до 10—11 %) сократить расход электротехнической стали.

При штамповке сегментов статоров гидро- и турбогенераторов из рулонной электротехнической стали (см. рис. 12.20, *a, б*) уменьшается расход электротехнической стали (на 8—12 %) за счет отсутствия отходов, имевшихся в начале и конце каждого листа. С увеличением радиуса сегментов повышается коэффициент использования стали.

Экономный расход электротехнической и конструкционной стали при штамповке листов полюсов получают при использовании многорядной штамповки. Следует отметить, что только переход на изготовление штампованных деталей из рулона или ленты вместо листов дает значительную экономию стали (8—12 %) за счет уменьшения перемычек. Переход на штамповку из рулона

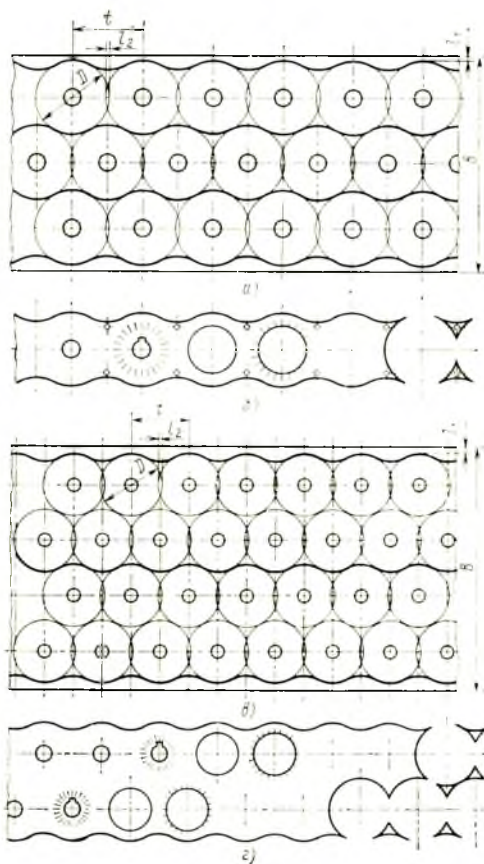


Рис. 12.26. Схемы фигурного раскрой и штамповки рулонной стали.

а — раскрой для однорядной штамповки; *б* — однорядная штамповка; *в* — раскрой для двухрядной штамповки; *г* — двухрядная штамповка.

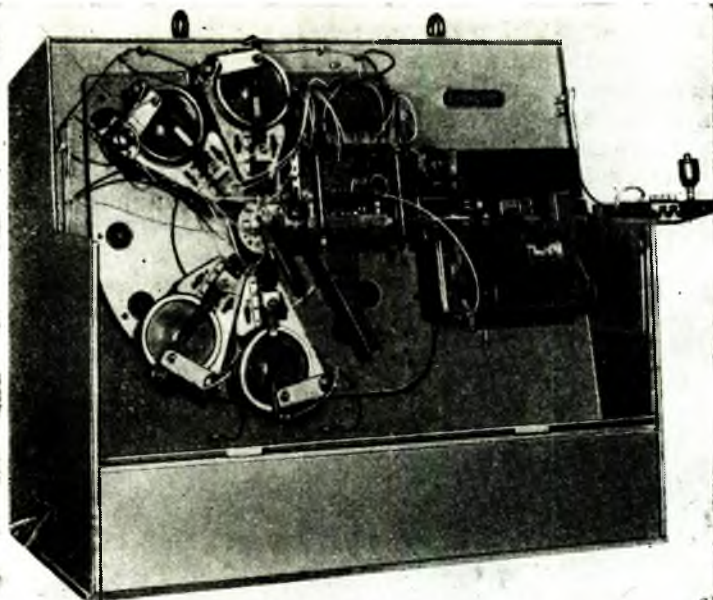
или ленты возможен только при точном оборудовании и специальных штампах.

Опыт производства электрических машин на заводах показывает, что коэффициент использования стали при однорядной штамповке круглых листов магнитопроводов лежит в пределах 0,43—0,61. Как правило, при одинаковых наружных диаметрах многополюсные машины имеют меньший внутренний отход, а следовательно, и более высокий коэффициент использования металла, чем малополюсные. В таких же пределах находится коэффициент использования металла при штамповке секторов крупных электрических машин, имеющих диаметр сердечника 2000—3000 мм. С увеличением рядности штамповки, штамповки с отрицательными перемычками и фигурным раскром коэффициент использования металла повышается. Он так же повышается при увеличении радиуса сегментов и у гидрогенераторов может достигать значений 0,80—0,90.

Все отходы электротехнической стали на заводах собираются и пакетируются в пресс-пакетных прессах. Прессованные пакеты отправляются на переплавку на металлургические заводы или используются в собственных литейных цехах для получения модифицированного чугуна. Отходы подлежат строгому учету.

12.9. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ШТАМПОВАННЫХ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И ТРАНСФОРМАТОРОВ

При изготовлении деталей электрических машин и трансформаторов используются все виды холодной штамповки. Мелкие детали целесообразно изготавливать на автоматах. Автомат с приводом от центральной шестерни и детали, изготавливаемые на нем,



a)



b)

Р и с. 12.27. Автомат холодной штамповки с приводом от центральной шестерни (а) и штампуемые на нем детали (б).

показаны на рис. 12.27, а, б. Автомат работает на материале из ленты, прямоугольном или круглом приводе. Материал после правки поступает в зону рабочего инструмента, который состоит из нескольких самостоятельных пуансонов. Действуя последовательно, инструмент осуществляет операции пробивки, гибки, сварки, навивки секций пружин и т. п. На автоматах, благодаря концентрации различных операций, удастся изготавливать сложные детали с большой производительностью. На рис. 12.27, б показаны

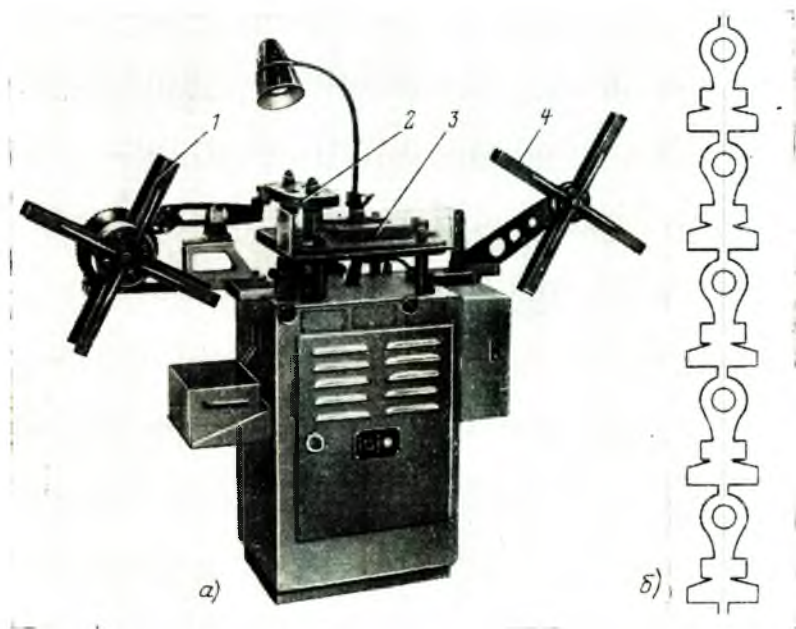


Рис. 12.28. Пресс-автомат типа АП-6 для штамповки кабельных наконечников (а) и выштампованные кабельные наконечники (б).

ны: вентилятор, пружины щеткодержателей, секции из круглого и прямоугольного провода и т. п. Автоматы выпускаются усилием до 1 МН и могут работать с лентой толщиной до 2 и шириной до 100 мм. Производительность автоматов от 120 до 1000 деталей в минуту в зависимости от усилия автомата и сложности детали.

Электродвигатели массовых серий имеют кабельные наконечники (по 6 шт. на машину), изготавливаемые из латуни толщиной 0,5—1,5 мм. Для их штамповки ВНИИТэлектромаш спроектировал ряд пресс-автоматов, которые производят штамповку и гибку наконечников. На рис. 12.28, а показан пресс-автомат типа АП-6. После штамповки наконечники остаются скрепленными перемычками (рис. 12.28, б), что необходимо для механизации дальнейших операций по их напрессовыванию на выводные кабели. Пресс

имеет сматывающее устройство 4, на котором находится штампуемая лента, клещевую подачу 3, штамп 2 и наматывающее устройство 1. Скорость штамповки до 210 двойных ходов в минуту.

Более крупные детали и узлы изготавливают на прессах с большим усилием. Например, наружный кожух (рис. 12.29) к обдуваемым электрическим машинам для упрощения технологии и экономии материала изготавливают сваркой двух деталей: обечайки 1 и доньшка 2. Обечайку гнут из листа и сваривают. Доньшко выполняют за несколько операций: вырезка круглой заготовки на ножницах, вытяжка, обсечка наружного диаметра и вырубка отверстий для прохода воздуха. Заготовку используют круглую, чтобы обеспечить одинаковые условия течения материала при вытяжке. Вытяжку производят на прессах двойного действия, которые имеют два ползуна. Ползуны действуют независимо и согласованно. Наружный ползун служит для прижима детали по контуру, а внутренний для вытяжки. На рис. 12.30 показан штамп для изготовления доньшка, в котором объединены операции вытяжки и обсечки наружного диаметра. Прижимное кольцо 1 штампа крепится к наружному ползуну прессы, а пуансон к внутреннему ползуну. Пуансон имеет вытяжную 3 и обсечную 4 части. Штамп работает в следующей последовательности. Наружный ползун прессы движется вниз и прижимное кольцо 1 прижимает заготовку 2 к матрице 5. Затем начинается движение внутреннего ползуна, и пуансон 3 производит вытяжку детали. В конце вытяжки обсечная часть пуансона 4 производит обсечку доньшка. Рабочие части штампа изготавливают из инструментальной стали марки У10, а конструкционные из стали марок Ст 3 и 45.

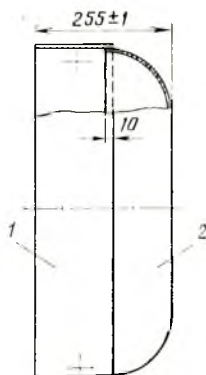


Рис. 12.29. Кожух.

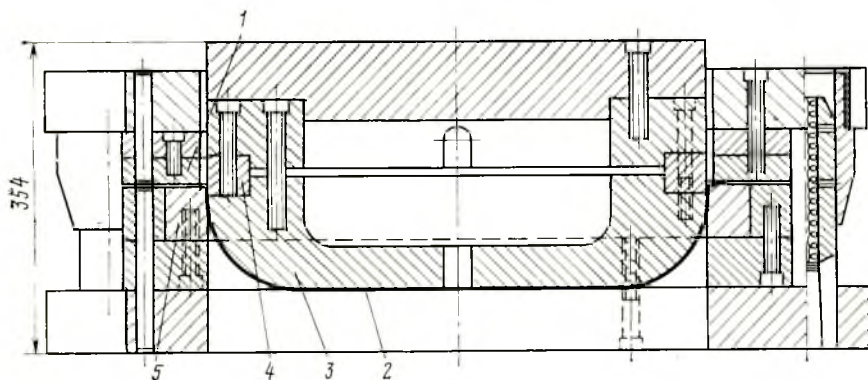


Рис. 12.30. Штамп для изготовления доньшка кожуха.

Кожух небольшого диаметра можно изготавливать цельным, без сварки, вытягивая за несколько переходов.

Воздухонаправляющие щитки большого диаметра (рис. 12.31) также целесообразно выполнять сварными. Как правило, номенклатура щитков большая, а отличаются они только длиной обечайки 1. Это позволяет, имея штамповую оснастку на одну воронку 2, изготавливать всю номенклатуру щитков, приваривая обечайки необходимой длины.

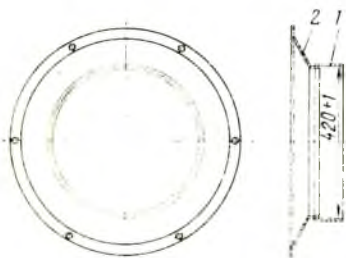


Рис. 12.31. Воздухонаправляющий щиток.

При производстве электрических машин и трансформаторов находит применение большое количество неметаллических материалов. К ним относятся: электрокартон, бумага, слоистые пластики (текстолит, стеклотекстолит, асботекстолит), асбестовые ткани (бумага асбестовая, картон асбестовый, паронит), слюда, миканиты, войлок, резина, кожа и другие материалы. Материалы поступают на за-

воды в виде листов, полос или рулонов. Для изготовления из них различных деталей применяют резку, штамповку, гибку и др.

Резка слоистых пластиков и других хрупких материалов может производиться на штампах и ножницах с параллельными ножами, так как при резке на гильотинных ножницах в результате изгиба отрезаемой заготовки наклонным ножом на ее поверхности образуется сеть трещин, называемая «елочкой». Резку листов на полосы необходимо производить с надежным прижимом материала, для чего прижимное устройство должно иметь индивидуальную регулировку. Глубина перекрытия режущей кромки ножей не более 0,5 мм.

Для резки изоляционных материалов целесообразно выделить специальные ножницы. При резке фольгированных пластмасс они должны быть положены фольгой вниз (к неподвижному ножу). Резка слоистых и волокнистых пластиков возможна в холодном состоянии до толщины 1,5—2 мм. При резке материала большей толщины, а также когда к качеству поверхности среза предъявляются повышенные требования, целесообразно материал подогреть.

Вырезка (просечка) деталей простой конфигурации обычно производится ножевыми штампами обычной или упрощенной конструкции (рис. 12.32). Угол заострения ножей принимается равным: для мягких материалов (бумага, электрокартон, кожа, резина, фетр, ткани) 10—20°, а для фибры, текстолита, гетинакса 30—35°. Для деталей и прокладок сложной конфигурации используют ленточно-ножевые штампы, у которых режущее полотно сделано из ленточной стали, изогнутой по форме вырезаемой детали.

При вырезке бумажных и других тонколистовых прокладок

толщиной 0,1—0,2 мм применяется штамповка пачками (до 50 листов), причем существуют два способа: штамповка насквозь на фибровой, полиуретановой или деревянной прокладке и штамповка половины листов утолщенной пачки, причем вторая половина листов служит подкладкой.

При вырубке неметаллических материалов обычными штампами применяют следующее значение зазоров: для электрокартона (0,4—0,5)*s* (где *s* — толщина материала); для кожи, фетра (0,2—0,3)*s*; для текстолита, гетинакса, стеклотекстолита — в зависимости от толщины материала и размера вырубаемых деталей.

Гетинакс подвергается только вырубке, а текстолит — вырубке и гибке. Предельная толщина материала для изготовления деталей вырубкой с нагревом ограничена для гетинакса 3 мм, а для текстолита 6,5 мм. При вырубке с нагревом получается лучшая поверхность среза и меньше дефектов. Нагрев заготовок может осуществляться в электрических термостатах, инфракрасными лампами, токами высокой частоты, между двумя нагретыми плитами, в кипящей воде. Наиболее прост и дешев нагрев в кипящей воде. Время нагрева 15—30 мин. Температура нагрева гетинакса 90—120, текстолита 80—90, а стеклотекстолита 70—90 °С.

Вырубку производят, как правило, в совмещенных штампах с прижимом заготовки. Прижим уменьшает возможность образования трещин и улучшает поверхность среза. Штамповку деталей из стеклотекстолита следует производить в комбинированных штампах с прижимом, причем пуансон должен быть подогнан к матрице без зазора.

Вырубка детали из слоистых пластиков сопровождается значительным пружинением материала, в результате которого наружные размеры детали получаются больше размеров матрицы, а размеры отверстий — меньше размеров пуансона. При вырубке без подогрева пружинение равно для гетинакса 4, а для текстолита 5% толщины материала. При вырубке с подогревом изменение размеров деталей усложняется усадкой материала после остывания.

Стойкость штампов при вырубке слоистых пластиков невысокая и обычно составляет 1500—2500 шт. до переточки.

Из слюды вырубается большое количество плоских деталей, в том числе изоляционные коллекторные пластины. Требуемая точность обеспечивается правильной конструкцией и качественным изготовлением комбинированных штампов. Особенностью конструкции штампов для слюды является предельное уменьше-

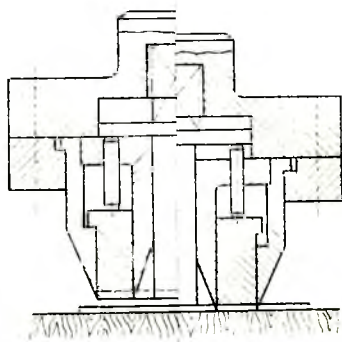


Рис. 12.32. Вырезка (просечка) ножевыми штампами.

ние длины пуансонов при максимальном уменьшении толщины верхней матрицы, пуансонодержателя и выталкивателя, а также применение дополнительного сжима сжатым воздухом через штуцер в верхней части штампа. Сжатый воздух продвигает зазоры и очищает штамп от слюдяной пыли, повышая его стойкость.

В зависимости от формы и числа штампуемых деталей выбирается исходный материал, оборудование и средства механизации. При изготовлении деталей в больших количествах экономически целесообразно их штамповать из материала в виде ленты на пресс-автоматах. При относительно небольших объемах производства и большой номенклатуре деталей используют листовую материал. Перед штамповкой лист разрезают на ножницах на полосы необходимой ширины. Подачу материалов в штамп можно производить валковой или клещевой подачей. Для выноса деталей из зоны штампа применяются маятниковые улавливатели, пневматические, крючковые, клиновые и другие приспособления. Устройства для выноса деталей могут быть смонтированы на прессе или на штампе и быть принадлежностью штампа.

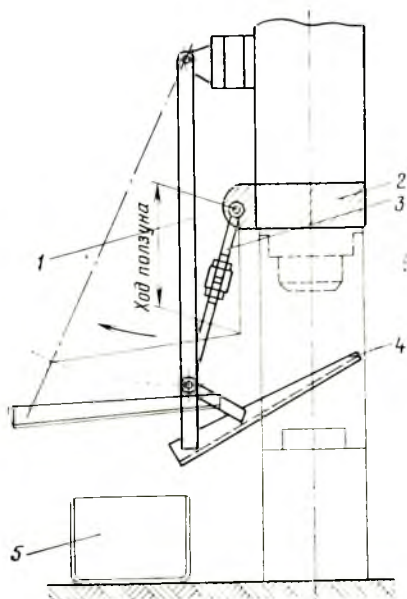


Рис. 12.33. Пресс для штамповки с маятниковым улавливателем.

На рис. 12.33 показан маятниковый улавливатель деталей. При ходе ползуна 2 вверх лоток 4 с помощью тяг 3 и 1 вводится в зону прессы. Деталь с верхнего пуансона штампа снимается толкателями, подается на лоток 4 и скатывается в тару 5. При движении ползуна вниз происходит отвод лотка из зоны прессы.

Для подачи заготовок на вторые операции используются шибрные или револьверные подачи. Средства механизации часто дают наибольший эффект при наклоне прессы. В этом случае деталь поднимается вместе с пуансоном и снимается толкателями в верхнем положении пуансона. При небольших объемах производства детали группируются по общности технологических признаков и закрепляются для изготовления за определенным оборудованием. Это оборудование может быть оснащено едиными средствами механизации для всех закрепленных деталей.

Эффективным средством механизации для всех типов производств являются роботы. На рис. 12.34 приведена схема штамповки на двух прессах с использованием робота. На первом прессе 2 из ленты 4, которая подается в штамп валковой подачей 3,

производится вырубка. Вырубленная заготовка из штампа выбирается на транспортер 5, который перемещает ее ко второму прессу. Датчик в конце транспортера подает сигнал роботу 1. Робот имеет две руки. Одна берет заготовку с транспортера и устанавливает в штамп, а вторая рука берет деталь из штампа и пе-

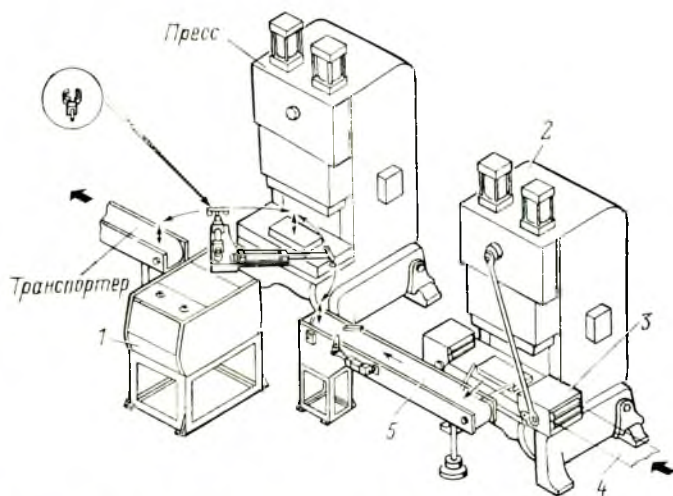


Рис. 12.34. Схема штамповки с использованием робота.

редает ее на второй транспортер. Управление обоих прессов, транспортера и робота согласовано и осуществляется с одного пульта. Использование роботов позволяет автоматизировать действующее оборудование и освободить работающих от монотонных операций [3].

12.10. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ХОЛОДНОЙ ШТАМПОВКЕ

Процесс холодной штамповки при несоблюдении правил техники безопасности может привести к тяжелым травмам. Для обеспечения безопасности работ в конструкции пресса необходимо предусмотреть следующие предохранительные устройства: муфту — тормоз фрикционного типа; уравниватель, исключаящий опускание ползуна под действием собственного веса в случае обрыва шатуна; ограждение межштамповочного пространства; выносные пульты управления; двуручное включение, исключаящее перекрытие кнопок механическим способом; ограждение, не допускающее случайного нажатия на педаль. Межштамповочное пространство должно иметь местное освещение не менее 50 лк.

Обеспечение безопасности также зависит от конструкции штампов. При конструировании штампа необходимо обеспечить невозможность доступа рук в зону штамповки — между пуансоном и матрицей. В случае невозможности выполнения этого требования следует опасные зоны ограждать. В штампах с направляющими колонками необходимо исключить случаи схода направляющих втулок при подъеме ползуна во избежание травмирования рабочего из-за поломки колонки.

Наиболее опасной является операция ручной укладки заготовок или листа под пуансон и удаление готовой детали с матрицы, поскольку руки рабочего периодически находятся в зоне действия инструмента — штампа. На открытых

штампах для установки заготовки и поправки ее на матрице, а также для съема отштампованных деталей применяют специальные пинцеты. Так как рабочие не всегда пользуются пинцетами, то для обеспечения безопасности на штампах открытого типа применяют дополнительные меры, например вводят режим работы пресса: одиночный ход с блокировкой рук. При этом режиме работы обе руки рабочего должны быть заняты во время рабочего хода ползуна. Расположение кнопок управления делается таким, чтобы исключить нажатие одной рукой обеих кнопок. Применение двуручного управления не полностью исключает возможность травмирования рук штамповщиков в случае внезапного хода ползуна пресса по различным причинам неисправности. Более эффективным средством защиты рук является применение неподвижных и подвижных ограждающих устройств. Неподвижное ограждение постоянно обеспечивает закрытие штампового пространства пресса в течение всего рабочего цикла ползуна, подвижное ограждение в виде решетки или маятника приводится в движение при опускании ползуна и отводит руки рабочего в сторону или вверх от опасной зоны.

Опасность пореза рук возникает при ручной переноске листовых материалов и заготовок острыми кромками стального листа и при наличии на нем заусенцев. Очень важно не допускать падения и разлета в стороны сложенных у рабочих мест пачек листового материала, заготовок и изделий. При падении и рассыпании их возможны порезы рабочих. Во избежание этого листовые материалы и изделия необходимо укладывать в ящики или на стойки. При этом круглые заготовки могут надеваться на стойку внутренним отверстием или опускаться внутрь полой стойки.

Большое значение в повышении безопасности штамповочных работ имеет автоматизация процесса штамповки. Применение автоматических штамповочных установок позволяет улучшить условия труда, сократить число рабочих-штамповщиков и практически ликвидировать травматизм в штамповочном производстве.

Глава тринадцатая

СБОРКА МАГНИТНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

13.1. ПОДГОТОВКА ШТАМПОВАННЫХ ЛИСТОВ К СБОРКЕ

а) Требования к сердечникам

Магнитная система электрических машин служит для проведения магнитного потока по замкнутому контуру. Те части магнитной системы, которые проводят переменный магнитный поток, собирают из тонких, изолированных друг от друга листов электротехнической стали. Это необходимо для уменьшения в сердечниках потерь на вихревые токи и перемагничивание. К таким частям магнитных систем относятся сердечники статоров синхронных и асинхронных машин и якоря машин постоянного тока. Те части магнитных систем, которые проводят постоянный магнитный поток, изготавливают из листового проката или литья, например корпуса машин постоянного тока, роторы турбогенераторов. Если части магнитопровода имеют сложную геометрическую форму и их отливка и механическая обработка сложны, то их целесообразно собирать из штампованных листов конструкционной стали толщиной 1—4 мм. К таким частям относятся полюса машин постоянного тока, синхронных машин, гидрогенераторов.

Сердечники роторов асинхронных машин также можно было бы изготавливать из конструкционной стали, так как частота перемагничивания в них мала и составляет 1—3 Гц. Однако их изготавливают из электротехнической стали.

Это делается для экономии металла. Целесообразно штамповать листы ротора из круглого отхода, который получается при штамповке листа статора, а не брать для этих целей новый металл. Если можно было бы изготавливать листы статора не штамповкой кружка, а, например, гибкой полосы на ребро, то отхода в виде круглой высечки не было бы и листы ротора было бы целесообразно штамповать из конструкционной стали. В синхронных и асинхронных машинах сердечники магнитопроводов, при наружных диаметрах более 1600 мм, собирают из сегментов. В этом случае листы ротора и полюсов можно штамповать из конструкционной стали. Выбирая материал, следует всегда помнить, что электротехническая сталь более чем в 2 раза дороже конструкционной.

Основные требования, которые предъявляются к сердечникам, набираемым из листов, следующие: минимальное смещение листов относительно друг друга, хорошая изоляция между листами (для сердечников, проводящих переменный магнитный поток), высокая плотность сердечника, высокий коэффициент заполнения сердечника сталью, надежное скрепление листов между собой, с корпусом или валом. Особенно высокие требования предъявляются к сердечникам, в которые обмотка будет укладываться механизированным способом.

Смещение листов относительно друг друга должно быть минимальным для того, чтобы не уменьшалась площадь паза. Размеры пазов в собранных сердечниках получаются меньше, чем в штампованных листах (рис. 13.1). Это объясняется сдвигами между листами вследствие зазоров между шпоночными канавками листов и шпонками оправок, неточностями штамповки и заусенцами, которые при прессовке сминаются. Поэтому различают размеры паза в штампе $b_{ш}$ и $h_{ш}$ и размеры паза в свету $b_{п}$ и $h_{п}$, получающиеся в собранных сердечниках. Разница между этими размерами составляет 0,2—0,3 мм в зависимости от диаметра листов, способа штамповки и качества сборки. При расчете магнитной цепи ширину зубца принимают равной ширине зубца в штампе, а при расчете коэффициента заполнения паза обмоткой принимают площадь паза в свету.

Сердечник должен быть плотным и монолитным. Он не должен перекашиваться при межоперационных транспортировках и при запрессовке в корпус. Сердечник не должен иметь распушение зубцов, известное под названием «веер», которое может возникать при прессовании. Распушение зубцов понижает плотность прессовки, является причиной шумов и создает опасность прорезания изоляции катушек. Для уменьшения распушения применяют ряд мер, которые рассматриваются при описании конкретной технологии.

Коэффициент заполнения сердечника сталью зависит от толщины электроизоляционного покрытия. Чем тоньше покрытие, тем выше коэффициент заполнения.

Технология сборки и скрепления сердечника зависит от конструкции машины, габаритов сердечника, толщины листов, последующих технологических операций. Наиболее технологичной с точки зрения последующих операций (укладки, пропитки, механической обработки, сборки) является сборка сердечников на оправку. Так можно собирать сердечники с наружным диаметром до 400—500 мм. Сердечники с большим диаметром при сборке на оправку получаются монолитными, поэтому их собирают, устанавливая листы непосредственно в корпус машины. В корпус машины помещают также сегменты при сборке сердечников из сегментов. В отдельных случаях сердечники из сегментов собирают с конструктивными элементами, которые придают сердечникам необходимую жесткость.

При прессовке сердечников необходимо правильно выбрать усилие прессования, так как чрезмерно большие усилия приводят к увеличению потерь, а недостаточные усилия не позволяют получить сердечник необходимой плотности.

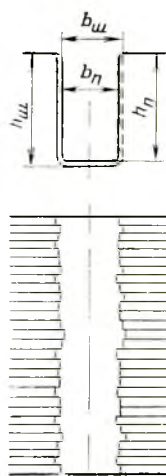


Рис. 13.1. Размеры паза в штампе и в свету.

б) Порядок операций

Наиболее перспективной и наименее трудоемкой является сборка сердечников из листов электротехнической стали, термически обработанной и имеющей электронизоляционное покрытие. В этом случае при высоком качестве штамповки на листоштамповочных установках и отсутствии заусенцев листы, подобранные по шихтовочному знаку и массе, поступают на сборку.

Такой процесс наиболее прогрессивен, требует наименьших производственных площадей, затрат и оборудования. К сожалению, сейчас невозможно обеспечить все электромашиностроительные заводы электротехнической сталью, термически обработанной и с покрытием. Поэтому при сборке появляются дополнительные операции термической обработки и изолировки листов. Рассмотрим некоторые случаи.

При сборке сердечников из горячекатаной электротехнической стали существует следующая последовательность операций: снятие заусенцев — изолировка листов — сборка. Операции снятия заусенцев и изолировка листов производятся на конвейерной линии, в начале которой монтируется гратоснимательное устройство для снятия заусенцев, затем установка для лакировки и запечки лака. Сердечники роторов асинхронных машин с обмоткой, залитой алюминием, собирают из неизолированных листов. Последовательность операций в этом случае: снятие заусенцев — сборка.

При сборке сердечников из холоднокатаной изотропной электротехнической стали необходима операция повторного отжига (термообработка), которая проводится перед изолировкой листов. Термообработка необходима для уменьшения последствий штамповки, потерь на перемагничивание и улучшения магнитных свойств. При этом последовательность операций: снятие заусенцев — термообработка — изолировка листов — сборка. В асинхронных электродвигателях серии 4А с высотой оси вращения до 250 мм включительно, а также в некоторых других электрических машинах изоляцией листов служит окисная пленка толщиной 3—5 мкм. Операции оксидирования (образование пленки) и термообработки производятся на одном оборудовании.

При штамповке листов статора и ротора для микромашин и машин малой мощности, изготавливаемых в огромных количествах, используются высокоточные прессы и твердосплавные штампы. Качество штампуемых листов столь высокое, что операция снятия заусенцев может не производиться. Порядок следования операции: термообработка — оксидирование — сборка. В производстве электрических машин операция снятия заусенцев почти не механизирована и представляет весьма большие трудности. Как правило, окупаются все затраты, направленные на то, чтобы обеспечить высоким качеством штамповки отсутствие заусенцев.

При сборке сердечников из холоднокатаной анизотропной электротехнической стали необходимы следующие операции: снятие заусенцев — термообработка — изолировка листов — сборка.

Изолировка листов осуществляется нанесением лаковой пленки на листы. Листы сердечников, собранных из холоднокатаной анизотропной стали для машин общепромышленного исполнения, лакируются один раз. Листы для сердечников машин, работающих в тяжелых условиях, лакируются 2—3 раза, а листы для сердечников турбо- и гидрогенераторов до 5 раз. Толщина лаковой пленки при однократной лакировке составляет 12—15 мкм.

в) Снятие заусенцев и лакировка листов

Установка для снятия заусенцев и лакировки листов показана на рис. 13.2. Листы устанавливаются на подъемный стол 1 и электромагнитным подающим устройством 2 подаются на конвейер 3. Подающее устройство должно быть переналаживаемым для того, чтобы обеспечить равномерную раскладку на конвейер листов различных геометрических размеров. Приемное устройство 14 должно обеспечивать прием листов. При отсутствии подающих и приемных устройств раскладка листов и их сьем производятся вручную. Подающие валки 4 подхватывают листы с конвейера и подают их в гратоснимательное устройство, которое состоит из нажимных 5 и абразивных 6 валиков. Листы должны подаваться заусенцем вниз. Абразивные круги снимают заусенец, а металлическая и абразивная пыль удаляется вентиляцией. Усилия нажатия валков 5 регулируются специальным устройством. При недостаточном поджатии не обеспечивается снятия заусенца по всему периметру листа, а чрезмерное поджатие вызывает деформацию листа, искривление зубцов. Через транспортер 7 лист попадает в лакирующие валки 8. Валки 8 изготавливают из резины, войлока или другого аналогичного материала. На верхний валок вдоль всей длины подается тонкими регулируемыми струйками лак, который смачивает оба валка и проходящие между ними листы. Регулировка должна обеспечить равномерное покрытие листов лаком. На листах не должно быть непокрытых мест или наплывов лака, особенно у кромки. Стекающий с нижнего валка лак собирается в бак. Сушка листов происходит в сушильной печи 9, имеющей три температурные зоны сушки. В печи происходит выгорание растворителя лака и образование твердой лаковой пленки. Температура по зонам устанавливается при отработке технологического процесса. В табл. 13.1 приведены значения температуры в печи по зонам и скорости горячего конвейера.

Широкий диапазон температур и скоростей движения конвейера при лакировке на разных заводах объясняется конструктивным различием лакируемых листов и различной толщиной изоляционного покрытия. Необходимая температура по зонам обеспечивается горелками, расположенными в зоне горячего конвейера. Горелки работают на природном газе или жидком топливе (солярка, мазут). Над горячим конвейером обязательна вытяжная вентиляция.

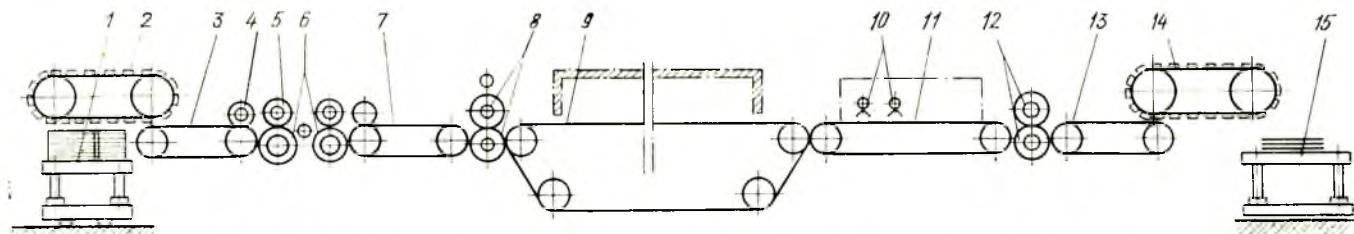


Рис. 13.2. Схема установки для снятия заусенцев и изолировки листов стали.

Таблица 13.1

Предприятие	Температура зон печи, С			Скорость конвейера, м/мин
	I	II	III	
«Электросила»	до 800	до 600	до 120	18—24
Уралэлектротяжмаш	500—540	570—700	380—280	15—20
Электротяжмаш	535	525	515	8—12
Завод им. Владимира Ильича	450—600	350—400	—	12
Сибэлектротяжмаш	400—450	620—650	360—400	15—20

Сушильная печь должна обеспечить равномерную сушку листа. Лист не должен иметь подгаров лака или непросушенных мест, нарушающих покрытие. На конвейере 11 в охлаждающей камере 10 листы охлаждаются водой до температуры 30—40 °С. Лишняя вода отжимается валками 12. Приемное устройство 14 снимает листы с ленты 13 и укладывает на стол 15.

При многократной лакировке нажимные валки поднимаются и листы свободно проходят через узел снятия грата, либо используются другие установки, не имеющие таких устройств. При наличии на поверхности листов жирных пятен или грязи ее очищают — смывают или обжигают, пропуская листы через печь установки без подачи лака. При лакировке используют лаки огневой сушки, регулярно контролируется вязкость лака и сухой остаток, которые должны соответствовать заводскому стандарту.

В некоторых электрических машинах изоляцию листов производят бакелитовым лаком марки ЛБСІ. Сушка лака производится в терморadiационных печах при температуре на детали 160—180 °С. Время сушки 2—3 мин. Лакировальные установки при изоляции листов лаком марки ЛБСІ отличаются от установки изображенной на рис. 13.1, скоростью движения конвейера и конструкцией печи.

Качество листов проверяется выборочно визуальным осмотром, а отсутствие отлипа — на ощупь. При лакировке сегментов для турбо- и гидрогенераторов, а также при изменении режима работы установки производят измерение сопротивления изоляции. Для этого 20 сегментов помещают между медными электродами (ширина электрода 40, длина 250 мм) и создают давление $6 \cdot 10^5$ Па. На электроды подают напряжение 18 В и устанавливают ток не более 0,1 А. Минимальное сопротивление должно составлять для турбогенераторов 80 Ом, для гидрогенераторов 55 Ом, для статоров и якорей 40 Ом.

г) Термообработка и оксидирование листов

Эффективность использования холоднокатаной нелегированной электротехнической стали зависит от правильного выбора режимов оборудования для ведения процесса термообработки листов. Температура и время выдержки, атмосфера, скорости нагрева и охлаждения в процессе термообработки должны обеспечить обезуглероживание и удаление вредных примесей, рекристаллизацию, образование окисных пленок. При этом необходимо сохранить геометрические размеры листов.

Термообработка объединяет три операции: обжиг для очистки поверхности от загрязнений; отжиг для улучшения магнитных свойств и уменьшения потерь; оксидацию — создание электроизоляционной пленки. На термообработку листы поступают на стойках или связанными в пачки.

Разработан типовой технологический процесс для термообработки стали марки 2013. В качестве унифицированного оборудо-

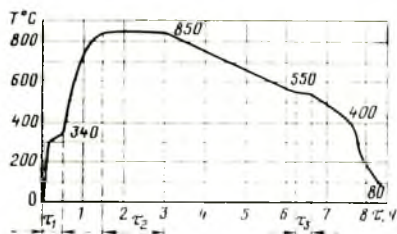


Рис. 13.3. Циклограмма термообработки листов статора.

τ_1 — время обжига; τ_2 — время отжига; τ_3 — время оксидирования.

вания используется специальная рольганговая проходная печь с защитной атмосферой типа 1СРЗ-14.140.7/9Х-300 (разработанная ВНИИЭТО) в комплексе с двумя газоприготовительными установками типа ЭК-125-ОМО2.

Режим термообработки согласно типовому технологическому процессу приведен в табл. 13.2, а график — на рис. 13.3.

Листы ротора рекристаллизационному отжигу не подвергаются. Типовая технология на ряде заводов уточняется в зависимости от конфигурации листов и требований к стали. Типовая технология может использоваться для термообработки сталей других марок.

Таблица 13.2

Наименование операций	Листы статора	Листы ротора
Обжиг:		
температура, °C	320 ± 20	320 ± 20
время, мин	15—30	15—30
Отжиг:		
температура, °C	850 ± 20	—
время, мин	90—120	—
Охлаждение в защитной атмосфере:		
до температуры, °C	500—550	—
скорость, °C/ч	≤ 100	—
Оксидирование:		
температура, °C	500—550	500—550
время, мин	20	20
Охлаждение в воздушной среде	До 80 °C	До 80 °C

13.2. СБОРКА СЕРДЕЧНИКОВ СТАТОРА И РОТОРА НА ОПРАВКУ

На оправку собираются сердечники статора, имеющие наружный диаметр до 400—500 мм, и ротора, имеющие короткозамкнутую алюминиевую обмотку. Размер сердечника может определяться числом листов, массой или длиной. В практике чаще всего сердечники собирают, исходя из массы, при этом должна быть выдержана длина. Перед шихтовкой отвешивают листы предписанной чертежом массы и подбирают их по шихтовочному знаку. Все листы в сердечнике должны быть ориентированы по пазам, т. е. сохранять то положение, какое было при штамповке. Если штамповка производится на автоматических линиях, листы ста-

тора и ротора снимаются с прессы в ориентированном виде. При использовании стали, не требующей термообработки и имеющей покрытие, ориентированные листы после взвешивания набирают на оправку. Если листы после штамповки термообрабатывают, лакируют (или оксидируют), то ориентировка теряется, ее необходимо произвести снова.

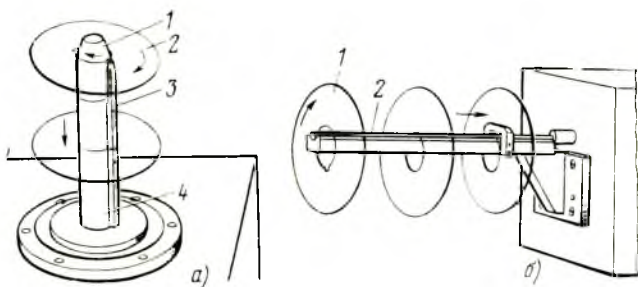


Рис. 13.4. Приспособление для ориентирования листов ротора при шихтовке по шпоночной канавке.

а — с вертикальной осью вращения; *б* — с горизонтальной осью вращения.

Ориентирование производится на несложных приспособлениях. Приспособление с вертикальной головкой (рис. 13.4, *а*) для шихтовки листов ротора имеет вращающуюся головку 1, на которую набрасывают листы 2. Вращаясь с головкой, листы попадают шпоночным пазом на неподвижную шпонку 3 и опускаются на неподвижную оправку 4.

При большой номенклатуре листов ротора используют приспособление с горизонтальной головкой (рис. 13.3, *б*). Валик 2 вращается и вращает листы 1 до тех пор, пока шпоночный паз листа не попадает на валик. Попав на валик шпоночным пазом, лист останавливается.

Ориентирование листов статора осуществляют на аналогичных приспособлениях (рис. 13.5, *а, б*). Вращающиеся части приспособлений 1 поворачивают лист 2 до тех пор, пока он наружным выступом 3 не дойдет до упора 4.

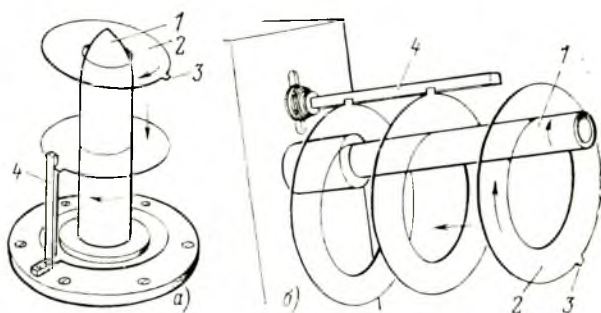


Рис. 13.5. Приспособление для ориентирования листов статора по шихтовочному знаку.

а — с вертикальной осью вращения; *б* — с горизонтальной осью вращения.

После ориентирования производят взвешивание листов сердечника на весах практически любого типа. Точность взвешивания должна быть не меньше массы одного листа. При взвешивании сохраняют ориентировку листов. Взвешенные листы статора и ротора для сборки в сердечник надевают на оправку. Базой при сборке сердечников служит внутренний диаметр [4]. Надевание листов производят по посадке Н8/г9, которая обеспечива-

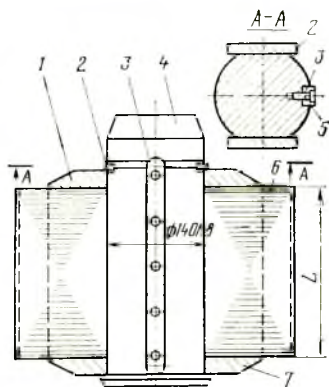
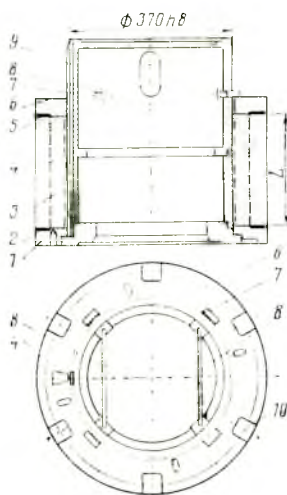


Рис. 13.6. Оправка ротора с набранным сердечником.

Рис. 13.7. Оправка статора с набранным сердечником.



ется размерами оправки. Допустимое уменьшение размеров оправки, в результате трения листов, оговаривается в чертеже на оправку в каждом конкретном случае. Диаметр оправки подлежит периодическому контролю.

На рис. 13.6 показана оправка ротора с набранным сердечником. Порядок сборки следующий. На оправку 4 надевают нижнюю нажимную шайбу 7. Затем по шпонке 3, которая крепится винтами 5, надевают листы ротора 6 и дополнительно выравнивают их, опуская в паз калибр. Сверху устанавливают верхнюю нажимную шайбу 1 и пакет прессуют на прессе. Не снимая давления прессы, в пазы оправки закладывают две шпонки 2, которые удерживают сердечник в спрессованном состоянии. В таком виде пакет поступает на участок заливки алюминием. Если сердечник ротора имеет скос пазов, то шпонка 3 устанавливается под необходимым углом. После заливки ротора оправка удаляется, а листы ротора остаются скрепленными залитым алюминием.

На рис. 13.7 показана оправка статора с набранным сердечником.

На оправку 9 надевают нижнюю нажимную шайбу 1. Затем устанавливают нажимное кольцо 2, крайние листы и набирают остальные листы 3. Крайние листы предназначены для уменьше-

ния распушения. Они должны быть более жесткие, чем серединные. Это достигается тем, что крайние листы изготавливают, сваривая 2—3 серединных листа точечной сваркой по всем зубцам и спинке. Можно также изготовить крайние листы из листовой стали толщиной 1—1,5 мм с размерами зубцов несколько меньшими, чем имеют серединные листы. Для этого необходимо иметь в производстве дополнительный штамп.

Для правильного ориентирования листов имеется шпонка 4, которая входит в один из шлицев листов. Кроме этого, листы до-

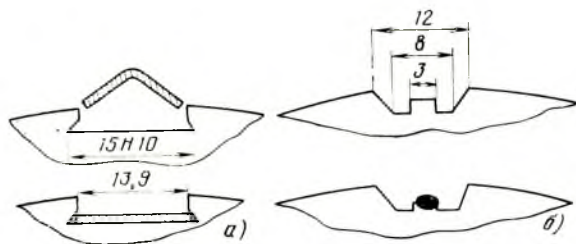


Рис. 13.8. Выштамповки в листах для крепления сердечника статора скобами (а) или сваркой (б).

полнительно ориентируют по шихтовочному знаку, который расположен на наружном диаметре листов. Плоской оправкой подбивают шихтовочный знак так, чтобы он совпадал у всех листов и был расположен возможно ровнее. Затем сверху устанавливают крайние листы, нажимное кольцо 5 и верхнюю нажимную шайбу 6. После прессовки верхняя нажимная шайба фиксируется клиньями 7, которые стопорятся скобами 8. В таком виде сердечник поступает на крепление скобами или сваркой. При креплении скобами нажимные шайбы имеют пазы 10 для установки скоб. Усилие прессовки оказывает большое влияние на потери от вихревых токов. На большинстве заводов производится прессовка давлением 1—1,5 МПа.

Сердечник статора крепится скобами или сваркой. Для этого на наружном диаметре листов имеются специальные выштамповки. При креплении сердечника статора скобами в паз, выштампованный в виде ласточкиного хвоста, устанавливается скоба и разжимается (рис. 13.8, а). Скобы можно разжать вручную ударами молотка по ребру. В массовом и крупносерийном производстве используют специальные прессы. На прессах разжимаются одновременно две скобы, расположенные диаметрально. Скобы разжимаются роликами, которые могут свободно вращаться. Край скобы при разжатии входят в ласточкин хвост и крепляют сердечник. На торцах сердечника скобы привариваются к нажимным шайбам.

При креплении сваркой сердечник передается на сварочный пост. Сварка производится в автоматическом цикле в среде аргона неплавящимися электродами без присадочного материала.

Сварной шов на сердечнике статора получается расплавлением основного металла, имеющего специальную разделку, полученную при штамповке (рис. 13,8,б). Свариваются одновременно все швы. Сваркой может скрепляться также сердечник ротора. При этом сварка на поверхности отверстия под вал производится без специальной разделки. Для этого сердечник прессуют и, не снимая давления, производят сварку. Давление снимается после остывания шва.

При сварке сердечников происходит их деформация. Деформация сердечника имеет недопустимое значение при сварке без оправки. При сварке на оправке деформация в сильной степени зависит от зазора между поверхностью оправки и внутреннего диаметра листов. С уменьшением зазора деформация уменьшается. Скрепленные сердечники подаются на пресс, где выпрессовываются оправки. Оправки поступают на шихтовку следующих сердечников.

Другие способы скрепления сердечников, в частности склеиванием, рельефной сваркой, болтами, получили ограниченное распространение из-за большой трудоемкости и высокой стоимости в условиях массового производства.

Склеиванием крепятся сердечники, предназначенные для высокочастотных электрических машин (частотой выше 400 Гц) из электротехнической стали толщиной 0,1—0,3 мм, крайние сегменты статоров турбо- и гидрогенераторов, а также сердечники специальных электрических машин с высокими требованиями к шумам, вибрации и надежности. При склеивании пользуются клеем БФР-2 или клеевым составом на основе эпоксидной смолы ЭД-6. Листы промазывают клеем и после подсушки прессуют на оправке и запекают. После запечки оправку выпрессовывают, а сердечник зачищают от наплывов клея. Режимы прессовки и запечки выбирают в зависимости от размеров листов и используемого клея.

Область применения рельефной сварки ограничена сердечниками длиной не более 40—50 мм при ширине спинки не менее 10 мм. При рельефной сварке на каждом листе по контуру при штамповке выдавливают рельефы. Листы, собранные в пакет с зазорами 0,15—0,2 мм, касаются друг друга только в местах рельефов. Сердечник устанавливается на сварочный пресс и предварительно сжимается для обеспечения надежного контакта между листами, после чего подается импульс тока. Проходя по местам касаний рельефов, ток выделяет большое количество теплоты, расплавляющей рельефы. Усилие прессовки обеспечивает плотное сжатие сердечника при сварке. Сваривать можно листы с лаковым покрытием, с оксидной пленкой и листы без покрытия.

К сердечникам статора, предназначенным для механизированной укладки обмотки, предъявляется ряд дополнительных требований: контуры сварных швов или скоб не должны выходить за наружный диаметр; уменьшение пазов в сердечнике относительно

размеров в листе не более 0,2 мм; перекося или искривление оси паза не более 0,2 мм; увеличение длины сердечника между швами со стороны наружного диаметра не более 1 мм, а со стороны внутреннего не более 2 мм.

13.3. МЕХАНИЗАЦИЯ СБОРКИ СЕРДЕЧНИКОВ СТАТОРОВ И РОТОРОВ

Для механизации и автоматизации процессов сборки сердечников магнитопроводов электродвигателей массового производства ВНИИТЭлектромаш был создан размерный ряд полуавтоматов и автоматов, осуществляющих сборку сердечников, скрепление их сваркой или скобами, калибрование шлицев пазов.

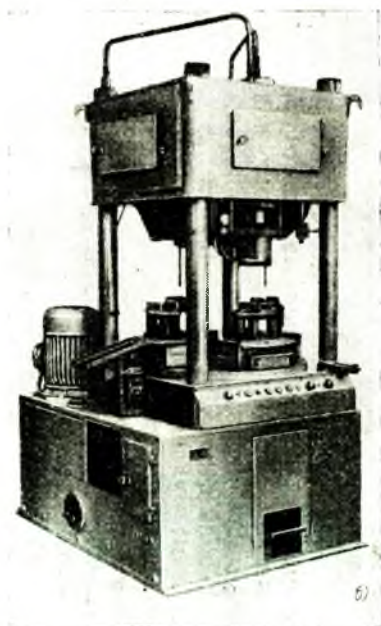
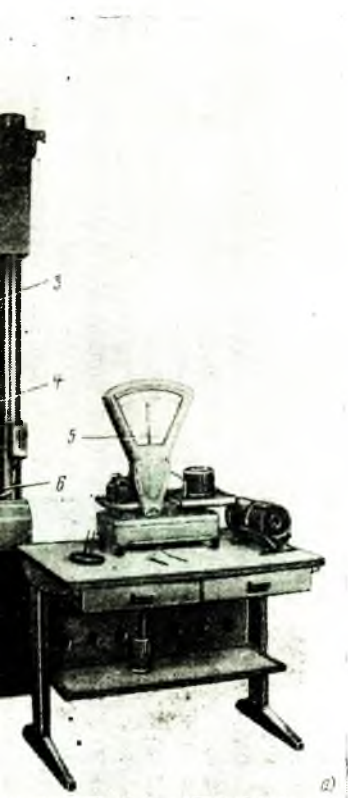
Штамповка листов из рулонной электротехнической стали на пресс-автоматах повысила производительность труда непосредственно на штамповке и благодаря использованию специальных штапелирующих устройств сократила затраты времени на дополнительное ориентирование листов перед сборкой. Операция снятия заусенцев отсутствует. Штамповка должна производиться так, чтобы заусенцы не превышали допустимых значений.

Типовым технологическим процессом предусматривается последующая перегрузка листов из штапелирующих устройств на поддоны, транспортирование последних в печах при термообработке и передача их на участок сборки без нарушения взаимного ориентирования листов.

На рис. 13.9, а показан полуавтоматический станок типа 2ПС-2 для сборки и сварки сердечников статоров.

Станок имеет поворотный стол 6, на котором располагаются четыре сборочные оправки. При сборке сердечника оператор перегружает пакет листов, предварительно дозированных по массе на весах 5, на сборочную оправку станка 4. Точность размеров и формы отверстия сердечника и взаимное расположение листов по пазам достигается благодаря использованию сборочной оправки с тремя шпонками при минимальных зазорах в сопряжениях базовых поверхностей.

Для облегчения перегрузки листов применяют оправки различной конструкции. Так как усилие перемещения листов относительно друг друга при разжиме оправки растет пропорционально квадрату числа листов в пакете, то для сердечников длиной 60—130 мм применяют цанговые оправки, а для сердечников длиной 100—160 мм — кулачковые. Сборочные оправки имеют одну неподвижную шпонку, обеспечивающую прямолинейность оси шлица паза под обмотку и ее параллельность оси сердечника, и две плавающие шпонки, позволяющие достаточно точно ориентировать листы по пазам без деформации кромок пазов в случае неточного взаимного расположения последних по окружности. При соответствующем качестве штамповки и термообработки листов такая технология гарантирует точность изготовления сердечника.



Р и с. 13.9. Полуавтоматические
станки для сборки и сварки сердеч-
ников:

а — статоров; *б* — роторов.

После перегрузки листов на оправку для смятия заусенцев и микронеровностей контактирующих поверхностей листов производится прессовка сердечника давлением 8,0 МПа. Затем при давлении 1,5—1,8 МПа по стрелочному прибору 3 оператор контролирует длину сердечника и корректирует ее снятием или добавлением листов. Скрепление сердечников статоров производится сваркой на позиции 2 стола 6. После сварки стол поворачивается, и готовый сердечник снимается с предварительно сжатой оправки и подается на отводящий лоток 1.

Для скрепления листов сердечников статоров скобами разработаны полуавтоматы типа СМ-19 (производительность 100—120 сердечников в час) и СМ-20, для скрепления сваркой — полуавтоматы типов СМ-22, П2С-2, П2С-1 (производительность 80—90 сердечников в час).

Так как при механизированной укладке обмотки строго регламентируется ширина шлицев пазов под обмотку, то для контроля точности размеров и взаимного расположения шлицев предусмотрено использование комплексного калибра. При небольших отклонениях (0,1 мм) ширины шлица от заданного значения его калибруют роликовым дорном (количество роликов соответствует числу пазов). Для этой операции предназначен полуавтомат типа ПК-1, который выполняет в собранном сердечнике до пяти циклов двустороннего калибрования шлицев пазов под обмотку. При более значительных отклонениях ширины шлица в собранном сердечнике, отгибания зубцов крайних листов и в тех случаях, когда ширина шлица в отдельном листе меньше, чем в собранном пакете (т. е. брак), калибрование не гарантирует получения сердечников требуемого качества.

По такому же принципу работают полуавтоматы типов СМ-16 (рис. 13.9, б) и СМ-34 для сборки и скрепления сердечников роторов. Скрепление сердечника ротора сваркой производят в следующем порядке: сердечник прессуют и, не снимая давления пресса, удаляют оправку, на поверхности внутреннего отверстия без разделки кромок неплавящимися электродами проваривают три шва [25].

13.4. СБОРКА И КРЕПЛЕНИЕ СЕРДЕЧНИКОВ СТАТОРА В КОРПУС И СЕРДЕЧНИКОВ ЯКОРЯ (РОТОРА) НА ВАЛ

Листы статора с наружным диаметром 500 мм и выше собирать на оправке, скреплять и запрессовывать в корпус после укладки и пропитки обмотки нецелесообразно. Сердечник получается недостаточно жестким, перекашивается при транспортировке, оправки для сборки получаются тяжелыми и требуют больших затрат при изготовлении и т. д. Кантовать большой сердечник неудобно и его можно повредить. Особенно сильно это проявляется на сердечниках многополюсных машин, у которых спинка статора тонкая. Поэтому сердечники большого диаметра собирают непосредственно в корпус электрической машины.

Внутренний диаметр корпуса под сердечник обрабатывают до окончательного размера. Сердечник фиксируют по длине нажимными шайбами и запорными шпонками, которые устанавливают в специально проточенные для этого канавки.

Сборку и крепление сердечника производят в следующем порядке. Корпус 1 (рис. 13.10) устанавливают вертикально. В нижнюю канавку помещают шпонки 2. Число шпонок определяется

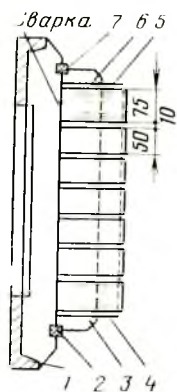


Рис. 13.10.
Сердечник статора, шихтованный в корпус.

конструкцией, но их должно быть не менее четырех. На шпонки опускают нажимное кольцо 3. Нажимное кольцо отливают из чугуна или гнут из стальной полосы, сваривают в месте стыка и обрабатывают согласно чертежу. На нажимное кольцо опускают крайний лист 4. Крайний лист изготавливают из срединного листа, к которому приварены или приклепаны стальные распорки специальной формы, которые называют нажимными пальцами. На рис. 13.11, а показаны различные сечения нажимных пальцев, а на рис. 13.11, б их расположение на листе. Число нажимных пальцев равно числу зубцов. Пальцы располагаются по всей высоте спинки и зубца. Они препятствуют распушению листов. Кроме того, нажимные шайбы через нажимные пальцы передают усилия сжатия на сердечник. Часто нажимные пальцы приваривают к специальному крайнему листу, отштампованному из конструкционной стали толщиной 1—2 мм. При этом ширина и высота зубца на крайнем листе во избежание перекрытия паза

несколько меньше, чем у основного листа (рис. 13.11, в). На крайний лист укладываются остальные листы сердечника, которые были предварительно подобраны по шихтовочному знаку и взвешены.

При радиальной вентиляции машины сердечник делят по длине на отдельные пакеты, между которыми образуются вентиляционные каналы. Ширина пакета обычно не превышает 50—60 мм, а ширина вентиляционных каналов обычно 10 мм. Крайние торцевые пакеты, находящиеся в лучших условиях охлаждения, могут выполняться более широкими (см. рис. 13.10). Для образования вентиляционных каналов через 50—60 мм устанавливают лист с дистанционными распорками. В некоторых конструкциях крайние листы и листы для образования вентиляционных каналов не отличаются или имеют весьма незначительные отличия.

Для правильной ориентации листов в 3—4 паза на равном расстоянии друг от друга вставляют пазовые клинья. Пазовый клин в поперечном сечении выполняют по форме и размерам паза в свету. Высоту клина выбирают несколько большей, чем высота сердечника. С обоих концов клина для удобства надевания листов делают пологий заходный конус. Клинья удаляют после прессовки и скрепления сердечника.

Набирая весь сердечник, сверху устанавливают крайний лист 5 и верхнее нажимное кольцо 6. Затем производят прессование сердечника на гидравлическом прессе. Усилие прессования для различных сердечников определяют, умножив принятое давление на площадь листа. Обычно эти расчеты делают заранее, и около пресса имеется таблица усилий для различных сердечников. Усилие прессования от пресса через оправку передается на верхнее

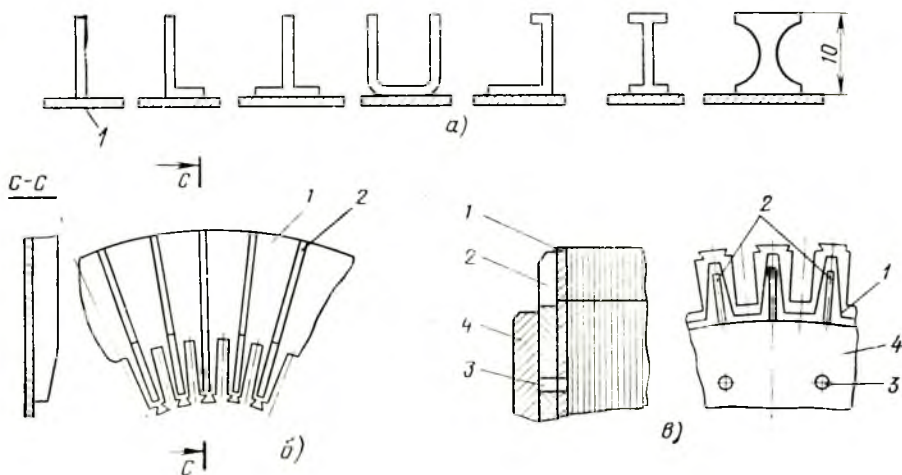


Рис. 13.11. Виды сечений дистанционных распорок (а), их расположение на листе (б) и в собранном сердечнике (в):

1 — крайний лист; 2 — нажимной палец; 3 — заклепка; 4 — нажимное кольцо.

нажимное кольцо. После того как кольцо опустится вниз и откроет канавку, в нее укладывают шпонки 7 для удержания сердечника в спрессованном состоянии. Затем давление пресса снимают. Для того чтобы во время работы шпонки не выпали, каждую шпонку прихватывают к корпусу ручной электросваркой. Для предохранения сердечника от проворачивания в одном месте листы приваривают к корпусу в осевом направлении или устанавливают полукруглые или плоские шпонки.

При сборке в корпус за базу принимают наружную поверхность листа. При этом внутренняя поверхность сердечника получается неровной — гребенчатой. При такой сборке внутренний диаметр сердечника необходимо дополнительно обработать на станке, чтобы снять гребешки и обеспечить соосность внутреннего диаметра сердечника и замков корпуса. Для того чтобы при обработке отдельные зубцы не сместились, в каждый паз забивают навстречу друг другу два специальных клина, которые удерживают зубцы на месте. После механической обработки клинья выбивают. Забивка и выбивка клиньев — ручная, трудоемкая операция.

Последней операцией сборки сердечника является опилование пазов. Паза опиляют для ликвидации всех неровностей, которые могли появиться при сборке, прессовке, механической обработке. Опиливание является ручной операцией. Ее проводят специальными напильниками, которые имеют форму паза и размеры несколько меньшие, чем размеры паза. По длине напильники должны быть либо на 150—200 мм длиннее сердечника и иметь с

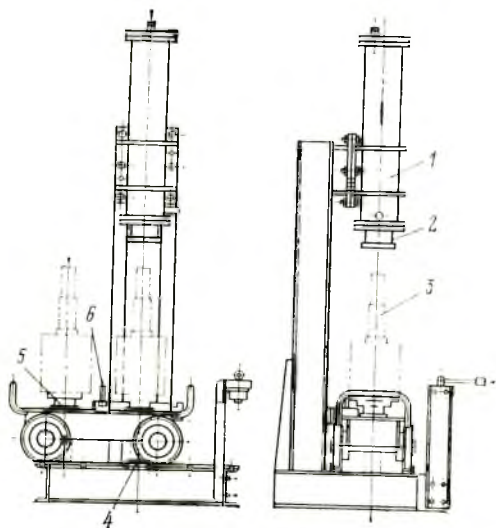


Рис. 13.12. Пневматический пресс для сборки сердечников якоря (ротора) на вал.

обеих сторон ручки, если опиловку будут производить двое рабочих, располагаясь с обеих сторон сердечника, либо иметь длину, равную примерно 0,7 длины сердечника, если опиловку будет производить один рабочий. Напильник вводят последовательно в каждый паз сердечника и опиляют неровности. Так же опиляют неровности шлица паза другим специальным напильником. Качество опиливания определяют, заводя в каждый паз проходной калибр и визуально осматривая паз. При осмотре производят подсветку паза переносной лампой, располагая ее с другой сто-

роны сердечника. После опиливания и контроля сердечник в вытяжной камере продувают сжатым воздухом от пыли и стружки и отправляют на укладку обмоток.

Сердечники якорей машин постоянного тока и фазных роторов асинхронных машин собирают непосредственно на вал. Для сборки применяют специальные пневматические прессы (рис. 13.12). Пневматический цилиндр 1 имеет полый шток 2. По основанию пресса передвигается тележка, на рабочей части которой имеются два отверстия, в которые вставляют сменные оправки 5. Ход тележки ограничивается двусторонним упором 4 и фиксатором 6 в положениях, при которых ось оправки правой или левой части тележки совпадает с осью цилиндра. Расстояние между торцом сменного наконечника штока 2 и оправкой 5, ход поршня, усилие пресса принимаются в конструкции пресса в зависимости от размеров сердечников, собираемых на прессе.

Сборка сердечника производится в следующем порядке. Вал 3 вставляют в оправку 5 так, чтобы он опирался на ее буртик, и надевают нажимную шайбу. Если нажимная шайба должна находиться на валу с натягом, то ее напрессовывают на гидравличе-

ском прессе, так как усилия пневматического пресса недостаточно. Затем в шпоночный паз вала устанавливают шпонку, и тележку с валом перемещают в рабочее положение — под пневматический пресс. Из предварительно взвешенных и подобранных по шпонке и шихтовочному знаку листов берут пачку из 50—60 шт. и надевают на вал. Затем включают пресс и производят осаживание листов до нажимной шайбы. Таким образом насаживают остальные листы сердечника. После того как высота собираемого сердечника на валу будет равна 30—40 мм, в 3—4 паза установ-

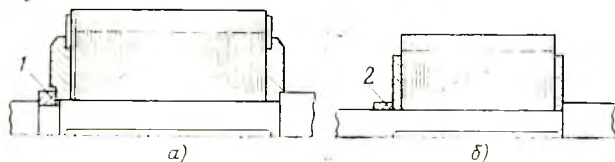


Рис. 13.13. Крепление сердечника ротора на валу.

а — цилиндрической шпонкой; б — втулкой на посадке с натягом.

ливают пазовые клинья, так же как при сборке сердечника статора. Последующие листы при сборке базируют не только по внутреннему диаметру, но и по пазам.

При наличии на роторе радиальных вентиляционных каналов сердечник делят на пакеты и между пакетами устанавливают листы с дистанционными пальцами, как и у сердечника статора. Вентиляционные каналы в сердечнике статора и ротора должны совпадать по осевому направлению. После сборки всех листов сердечника надевают верхнюю нажимную шайбу и прессуют сердечник. Затем необходимо произвести крепление сердечника от перемещения в осевом направлении. При креплении двумя полукруглыми шпонками (рис. 13.13, а) сердечник прессуют и, когда нажимная шайба опустится ниже выточки на валу, в выточку устанавливают две полукруглые шпонки 1. После того как давление будет снято, их приваривают к валу. При креплении втулкой (рис. 13.13, б), которая держится на валу посадкой с натягом, сердечник прессуют, затем надевают на вал предварительно нагретую втулку 2. Давление не снимают до тех пор, пока втулка не остынет.

Следующая операция — обработка пазов. Пазы можно опиливать так же, как опиливают пазы статора, или протягивать протяжками. Для протягивания вал с сердечником устанавливают у протяжного станка на две стойки, каждая из которых имеет два ролика, в которых легко может вращаться вал. Сердечник торцом упирают в приспособление, которое воспринимает усилия резания и позволяет поворачивать сердечник для обработки каждого паза, совмещая при этом ось паза и ось ползуна протяжного станка.

Протяжка представляет собой сложный и дорогостоящий инструмент (рис. 13.14). Зубья протяжки делятся на режущие и

The technical drawing consists of two main parts:

- Side View (Top):** A cylindrical component with a central longitudinal hole. The total length is dimensioned as 165. A specific segment length is given as 120. The diameter of the outer cylinder is 1.25. The inner hole has a diameter of 1.5445. A hatched section at the right end is labeled H_1 . There are also smaller dimension lines indicating 1.25 and 1.5.
- Cross-sectional View (Bottom):** A detailed view of the internal structure, showing a series of 14 numbered segments (1 through 14). The overall width of this section is 1.25. The individual segments have varying widths, with some labeled as 1.25. The central hole's profile is shown passing through these segments.

точки первый калибрующий зуб становится последним режущим. Размеры первого зуба определяют, исходя из наименьшего возможного размера паза, полученного при сборке. На зубьях, кроме трех последних, делают канавки для дробления стружки. После протяжки пазов валы с сердечниками продувают в вытяжных камерах сжатым воздухом и отправляют на укладку обмотки.

а) Сборка и крепление сердечника статора на шпильках

Крепление на шпильках в основном используется в крупных асинхронных и синхронных машинах, имеющих неразборный корпус (т. е. транспортируемых к потребителю в собранном виде). Крепление на клиньях применяется в турбо- и гидрогенераторах.

198

осуществляют при вертикальном положении корпуса. Сначала устанавливают нажимное кольцо 1, которое крепят болтами 3. При таком креплении нажимного кольца станина называется открытой, если нажимное кольцо приварено к станине, то ее называют глухой. На нажимное кольцо укладывают сегменты с нажимными пальцами и несколько крайних листов для предотвращения распушения зубцов. Крайний лист имеет меньшую ширину и высоту зубца. Его штампуют специальным штампом. Для создания большей плотности крайних пакетов сегменты в зубцовой зоне промазываются клеящим лаком. Затем собирают сегменты первого пакета. Сегмент, слегка согнув, надевают на стержень в любом месте. Таким образом, нет необходимости прогонять сегмент по всей длине стержня.

Сегменты можно укладывать слоевым или винтовым способом. При слоевом способе в слое находится целое число сегментов и каждый слой перекрывает предыдущий на $1/2$ или $1/3$ сегмента. Для правильной стыковки сегментов в каждом слое сегменты штампуют с размером по дуге на $0,2—0,5$ мм меньше расчетного. При винтовом способе при обходе окружности последний сегмент не замыкает окружность, а перекрывает первый сегмент, и укладка производится как бы по винтовой линии. Для обеспечения размеров пазов по ширине и их прямолинейности в пазы устанавливают сборочные калибры (рис. 13.16) из расчета: два калибра на каждый сегмент одного слоя. Между пакетами для создания вентиляционных каналов помещают сегменты с дистанционными распорками и удерживающими планками 5 (см. рис. 13.15).

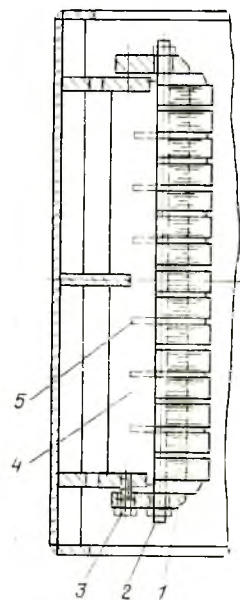


Рис. 13.15. Сборка и крепление сердечника стяжными шпильками в открытой станине.

Для проверки размеров сердечников периодически измеряют их высоту в зубцовой зоне и спинке. Перед измерением сердечник сжимают гидравлическими трубами. Для обеспечения одинаковых сжимающих усилий контролируется давление в гидросистеме труб. Выравнивание высоты сердечника осуществляют снятием лишних сегментов или добавлением сегментов с подмазанной лаком зубцовой зоной. Необходимая плотность сердечника обеспечивается периодическими прессовками.

На рис. 13.17 показана схема прессовки сердечника. Статор 1 с сердечником под первую прессовку устанавливается нажимным кольцом 7 на тумбы 9, на которых уложено нижнее прессовочное кольцо 8. На сердечник опускается верхнее прессовочное кольцо 6 и промежуточные кольца 4 и 5. Усилие зонтичного пресса пере-

дается на сердечник через колонку 2 и хомут 3. Давление прессовки составляет 1,7—2,0 МПа. Дальнейшее повышение давления практически мало осаждает сердечник, но может привести к повреждению лаковой пленки около дистанционных распорок, где местное давление достигает 10—12 МПа. Первая прессовка производится после сборки сердечника толщиной 540—610 мм, а последующие через каждые 390—460 мм. После окончательной

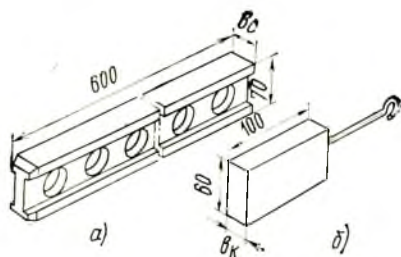


Рис. 13.16. Сборочный (а) и контрольный (б) калибры для сердечников статоров, $b_k = b_c - 0,1$.

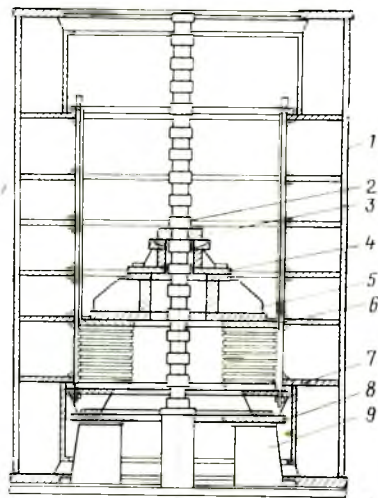


Рис. 13.17. Схема прессовки сердечника статора крупной электрической машины.

прессовки, не снимая давления, затягивают гайки (см. рис. 13.15) на концах шпилек 2. Повышение плотности прессовки может быть достигнуто нагреванием сердечника до температуры 60—80°С перед последней прессовкой, а также выдержкой сердечника под давлением последней прессовки до 10—12 ч [9].

Плотность прессовки сердечников оказывает существенное влияние на работу машины. При слабой прессовке имеет место низкий коэффициент заполнения сердечника сталью, могут возникать вибрации, вызывающие шум и нарушающие целостность изоляции. При чрезмерно сильной прессовке может нарушиться изоляционное покрытие листов. О качестве прессовки судят по плотности сердечника. Проверку производят специальным ножом, который вдвигают между листами. После сборки сердечник тщательно осматривают и зачищают отдельные пазы. Использование холоднокатаных изотропных сталей исключает рихтовку и опиловку пазов во избежание их замыкания. После сборки проверяют удельные потери в сердечнике, его нагрев, а также местный нагрев отдельных точек. Для этого на статор наматывают несколько витков провода и создают в спинке сердечника при частоте 50 Гц необходимый магнитный поток.

б) Сборка и крепление сердечника статора на клиньях ласточкин хвост

Крепление сердечников на клиньях ласточкин хвост производят в турбо- и гидрогенераторах и некоторых крупных машинах. Сегменты имеют по наружному контуру выштамповки в виде ласточкиного хвоста, которыми и надеваются на клинья. Выштамповок «ласточкин хвост» на каждом сегменте должно быть не менее двух. Конструкция клиньев в большинстве машин принципиально одинаковая.

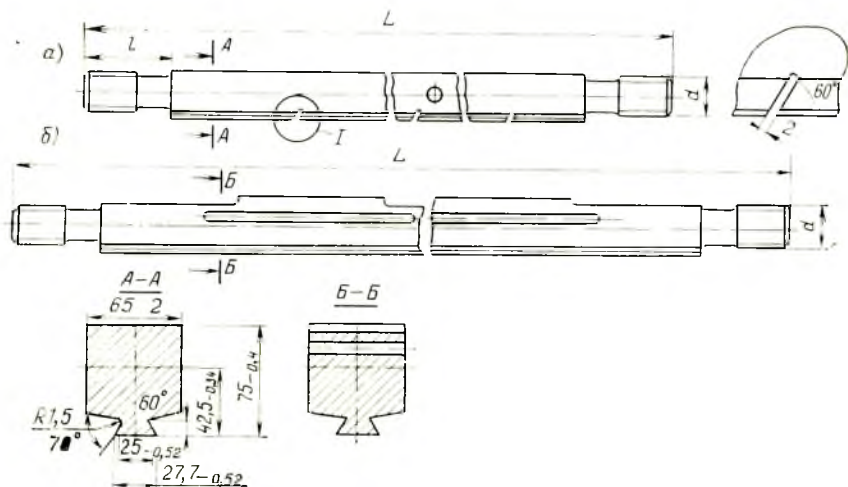


Рис. 13.18. Клинья статоров турбогенераторов.

На рис. 13.18, а показан клин турбогенератора типа ГВФ мощностью до 100 МВт, а на рис. 13.18 б — турбогенераторов серии ТВФ и ТВВ мощностью 150 МВт и выше. На концах клин имеет резьбовую часть для стяжки сердечника после прессовки. Через 500—600 мм на клине делают прорезы шириной 2 мм под углом 60°. При сборке сегменты заводят в прорезы, поворачивают перпендикулярно оси корпуса и опускают. Клинья для гидрогенераторов не имеют резьбовой части на концах. Для стяжки сердечников в гидрогенераторах устанавливают специальные стяжные шпильки. Клинья изготавливают из стального проката квадратного сечения. При обработке прокат подвергают правке, строганию, фрезерованию, точению и т. п. Для изготовления клиньев на заводах имеется специальное оборудование. После правки кривизна клина допускается не более 0,2:1000 мм. Расстановка клиньев в корпусе машины и приварка их — наиболее ответственная операция.

Рассмотрим сборку сердечника на примере гидрогенератора. Сборку производят на сборочных полях, изготовленных из чугуна.

ных обработанных плит и имеющих размеры, позволяющие установить собранный корпус статора. На поле вычерчивают круг диаметром, равным наружному диаметру корпуса. Затем мостовым краном расставляют сектора корпуса в соответствии с той маркировкой, которая была сделана при сварке. Между стыковыми плитами помещают прокладки толщиной 0,5—1 мм, устанавливают в отверстия штифты для точной ориентировки секторов и стягивают стыковочные плиты болтами. На монтаже сборки секторов будут вести без прокладок, что позволит более плот-

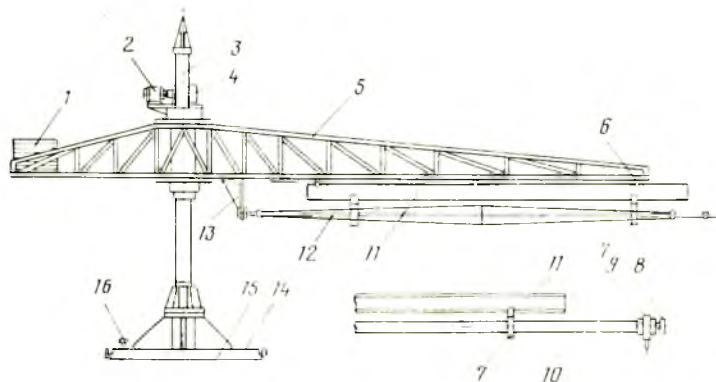


Рис. 13.19. Механизированная колонка.

но стянуть стыки. После сборки в центр корпуса устанавливают механизированную колонку. Центр определяют, натягивая между противоположными стыками струны и опуская из центра пересечения струн отвес.

Колонка (рис. 13.19) имеет массивное основание 14, на котором укреплена цилиндрическая стойка 3 диаметром 190 мм. Отклонение стойки от вертикального положения не должно быть больше 0,2 мм на 1 м. Отклонение проверяется рамным уровнем. Регулировочные болты 16, упирающиеся в нижнюю плиту 15, позволяют производить регулировку. К стойке крепится ферма 5, имеющая вылет 4 м. Электродвигатель 2 и редуктор 4 обеспечивают вращение фермы вокруг стойки и перемещение по стойке вверх и вниз. В нижней части фермы подвешен дистанционный упор 13, а вдоль фермы на зажимах 6 укреплена балка 11. Упор и балку можно перемещать вдоль фермы, что позволяет работать в корпусах диаметром от 8 до 19,5 м. К балке 11 хомутами 7 крепят сигарообразный штихмас 12. Противовес 1 уравнивает колонку. На конце штихмаса устанавливается микрометр.

Колонка разработана на ЛПЭО «Электросила» и предназначена для проведения многих работ. Первая операция после установки колонки — обрезка полок до нужного размера. Поскольку корпуса крупных гидрогенераторов не подвергаются механиче-

ской обработке, полки приваривают с припуском, который удаляют перед расстановкой (разгонкой) клиньев. На балке 11 подвешивают трубу 10, на конце которой укрепляют зажимом 8 газовый резак 9. Вращая стойку 3, резаком осуществляют круговой рез всех полков. После обрезки полков начинают установку клиньев.

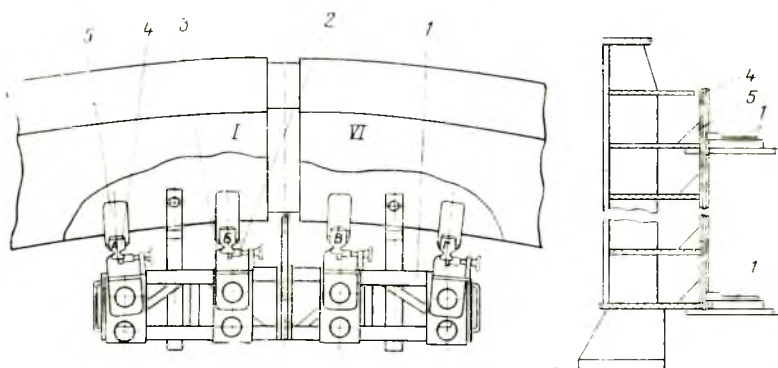


Рис. 13.20. Эскиз положения шаблона при разгонке базовых клиньев.

Расстановку клиньев производят с помощью шаблонов. Первыми устанавливают базовые клинья А—Г (рис. 13.20). Их помещают между первыми и последними (на рисунке I и VI) секторами. Установка производится с помощью двух шаблонов 1, которые располагают сверху и внизу клиньев 4. Шаблоны имеют одну неподвижную контактную поверхность 3 и ползун 2, перемещающийся винтом. Закрепленные в шаблонах клинья 4 подводят к корпусу и устанавливают. Расстояние от центра измеряется колонкой, а вертикальное положение проверяется рамным уровнем. Допускаемое отклонение по вертикали не более 0,2 мм на 1 м, а расстояние по шагу между двумя клиньями не более $\pm 0,2$ мм. После установки клиньев косынки 5, которые были приварены к клиньям заранее, прихватывают к полкам. Затем шаблоны снимают, крепят на два уже приваренных клина (В и Г) и устанавливают два следующих клина. Таким образом обходят всю окружность по часовой стрелке и приходят к базовым клиньям [10].

При этом в результате определенной неточности последние клинья могут не стыковаться с базовыми. В этом случае шаблон устанавливают на два базовых клина и производят разгонку клиньев против часовой стрелки, подкладывая под шаблон шуп толщиной 0,1 мм. При этом клинья, ранее прихваченные, снимаются и прихватываются по уточненной разгонке. Поправку клиньев производят до тех пор, пока шаблон, имеющий шуп 0,1 мм, точно не установится на клинья. После этого разгонку клиньев заканчивают и их приваривают к полкам при помощи

косынок. При этом порядок сварки устанавливается такой, чтобы сварка не приводила к потере размера между клиньями.

После разгонки клиньев начинают сборку сердечника в каждом секторе отдельно. Сборка сердечника производится в 1/2 нахлеста. На торцах через слой устанавливают дополнительные сегменты, размер которых в 2 раза меньше основных. Этим достигается ровная поверхность стыков. Сборку производят на сбороч-

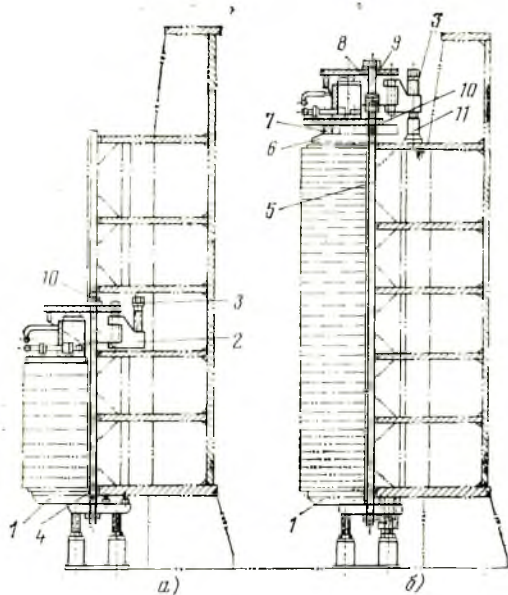


Рис. 13.21. Схема прессовки активной стали («шестерки») статора гидрогенератора переносным гидравлическим прессом:

а — предварительная прессовка; *б* — окончательная прессовка; 1, 6 — нижняя и верхняя нажимные гребенки; 2 — кронштейн; 3 — винт; 4, 5 — шпильки; 7 — прокладка; 8 — удлинитель; 9 — шайба; 10 — гайка; 11 — подставка.

ных калибрах. Прессовку сердечника выполняют переносным гидравлическим прессом (рис. 13.21). Как правило, общая высота сердечника не превышает 2000 мм.

При общей высоте сердечника до 2000 мм производят несколько предварительных прессовок и после сборки всего сердечника выполняют окончательную прессовку с выдержкой под давлением в течение 5 ч. Затем скрепляют сердечник затяжкой гаек на шпильках.

Разгонка клиньев турбогенераторов, сборка сердечника и прессовка производятся по такому же принципу, как и у гидрогенераторов.

в) Сборка и крепление сердечника статора при монтаже

Возможна другая технология сборки сердечника статора, которая была применена при монтаже гидрогенераторов Саяно-Шушенской ГЭС. По этой технологии корпус изготавливается из сегментов, не имеющих стыковочных плит. При монтаже сегмен-

ты корпуса устанавливаются на месте и свариваются между собой. Затем на валу турбины укрепляется механизированная колонка и производится обрезка полок. Сборка сегментов выполняется без стыков по всей окружности статора. Предварительные и окончательные прессы также осуществляются по всей окружности статора одновременно. Такая технология позволяет изготовить статор без стыков и более точно его сцентрировать по отношению к валу турбины. При этом можно получить более равномерный воздушный зазор. Отсутствие стыков и более равномерный воздушный зазор улучшают качество работы гидрогенератора и удлиняют межремонтные циклы. К трудностям такой технологии следует отнести определенные неудобства при производстве работ. Сборку сердечника и укладку обмоток приходится производить со специальных площадок, расположенных на большой высоте.

г) Сборка сердечников ротора (якоря)

При наружном диаметре ротора (якоря) свыше 990 мм сердечники собирают из сегментов. Сопряжение сердечника с остовом, обеспечивающим передачу вращающего момента, определяет технологию сборки. Все сегментные сердечники стягиваются шпильками. Существует несколько способов крепления сердечников к остоу, но при любом из них соблюдается правило, что число стягивающих сердечник шпилек должно быть не менее двух на сегмент и не менее одного элемента крепления каждого сегмента к остоу. Это необходимо для обеспечения прочности сердечника при воздействии на него центробежных сил.

В тихоходных машинах сегменты выполняют с выступом или пазом типа ласточкин хвост. Соответственно в ребрах остова выполняют пазы типа ласточкин хвост или крепят клинья ласточкин хвост. Крепление с остовом может осуществляться посредством прямоугольных, пригнанных шпонок, а также с помощью штифтов, вставляемых после сборки сердечника, и обработки под них отверстий.

В роторах и якорях электрических машин, работающих в тяжелых условиях, элементами крепления к остоу производят растяжку сердечника, чем гарантируют его монолитность с остовом в работе при больших частотах вращения (исключается разъединение). Радиальную растяжку выполняют различными способами.

Различают конструкции крепления и растяжки сердечника одинарными клиновыми шпонками, парными клиновыми шпонками и парными радиальными и тангенциальными шпонками. Рассмотрим сборку сердечника и его крепление к остоу круглыми штифтами. Для сборки сердечника, имеющего крепление с остовом при помощи круглых штифтов, остоу устанавливают на зонтичный пресс (рис. 13.22). Колонка прессы 4 проходит через центральное отверстие остова. Обмоткодержатель расположен на

прессовочном кольце 2, опирающемся на мерные подставки 1. В отверстия обмоткодержателя пропускают шпильки так, чтобы они выступали над торцом обмоткодержателя на 100—150 мм. Концы их опираются на винтовые домкраты 7. Допустимая кривизна шпилек не более 0,3 мм на 1 м длины. При сборке устанавливают две шпильки на сегмент, а остальные после окончания сборки. Резьбовую часть шпилек закрывают колпачками. Уложив на обмоткодержатель крайние листы и нажимные гребенки, собирают первый пакет.

После набора первый пакет обколачивают и измеряют высоту в нескольких точках.

Если в сердечниках статоров сборку выполняют, как правило, со сдвигом стыков по слоям на $1/2$ сегмента, то для сегментов ротора и якоря сборку производят с меньшим сдвигом стыков по слоям. Это необходимо для увеличения механической прочности сердечника в стыках сегментов. По окружности сердечника в одном слое укладывают целое число одинаковых сегментов (число пазов сердечника без остатка делится на число сегментов). При делении числа пазов в сегменте на 2 можно сделать шихтовку со сдвигом на $1/2$ сегмента, при делении на 3 — на $2/3$ сегмента и при делении на 4 — на $3/4$ сегмента и т. д.

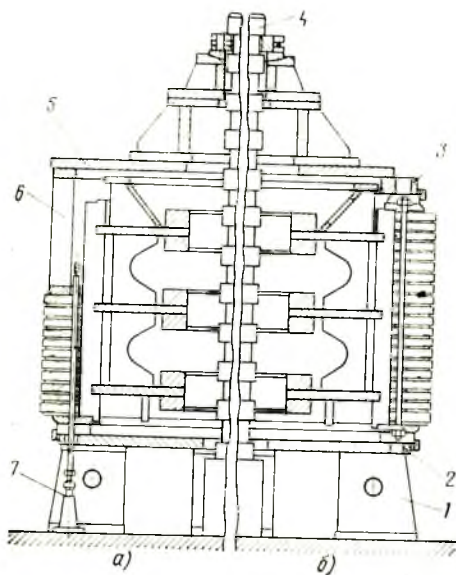


Рис. 13.22. Схема сборки и прессовки сердечника.

а — предварительная прессовка; б — окончательная прессовка.

При измерении высоты пакет сжимается струбинами с гидроприводом. Высоту пакета выравнивают добавлением или снятием сегментов. После сборки первого пакета в пазы каждого сегмента устанавливают по два калибра. Сборку остальных пакетов производят аналогично. При высоте 500—600 мм сердечник подвергают промежуточной прессовке. Для этого на листы укладывают промежуточное прессовочное кольцо 6, на которое опирается верхняя плита 5. При большой высоте сердечника между промежуточным кольцом и плитой устанавливают мерные подставки. Давление прессовки не более 1,5—1,8 МПа. После сборки последнего пакета на него укладывают крайние листы, нажимные гребенки и верхний обмоткодержатель. Затем в отверстия заводят все шпильки и заворачивают гайки. Окончательную прессовку производят прессовочным кольцом 3.

В сердечниках, собранных из сегментов, проверяют зазор между спинкой сегментов и ребрами остова. Наибольшая допустимая разность зазоров у двух любых ребер 0,6 мм. Полукруглые канавки на ребрах остова и сегментов в процессе сборки образуют сквозные отверстия, которые обрабатывают под запрессовку штифтов. Обработка производится на радиально-сверлильных станках специальными удлиненными сверлами, зенкерами и развертками. Обработка затруднена ввиду большой длины отверстий и неоднородности материала ребра и сегмента. Штифт запрессовывают в отверстие после закалки и шлифовки. Для повышения надежности крепления сердечник перед развертыванием отверстий нагревается специальной обмоткой до температуры, на 50—70°С превышающей температуру остова. При забивке штифтов температуру увеличивают еще на 20—30°С. При остывании диаметр сердечника уменьшается, в результате чего увеличивается натяг в сопряжении штифтов с сердечником и остовом.

13.6. СБОРКА И СКРЕПЛЕНИЕ ПОЛЮСОВ

Полюса машин постоянного тока собирают из листов, вырубленных одним штампом, и располагают в том же положении, как они штамповались, определяя это положение по шихтовочному знаку. Скрепление листов полюсов может выполняться заклепками, стяжными шпильками или сваркой. При скреплении заклепками в листах штампуют отверстия под заклепки: на краях полюса устанавливают нажимные шайбы из толстого материала, а заклепки имеют потайную головку. Сборку полюса производят в приспособлении. В этом же приспособлении полюса прессуют на прессе и расклепывают заклепки вторым ходом пресса. Полюса машин постоянного тока не обрабатывают, поэтому приспособление должно обеспечить необходимую точность сборки.

При сварке полюсов в боковых поверхностях листов выштамповываются углубления. Сварку производят неплавящимися электродами на собранном и спрессованном полюсе аргонно-дуговым способом. Проваривают швы на боковых поверхностях полюса и полюсном наконечнике. После сварки швы на боковых поверхностях обрабатывают для обеспечения плавного перехода от шва к основному металлу. Удаляют наплывы и неровности шва.

В машинах постоянного тока серии 2П главные полюса скрепляют сваркой, а добавочные полюса — заклепками. При этом сборку добавочных полюсов производят установкой листов вдоль полюса, а не поперек, как обычно.

После сборки в полюсах сверлят глухие отверстия и нарезают резьбу для крепления к станине.

В гидрогенераторах и синхронных машинах полюса укрепляют на роторе, они являются вращающейся частью машины. Сборку полюсов осуществляют в приспособлениях. Полюса скрепляют шпильками и гайками. По краям полюсов устанавливают щеки с козырьком. Козырек служит для удержания обмотки. Щеки —

трудоемкая и сложная по конфигурации деталь. Заготовки шек получают ковкой, литьем или вырезкой из толстого листа. Они проходят токарную, фрезерную, строгальную и сверлильную обработки. Перед механической обработкой щеки подвергаются термической обработке.

Полюса с обмотками крепят к ободу ротора с помощью Т-образных хвостовиков сердечников, входящих в пазы обода ротора и раскливаемых парными клиньями [10, 11].

Глава четырнадцатая

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ИЗОЛЯЦИОННО-ОБМОТОЧНЫХ РАБОТ

14.1. ТРЕБОВАНИЯ К ИЗОЛЯЦИОННО-ОБМОТОЧНОМУ ПРОИЗВОДСТВУ

Технология производства обмоток имеет специфические особенности, резко отличающие ее от технологии производства других деталей электрических машин. При производстве обмоток используются медные или алюминиевые изолированные провода, медная шинка, различные изоляционные материалы, лаки, покровные эмали, компаунды и т. п.

К обмоткам предъявляют ряд требований: электрическая и механическая прочность изоляции, нагревостойкость, химическая стойкость, холодостойкость и др.

Трудоемкость обмоточных работ составляет 30—50 % общей трудоемкости производства электрических машин, возрастая с увеличением напряжения и мощности машин.

Обмоточное производство включает изготовление собственно обмотки и укладку ее в пазы сердечников. Изготовление и укладка обмоток из круглого провода в массовом и серийном производстве объединены в единый процесс и полностью механизированы. При изготовлении обмоток из прямоугольного провода механизированы только отдельные операции. Укладка обмоток производится практически вручную.

К обмоточно-изолировочному производству предъявляется ряд требований. В цехах, где изготавливаются и укладываются обмотки, должно быть чисто, не должно быть пыли, не должно близко располагаться оборудование для механической обработки. При изготовлении обмоток должна быть исключена возможность попадания в нее токопроводящей пыли, опилок, стружки, масла, эмульсии и других жидкостей. Оборудование, на котором производятся обмоточно-изолировочные работы, должно быть в хорошем техническом состоянии, оснастка не должна иметь острых углов, заусенцев. Применяемый инструмент должен исключить вероятность повреждения изоляции. Участки для хранения материалов и производства работ должны быть хорошо освещены и иметь вентиляцию.

Хранение на складах изоляционных материалов, обмоточных проводов, лаков должно производиться в таре, обеспечивающей их сохранность. На складах должна поддерживаться необходимая температура и влажность. Следует строго соблюдать сроки хранения материалов, особенно с ограниченными сроками годности.

При транспортировке материалов, деталей и узлов необходимо принимать меры к их сохранности. Качество изоляции снижается, если во время транспортировки она подвергается ударам или длительной тряске. В зимних условиях все материалы на основе слюды и слюдяных бумаг могут расслаиваться, если их при транспортировке не предохранять от охлаждения.

Во всех случаях технологический процесс должен строиться так, чтобы при переработке изоляционные материалы не разрушались.

14.2. ПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Для обмоток электрических машин применяют обмоточные провода с волокнистой, эмалевой и комбинированной изоляцией, а также неизолированные провода круглого, прямоугольного и фасонного сечений. Класс нагревостойкости изолированных проводов зависит от химического состава эмалевого лака, от рода волокнистого материала и подкленвающего состава.

Провода марок ПСД и ПСДТ со стекловолокнистой изоляцией, проклеенной лаком ФА-97, относятся по нагревостойкости к классу F. Провода марок ПСДК и ПСДКТ со стекловолокнистой изоляцией, проклеенные кремнийорганическим лаком КО-916, относятся по нагревостойкости к классу H. Провода с волокнистой изоляцией постепенно вытесняются эмалированными проводами, так как изоляция последних имеет значительно меньшую толщину, обладает большей теплопроводностью, механической прочностью и влагостойкостью.

Наиболее широкое применение находят эмалированные провода круглого сечения марок ПЭТВ и ПЭТ-155. Провода марки ПЭТ-155 имеют более высокую стойкость к тепловому удару и растворителям, чем провода марки ПЭТВ. Класс нагревостойкости эмалированных проводов зависит от пропиточного лака; пропитанные лаком МЛ-92 и ПЭ-933 провода марки ПЭТВ имеют класс нагревостойкости В, а пропитанные лаком ПЭ-933 и КО-916К провода марки ПЭТ-155 имеют класс нагревостойкости F.

При механизированной укладке обмотки на статорообмоточных станках применяют эмалированные провода марки ПЭТВ-М класса нагревостойкости В и марки ПЭТ-М класса нагревостойкости F. Провода имеют повышенные механическую прочность, изоляции, мягкость и угол упругости. Скользящая гладкая поверхность эмалированных проводов облегчает укладку в сыпной обмотки в полузакрытые пазы, позволяет повысить коэффициент заполнения пазов медью.

Все большее применение находят прямоугольные провода с эмалевой изоляцией марок ПЭТВП и ПЭТП-155, заменяющие провода со стекловолоконистой изоляцией. Прямоугольные провода имеют закругленные края, что очень важно для сохранения изоляции на углах.

В настоящее время освоены в производстве эмалированные провода с полиамидной изоляцией, рассчитанные для продолжительной работы при температуре 220 °С. Такие провода могут быть использованы для обмоток с классом нагревостойкости Н.

Применение прямоугольных эмалированных проводов для обмотки высоковольтных машин требует покрытия их дополнительной двойной оплеткой из стекловолокна. В настоящее время для высоковольтных машин применяется провод марки ПЭТВСД, изолированный слоем нагревостойкой высокопрочной эмали с двумя слоями стекловолокна, пропитанного нагревостойким лаком. Провод марки ПЭТВСД используется для изготовления катушек статорной обмотки машин до напряжения 10 500 В без дополнительной витковой изоляции.

Для изготовления короткозамкнутых роторов применяется алюминий. Первичный алюминий марок А5, А6, А7 используют для заливки короткозамкнутых роторов асинхронных машин, а для сварной беличьей клетки применяют прямоугольные прессованные шины из алюминия марки АДО, медные шины и прутки разного профиля.

14.3. ИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Проводники обмотки должны быть изолированы друг от друга и от корпуса машины. Изоляция между витками обмотки называется *межвитковой*. Она обеспечивается изоляцией самого проводника, которая наносится на провод в процессе его изготовления на кабельных заводах. Проводники обмоток, выполненные из голых шин, изолируются на электромашиностроительных заводах.

Изоляция, отделяющая проводники от корпуса, носит название *корпусной* изоляции. Конструкция корпусной изоляции зависит от формы паза, напряжения машины и условий ее работы. Корпусная изоляция может укладываться в сердечники до укладки обмотки или наноситься на обмотку до ее укладки в сердечники.

Для выпных обмоток из круглого провода (рис. 14.1, а) и шаблонных обмоток из прямоугольного провода для низковольтных машин (рис. 14.1, б) корпусная изоляция состоит из одного или нескольких слоев изоляционных материалов, образующих пазовую гильзу. Пазовые гильзы устанавливаются в сердечник до начала укладки обмотки.

В стержневых обмотках, вкладываемых в паз с торца сердечника, корпусную изоляцию наносят на стержень, пазовую часть которого обертывают несколькими слоями изоляционного материала. В статорных и якорных обмотках, укладываемых в открытый паз (рис. 14.1, в), для образования корпусной изоляции катуш-

ку или стержень до укладки по всей длине оплетают несколькими слоями изоляционной ленты.

Изоляция обмоток электрической машины является одним из наиболее важных ее элементов. Она должна обладать одновременно целым комплексом свойств: теплостойкостью, нагревостойкостью, высокой электрической и механической прочностью, стойкостью к воздействию пропиточных составов, технологичностью. Кроме этих общих требований к изоляции, предназначенной для специальных условий эксплуатации, могут предъявляться некоторые дополнительные: корон-, влаго-, тропико- и морозостойкость, химическая стойкость и т. п.

В процессе изготовления изоляционных конструкций, изолировки обмоток и укладки их в пазы изоляционный материал может подвергаться резке, гибке, формовке, склеиванию, запечке, пропитке и т. п. При этом материал не должен рваться, растрескиваться, расслаиваться, утоняться, терять свою механическую и электрическую прочность. При работе с материалом образование бумажной, стеклянной или другой пыли, а также выделение различных запахов должно быть минимальным и в лучшем случае отсутствовать.

В зависимости от назначения электронизоляционные материалы подразделяются на материалы, несущие основную функцию, и материалы, несущие вспомогательную функцию. Материалы, несущие основную функцию, должны, в первую очередь, обладать высокой электрической прочностью. Материалы, несущие вспомогательную функцию, защищают основную изоляцию от механических повреждений в процессе изготовления и эксплуатации электрической машины. Они должны обладать высокой механической прочностью.

Электронизоляционные материалы в зависимости от входящих в них компонентов подразделяются на следующие основные группы.

Неорганические волокнистые материалы. Наибольшее распространение в этой группе находят стекловолокнистые материалы, обладающие высокой нагревостойкостью, малой гигроскопичностью, большой механической прочностью на разрыв, но вместе с тем пониженной стойкостью к изгибу, истиранию и ударам.

Слюдяные материалы. Слюда находит широкое применение в изоляции электрических машин благодаря своим высоким пока-

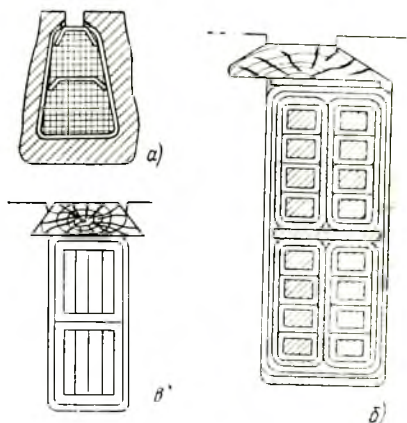


Рис. 14.1. Форма и пазовая изоляция различных пазов.

а — полузакрытый; б — полуоткрытый; в — открытый.

зателям по электрической и механической прочности, нагревостойкости, влагостойкости. Одним из главных слюдяных материалов является миканит. За последние годы дефицитная шипалая слюда, идущая на изготовление миканитов, все больше заменяется новыми материалами — слюдинитом и слюдопластом, образующими в сочетании с подложками и лаками большую номенклатуру изоляционных материалов.

Синтетические пленки и бумаги. Изоляционные пленочные и бумажные материалы из синтетических смол обладают высокой электрической и механической прочностью; применение их дает возможность значительно уменьшить толщину пазовой изоляции и повысить коэффициент заполнения медью пазов электрических машин.

В различных сочетаниях эти материалы применяют в виде композиционных (основных). Кроме того, для изолировки пазов сердечников может применяться напыление из порошка эпоксидной смолы для изоляции классов нагревостойкости В и F или полиамидэфирных порошков для изоляции класса Н [7].

14.4. СПОСОБЫ НАНЕСЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ

При изготовлении электрических машин необходимо наносить изоляцию на различные детали и узлы. При этом геометрическая форма их может быть весьма сложной, а размеры колебаться в очень большом диапазоне. Изолировке подвергаются катушки и стержни обмоток, пазы сердечников статоров и роторов, полюса, обмоткодержатели, пальцы щеткодержателей, втулки коллекторов и контактных колец и т. п.

В электромашиностроении применяются различные способы нанесения изоляции: лакировка, напыление (рассмотрено ранее), обматывание лентами и обертывание полосами.

Ленты могут поступать на заводы в роликах мерной ширины или их получают на электромашиностроительных заводах при резке рулона. Обычно применяют ленты шириной 10, 15, 20, 25, 30 мм. Диаметр ролика не превышает 100 мм. Ленты могут быть сухими и с наполнителями, которые в дальнейшем скрепляют слои ленты. Лентами можно обматывать детали практически любой конфигурации, накладывая их на прямолинейные и криволинейные участки.

Обматывание лентой можно выполнить с различной степенью перекрытия ее слоев, зависящей от угла наклона ленты по отношению к изолируемому участку (рис. 14.2, *a — d*). Различают обматывание вразбежку, встык, внахлестку. Число слоев ленты определяется чертежом и зависит от напряжения машины и условий ее работы. Обматывание лентой вразбежку не создает изоляционного слоя и применяется только для скрепления витков катушки или удержания ранее намотанных слоев изоляции. Обматывание лентой встык также не создает непрерывного слоя изоляции, так как в местах стыков могут быть неизолированные

участки катушки. Изолирование лентой встык используют для защиты лежащих под ней слоев изоляции от механических повреждений. При обматывании лентой внахлестку создается основная изоляция катушки или стержня. Обматывание лентой внахлестку производят, перекрывая предыдущий виток ленты на $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$ или $\frac{2}{3}$ ее ширины. Чаще всего применяют перекрытие в $\frac{1}{2}$ (вполна-

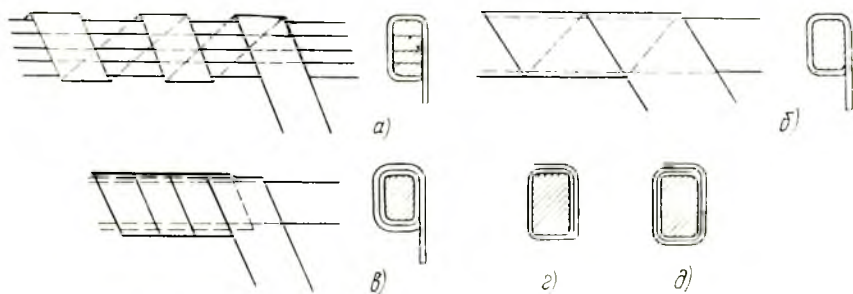


Рис. 14.2. Способы изолировки.

а — вразбежку; *б* — встык; *в* — внахлестку; *г* — перекрытия по двум сторонам сечения; *д* — перекрытия по одной стороне сечения.

хлеста) ширины ленты. Число слоев ленты зависит от заданной чертежом толщины изоляции, толщины ленты и способа ее напесения (перекрытия).

При изолировке участка небольшой длины от ролика отрезают мерный кусок ленты. Изолировку больших участков производят, наматывая ленту с ролика. При этом, наматывая один виток изоляции, необходимо дважды переложить ролик из одной руки в другую. При изолировке лента должна плотно ложиться на изолируемый участок. Для этого ее необходимо утягивать. Утяжка играет особенно важную роль при многослойной изолировке высоковольтных катушек и стержней. При этом не допускаются складки, морщины, воздушные мешки и т. п. При окончании изолировки конец ленты должен быть закреплен узлом или приклеен.

Технологический процесс изолировки лентой прямолинейных участков и участков, имеющих большой радиус, может быть механизирован. Возможные варианты механизации рассматриваются в соответствующих главах. Во всех случаях изоляцию головок катушек производят лентой вручную. Стык изоляции, наложенный механизированным способом и ручным, должен быть сделан так, как показано на рис. 14.3, *а*. При наложении лент каждый последующий слой в месте стыковки недоматывается на половину ширины ленты. Получается вид ступеньки. При дальнейшей изолировке ступеньки перекрывают так, чтобы изоляция на стыке не давала утолщений.

Изолировать полосами (простынками) можно только прямо-

линейные участки. Например, пазовые части катушек и стержней, обмоткодержатели, пальцы щеткодержателей, полюса и т. п. Мерные полосы нужной конфигурации (чаще всего трапеции) получают, разрезая листы изоляционного материала. Такая изоляция получила название гильзовой. При изолировке полосой изоляционного материала, общая толщина изоляции получается меньше, чем при изолировке лентой. Если по расчету достаточно одного слоя изоляции, чтобы закрепить начало и конец полосы, приходится делать перекрытие по двум сторонам сечения. При большем числе слоев можно ограничиться перекрытием по одной стороне сечения, которое не сказывается на ширине пазовой части (рис. 14.2, *г, д*).

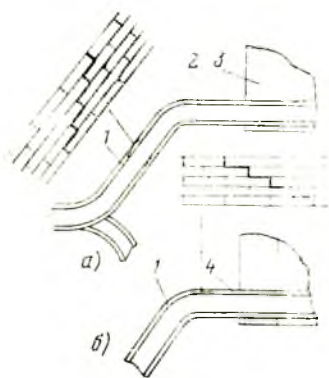


Рис. 14.3. Стык изоляции при изолировании.

а — лентами; *б* — лентами и полосами.
1 — лента, наложенная вручную;
2 — лента, наложенная механическим способом; 3 — положение сердечника после укладки катушки; 4 — изоляция полосой.

При обертывании полосой материал должен плотно облегать изолируемый участок. В некоторых случаях (например, при изолировке пальцев щеткодержателей, стержней роторов асинхронных двигателей и т. п.) материал должен быть проклеен и сцементирован. Для этого материал покрывают клеем, а затем обкатывают на специальных станках при высокой температуре.

Изолировка широкой полосой значительно производительней, чем лентой, поэтому в некоторых машинах прямолинейные части катушек или стержней изолируют полосой, а лобовые части лентой. В этом случае необходимо особенно тщательно выполнять стык между полосой и лентой. В месте стыка изоляция должна иметь электрическую прочность не ниже, чем в других частях катушки (стержня). Это достигается следующим образом. Полоса заготавливается в виде трапеции. Широкой стороной она накладывается на прямолинейный изолируемый участок и обертывается вокруг него. При этом на краях изолируемого участка получается конус (полоса ложится ступеньками). Обматывание лобовых частей лентой производится так, чтобы каждый последующий слой перекрывал часть конуса (рис. 14.3, *б*). По окончании намотки всех слоев полоса и лента должны надежно перекрывать друг друга. Можно сначала ленту нанести на лобовые части, а затем на пазовую полосу. При изолировке катушек стык располагается близко к выходу катушек из паза. Это место в некоторых машинах с коротким вылетом обмотки является наименее надежным с точки зрения целостности и электрической прочности изоляции. Подобные соображения вынуждают конструктора в некоторых случаях отказываться от применения гильзовой изоляции.

Кроме междувитковой и корпусной изоляции катушек в обмотках применяют целый ряд дополнительных изоляционных прокладок. К ним относятся: прокладки на дно паза, между слоями, обмоток, под проволоочные бандажи, между слоями лобовых частей. Эти прокладки в зависимости от класса нагревостойкости изоляции выполняют из электронизоляционного картона, лакоткани, изоляционных пленок, микафолия, гибкого миканита, слюдинитофолия и др.

14.5. СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДОВ В ОБМОТКАХ

а) Требования к месту соединения

Для безаварийной работы электрической машины необходимо, чтобы все соединения в обмотках и выводных концах были прочны и обеспечивали надежный контакт, поэтому все соединения стремятся делать неразъемными. Только там, где по условиям сборки, монтажа или ремонта необходимо отсоединять токоведущие детали, делают разъемные болтовые соединения. К неразъемным соединениям предъявляются следующие требования: хорошая электрическая проводимость, достаточная механическая прочность, неокисляемость, отсутствие вредного влияния на изоляцию, дешевизна и технологичность. Существует много способов выполнения неразъемных соединений. Выбор того или иного способа зависит от материала соединяемых проводников и их сечения, характера нагрузок, условий работы, места расположения в конструкции, производственных условий.

В электромашиностроении применяют следующие способы соединений: пайка мягкими или твердыми припоями, сварка электроконтактная, аргоно-дуговая, холодная сварка.

б) Пайка припоями

Пайка представляет собой процесс соединения металлических деталей с помощью припоя, составленного из различных металлов и имеющего более низкую температуру плавления, чем металлы соединяемых деталей. Прочность и плотность соединения достигаются благодаря способности припоя и основного металла взаимно растворяться и диффундировать. Припой должен обладать свойством смачивать соединяемый металл и хорошо заполнять все зазоры между плоскостями деталей. Припой делятся на две группы: мягкие — с температурой плавления ниже 300°C и твердые — с температурой плавления свыше 600°C .

Из мягких припоев наибольшее применение получили оловянисто-свинцовые, являющиеся сплавами олова и свинца в различных соотношениях. Припой ПОС-30, ПОС-40, ПОС-60 различаются содержанием олова. Большое содержание олова улучшает жидкотекучесть и адгезию. Перед пайкой соединяемые поверхности должны быть очищены от грязи и окислов, обезжирены и

облужены. Лужение улучшает качество паяного соединения. Пайку производят ручными паяльниками или в ваннах. Перед пайкой соединяемые концы проводов должны быть механически скреплены. Пайка оловянистыми припоями имеет ряд недостатков: место пайки обладает невысокой теплостойкостью и механической прочностью, при пайке требуются флюсы, гильзы. Оловянистый припой довольно дорог и с годами применение его сокращается.

К *твердым* припоям относятся припои серебряные и меднофосфористые, обладающие более высокой механической прочностью и

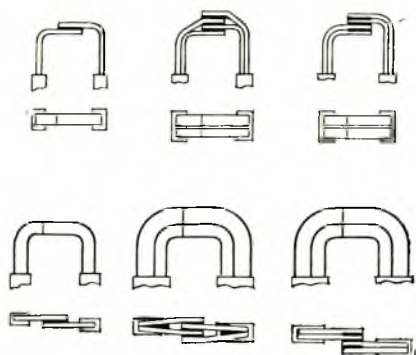


Рис. 14.4. Виды соединений прямоугольных проводов при пайке.

электрической проводимостью. Из серебряных припоев применяются ПСр-15, содержащий 15 % серебра, 80 % меди и 5 % фосфора с температурой плавления 635—800 °С, и ПСр-45, содержащий 45 % серебра, 30 % меди и 25 % цинка с температурой плавления 660—720 °С. Из меднофосфористых припоев наибольшее распространение получил припой ПМФ-7, содержащий 93 % меди и 7 % фосфора с температурой плавления 705—730 °С. Припой ПМФ-7 является самофлюсующимся и не требует при пайке флюса.

При пайке круглых проводов небольших сечений мягкими припоями провода зачищают, лудят, а затем скручивают и паяют с торца скрутки. Пайку производят паяльниками или провода опускают в ванны с расплавленным припоем.

При пайке прямоугольных проводов твердыми припоями их концы зачищают, изгибают и накладывают друг на друга (рис. 14.4). Пайка твердым припоем производится при помощи угольных клещей или специальных установок (рис. 14.5).

Установка для пайки припоем ПМФ-7 состоит из стойки 7, на верхнем конце которой шарнирно укреплен кронштейн 6, свободно поворачивающийся вокруг стойки 7. На кронштейне 6 шарнирно закреплен кронштейн 5, на конце которого укреплена поворотная головка 4 с подвешенной паяльной головкой. Такое устройство позволяет иметь большой радиус действия паяльной головки. На паяльной головке расположены электроды 3. Ток к электродам подается от трансформатора 9, который имеет секционированную первичную обмотку, что позволяет регулировать напряжение и ток пайки. Включение установки производится переносной ножной кнопкой 1, которую располагают около рабочего, производящего пайку. Провода вторичной обмотки трансформатора проходят внутри резиновых шлангов, по которым пропускается вода для охлаждения их и паяльной головки. Вода по-

дается от водопровода 8 и стекает в отвод 10. Паяльная головка может иметь горизонтальные 3 и вертикальные 2 электроды. При пайке место соединения сжимается между электродами и включается ток, который разогревает место пайки и расплавляет припой. Припой может укладываться в виде пластины между проводниками или подаваться вручную от прутка. Припой, расплавляясь,

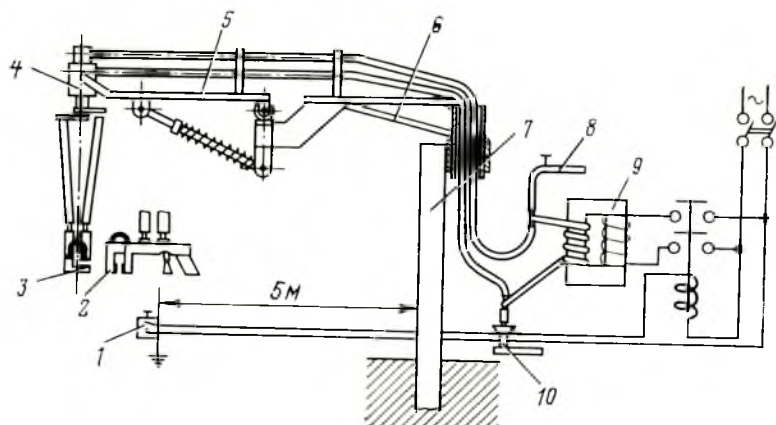


Рис. 14.5. Установка для пайки твердым припоем.

заполняет все зазоры между проводниками. Затем выключают ток, а электроды разжимают после затвердевания припоя. Во всех случаях пайки необходимо устанавливать такие режимы, чтобы разогрев места пайки и заполнение его припоем происходили быстро в течение нескольких секунд. Это повышает качество пайки и снижает вероятность повреждения изоляции проводов.

в) Холодная сварка (прессование)

Процесс холодной сварки заключается в том, что при большом давлении, создаваемом специальными клещами или прессами, соединяемые детали спрессовываются в однородное тело. Принцип холодной сварки используют главным образом при креплении кабельных наконечников на гибких многожильных кабелях, сращивании кабелей, соединении и оконцевании алюминиевых и медных проводов.

По сравнению с пайкой холодная сварка имеет ряд преимуществ: повышается надежность крепления деталей, не требуются припой и флюсы, значительно снижается трудоемкость работы, исключается опасность повреждения изоляции проводов при нагревании, улучшаются условия работы.

ВНИИТэлектромаш разработал ряд станков для оконцевания

проводов кабельными наконечниками. В этих станках наконечники поступают в зону опрессовывания автоматически, а провод необходимой длины, заранее отрезанный и зачищенный на концах от изоляции, подается на рабочее место пресса вручную. Отрезка провода и зачистка изоляции производятся на других станках. В целях совмещения операций, снижения вспомогательного времени и уменьшения межоперационных транспортных работ создан

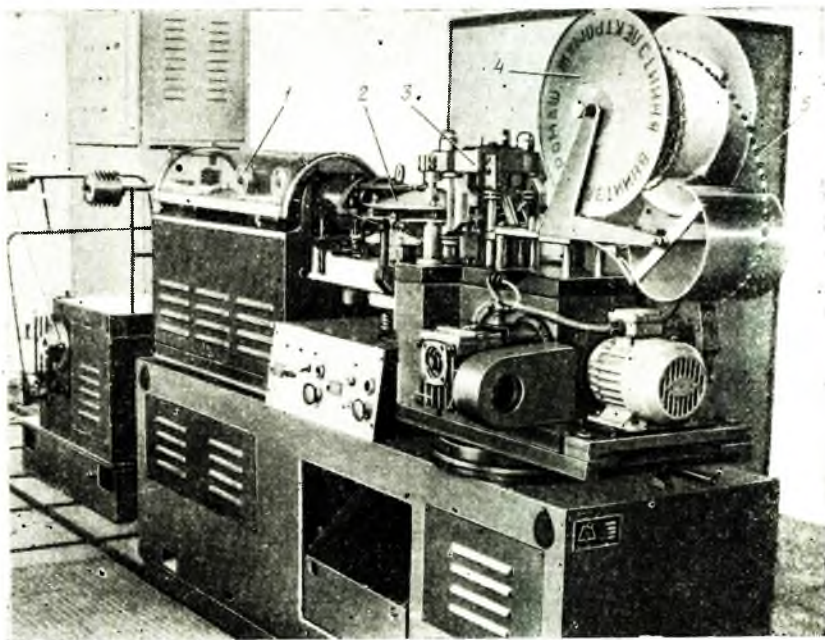


Рис. 14.6. Станок для резки проводов, зачистки концов и оконечивания проводов кабельным наконечником модели АП₃В123-1А.

автоматический станок типа АП₃В 123-1А, в котором все три операции совмещены. Автоматический станок (рис. 14.6) работает следующим образом.

Провод от размоточного устройства периодически вращающихся валками механизма подачи 1 подается в зону вращающихся ножей 2. Ножи отрезают провод нужной длины и снимают изоляцию с обоих концов провода. Транспортное устройство перемещает провод в зону пресса 3, куда с барабана 4 подаются кабельные наконечники 5. Пресс опрессовывает кабельный наконечник на одну сторону провода (на вторую сторону провода напрессовывать наконечник не надо, так как он припаивается к схеме машины), а транспортное устройство выносит провод с наконечником из станка. Производительность автомата 400 шт./ч. Наибольшее сечение провода 8 мм². Наибольшее усилие обжатия 0,1 МН, а время обжатия 1,5 с.

Опыт промышленного применения оконцевания проводов холодным обжатием кабельных наконечников на ряде отечественных электромашиностроительных заводов позволяет сделать заключение о целесообразности его широкого использования.

г) Сварка

Сварку медных одножильных проводов, а также концов обмоток с многожильными выводными концами можно осуществлять на установке типа УС-9, разработанной ВНИИТэлектромашем. Сварка может выполняться без зачистки проводов от эмалевой изоляции.

Установка работает на природном газе с добавкой кислорода или пропан-бутана. Установка состоит из рабочего стола и системы газопитания. На рабочем столе смонтированы механизм установки и перемещения статора, горелка, воздуховод, лоток, щиток и патрубок. Производительность установки 325 соединений в час.

Сварку медных одножильных проводов также можно производить, оплавляя провода графитовыми электродами.

В коллекторных машинах при соединении обмотки с коллектором широко используется сварка. Сварку выполняют неплавящимся вольфрамовым электродом в среде защитного газа (аргона, гелия, азота). Используют только полуавтоматические и автоматические способы сварки, так как ручная сварка не обеспечивает необходимого качество.

Схема установки показана на рис. 14.7, а. Якорь 3 устанавливается на стойках и медленно вращается электродвигателем 1 посредством ремня 2. Частоту вращения можно плавно регулировать до 1 об/мин. Сварочная горелка 4 с вольфрамовым электродом, системой подачи газа и воды для охлаждения закрепляется неподвижно. Между электродом и коллектором непрерывно горит дежурная дуга. По сигналу системы управления включается сварочный ток и проплавляется одна точка. Проплавление происходит за время менее 1 с. Сварочный ток выбирается в пределах 100—150 А. За время сварки одной точки необходимо обеспечить его плавное повышение, максимальное значение и плавное снижение. При сварке изоляционная прокладка между коллекторными пластинами нагревается не выше 130—150 °С. Система управления поворотом якоря и включения сварочного тока состоит из двух щупов установки 5, контрольного щупа 7 и аппаратуры управления 6. Включение сварочного тока происходит, когда одна игла 5 сходит с коллекторной пластины и попадает на изоляцию. При этом электрическая цепь между иглами разрывается. Контрольный щуп останавливает якорь при отказе щупов установки. Путь контрольного щупа медь—слюда—медь, а щупов установки слюда—медь—слюда. Система регулируется так, что включение сварочного тока происходит в момент нахождения середины коллекторной пластины перед горелкой. После сварки

одного ряда точек горелка опускается ниже, и сваривается второй ряд точек. Число рядов точек определяется высотой коллекторного петушка.

На рис. 14.7, б показана часть петушков до и после сварки. При аргонно-дуговой сварке качество и надежность соединения коллектора с обмоткой резко повышаются.

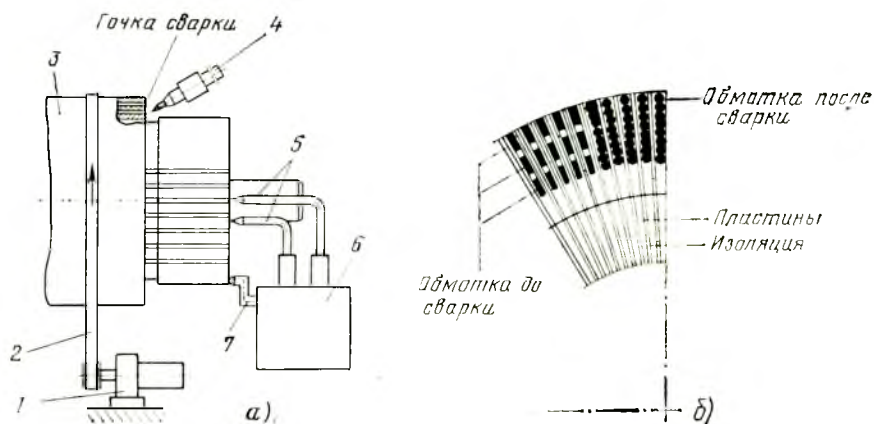


Рис. 14.7. Схема установки для сварки обмотки с коллектором.

На ряде заводов спроектированы и изготовлены сварочные полуавтоматы для сварки обмотки с коллектором. Ряд сварочных полуавтоматов был разработан ВНИИЭСО. Эти автоматы обеспечивают сварку якорей диаметром от 10 до 500 мм. Производительность установок до 120 точек сварки в минуту.

14.6. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННОГО ПРОИЗВОДСТВА

а) Резка рулонного изоляционного материала

Автоматическое оборудование, применяемое для изолировки и заклинивания пазов, требует заправки его рулонами определенной ширины. Эти рулоны получают на электромашиностроительных заводах резкой широкого рулона на узкие. Для резки широкого рулона изоляционного материала ВНИИТэлектро-маш разработан станок типа ОМ (рис. 14.8).

На сварной станине 5 установлены две жестко связанные между собой стенки, в которых крепятся механизмы станка.

Тормозной вал 2 с надетым на него рулоном изоляционного материала вставляется в пазы боковых стенок станка. Лента пропускается через промежуточный вал 8 и закрепляется на намоточном валу 1. Затем с помощью рукоятки на блок нижних ножей 7 опускается блок верхних ножей 6, включается привод станка 4 с редуктором 3 и начинается резка изоляционного материала. Скорость резания 19,5 м/мин. Толщина разрезаемого материала 0,2–0,35 мм при ширине рулона до 250 мм и диаметре до 390 мм. Точность резания $\pm 0,1$ мм.

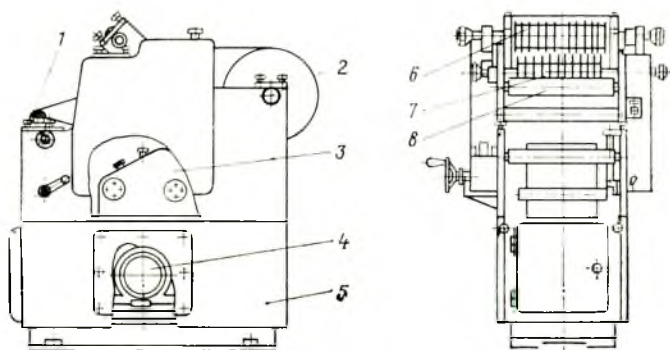


Рис. 14.8. Станок для резки рулонного изоляционного материала типа ОМ

б) Резка и маркировка изоляционных трубок

Для резки изоляционных трубок из заготовок длиной 800—1200 мм предназначен станок типа РТ-52. Станок состоит из механизмов подачи и резки трубок, привода и электрооборудования. Станок производит 15—25 резов в минуту, отрезая одновременно не менее 15 трубок.

Станок типа РТ-51 предназначен для мерной резки и маркировки через цветную типографскую фольгу полихлорвиниловых изоляционных трубок. Станок состоит из привода, бухтодержателя, механизмов подачи трубок и маркировки, электрооборудования. Производительность станка до 60 трубок в минуту.

Маркировка может также производиться ручным маркировщиком. Ручной маркировщик РМ-4 конструкции ВНИИТэлектромаш (рис. 14.9) предназначен для нанесения цифровых обозначений на монтажные провода с полихлорвиниловой изоляцией. Он имеет три рейки с выгравированными цифрами (клеймами), нагреваемые электроподогревателем, заключенным в корпус 3. С помощью фиксатора 5 можно набрать любое число от нуля до 999. Типографская фольга 4 необходимого цвета в виде рулона шириной 15 мм укладывается в подающую кассету 10 и через ролик 1 пропускается в приемную кассету 9, где закрепляется на катушке. В кассете 9 расположен храповой механизм, обеспечивающий автоматическую подачу фольги на один шаг и приводимый в движение пальцем на кассете 10. Маркируемый провод укладывается на призму 2. Нажимая на рычаги 6, производят маркировку провода. Затем пружина 7 возвращает рукоятки 8 в исходное положение. Нагретое клеймо через фольгу вдавливаются в изоляцию провода, образуя в ней углубления. Красящий слой фольги отстает от подложки и прочно сцепляется с изоляцией, причем образование углублений в проводе и их окраска происходят одновременно.

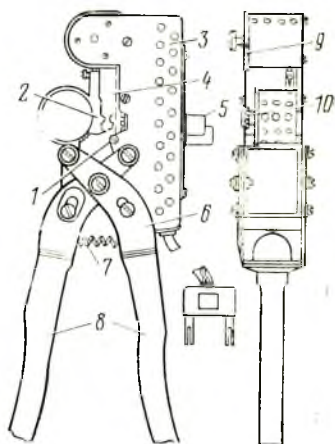


Рис. 14.9. Ручной маркировщик типа РМ-4.

Качество маркировки зависит от температуры цифровых реек, давления на рукоятки, выдержки при маркировке, качества фольги и изоляции провода. Производительность до 400 маркировок в час.

в) Зачистка изоляции проводов

При выполнении обмоточных работ в местах соединения обмоток необходимо снимать изоляцию. При использовании проводов с высокопрочной изоляцией это довольно трудно. Обычно для этой цели используют станки, в которых изоляция с концов проводов снимается вращающимися проволочными щетками. Для удаления пыли станки оборудованы вытяжной вентиляцией. С длинных выводных концов можно снимать изоляцию, обжигая ее в муфельных печах. Если концы короткие или изделие тяжелое, то изоляцию приходится снимать, соскабливая ее ножом или специальными захватами, имеющими острые кромок.

14.7. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ В ОБМОТОЧНЫХ ЦЕХАХ

В обмоточных цехах работы производятся вручную и на механизмах с использованием различных изоляционных материалов и лаков. При пайке применяются припой и флюсы. Помещения обмоточных цехов должны иметь общую и местную вытяжную вентиляцию для удаления выделяющихся газов и пыли. Освещение должно соответствовать установленным нормам.

При работе на станках необходимо соблюдать такие же правила техники безопасности и производственной санитарии, как для станочников холодной обработки металлов. Станки должны иметь местную вытяжную вентиляцию.

При работе со стеклотентами и изоляцией, имеющей в качестве растворителя вредные вещества, необходимо соблюдать меры личной гигиены: применять специальные мази для защиты рук, перед едой тщательно мыть руки и лицо теплой водой с мылом. Принимать пищу на рабочих местах запрещается.

Ванны для пропитки должны иметь боковые отсосы для полного удаления выделяющихся газов и паров. Разведение лаков должно производиться в специальных помещениях.

Глава пятнадцатая

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И УКЛАДКИ ОБМОТОК ИЗ КРУГЛОГО ПРОВОДА

15.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Электрические машины небольшой мощности (до 60 кВт) изготавливаются на напряжение до 660 В и имеют в пазу большое число витков. В этих машинах применяют круглый провод и полузакрытый паз, т. е. паз, имеющий шлиц такой минимальной ширины, которая позволяла бы провести через него, не повредив, провод. Пазовая изоляция в таком пазу устанавливается до начала укладки, а витковой изоляцией служит изоляция провода. Витки в пазу располагаются хаотически, и вероятность межвиткового замыкания по сравнению с обмотками из прямоугольного провода в несколько раз выше.

Ежегодно наша промышленность изготавливает несколько миллионов машин небольшой мощности для нужд бытовой техники. В массовом и серийном производстве основные технологические процессы изоляционно-обмоточных работ механизированы.

Типовая технология включает в себя следующие операции: изолировка пазов сердечника, намотка (образование витков и

укладка их в пазы), заклинивание обмотки в пазах, прессование, осадка, формование и бандажирование лобовых частей, соединенные схемы.

Наиболее трудоемкой операцией является намотка обмотки.

Современные станки для изготовления и укладки обмоток основаны на двух способах намотки:

совмещенная намотка — образование и укладка витков на одной и той же позиции станка;

раздельная намотка — образование и укладка витков выполняются раздельно.

Совмещенная намотка в основном используется при изготовлении якорей и статоров с явно выраженными полюсами малого диаметра. Способ раздельной намотки, как более производительный, получил широкое распространение.

Применяемые способы изготовления обмоток предъявляют различные требования к ширине открытия паза, а также оказывают влияние на удлинение провода, среднюю длину витка, размеры лобовых частей и т. п. В табл. 15.1 приведены ориентировочные

Т а б л и ц а 15.1

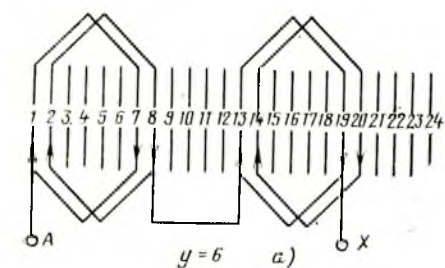
Способ намотки	Удлинение провода, %	Открытие паза, %	Средняя длина витка, %	Трудоемкость %,
Ручной	5	100	100	100
Совмещенный	10—11	140—150	110—115	15—18
Раздельный	7—8	110—120	104—105	5—6

данные сравнения ручной намотки с совмещенной и раздельной.

Машинная намотка, являясь более производительной, требует большего раскрытия паза, на большую длину удлиняет (вытягивает) провод при намотке. При машинной намотке получаются витки большей длины. Большая длина витка приводит к большему вылету лобовой части машины.

Механизация изоляционно-обмоточных работ предъявляет более жесткие требования к пазовой изоляции, изоляции провода, качеству штамповки и сборки сердечников и т. п. Резко повысились требования к культуре производства и его организации.

В трехфазных электрических машинах по конструктивным признакам различают одно- и двухслойные обмотки. Однослойные обмотки, будучи технологичными, имеют один конструктивный недостаток: они всегда имеют диаметральный шаг. Поэтому их используют в машинах мощностью до 10—15 кВт. Однослойные обмотки могут быть катушечными, концентрическими и концентрическими в развалку (рис. 15.1, а—в). Они отличаются только длиной и геометрией лобовых частей. Концентрическая обмотка имеет меньше перекрещиваний катушек в лобовых частях по



сравнению с катушечной, что снижает возможность витковых и фазных замыканий и этим повышает надежность обмотки. Длина лобовых частей у катушечной и concentрической обмоток практически одинаковая.

Наиболее экономичной является concentрическая обмотка вразвалку, так как имеет более короткие лобовые части по сравнению с другими обмотками. Объем меди в лобовых частях при этом уменьшается на 15—20 %, что улучшает технико-экономические показатели машин.

Совмещенным способом можно изготавливать практически все типы однослойных обмоток, а раздельным способом только concentрические и concentрические вразвалку.

Двухслойная равнокатушечная обмотка (рис. 15.2, а) может быть уложена только с подъемом шага. Такую обмотку машинным способом изготовить нельзя. Двухслойную равнокатушечную обмотку без подъема шага можно изготовить совмещенным способом, но она будет иметь несимметрию, поэтому такие обмотки не нашли применения.

Развитие механизации изоляционно-обмоточных работ привело к разработке специальных одно-двухслойных и двухслой-

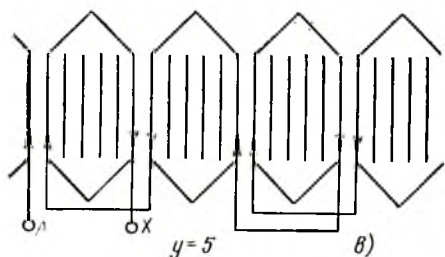
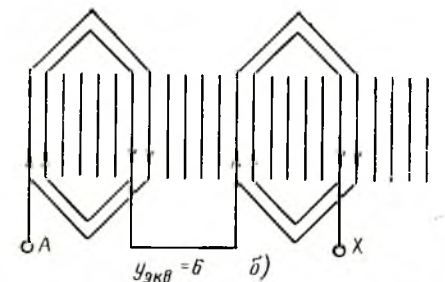


Рис. 15.1. Конструкция однослойных обмоток (показана одна фаза).

а — равнокатушечная; б — concentрическая; в — concentрическая вразвалку. $z=24$; $m=3$; $2p=4$; y — шаг по пазам.

ных concentрических обмоток для машинной укладки. Эти обмотки симметричны и не требуют подъема шага.

На рис. 15.2, б приведена схема одно-двухслойной concentрической обмотки. Такое наименование обмотка получила, потому что катушечная группа, состоящая из трех катушек, имеет одну, которая укладывается в паз, как однослойная, и заполняет весь паз (на чертеже пазы с такими катушками показаны одной сплошной линией), а две другие катушки заполняют половину паза каждая (на чертеже верхние слои катушек показаны сплошной линией, а нижние штриховой). Каждая фаза имеет четыре катушечные группы. На схеме показаны межкатушечные соеди-

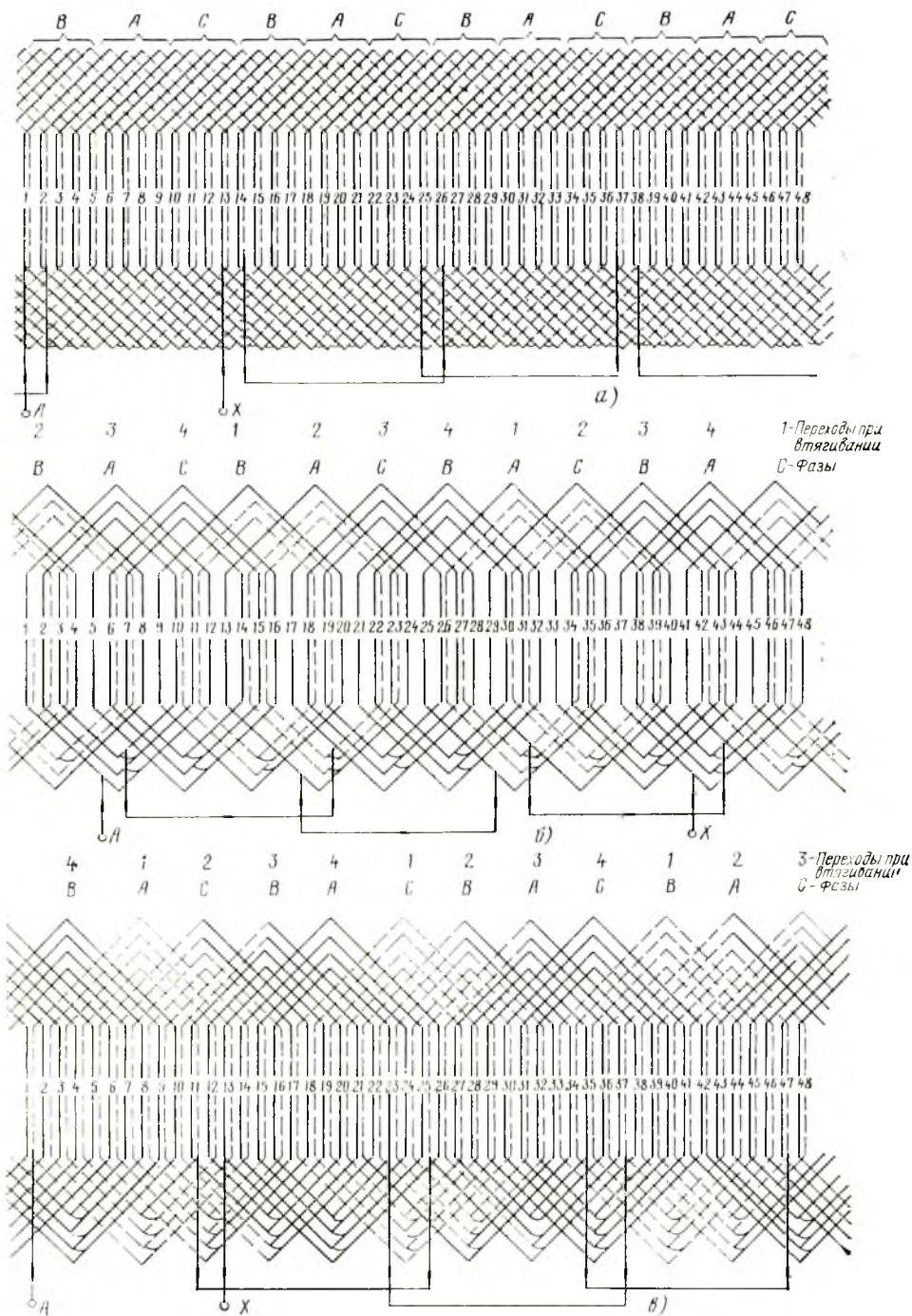


Рис. 15.2. Конструкция двухслойных обмоток.

а — равнокатущечная; б — одно-двухслойная концентрическая; в — двухслойная концентрическая; $z=48$; $m=3$; $2p=4$; $y_{\text{эКВ}}=10$.

нения и направления токов в пазах только для одной фазы А. Две другие фазы соединяются аналогично.

На рис. 15.2, в показана двухслойная концентрическая обмотка, которая в каждом пазу имеет две катушки. Обе обмотки являются разновидностью двухслойной равнокатушечной обмотки и отличаются от нее только распределением катушек в слоях и порядком укладки. Параметры обмотки: шаг, обмоточный коэффициент, а следовательно, и расход меди такие же, как и у равнокатушечной обмотки.

Укладка концентрических двухслойных обмоток производится раздельным способом.

Для механизации изоляционно-обмоточных работ характерны два направления: применение отдельных станков и установок, предназначенных для выполнения какой-либо одной операции (функциональные устройства); создание многофункциональных устройств и линий, осуществляющих объединение и автоматизацию групп операций в едином транспортно-технологическом потоке. Производительность одной установки или линии колеблется в пределах 80—200 тыс. изделий в год (большая цифра относится к машинам с меньшим диаметром).

При мелкосерийном и единичном производстве, а также ремонте использование высокопроизводительных установок малоэффективно. Как показывают расчеты, создание оборудования для производства машин, выпуск которых не превышает $\frac{2}{3}$ производительности установки, себя не окупает. Однако методы и способы массового и крупносерийного производства, а также отдельные установки находят широкое применение и в мелкосерийном производстве, вытесняя малопроизводительный ручной труд [25].

15.2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ И УКЛАДКА ОБМОТОК ИЗ КРУГЛОГО ПРОВОДА МЕХАНИЗИРОВАННЫМ СПОСОБОМ

а) Изолировка пазов сердечника

Наиболее распространенный способ изолировки пазов сводится к изготовлению пазовых коробов и укладке их в пазы сердечников.

При механизированной изолировке пазов и последующей машинной укладке обмотки материал изоляции должен обладать рядом определенных технологических свойств. Количество деталей в пазовом коробе должно быть минимальным, а в лучшем случае короб должен быть однослойным. Материал короба должен быть достаточно упругим, чтобы плотно прилегать к стенкам паза и не сминаться при укладке обмотки. Вместе с тем он должен быть стойким к надрыву, продавливанию, расслоению и быть достаточно скользким. Как показали исследования, наиболее приемлемыми являются полиэтилентерефталатные пленки (ПЭТФ) и

пленкосинтокартоны на основе нагревостойких бумаг и пленок ПЭТФ или полнамидных.

При укладке обмотки на короб действуют силы, которые могут его сместить вдоль паза. Для противодействия этим силам в коробе предусмотрены манжеты, упирающиеся кромками в торцы сердечника. Минимальная ширина манжеты определяется не столько необходимым разрядным промежутком, сколько минимальной шириной материала по бокам полосы, которая может заворачиваться в манжету без растрескивания и надрывов и сохранять целостность при укладке и формовке обмотки. Для материала ПЭТФ толщиной 0,18—0,25 мм минимальная ширина манжеты в зависимости от внутреннего диаметра обматываемого сердечника может быть принята следующей:

Внутренний диаметр сердечника, мм	50—65	65—85	85—115	115—155
Ширина манжеты, мм	3,0	3,5	4,0	4,5

При укладке витков в паз короб подвергается действию силы F (рис. 15.3), направленной вдоль витков, опирающихся на выступающую часть короба. Силу F можно разложить на две составляющие F_p и F_k , действующих в плоскости, перпендикулярной торцу сердечника, и плоскости, перпендикулярной его оси. Под действием радиальной силы F_p выступающая часть короба изгибается вокруг торцевой кромки дна паза, что вызывает сжатие короба, при котором кромки могут располагаться против шлица. Касательная сила F_k прижимает короб к боковой стороне паза и деформирует его. Эти отрицательные явления могут быть ослаблены уменьшением длины выступающей части короба, а также повышением жесткости за счет применения соответствующего материала.

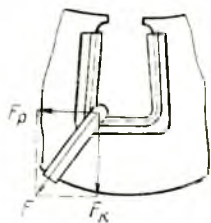


Рис. 15.3. Силы, действующие на выступающую из паза часть короба.

Можно выделить два основных способа механизированного изготовления и укладки пазовых коробов.

При первом способе лента изоляционного материала 1 (рис. 15.4, а) механизмом прерывистого действия 3 протягивается через профильные направляющие 2, посредством которых отбортовываются манжеты. В момент прекращения подачи ленты нож 4 отрезает заготовку 5 требуемой длины. Затем пуансон 7 подает заготовку в формующую матрицу 8, которая одновременно служит направляющим желобом для передачи отформованного короба 9 толкателем 6 в паз статора 10. После этого статор поворачивается специальным фиксирующим механизмом, обеспечивая соосное положение очередного неизолированного паза с матрицей и находящимся в ней коробом. Цикл изготовления и подачи пазовых коробов повторяется.

При втором способе изоляционный материал 1 (рис. 15.4, б) протягивается аналогичным механизмом 3 через профильные

направляющие 2 и подается в зону ножиц 4. На отрезанную заготовку 5 специальным инструментом 6 наносится зиговка, соответствующая линиям перегиба короба в пазу статора. Зигованная заготовка 8 толкателем 7 перемещается через профильную

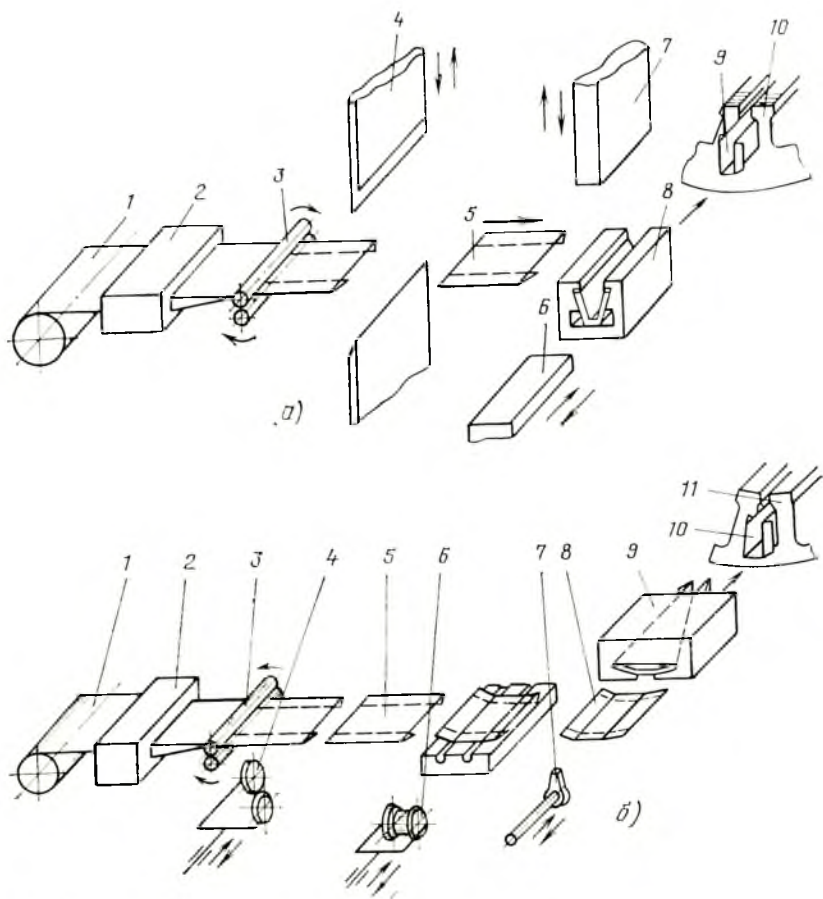


Рис. 15.4. Схемы механизированного изолирования пазов.

фильеру 9, где она сгибается и приобретает форму пазового короба 10. Отформованный короб подается в паз статора 11.

В большинстве пазоизолирующих станков используется первый способ изготовления и укладки пазовых коробов.

ВНИИТэлектромаш разработал ряд станков для изолирования пазов типа ИПС и ИС. Станки позволяют изолировать пазы сердечников статоров с внутренним диаметром до 220 и длиной до 230 мм. Скорость изолирования до 300 пазов в минуту.

б) Намотка статоров совмещенным способом

Принцип намотки статоров совмещенным способом (рис. 15.5) состоит в том, что намотка осуществляется в результате возвратно-поступательных и качательных движений проводоводителя 1; при этом конец иглы 3 внутри статорного сердечника 4 описывает замкнутую траекторию, приближенно копирующую форму витка.

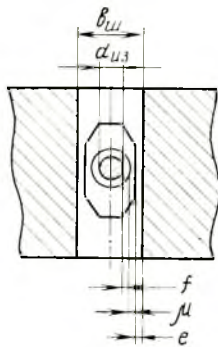
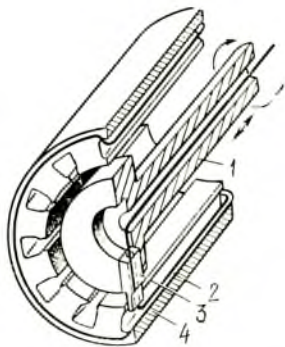


Рис. 15.5. Схема совмещенной машинной намотки статоров.

Рис. 15.6. Положение иглы в шлице паза при совмещенной намотке.

Через проводоводитель и иглу пропущен провод 2, одним концом закрепленный на статоре. Два прямых участка траектории проходят строго вдоль пазов, в которые наматывается катушка. Два других криволинейных участка траектории находятся вне сердечника. Совершая заданное число движений по этой траектории, игла наматывает катушку с соответствующим количеством витков. Затем автоматически меняется угол поворота проводоводителя и производится намотка второй катушки. Таким образом наматывается катушечная группа.

Особенностью данного способа намотки является то, что игла при продольном ходе движется внутри шлицев. За время укладки каждого витка она совершает два прохода в шлицах. Ширина шлица паза должна удовлетворять не только требованиям электромагнитного расчета, но и технологическим требованиям машинной намотки. Игла должна иметь отверстие, достаточное для прохода провода, иметь минимальный износ при трении о стенки паза и достаточную жесткость, чтобы выдерживать изгибающие нагрузки при поворотах иглы.

Для случая, когда все поступающие на статорообмоточный станок сердечники соответствуют требованиям машинной намотки, минимально допустимая ширина шлицев $b_{ш}$ согласно схеме (рис. 15.6)

$$b_{ш} = d_{из\ max} + 2f + 2\mu + 2e + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4,$$

где $d_{из\ max}$ — максимальное значение диаметра изолированного провода; f — зазор между отверстием иглы и проводом; μ — минимально допустимая толщина стенки иглы в направлении, перпендикулярном шлицу; e — зазор между иглой и стенкой шлица; δ_1 — допуск на расшивку сердечника; δ_2 — допуск на непараллельность оси открытия паза к образующей расточки паза; δ_3 — допуск на неточность углового ориентирования сердечника; δ_4 — допуск на минимальную неточность траектории иглы по окружности из-за погрешности угла качания игловодителя.

Как показал опыт, в настоящее время достигнуты следующие наименьшие значения слагаемых: $f=0,2$ мм; $\mu=0,2\div 0,3$ мм; $e=0,1\div 0,2$ мм; $\delta_2=0,2\div 0,3$ мм; $\delta_1=\delta_3=\delta_4=0,2$ мм.

Таким образом, минимальная ширина шлица паза при совмещенной намотке должна быть: $b_{ш}=d_{из\ max} + (1,8\div 2,3)$.

При проектировании машин, статоры которых предназначены для совмещенной намотки, ширину шлица можно определять по эмпирической формуле:

$$b_{ш} = 1,9d_{из} + 2,45 \cdot 10^{-3}D_i + 0,38,$$

где $d_{из}$ — диаметр изолированного провода; D_i — внутренний диаметр обматываемого сердечника.

При совмещенном способе намотки образование витков и укладка их в пазы статора происходят одновременно. Для того чтобы провод, находящийся в пазу, не мешал дальнейшей укладке, его необходимо отводить к дну паза. Отвод производят в лобовых частях, применяя шаблоны, крючки, рычаги и т. п.

Последовательные стадии намотки с отводом провода при помощи конических шаблонов (башмаков) показаны на рис. 15.7. Механизм намотки состоит из проводоводителя 1 с закрепленной на нем иглой 2 и формообразующей оснастки в виде заостренных конических шаблонов-башмаков (вспомогательные и приводные устройства на схеме не показаны). Шаблоны 4 устанавливают на торцы статора 3 между пазами 7, 8, в которые должна быть намотана катушка 5. Провод 6 пропускают через проводоводитель и иголку, а затем закрепляют на неподвижной части механизма (позиции I, II). Сердечник ориентируют так, чтобы шлиц паза, с которого начинается намотка, расположился строго против иглы. При движении проводоводителя вдоль сердечника провод направляется в паз (позиция III). Поворачиваясь вокруг своей продольной оси на угол, соответствующий шагу намотки, игла устанавливается против шлица второго паза (позиция IV), движется в обратном направлении и затягивает петлю провода (позиция V). При этом петля самопроизвольно накидывается на конический шаблон, скользит по его поверхности 9, попадает в выемку 10 и ложится на выступ 11 (позиция VI). Так образуется первая лобовая часть витка. Выходя из второго паза, игла возвращается к первому пазу, в результате чего получается вторая лобовая часть (позиция VII). Цикл повторяется до получения за-

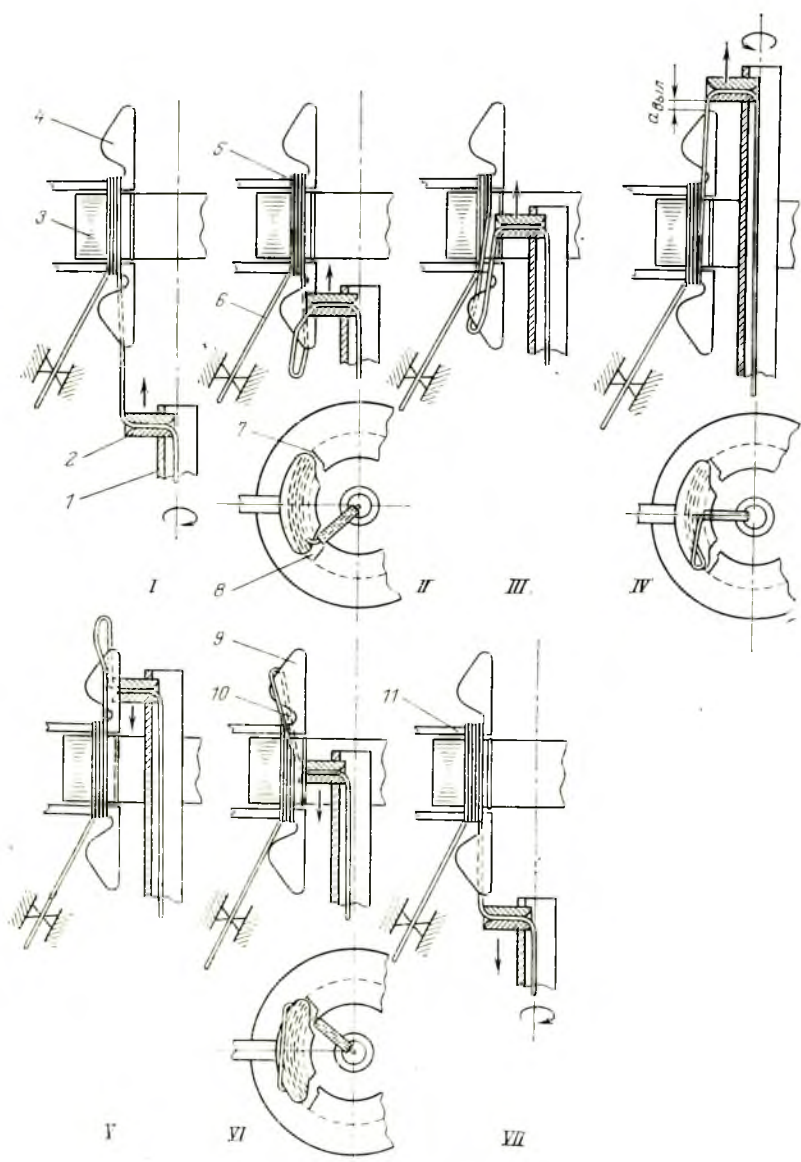


Рис. 15.7. Схема намотки статоров с радиальным отводом провода при помощи шаблонов.

данного числа витков. При этом проводники скапливаются в выемке, образуя лобовую часть катушки.

Последовательные стадии (позиции I—V) совмещенной намотки с помощью крючьев показаны на рис. 15.8. Этот способ отличается от намотки с отводом провода при помощи шаблона устройством формообразующей оснастки и траекторией иглы. Крючья 3 устанавливают на торцы зубцов статора 2. Игла 1

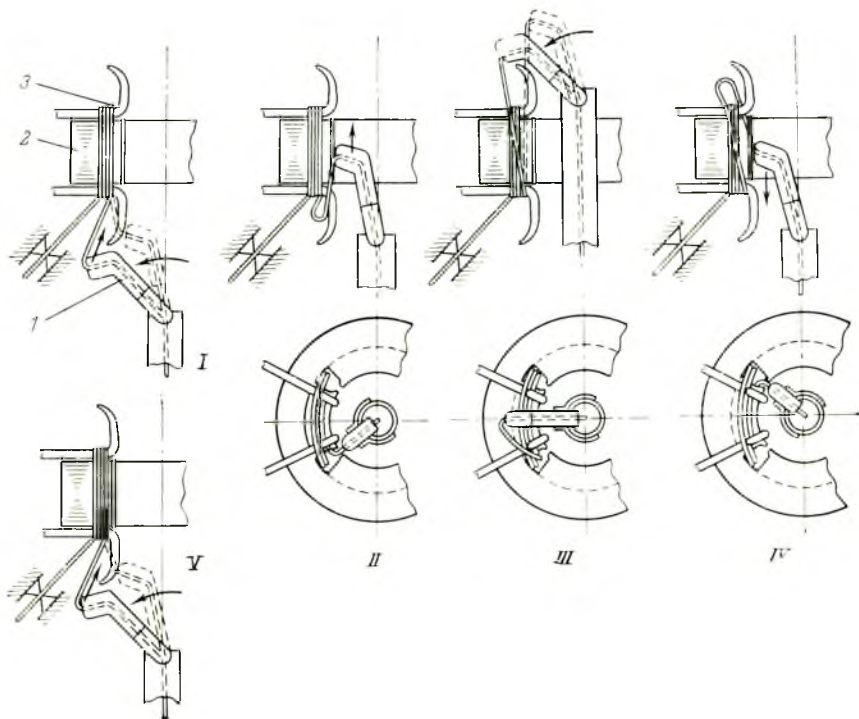


Рис. 15.8. Схема намотки статоров с отводом провода отклоняющими крючьями.

кроме продольного хода и поворота совершает радиальное перемещение («клевок»). Она принудительно заносит петлю провода за крючок. С помощью крючьев катушкам придают требуемые форму и положение относительно сердечника.

Статорообмоточные станки снабжены вспомогательными механизмами для автоматического выполнения намоточного цикла: счетно-программным устройством, устройством отрезки провода и закрепления концов, механизмами оттяжки провода для образования межгрупповых переходов, устройством поворота статора на заданный угол для намотки следующего яруса и др.

По схеме рис. 15.7 работает отечественный станок типа ОС2А2 (рис. 15.9). Провод сматывается с катушек 6, установленных на торец и закрытых кожухом 5. Кожух ограничивает петлю при

размотке провода. Провод через натяжное устройство 4 подается в станок. На рисунке виден сердечник статора 3, формообразующие шаблоны 1 и 2. Шаблоны 1 перед намоткой опускаются на сердечник.

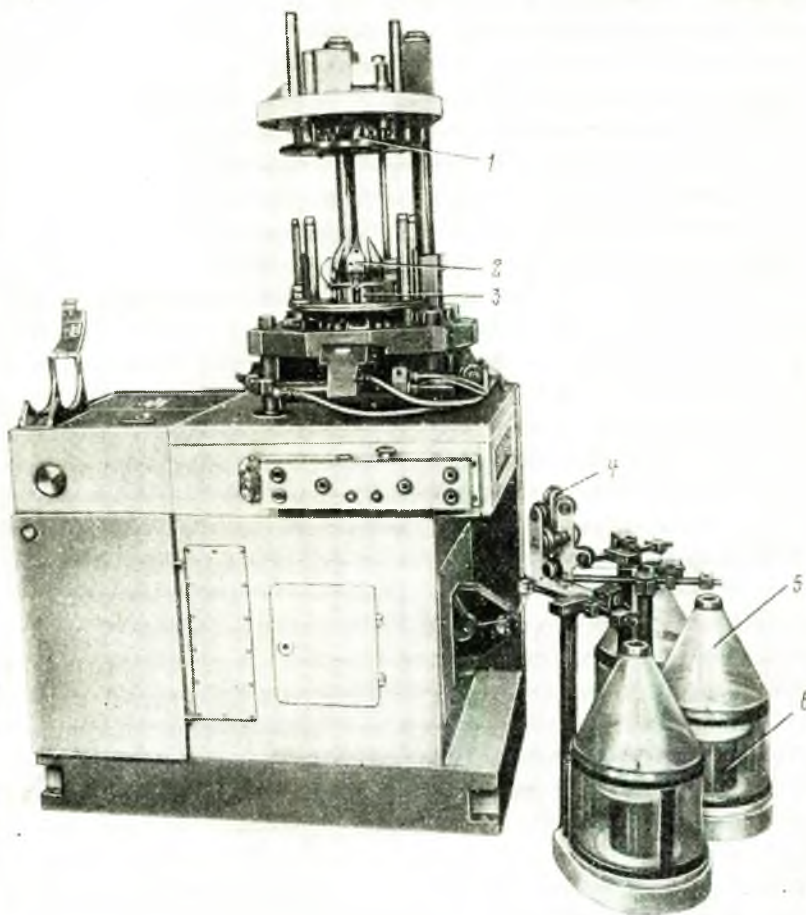


Рис. 15.9. Станок модели ОС2А2 для совмещенной намотки статоров.

В электротехнической промышленности используется ряд станков для намотки совмещенным способом, разработанным ВНИИТэлектромаш. Станки позволяют наматывать сердечники с внутренним диаметром до 145 и длиной до 160 мм. Скорость намотки 1400 двойных ходов в минуту. После намотки статоры передаются на операцию заклинивания пазов.

в) Намотка статоров раздельным способом

Принцип раздельной намотки статоров состоит в том, что катушечную группу наматывают на шаблон определенной формы, раскладывая проводники в ряд, а затем специальным устройством переносят катушечную группу на станок, который вытягивает обмотку в пазы сердечника. После вытягивания производится разжим лобовых частей.

Рассмотрим операции намотки катушек, переноса, вытягивания и разжима.

Катушки в зависимости от числа параллельных проводников можно наматывать двумя способами.

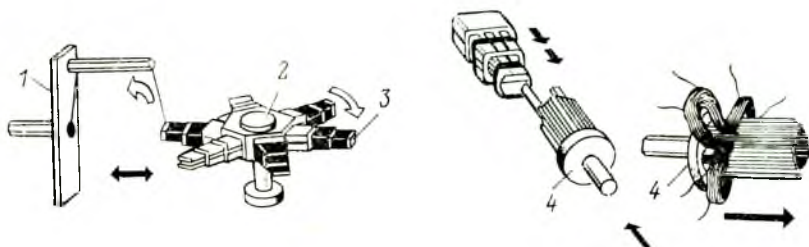


Рис. 15.10. Технологическая схема станка для намотки катушек на шаблоны.

При первом способе намотки катушки из одного или двух параллельных проводников образуются с помощью вращающегося, относительно неподвижного шаблона, мотовила; при втором способе катушки из двух и более параллельных проводников получаются за счет вращения шаблона. Так как обмотка concentрическая, шаблон имеет ступенчатую форму, и каждая катушка катушечной группы наматывается на свою ступень шаблона.

Технологическая схема станка, основанная на первом способе намотки, показана на рис. 15.10. Главными частями таких станков являются намоточная бабка, в которой размещены приводы управления мотовилом 1, и револьверная головка 2 с закрепленными на ней шаблонами 3. Револьверная головка позволяет в процессе наматывания снимать ранее намотанные катушки. В зависимости от вида производства и конструкции обмоток статора применяют станки с револьверными головками различных типов.

К недостаткам рассмотренной схемы следует отнести значительный объем ручных операций: установку в шаблон переносного устройства 4 для съема и переноса катушек, съем их с шаблонов, укладку переходного витка перед вытягиванием катушек в сердечник. Кроме того, при большом числе катушек в группе шаблоны приходится удлинять настолько, что работа с ними становится затруднительной.

Для устранения перечисленных недостатков созданы намоточные станки (двух типов) для намотки катушек непосредственно

в приспособление для переноса катушек, а также агрегатные станки, в которых объединены намоточный станок и станок для вытягивания. При этом переносное приспособление исключается из технологического процесса, а перенос катушек с намоточного шаблона производится непосредственно во вытягивающую оправку.

Первый способ намотки на переносное приспособление основан на использовании эффекта сползания витка с конической поверхности шаблона под действием усилий натяжения, второй —

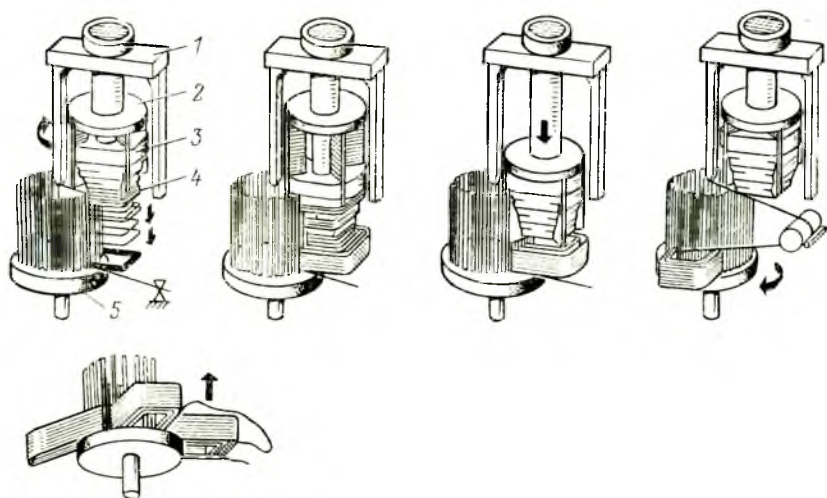


Рис. 15.11. Технологическая схема станка для намотки катушек в переносное приспособление.

на принудительном сталкивании витка с шаблона (в процессе его образования) подвижными в осевом направлении элементами. На рис. 15.11 схематически показан процесс образования катушек при помощи шаблона с коническими поверхностями. Мотовило 1, вращаясь вокруг неподвижного шаблона 3, укладывает виток на коническую поверхность 4. В результате действия сил натяжения в той части витка, которая огибает криволинейную поверхность шаблона, возникает осевая сила, сдвигающая эту часть вдоль образующей поверхности. Каждый последующий виток, попадающий на коническую поверхность, сталкивает предыдущий. Благодаря этому витки катушки переходят с шаблона в щели между стержнями приспособления 5 для переноса катушек. Чтобы исключить протягивание витков по шаблону, последний выполняют таким образом, что его коническая часть переходит в цилиндрическую, на которой постоянно накапливается определенное число витков. После намотки одной катушки шаблон опускается на ступень для намотки следующей, а после намотки группы катушек витки, оставшиеся на шаблоне и находящиеся в приспособлении, сдвигаются до необходимого уровня толкателем 2. Для намотки следующей группы катушек шаблон возвращается в ис-

ходное положение, и приспособление поворачивается на определенный шагмотки угол. При этом оттягивается переходный виток нужной длины.

Намотка катушек с принудительным сталкиванием витков отличается от описанной тем, что осевое сталкивающее усилие развивается толкателями 2, совершающими возвратно-поступательное движение от связанного с мотовилом кулачка.

Преимуществом второго способа намотки является получение стабильной осевой сталкивающей силы, не зависящей от коэффициента трения в паре шаблон — обмоточный провод, недостатком — усложненная конструкция намоточной головки. Вторым способом наматываются катушки из двух проводников и более.

Следующим этапом получения обмотки статора раздельным способом является втягивание катушек (рис. 15.12). После набора катушек в приспособление для переноса *б* последнее подается к

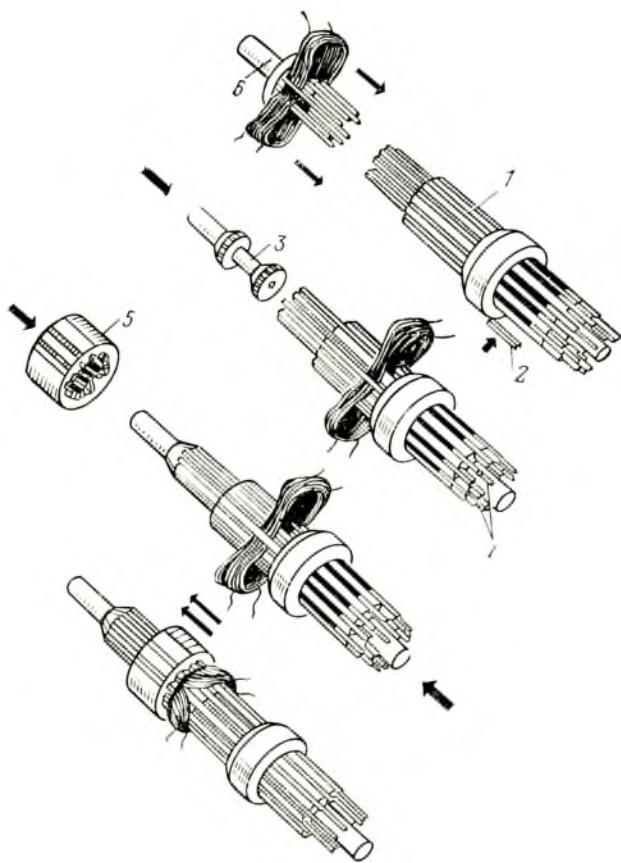


Рис. 15.12. Технологическая схема станка для втягивания катушек.

станку для втягивания катушек и вставляется в штыревую оправку 1. Здесь катушки вручную переводятся из приспособления в щели между штырями оправки. Одновременно в штыревую оправку вводятся в определенной последовательности пазовые крышки 2. Затем в нее вставляется стабилизатор щелей 3, который служит направляющим элементом для сердечника, и надевается сердечник 5. Расположенный внутри оправки толкатель катушек движением вдоль штырей втягивает катушки в пазы сердечника, закрывая их при этом пазовыми крышками. Последние подаются в пазы толкателями 4, движущимися вместе с толкателем катушек.

На рис. 15.13 показан поперечный разрез штырей оправки 2 и толкателя 1.

Можно на втягивающую оправку перенести все катушки обмотки и втянуть их за один переход. Можно на втягивающую оправку переносить и втягивать обмотку по частям, за несколько переходов. Число переходов зависит от габаритов сердечника, схемы обмотки и

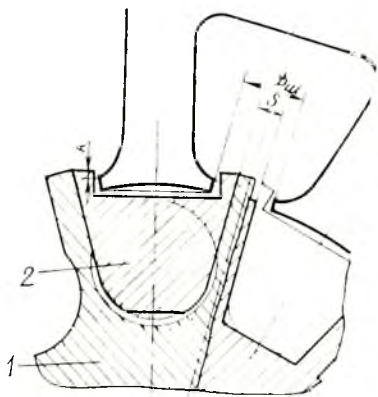


Рис. 15.13. Поперечный разрез штырей и толкателя штыревой оправки.

числа слоев в пазу. Например, втягивание однофазной concentрической обмотки (см. рис. 15.1, б) в сердечник с внутренним диаметром 50—100 мм можно произвести за один переход. Для этого на шаблоны наматывают две катушечные группы по две катушки в каждой группе и переносят на штыревую оправку. Выполняя трижды намотку и трижды перенос на штыревую оправку, получают на штыревой оправке обмотку всех фаз и за один переход (одно движение толкателя) производят втягивание.

В более сложных обмотках число переходов может быть больше. Например, для втягивания двухслойной обмотки (см. рис. 15.2, б) необходимы четыре перехода. На рис. 15.2, б цифрами показаны катушки, которые втягиваются при различных переходах. Сначала втягивают катушки, расположенные на дне паза. Затем устанавливают прокладки между катушками в пазу и втягивают верхние слои. У некоторых катушек одна сторона располагается внизу паза, а вторая вверху паза. Прокладки между катушками устанавливают вручную или автоматически, одновременно со втягиванием стороны катушки, лежащей на дне паза.

Важным параметром штыревой оправки является ширина щели S между двумя соседними штырями. Успешное осуществление процесса втягивания обмоток в пазы статора зависит от ширины щели, диаметра d проводников и их расположения в щели, а также от коэффициента заполнения паза. Эта зависимость

представлена на рис. 15.14 в виде диаграммы с выделенными зонами ограничения. Для нахождения зоны, определяющей условия втягивания, необходимо определить ширину щели S . Ширина щели S и ширина открытия паза $b_{щ}$ находятся в следующей зависимости:

$$b_{щ} = S + 2a + 2b + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3,$$

где a — толщина стенки штыревой оправки; b — зазор между штыревой оправкой и стенкой шлица.

Наименьшие значения, достигнутые в настоящее время, составляют: $a=0,3$ мм; $b=0,1$ мм. Таким образом, $b_{щ}=S+1,4$.

Для улучшения условий втягивания последующих катушечных групп сердечник с катушками подается на отдельный станок для разжима лобовых частей обмотки или на позицию, встроенную с этой целью в станок для втягивания [12].

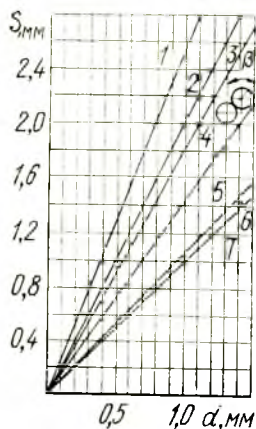


Рис. 15.14. Зоны втягивания обмотки в зависимости от диаметра провода и ширины щели между штырями. 1 — без ограничений; 2 — при коэффициенте заполнения паза менее 75 %; 3 — при расположении витков обмотки в ряд; 4 — при угле между витками $\beta < 50^\circ$; 5 — при коэффициенте заполнения паза меньше 35 %; 6 — при высоте катушки в щели меньше 40 мм; 7 — втягивание обмотки не происходит.

Наиболее распространенные схемы станков для разжима лобовых частей обмоток с помощью подвижного и неподвижного конусов приведены на рис. 15.15, а и радиально выдвигаемых секторов — на рис. 15.15, б.

Станки — намоточные, втягивающие и для разжима лобовых частей обмотки — применяются в комплекте. Они работают с перекрытием операций. Для этих станков характерен высокий уровень автоматизации.

Комплект станков для укладки обмотки в сердечники статоров асинхронных электродвигателей с высотой оси вращения до

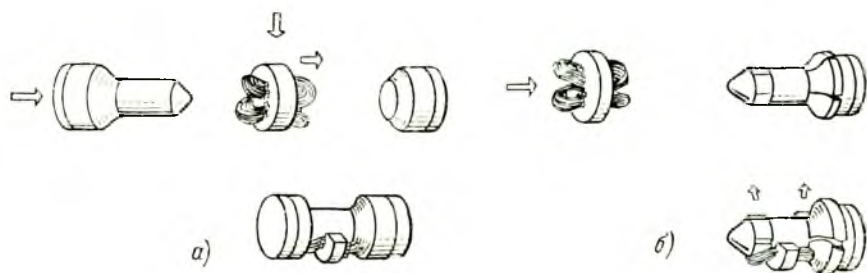


Рис. 15.15. Технологическая схема станка для разжима лобовых частей обмоток.

100 мм (рис. 15.16) состоит из намоточного станка 3, станка для вытягивания катушек 6 и станка для разжима лобовых частей обмоток 9. Работа на них производится следующим образом. Намоточный провод сматывается с катушки, накрытой предохранительным колпаком 1, и через натяжное устройство 2 поступает в мотовило (на рис. 15.16 его не видно). Намотка катушечных групп выполняется на шаблоны 4. Затем оператор с помощью

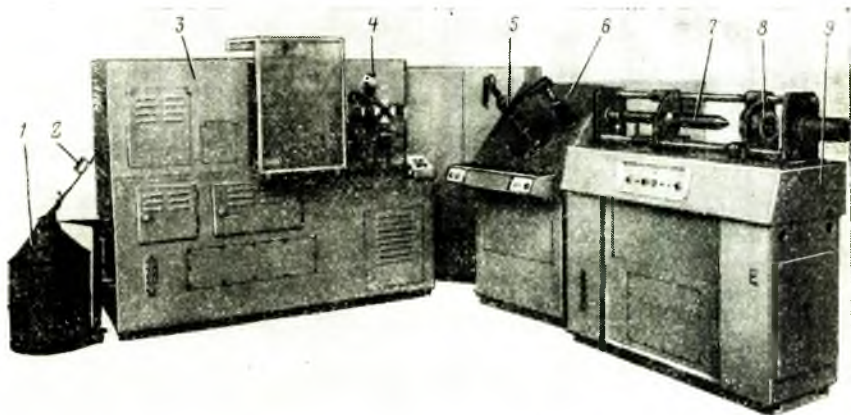


Рис. 15.16. Комплект станков для укладки обмоток в сердечники статоров электродвигателей с высотой оси вращения до 100 мм.

переносного приспособления снимает их с шаблонов и переносит к станку для вытягивания. На рисунке показано положение шаблонов, после того как с них сняли намотанную катушечную группу. Для намотки каждый шаблон поворачивается на 90° . На станке вытягивания катушечная группа вручную перегружается из переносного приспособления во вытягивающую оправку 5. Затем на штыри вытягивающей оправки надевают сердечник с изолированными пазами и закрепляют, чтобы предотвратить осевое смещение. Включают станок и производят вытягивание обмотки. Затем статор снимают и переносят в оправку 8 разжимного станка. Разжим производится конусом 7.

Комплект указанных станков переналаживается для укладки обмоток в сердечники других типов заменой на намоточном станке узла с шаблонами, на станке для вытягивания — штыревой оправки и формирующих элементов механизма заклинивания, на станке для разжима лобовых частей обмотки — разжимных конусов.

Следует отметить, что комплекты из отдельных станков оправдывают себя в условиях производства с изменяющейся номенклатурой выпуска, поскольку они могут быть быстро перестроены на новый вид изделий.

При производстве большого количества однотипных машин (200—300 тыс. шт. в год) используются агрегатные станки.

Последовательность операций, выполняемых на агрегатном станке, показана на рис. 15.17. Мотовило 1 наматывает на трехступенчатый шаблон 2 три катушки, которые на позиции II переносятся на штыревую оправку 3. Одновременно с намоткой кату-

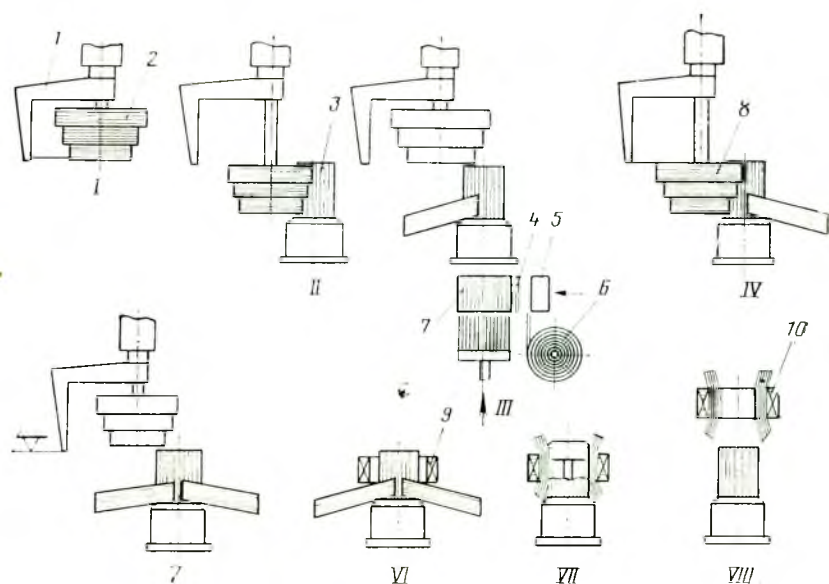


Рис. 15.17. Операции, выполняемые на агрегатных станках.

шек пуансон 5 нарубает и формует из рулона 6 клинья 4 и подает их в клиновую оправку 7 (позиция III). Затем вторым мотовилом наматывается и переносится на штыревую оправку вторая катушечная группа 8 (позиции IV, V). Таким образом наматывают и переносят на штыревую оправку столько катушечных групп, сколько предусмотрено технологическим процессом. Затем на штыревую оправку надевают сердечник 9 (позиция VI) и производят стягивание всех катушек одновременно (позиция VII). Сердечник с обмоткой 10 снимают со штыревой оправки и передают на разжим лобовых частей (позиция VIII).

г) Заклинивание пазов статора

Механизированное заклинивание пазов после укладки обмотки на заклиновочном станке включает изготовление пазовых крышек, отжим обмотки в местах введения крышек и установку последних в пазы статора.

Форма пазовой крышки, как правило, трапецевидная. Такая форма способствует симметричному расположению крышки в пазу.

Кроме того, продольная жесткость крышки с трапецевидным профилем в 1,4—1,6 раза выше, чем, например, с овальным, что необходимо для исключения смятия крышки при машинной установке в паз. Материал для изготовления крышки выбирают тот же, что и для изготовления пазового короба, но большей толщины (0,2—0,35 мм). При заклинивании важно не допустить перекоса крышки. При перекосе ребро оказывается против шлица и даже возможен выход ребра внутрь статора.

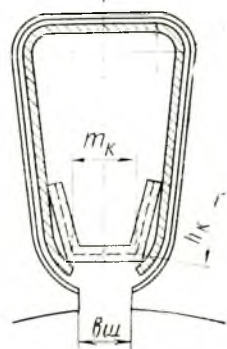


Рис. 15.18. Расчетная схема определения размеров клина крышки.

Пазовая крышка должна иметь развертку, обеспечивающую перекрытие кромок короба и крышки, достаточное для создания необходимого разрядного промежутка по поверхности изоляции между катушкой и сердечником.

Расчет развертки пазовой крышки начинают с определения ширины спинки крышки. Согласно опытным данным ширину спинки m_k следует определять по соотношению (рис. 15.18):

$$m_k = K_1 (b_{ш} + d_2).$$

Коэффициент K_1 для различных $b_{ш}/d_2$ имеет следующие значения:

$b_{ш}/d_2$	0,3—0,4	0,4—0,5	0,5—0,6	0,6—0,7
K_1	0,4	0,45	0,5	0,55

Ширину развертки крышки можно представить в виде

$$B_k = m_k + 2h_k.$$

Значения высоты крышки h_k устанавливают с учетом механических свойств материала.

При слишком больших полках увеличиваются объем вводимого в паз материала и коэффициент заполнения паза, а следова-

Таблица 15.2

Материал	Толщина, мм	h_k , мм
Синтетические пленки	0,2—0,25	3,0
	0,25—0,35	3,5
Композиционные материалы из синтетических пленок и волокон (пленкосинтокартон, тривольтерм, гипертекс и др.)	0,25—0,3	3,0
	0,3—0,4	4,0
Композиционные материалы из стеклоткани и синтетических пленок (изофлекс и др.)	0,2—0,3	4,0
	0,3—0,4	5,0
Материалы из синтетических волокон (финеленовая бумага, номекс и др.)	0,25—0,3	3,0
	0,3—0,4	4,0

тельно, требуется большое усилие для ввода крышки в паз. Увеличение этих усилий создает опасность смятия крышки в процессе заклинивания. В табл. 15.2 приведены минимально допустимые значения ширины полки для различных материалов, при которых в процессе формирования крышки материал не расслаивается, не растрескивается и не отламывается.

После выбора значений m_k и h_k необходимо из неравенства $h_k \leq K_2 h$ определить, не превышает ли ширина полки допустимых значений. Коэффициент пропорциональности K_2 в зависимости от технологического коэффициента заполнения паза f_T имеет следующие значения:

f_T	0,65—0,68	0,68—0,71	0,71—0,74	0,74—0,77
K_2	0,4	0,35	0,3	0,25

Известны два способа изготовления пазовых крышек и заклинивания пазов. По первому способу (рис. 15.19, а) лента изоляционного материала 1, по ширине равная длине крышки, подается периодически работающим механизмом подачи 2 на длину, соответствующую ширине крышки. При покое механизма подачи ножи 3 отрезают заготовку крышки, а пуансон 4 форми-

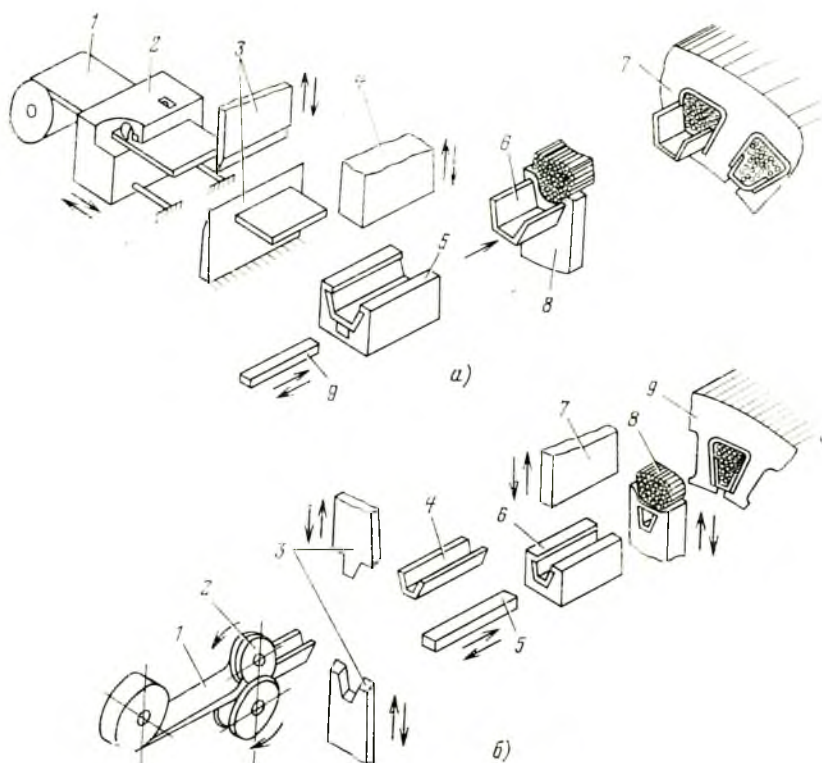


Рис. 15.19. Технологическая схема процесса заклинивания пазов из широкой полосы материала (а) и из узкой полосы (б).

рует крышку в матрице 5, которая служит также направляющим каналом при подаче крышки 6 толкателем 9 в паз статора 7.

Статор периодически поворачивается для обеспечения соосного положения очередного незаклиненного паза с матрицей и находящейся в ней крышкой. В момент покоя статора толкатель 8 отжимает лобовую часть обмотки, облегчая установку крышки в паз статора.

По второму способу (рис. 15.19, б) крышка 4 изготавливается из узкой полосы материала, равной по ширине заготовке крышки. Из бухты лента 1 периодически подается механизмом 2 в зону матрицы 6 на длину, равную длине крышки. В процессе перемещения ленты ролики механизма подачи паноят на нее зиговки, соответствующие линиям изгиба крышки. Во время покоя механизма подачи зигованная лента обрезается ножом 3, и затем пуансоном 7 заготовка крышки заталкивается в матрицу 6. Из канала матрицы толкателем 5 крышка устанавливается в периодически поворачиваемый статор 9 при одновременном отжатии лобовой части механизмом 8.

Конструкция существующих заклиновочных станков основана на использовании как первого так и второго способов. В отдельных случаях для встроенных в статорообмоточные станки заклиновочных механизмов применяется второй способ, а при механизации заклинивания на базе отдельно стоящих станков — первый. Выбор способа определяется также конструкцией статора, материалом для изготовления крышки, быстродействием станка и т. п.

д) Осадка и формование обмотки статора

При намотке статоров однофазных электродвигателей (перед укладкой пусковой обмотки) и статоров электродвигателей с двухслойной обмоткой обычно производится осадка первого слоя обмотки после его укладки и установки в пазы изоляционных прокладок. Осадка и формование лобовых частей обмотки выполняются в целях упорядочения положения витков в пазах и придания определенной формы лобовым частям.

Конструкции широко используемых в промышленности станков для осадки и формования обмотки основаны на механическом воздействии на обмотку. После укладки всей обмотки и бандажирования лобовых частей их формуют и калибруют. При этом лобовые части приобретают форму и размеры, предусмотренные чертежом. Для формования и калибровки лобовых частей применяются станок типа ФС-23А (рис. 15.20). Он рассчитан на широкий диапазон статоров и имеет комплекты быстросъемных формирующих элементов — башмаков и конусов. Внутри станины размещены гидropанель, электродвигатель с насосом и маслобак. На станине находятся два гидроцилиндра, которые перемещают по направляющим две формирующие головки. Каждая головка состоит из корпуса, шести радиально расположенных цилиндров, быстросъемных башмаков и конусов.

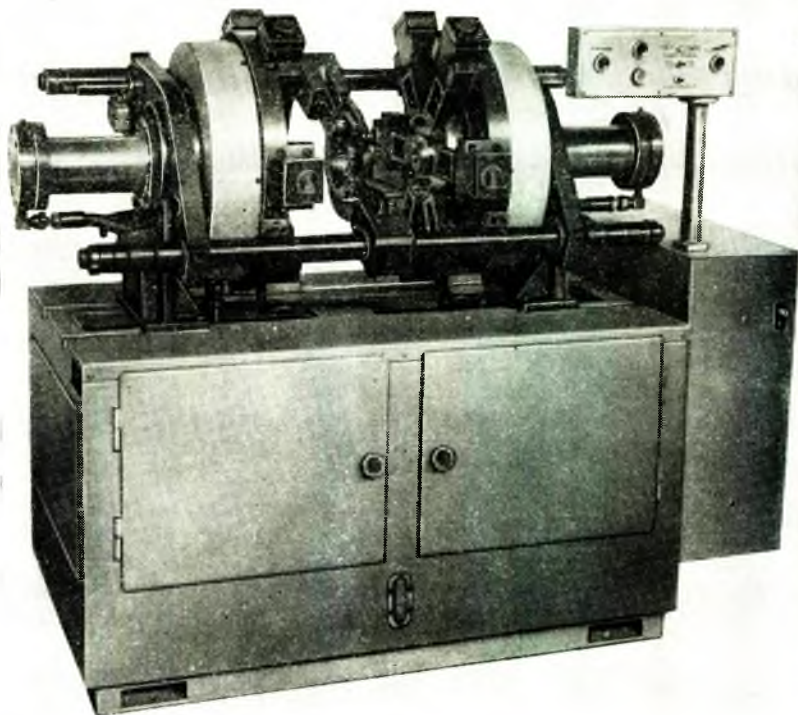


Рис. 1520. Станок для формования и калибровки лобовых частей обмотки типа ФС-23А.

На автоматизированных обмоточных линиях для обеспечения стабильного положения витков обмотки предусматривается трех- и четырехкратное формование обмотки — практически перед каждой ответственной операцией изготовления статора.

При многостадийной осадке и формовании исключается однократное, недопустимо большое силовое воздействие на провод, благодаря чему повышается качество обмотки.

е) Бандажирование лобовых частей обмотки статора

Бандажирование заключается в увязке лобовых частей обмотки статора. Бандажирование вручную — трудоемкая операция, требующая не только определенного навыка, но и больших физических усилий, так как образуемый при увязке обмотки бандаж должен быть плотно затянут.

Актуальность механизации бандажирования возрастает в связи с использованием в качестве бандажировочного материала нитей из синтетических материалов или стекловолокна, оказывающих вредное воздействие на руки рабочего.

Создано много конструкций станков для бандажирования лобовых частей обмотки статоров электродвигателей. Эти станки позволяют механизировать наложение цепных краеобметочных стежков. В качестве рабочего инструмента в этих станках используется открытая игла-крючок или закрытая игла. Операция бандажирования может производиться одно- или двухниточным стежком. В однониточных бандажировочных станках используются радиусная игла и поворотный петлитель. При входе иглы в просвет обмотки нить натягивается по хорде между ушком иглы и обмоткой, образуя зазор около 15—20 мм, что позволяет легко захватывать ее петлителем.

Применение радиусной иглы позволило обеспечить передачу нити с иглы на петлитель, приблизить статор вплотную к траектории движения иглы, исключив влияние распушения листов сердечника, а также упростить конструкцию привода иглы и петлителя.

Однониточный станок двустороннего действия (бандажируются обе лобовые части статора) имеет двухпозиционную статорную

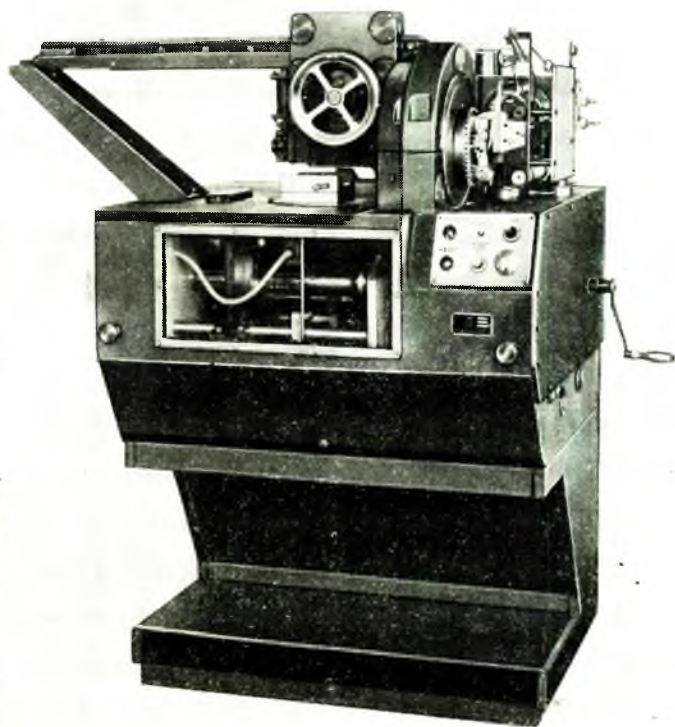


Рис. 15.21. Станок для двухниточного бандажирования лобовых частей типа БС-23Б.

головку, позволяющую выполнять загрузку — выгрузку статора на загрузочной позиции одновременно с бандажированием на рабочей позиции. На станке производят первоначальное закрепление и автоматическую отрезку нити. Благодаря программному устройству стежки бандажа на отдельных участках укладываются в каждом просвете или через просвет. Это позволяет не бандажировать просветы, перекрытые выводными проводниками или другими деталями обмотки, а также накладывать по несколько стежков в начале и конце бандажирования. Станки бандажируют одновременно обе лобовые части, делая до 72 стежков в минуту.

Опыт эксплуатации станков с однопиточным стежком показал, что в процессе бандажирования лобовая часть статора испытывает значительные деформации под действием бандажировочной нити, приводящие к смещению ее элементов. Кроме того, несмотря на значительное натяжение нити в процессе бандажирования достигаемая плотность бандажа недостаточно высока.

При двухпиточном бандажировании получается значительный технологический эффект — отсутствие смещения межфазовой изоляции. Неподвижность изоляции объясняется двумя причинами: значительным уменьшением воздействия игольной нити, которая натянута слабее, чем при однопиточном стежке; наличием на торце статора сильно натянутой петлительной нити, которая препятствует сдвигу межфазовой изоляции.

На рис. 15.21 показан разработанный ВНИИТэлектромаш бандажировочный станок типа БС-23Б, который бандажирует двухпиточным швом с помощью двух радиусных закрытых игл. Бандажирование одностороннее.

ж) Комплексная механизация обмоточно-изолировочных работ

Для намотки статоров ВНИИТэлектромаш разработан автоматический участок линии с агрегатным статорообмоточным устройством. На этом участке выполняются основные и вспомогательные операции при высоком уровне их автоматизации. На автоматическом участке изготавливают рабочую обмотку однофазных электродвигателей типа ДБСМ-1Е к бытовым стиральным машинам. Участок рассчитан на такт 15—20 с. Годовая производительность при коэффициенте использования 0,8 составляет 600—800 тыс. статоров. Обслуживают участок два человека (оператор и наладчик). Более подробно вопросы механизации обмоточно-изолировочных работ изложены в [25].

15.3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ И УКЛАДКА ОБМОТОК ИЗ КРУГЛОГО ПРОВОДА РУЧНЫМ СПОСОБОМ

Вспышные обмотки из круглого провода наматываются на намоточных станках, оснащенных многоручьевыми намоточными шаблонами. Для повышения производительности труда и умень-

шения внутримашинных соединений наматывают сразу всю катушечную группу. На рис. 15.22 показан разработанный ВНИИТЭлектромаш намоточный станок типа НК-4А. Намотка катушечной группы производится на гидрофицированный шаблон 2. Провод сматывается с катушек 7, установленных на торец, и через направляющие 6, натяжное устройство 5, раскладчик 3 крепится к шаблону. Натяжное устройство состоит из системы роликов, часть которых подторожена.

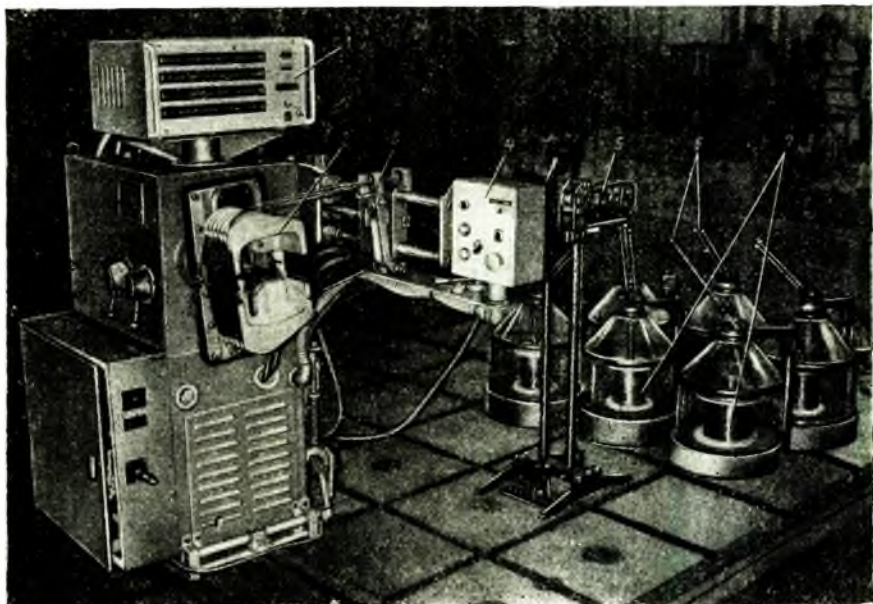


Рис. 15.22. Станок для намотки катушечных групп типа НК-4А.

Станок работает следующим образом. На блоке автоматики станка 1 устанавливается программа намотки: число витков в каждой катушке и число катушек в катушечной группе. Программа предусматривает возможность намотки катушек в катушечной группе с разным числом витков. Включение станка производится с пульта управления 4. При включении начинается намотка первой катушки, намотав заданное число витков первой катушки, шаблон останавливается, раскладчик 3 передвигается и устанавливается перед следующим ручьем шаблона. Шаблон начинает вращение и происходит намотка второй катушки. Таким образом, вся катушечная группа наматывается в автоматическом цикле, после чего шаблон останавливается. Провод отрезается, между сторонами катушек заводится гребенка (рис. 15.23) и запирается штырем 1. Затем стороны шаблона сближаются, кату-

сечная группа снимается с шаблона и переносится на стойку (на рисунке не показана). Стороны шаблона устанавливаются в исходное положение, к шаблону крепится провод и начинается намотка следующей катушечной группы. За время намотки катушечной группы на станке оператор перевязывает шнуром каждую катушку, находящуюся на стойке. В этом станке, в отличие от ранее существующих, операции намотки и завязки совмещены по времени, что позволяет повысить производительность труда.

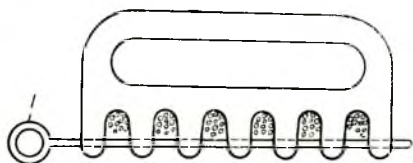


Рис. 15.23. Гребенка для переноса катушечных групп.

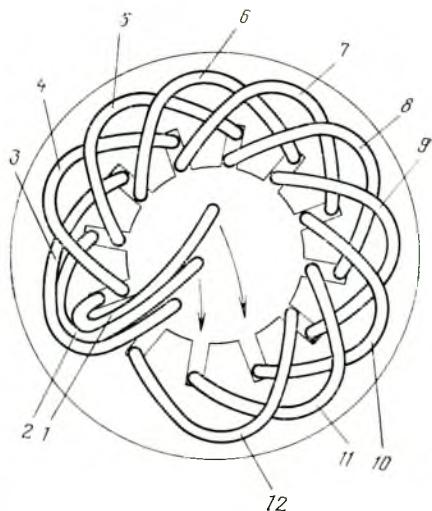


Рис. 15.24. Последовательность укладки катушек двухслойной обмотки в пазы статора.

Выводные концы катушечных групп зачищают от изоляции. Это делают, например, обжигая их в муфельной печи и, чтоб избежать структурных изменений меди, охлаждая в воде.

Намотанные катушечные группы поступают на участок укладки, где их укладывают в пазы статора. Рассмотрим последовательность укладки двухслойной обмотки в пазы статора (рис. 15.24). Первые три катушки 1, 2, 3 укладывают одной стороной в низ пазы, а вторую сторону оставляют внутри сердечника. Следующие катушки (4, 5 и т. д.) укладывают одной стороной в низ пазы, а второй стороной в верхнюю часть пазы, так как в нижней части пазы уже имеется ранее уложенная катушка. После того, как уложена последняя катушка 12, производят укладку вторых сторон первых трех катушек в верх пазов, начиная с катушки 3. Укладку последних катушек называют укладкой замка, а место в обмотке называют замком. С уменьшением числа пар полюсов, как правило, увеличивается шаг обмотки и тем самым увеличивается число катушек в замке. Это увеличивает трудоемкость укладки и усложняет ее, поэтому наиболее тяжелым в укладке являются двухполюсные машины.

Последовательность (позиции I—VI) всыпания проводников в пазы показана на рис. 15.25. Сначала во все пазы укладывают

корпусную изоляцию 1, а в паз, куда будут всыпать проводники, дополнительно устанавливают технологические картонные прокладки 2 для предохранения изоляции провода от повреждения (позиция I). Заполнение низа паза производят, опуская проводники 3 между технологическими прокладками (позиция II). Уплотнение проводников в пазу осуществляют подбойкой 4, по которой ударяют сверху молотком (позиция III). Затем между

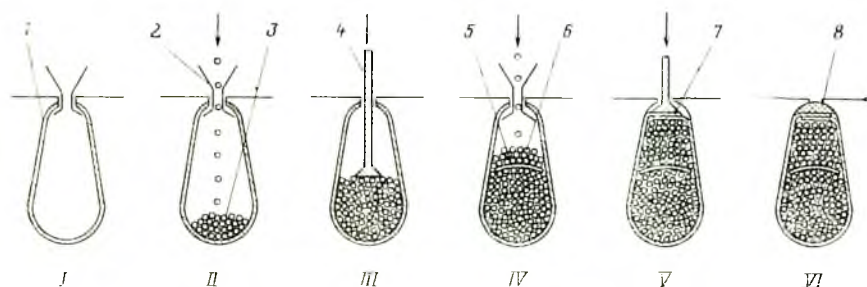


Рис. 15.25. Последовательность всыпания проводников в пазы статора.

пазами устанавливают прокладку 5, которая изолирует верхнюю и нижнюю катушки, и заполняют проводниками 6 верх паза (позиция IV). После этого подбойкой уплотняют обмотку и заворачивают один, а затем второй край корпусной изоляции (позиция V). Клин забивают поверх загнутых краев изоляции (позиция VI). Под клин устанавливают дополнительную прокладку. Клин должен входить в паз туго и находиться в пазу плотно. При укладке секций между верхом и низом лобовой части прокладывают для изоляции простынки. При необходимости простынки бандажируют к секциям.

После укладки секций производят соединение и пайку схемы, припайку выводных кабелей и бандажировку лобовых частей. Соединение схемы выполняют собственным проводом катушек в соответствии с требованиями чертежа. Провода обрезают на нужную длину и надевают на них изоляционные трубки. При 2—3 элементарных проводниках в катушке провода в местах соединения катушечных групп скручивают, обрезают скрутку и сваривают с торца. При большем числе элементарных проводников скрутку проварить трудно, поэтому для соединения используют медные гильзы, в которые укладывают проводники с двух сторон, обжимают гильзу и сваривают ее, заливая припой в гильзу. Выводные кабели присоединяют к схеме гильзами и проваривают их. Для сварки используют меднофосфорный припой ПМФ-7. Места сварки изолируют лентами.

Бандажирование выполняют шнуром, который протягивают между секциями проволоочной иглой. Формовку лобовых частей осуществляют ударами молотка через фибровую или текстолитовую прокладку.

При ручной укладке могут быть механизированы отдельные операции (пазоизолирование, формование и т. п.).

Ручная укладка применяется при производстве единичных машин и при ремонтных работах.

Глава шестнадцатая

ИЗГОТОВЛЕНИЕ И УКЛАДКА ШАБЛОННЫХ ОБОМОТОК ИЗ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ПРОВОДА

16.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

С увеличением мощности машин уменьшается число эффективных проводов в пазу и увеличивается их сечение. И при мощности машин более 60—80 кВт получить необходимое сечение эффективного проводника, соединив параллельно несколько круглых проводников, не представляется возможным. Обмотка, имеющая более 6—8 элементарных круглых проводов в одном эффективном проводнике, становится нетехнологичной, поэтому обмотку выполняют из прямоугольного провода.

Катушки изготавливают, наматывая провода ровными рядами, что позволяет иметь надежную витковую изоляцию. При необходимости витковую изоляцию можно усилить, проложив между витками при намотке дополнительную прокладку. Поэтому машины с обмотками из прямоугольного провода имеют более высокую надежность.

В низковольтных электрических машинах пазовую изоляцию устанавливают в сердечник до начала укладки катушек, а катушки не изолируют. Это позволяет разделить каждую катушку по ширине на две полукатушки и укладывать в паз не всю катушку сразу, а каждую полукатушку отдельно. При этом паз делают полукрытым, т. е. шлиц паза имеет ширину несколько большую, чем ширина полукатушки.

Электрические машины мощностью свыше 400 кВт целесообразно изготавливать и эксплуатировать на напряжение свыше 3000 В. Высокое напряжение предъявляет к корпусной изоляции катушек ряд дополнительных требований. Изоляция должна быть короностойкой (обладать способностью длительно работать в полях с высокой напряженностью поля); иметь высокий запас электрической прочности и выдерживать коммутационные и атмосферные перенапряжения, которые могут достигать 3—4 значений рабочего напряжения; иметь малые диэлектрические потери ($\lg \delta$). Этим требованиям удовлетворяет изоляция на основе слюды, которую накладывают на катушку до ее укладки в сердечник, поэтому укладку катушки производят в открытый паз.

Технология изготовления катушек с корпусной изоляцией определяется принятым типом изоляции. На рис. 16.1 показана последовательность основных операций при изготовлении катушек с

различной изоляцией. Долгие годы в качестве изоляции использовали микаленту на масляно-битумных лаках с последующей компаундировкой катушек. Такая изоляция называется термопластичной и имеет класс нагревостойкости А. В последние годы в качестве изоляции используют непропитанные ленты на основе

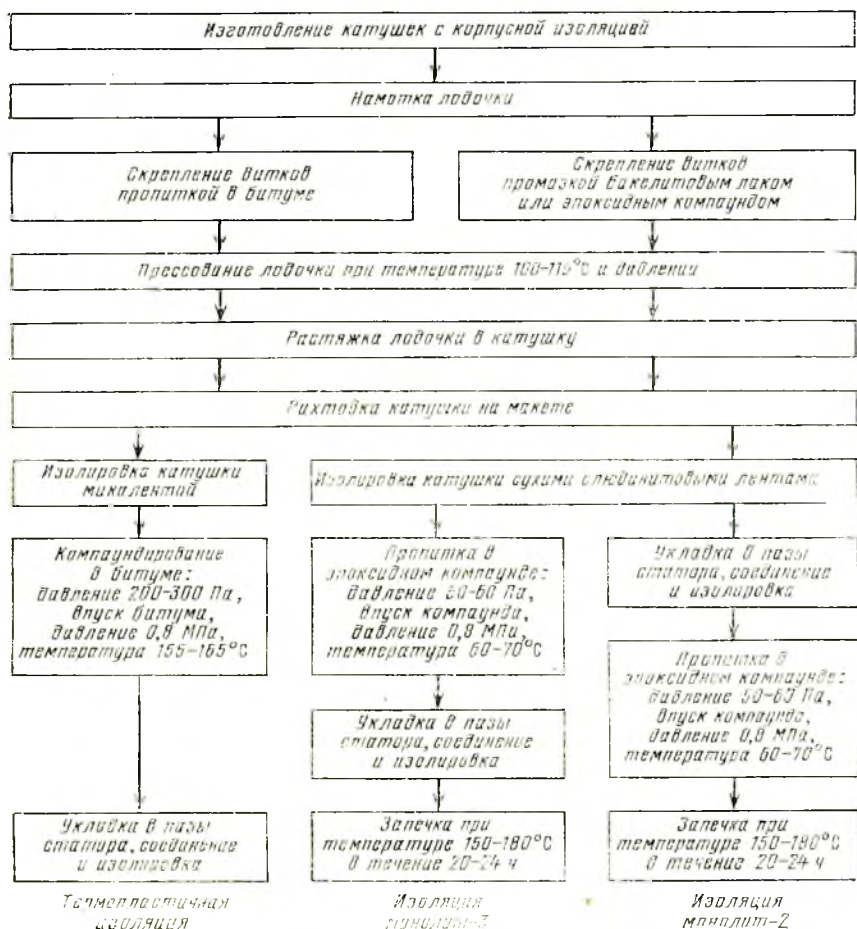


Рис. 16.1. Последовательность основных операций при изготовлении катушек с корпусной изоляцией.

слюдяных бумаг с последующей пропиткой катушек в эпоксидных компаундах. При этом применяют два способа: сухой (монолит-2) и мокрый (монолит-3). При сухом способе катушки после изолировки укладывают в сердечник и пропитывают вместе с ним, после чего производят запечку. При мокром способе катушки после изолировки пропитывают и подсушивают. Подсушку произ-

водят по таким режимам, которые позволяют подсушить до отлипа наружные слои изоляции, сохраняя влажными внутренние. Затем катушки укладывают в сердечник и запекают. Мокрый способ требует пропиточное оборудование небольших габаритов по сравнению с сухим способом и позволяет получать более ремонтоспособные машины. При сухом способе обмотка получается более монолитной. Изоляция этого типа имеет класс нагревостойкости В, высокую монолитность, а отсюда и лучшую теплопроводность, что повышает технико-экономические показатели машин.

Изготовление и укладка обмоток из прямоугольного провода трудно поддаются механизации. В настоящее время механизированы только отдельные технологические операции изготовления обмоток.

Трудоемкость изготовления и укладки обмоток из прямоугольного провода без корпусной изоляции в 3 раза больше, чем трудоемкость немеханизированного изготовления и укладки обмотки из круглого провода в сравнимых машинах, а трудоемкость изготовления обмоток с корпусной изоляцией в 2,5—3 раза больше трудоемкости изготовления обмоток из прямоугольного провода без корпусной изоляции. Изготовление обмоток производят в специализированных цехах и участках, а укладку — в сборочных цехах.

16.2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОБМОТОК ИЗ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ПРОВОДА БЕЗ КОРПУСНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Многовитковая статорная катушка из прямоугольного провода показана на рис. 16.2. Катушка имеет пазовую часть 3 и лобовую часть, состоящую из прямолинейного участка 2 и головки 1. На лобовой части расположены два выводных конца 4. Одна сторона пазовой части катушки укладывается в низ паза статора 5, а вторая в верх паза 6. Пазовые части развернуты на угол α° и расположены на разных радиусах от центра. Катушка имеет достаточно сложную геометрическую форму.

При изготовлении катушки последовательно осуществляются следующие операции: намотка лодочки, скрепление витков лодочки, прессовка лодочки, растяжка лодочки в катушку, рихтовка катушки, крепление и изоляция выводных концов и лобовых частей.

Намотку лодочки производят на станках типа ТТ-20, ТТ-22, ТТ-24. Для намотки используют плоские шаблоны (рис. 16.3). Форма шаблона выбрана такой, что после намотки лодочки получаются сформированными места перегибов головок катушки и подготовленными для дальнейших операций пазовые и лобовые части.

Для намотки провода с бухты подают через натяжное устройство к шаблону и закрепляют в зажиме 1. Затем производят намотку лодочки. Так как катушка укладывается в полуоткрытый паз и состоит из двух полукатушек, то одновременно наматывают две лодочки, лежащие рядом. Чтобы полукатушки в пазу не изо-

лировывать между собой, а также для удобства намотки, эффективный проводник разбивают на два элементарных и располагают рядом, как показано на рис. 16.4, а. Цифрами обозначены номера витков. При этом отношение большей стороны проводника к меньшей должно быть не менее 2,0. При несоблюдении этого условия на операциях растяжки и рихтовки под действием возни-

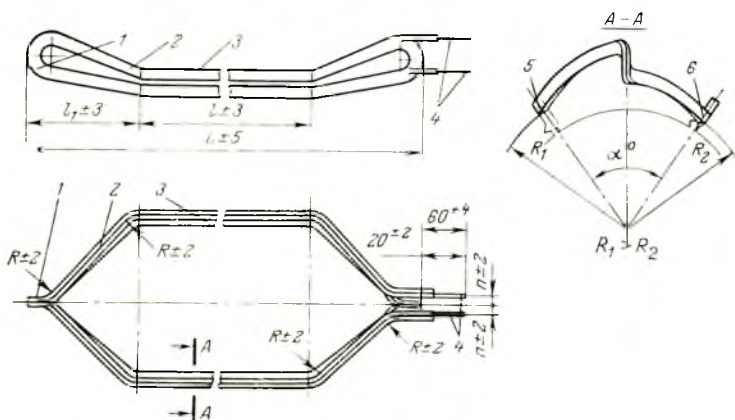


Рис. 16.2. Многовитковая статорная катушка из прямоугольного провода.

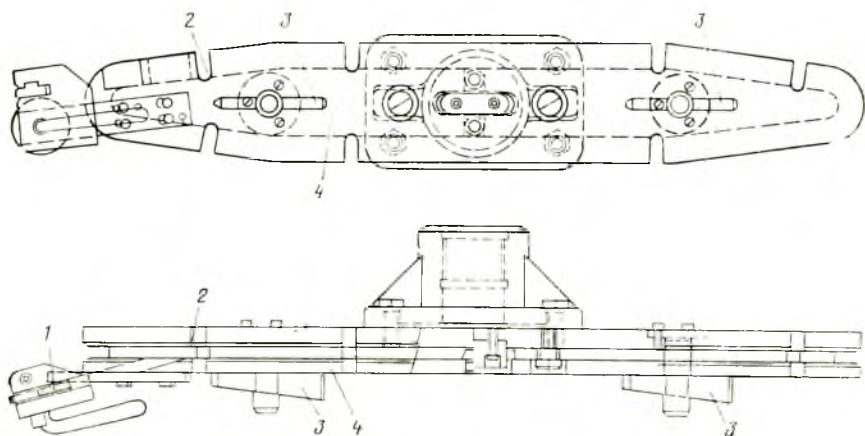


Рис. 16.3. Шаблон для намотки лодочки.

кающих сил изгиба и кручения возможно выворачивание отдельных проводников. При больших сечениях эффективного проводника его разбивают на 2, 4, 6, ... проводников. На рис. 16.4, б показана схема намотки лодочки в 4 параллельных элементарных проводника. При такой намотке возможно получение катушки с четным или нечетным числом витков, чего нельзя получить при

схеме намотки на рис. 16.4, в. Возможны также другие схемы намотки.

После окончания намотки через пазы 2 (см. рис. 16.3) перевязывают лодочку в нескольких местах. Для снятия лодочки с шаблона выбивают клинья 3 и снимают щеку 4. В таком состоянии лодочка не пригодна для дальнейших операций, так как витки в ней не скреплены. Скрепление витков можно осуществить различными способами.

8	8	5	5	4	8
7	7	5	5	4	8
6	6	4	4	3	7
5	5	4	4	3	7
4	4	3	3	2	6
3	3	3	3	2	6
2	2	2	2	1	5
1	1	1	1	1	5
а)		б)		в)	

Рис. 16.4. Расположение проводников в шаблоне при намотке.

На Московском электромеханическом заводе им. Владимира Ильича принята технология скрепления витков лавсановой лентой шириной 20 и толщиной 0,13 мм. На лобовую часть каждой лодочки ленту наматывают вполнахлеста, а на пазовую — вразбежку. Выводные концы крепят несколькими витками ленты особенно тщательно. После изолировки лодочку на 15 мин опускают в лак (МЛ-92, КО-916К), а затем подсушивают в печи в течение 0,5 ч при температуре 110—120°C. Лак, проникая между витками, скрепляет их, и лодочка становится жестче. Лавсановая лента также пропитывается лаком и при сушке, усаживаясь, скрепляет витки.

Следующая операция, на которую поступает лодочка, — прессовка. Прессовка необходима для выравнивания проводников, скрепления их и придания лодочке монолитности. Прессовка осуществляется на прессе (рис. 16.5). Лодочка пазовыми частями 6 укладывается между подвижными стержнями 3 и 5. По высоте лодочки разделены стальными пресс-планками 4. Ширина пресс-планки принимается на 0,2—0,3 мм меньше, чем высота пазовой части лодочки. Пресс-планки улучшают теплопередачу и обеспечивают равномерный нагрев всех проводов лодочки. Они также разделяют пазовые части, не позволяя им слипаться. В некоторых случаях перед прессовкой лодочки обматывают киперной лентой, которая при прессовке впитывает излишки лака, препятствуя его налипанию на пресс-планки.

Прессовку производят в следующей последовательности. Через каналы 7 подается водяной пар, имеющий температуру 110—120 °С. После того как лодочки нагрелись и лак размягчился, цилиндрами 1 и 2 создают давление, сжимающее лодочки последовательно с четырех сторон. В сжатом состоянии лодочки выдерживают 20 мин, а затем охлаждают и после охлаждения снимают давление. При нагреве лодочек лак размягчается и под давлением витки сближаются, выравниваются и уплотняются. Одновременно под воздействием температуры лак запекается.

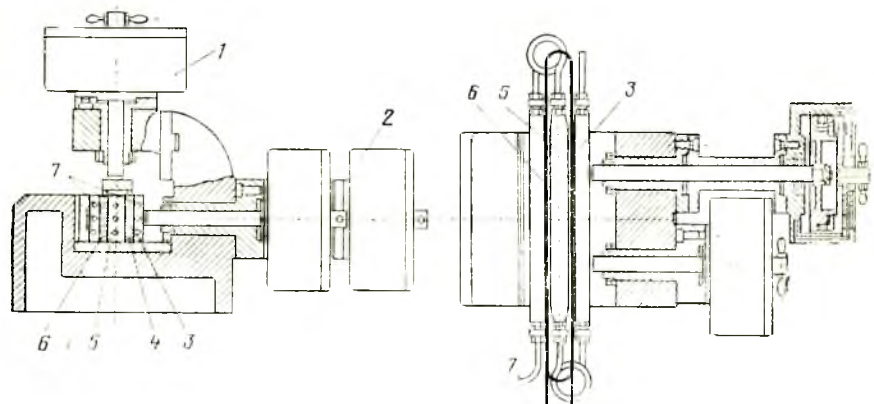


Рис. 16.5. Пресс для прессовки пазовых частей лодочки.

После прессовки лодочку растягивают и получают катушку. Растяжку выполняют на растяжном станке (рис. 16.6). Лодочки 4 устанавливают головками в фиксирующие штыри 2, а пазовые части зажимают в механизме растяжки 3. После включения станка механизм растяжки разводит пазовые части лодочки в разные стороны, а фиксирующие штыри сближаются, так как расстояние между ними уменьшается. В конце растяжки фиксирующие штыри поднимаются вверх на расстояние, необходимое для формирования катушки в вертикальной плоскости. Готовую катушку снимают со станка, а механизм растяжки и фиксирующие штыри возвращаются в исходное положение.

Зажим лодочки и движение механизмов осуществляются пневматикой. Для растяжки лодочек различной длины производят настройку станка винтами 1, которые передвигают фиксирующие штыри и механизм растяжки. При настройке также меняется угол растяжки. Производительность станков, оснащенных пневматикой, достигает 0,8 млн. катушек в год при $K_{см} = 0,7$.

После растяжки катушки не имеют точных размеров, так как медный провод обладает значительной упругостью. С увеличением угла растяжки влияние упругости сказывается сильнее. Для придания окончательной формы катушке ее формируют на макете

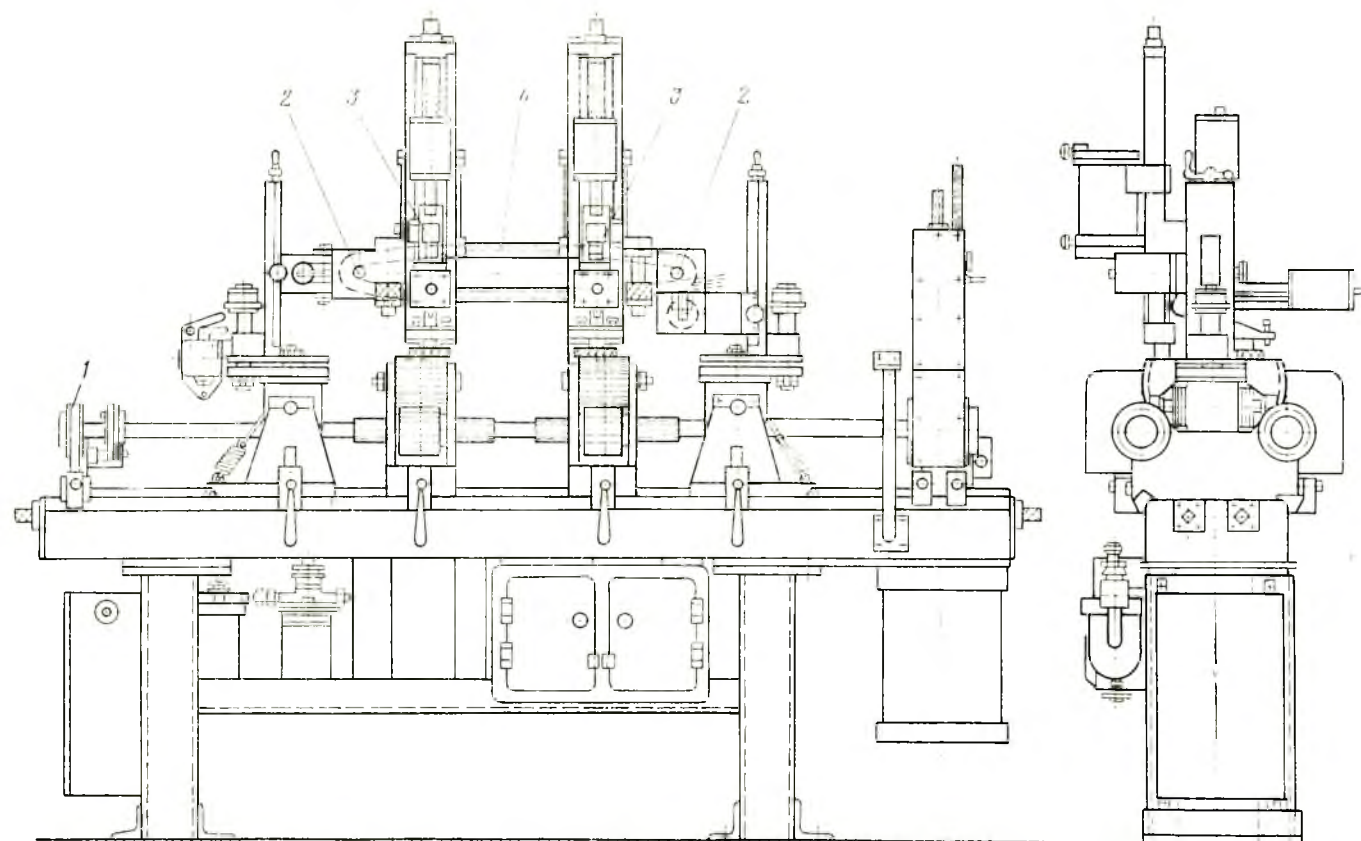


Рис. 16.6. Станок для растяжки лодочки в катушку.

(рис. 16.7). Катушку 1 укладывают на нижнюю плиту 4, которая имеет геометрическую форму лобовой части и головки катушки. Сверху накладывают верхнюю плиту 3, которая прижимает к нижней плите только пазовые части катушки, оставляя лобовые части свободными. Винты 2 стягиваются пневматикой. Затем лобовую часть и головку катушки 5 подбивают через текстолитовую прокладку молотком.

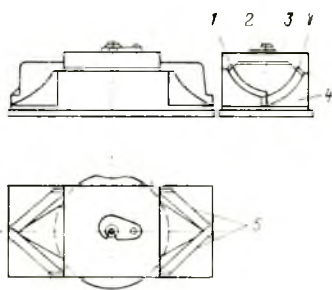


Рис. 16.7. Макет для правки и формовки лобовых частей катушек.

После формовки катушку изолируют. Выводные концы изолируют до половины длины плеча лобовой части и бандажируют для того, чтобы не нарушалась изоляция при лайке схемы. На лобовые части катушек, которые будут укладываться в статоре на границе фаз, накладывают межфазовую изоляцию. В таком виде катушки поступают на укладку в статор.

16.3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОБМОТОК ИЗ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ПРОВОДА С КОРПУСНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

Многовитковая катушка с корпусной изоляцией показана на рис. 16.8. По форме она соответствует катушке без корпусной изоляции, но не разделена на две полукатушки, так как на нее нанесена корпусная изоляция. Последовательность операций изготовления катушек приведена на рис. 16.1.

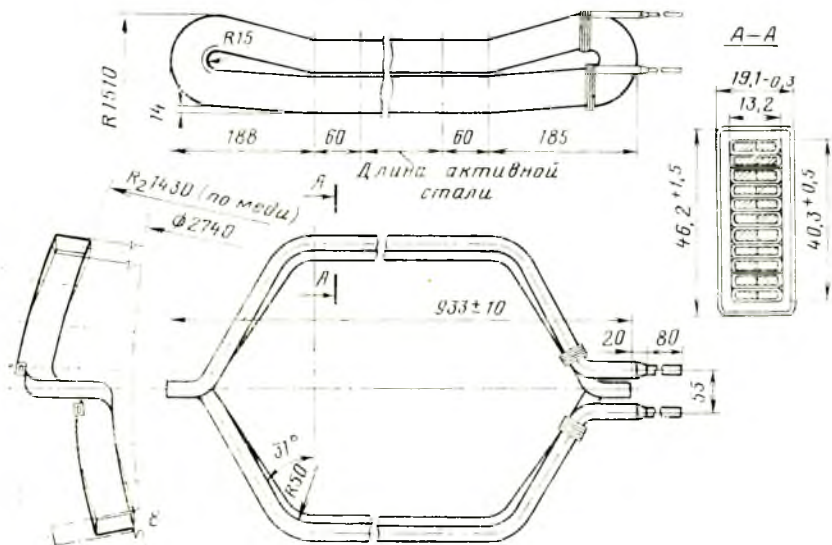


Рис. 16.8. Многовитковая катушка с корпусной изоляцией.

В качестве дополнительной витковой изоляции применяют стеклослюдинитовую или миканитовую ленту, которой изолируют провод вполнахлеста. Число слоев витковой изоляции определяется напряжением машины и указывается в чертежах.

Технология намотки лодочки, прессовка, растяжка и формовка катушки соответствуют технологии изготовления катушек без изоляции. При этом используется аналогичное оборудование.

Для получения качественной обмотки важно правильно выбрать соотношение сторон элементарных проводников. При применении проводов шириной до 3 мм или близких к квадрату намотка лодочек затрудняется вследствие тенденции витков к сдвигу (из-за незначительной площади соприкосновения витков друг с другом). Еще к большим осложнениям приводит применение тонких проводников. В катушках, намотанных тонким проводником после компаундирования, может происходить сдвиг витков. Прямоугольное сечение катушки (рис. 16.9, а) превращается в ромбическое (рис. 16.9, б). При укладке катушек с ромбическим сечением усилия почти целиком приходятся на острые углы, что приводит к повреждению изоляции.

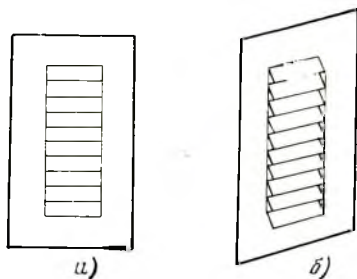


Рис. 16.9. Ромбичность сечения катушки высокого напряжения.

а — до компаундирования; б — после компаундирования.

Ромбичность возникает из-за того, что при растяжке лодочки медные проводники получают наклеп, причем напряжение в прямых частях, уголках и головках катушки различно. При компаундировании катушки нагреваются до 150—160°C и медь отпускается, а витки стремятся сдвинуться. Ромбичность получается при намотке секций из медных проводников с меньшей стороной 1,0; 1,08; 1,16 мм при соотношении сторон проводника более 5. При меньших соотношениях ромбичность не получается. Если по ширине катушки имеются два проводника, ромбичность наблюдается при меньшей стороне проводника 1,0, 1,08, 1,16 и 1,25 мм в случае, если большая сторона превышает 3 мм. Ромбичность не проявляется при меньшей стороне проводника, превышающей 1,35 мм при любом соотношении сторон [7].

При пропитке в эпоксидных компаундах ромбичность не наблюдается, так как пропитка производится при температуре 60—70°C, а запечка осуществляется, когда катушки уже уложены в статор.

Наложение корпусной изоляции является ответственной и трудоемкой операцией. Изоляцию накладывают вручную в 1/2 нахлеста или машинным способом в 1/2 нахлеста или в 2/3 нахлеста. Наложение изоляции машинным способом производят на изолировочных станках.

На изолировочных станках можно изолировать только прямо-

линейные участки катушки — пазовый участок и большую часть лобового, поэтому до установки катушки на станок вручную изолируют головки катушек и часть лобовых частей. При этом изоляцию наносят ступеньками, обеспечивая правильный их стык (см. гл. 14).

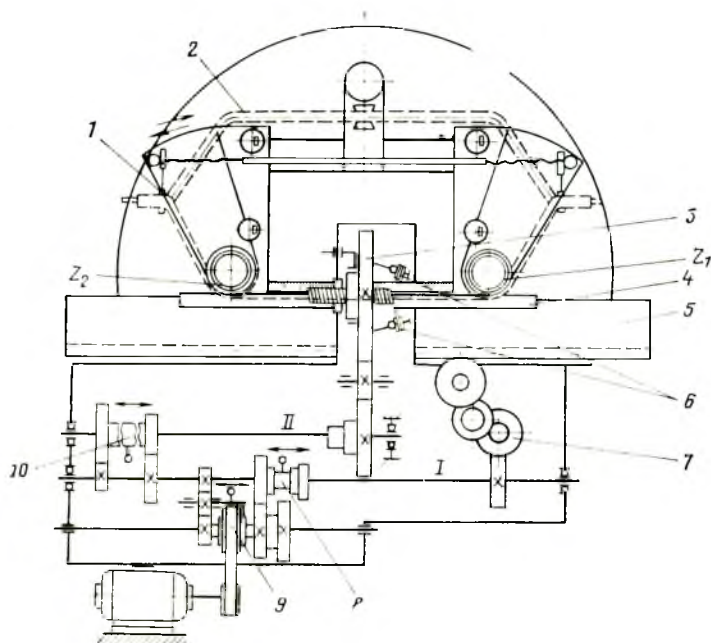


Рис. 16.10. Кинематическая схема изолировочного станка типа ЛШ-4.

Рассмотрим работу изолировочного станка типа ЛШ-4 (рис. 16.10). Изолируемую катушку 2 закрепляют в держателях 1. На изолировочную головку 3 устанавливают два ролика изоляции 6 и вручную накладывают несколько витков для закрепления ленты. Станок осуществляет изолировку только в одну сторону, что необходимо для качественного расположения слоев изоляции. Затем станок включают. Изолировочная головка получает вращение от вала II при включении муфты 10. Перемещение катушки вдоль стола 5 осуществляется шестернями z_1 и z_2 , рейкой 4, которые связаны с червячной парой 7, распределительным валом I и муфтой 8. Движение стола и частота вращения намоточной головки согласованы и обеспечивают наложение изоляции в $1/2$ нахлеста. Перемещение катушки в обратном направлении осуществляется переключением реверсивной муфты 9. После изоляции одной стороны катушку переставляют и производят изоляцию второй стороны. Сверху катушку изолируют одним слоем стеклянной или лавсановой ленты впритык.

В последние годы начинают шире применять изоляцию пазовой части гильзой. Это связано с появлением новых изоляционных материалов на основе слюды. Технологический процесс изготовления катушек с гильзовой изоляцией включает следующие операции: изолировка лобовых частей лентами, запечка лент, заготовка простынки, обертывание пазовой части простынкой, ее горячая обкатка и горячее прессование.

Лобовые части катушки изолируют лентами вручную так, чтобы получить конус на начальном прямолинейном участке (см. рис. 14.3, б). Затем обертывают киперной лентой и сушат в печи в течение 2 ч при температуре 120°C и 3 ч при температуре 150°C. Киперную ленту снимают и обертывают пазовую часть простынкой из стеклослюдопластофолия. Простынка имеет вид трапеции. Большее основание равно прямолинейной части катушки, а меньшее — длине сердечника, в который будет укладываться катушка. Высота трапеции определяется количеством слоев изоляции, наносимой на пазовую часть. При расчете числа слоев и толщины изоляции учитывают, что после прессования толщина изоляции уменьшается на 25—30 %. Обертывать начинают с узкой части простынки. При этом следят за тем, чтобы было перекрытие конуса. Сверху простынки обертывают триацетатной пленкой и парафинированной бумагой. Затем катушку устанавливают в станок горячей обкатки (см. рис. 19.10) и в течение 1—1,5 мин при температуре утюгов 200—220°C обкатывают изоляцию. Вынув из обкатного станка катушку, ее опрессовывают (см. рис. 16.5) в течение 45 мин при температуре 140°C и давлении 4 МПа. Затем снимают защитную изоляцию и наносят один слой стеклянной ленты, пропитанной в лаке ПЭ-933.

Готовая катушка имеет монолитную изоляцию пазовой части с допуском 0,05 мм. По такой технологии изготавливают катушки машин переменного и постоянного тока с напряжением свыше 660 В, а также машин, работающих в тяжелых условиях.

16.4. УКЛАДКА ОБМОТОК ИЗ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ПРОВОДА БЕЗ КОРПУСНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Укладка катушек может производиться в сердечник, находящийся вне корпуса, и в сердечник, находящийся в корпусе. Во втором случае укладка менее удобна. Сердечник или корпус с сердечником устанавливают в кантователь (рис. 16.11). Корпус 2 помещают на стол 3 и укрепляют струбцинами 1. Поворот осуществляют маховиками 6 через систему самотормозящихся шестерен. Два сидения 5 позволяют при работе сидеть. Катушки, подлежащие укладке, размещаются на столе 4.

Последовательность укладки катушек в пазы такая же, как при укладке двухслойной обмотки из круглого провода (см. рис. 15.24). Рассмотрим ее.

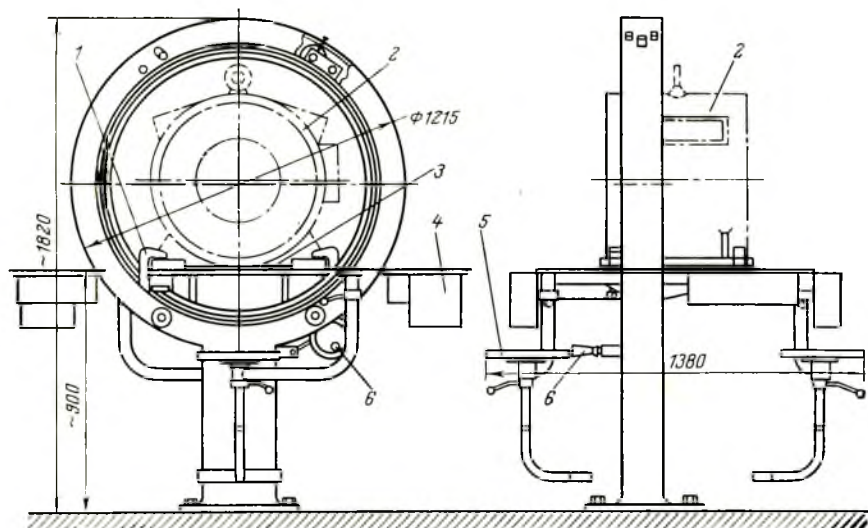


Рис. 16.11. Кантователь для статоров машин средних габаритов.

Перед укладкой катушки в пазы производят изолировку пазов. На дно пазы устанавливают прокладку 1 (рис. 16.12) для предохранения корпусной изоляции катушек при укладке и осадке. Затем устанавливают корпусную изоляцию 2. Очередность укладки катушек в пазы обозначена на рисунке римскими цифрами. Укладывая в паз катушки I и II, осаживают их подбойкой и молотком и устанавливают междупазовую изоляционную прокладку 3. Затем укладывают катушки III и IV и загибают концы корпус-

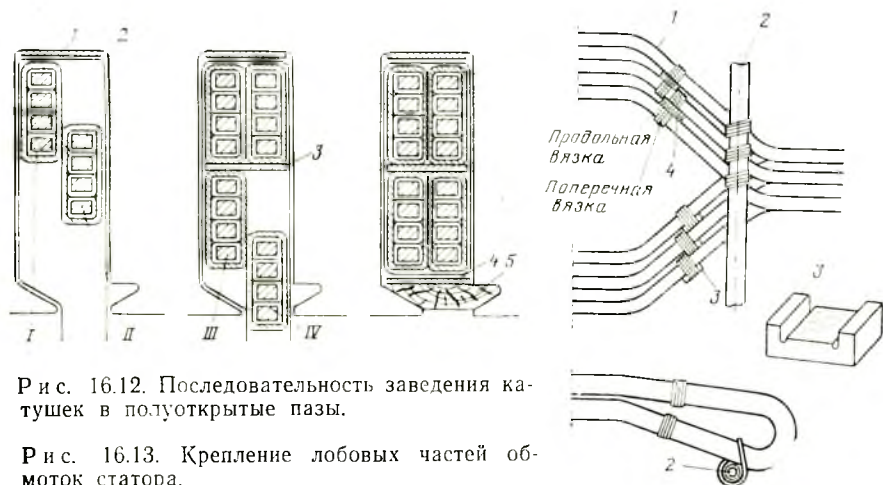


Рис. 16.12. Последовательность заведения катушек в полукрытые пазы.

Рис. 16.13. Крепление лобовых частей обмоток статора.

ной изоляции. На загнутые концы корпусной изоляции ставят прокладку под клин 4 и забивают с торца клин 5.

В процессе укладки катушек в пазы производят правку лобовых частей. Для того чтобы лобовые части обмотки в переходных режимах машины не смещались, между ними устанавливают прокладки 3 (рис. 16.13), которые бандажируют к катушке 1. Прокладки изготавливают из твердого материала соответствующего класса нагревостойкости, например текстолита или пластмассы.

Увязка производится так, что все катушки оказываются скрепленными между собой. При очень больших вылетах лобовых частей, для лучшего крепления обмотки лобовые части дополнительно бандажируются к кольцу 2, которое устанавливается ближе к головкам катушек. Увязка осуществляется стеклошнуром 4.

После укладки производятся соединение и пайка схемы и выводных концов. Для этого сердечник с обмоткой располагают вертикально, установив на специальные подставки. Первая операция — выравнивание всех выводных концов катушек (рис. 16.14). Затем согласно чертежу производят разметку выводных концов. Разметка заключается в перенесении на обмотку обозначений схемы чертежа, с установлением места припайки выводных кабелей и мест пайки междугрупповых соединений. Как правило, конструктор, разрабатывая схему, стремится к тому, чтобы длина выводных кабелей была наименьшей.

Для удобства работы выводные концы, не входящие в междугрупповые соединения, временно отгибают в сторону. Сборка схемы начинается с междукатушечных соединений. Выводные концы катушек изгибают одним из способов, показанных на рис. 14.4, а затем места соединений сваривают меднофосфорным припоем, используя установку рис. 14.5. Для того чтобы припой, случайно попав на головку катушки, не повредил ее, головки закрывают мокрым асбестом. Высоту головки выполняя такой, чтобы можно было изолировать место сварки. Заварив междукатушечные соединения, визуально проверяют качество сварки. Припой должен быть ровно распределен по месту сварки, не должно быть больших наплывов, острых выступов и т. д.

Сваренные головки изолируют согласно чертежу несколькими слоями изоляции. Последний слой изоляции — защитный. Изолировку производят лентами, которые последовательно накладывают на головки. Затем приступают к сборке междугрупповых соединений. Имеется большое количество различных схем; рассмотрим одну из них. На рис. 16.15 приведена схема соединения одной фазы четырехполюсной машины, имеющей две параллельные ветви, по две соединенные последовательно катушечные группы в каждой ветви. Для соединения одной фазы необходимо изготовить из шинной меди две шинки, имеющие размер полукольца, и две шинки, имеющие размер четверти кольца. Как правило, шинки изготавливают по месту. Сечение шинок рассчитывают на половину номинального тока машины. Концы шинок изгибают колечком и надевают на выводной конец соответствующей катушки. Места

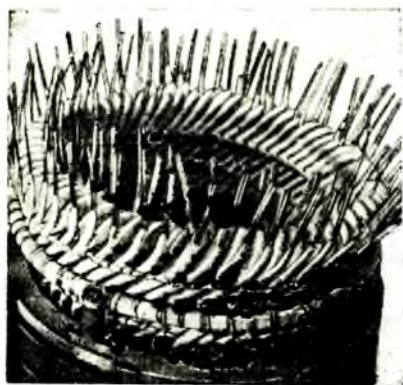


Рис. 16.14. Вид на лобовую часть обмотки из прямоугольного провода.

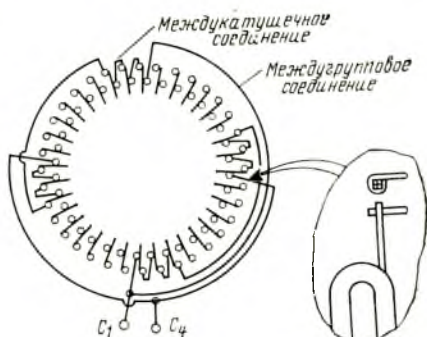


Рис. 16.15. Сборка схемы обмотки из прямоугольного провода.

соединений проваривают меднофосфорным припоем, а место сварки и всю шинку изолируют так же, как и головки.

Следующая операция — увязка схемы. Между головками катушечных соединений прокладывают дистанционные прокладки и обвязывают их шнуром или чулком вместе с головками. На головки (в некоторых случаях сбоку) укладывают шинки междугрупповых соединений и обвязывают их вместе. При необходимости между шинками устанавливают дистанционные прокладки. После проведения предусмотренных чертежом контрольных операций сердечники с обмоткой отправляют на пропитку.

16.5. УКЛАДКА ОБМОТОК ИЗ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ПРОВОДА С КОРПУСНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

Высоковольтные многовитковые катушки укладывают в открытые пазы. Перед укладкой устанавливают бандажные кольца с каждой стороны статора для последующего крепления лобовых частей. Для этого в нажимные плиты сердечника 1 (рис. 16.16) ввертывают изолированные шпильки 2, к которым ушками 3 прикрепляют бандажные кольца 4. Бандажные кольца также изолированы.

Укладку катушек выполняют два обмотчика, стоящие у торцов статора. Последовательность укладки катушек в пазы такая же, как при укладке обмоток из круглого провода или низковольтных обмоток из прямоугольного провода. Перед укладкой катушки с термопластичной изоляцией нагревают в термостате до температуры 80—90 °С. Это необходимо для того, чтобы изоляция стала более упругой и не трескалась. При укладке первых катушек одну сторону катушки укладывают вниз паза, а вторую сторону не оставляют внутри статора, а временно заводят вверх соответствующе-

щего паза. Это необходимо для того, чтобы катушка не теряла своей формы и не мешала укладке остальных катушек. После укладки остальных катушек производят подъем катушек из верхней части паза, для того чтобы можно было уложить соответствующие катушки в его нижнюю часть. Для этого катушки нагревают, пропуская по ним постоянный ток. Подъем производится аккуратно, так как в перегибах, образующихся при подъеме ка-

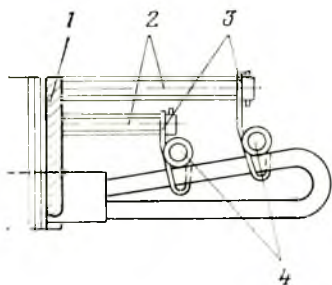


Рис. 16.16. Крепление лобовых частей высоковольтных машин к бандажным кольцам.

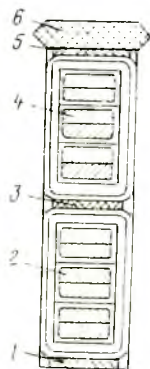


Рис. 16.17. Последовательность укладки катушек в открытые пазы.

тушки, может нарушиться изоляция. При опускании катушек так же производят их нагрев постоянным током.

Последовательность укладки катушек в пазы: на дно паза помещают прокладку 1 (рис. 16.17). Затем в открытый паз укладывают катушку 2 и осаживают на дно паза. Осадку производят ударами молотка по осадочной доске, которая имеет ширину паза и длину, равную длине пазовой части катушки. После осадки катушку увязывают с бандажным кольцом. Для придания обмотке жесткости и создания равномерного зазора между катушками, в зазор между ними помещают дистанционные прокладки из текстолита или пластмассы и увязывают их. Прокладки располагают в шахматном порядке. Затем устанавливают изоляционную прокладку между катушками 3 и укладывают катушку 4. На верхнюю сторону катушки устанавливают прокладку 5 под клин и забивают с торца сердечника клинья 6.

Производительность труда и качество укладки обмотки во многом зависят от того, насколько статор может быть поставлен в удобное для обмотчиков положение. Кантовать статор крупной электрической машины вручную невозможно, а краном опасно.

На ХЭМЗ разработана конструкция квантователя статоров массой до 10—15 т (рис. 16.18). Он имеет два консольных вала 1,

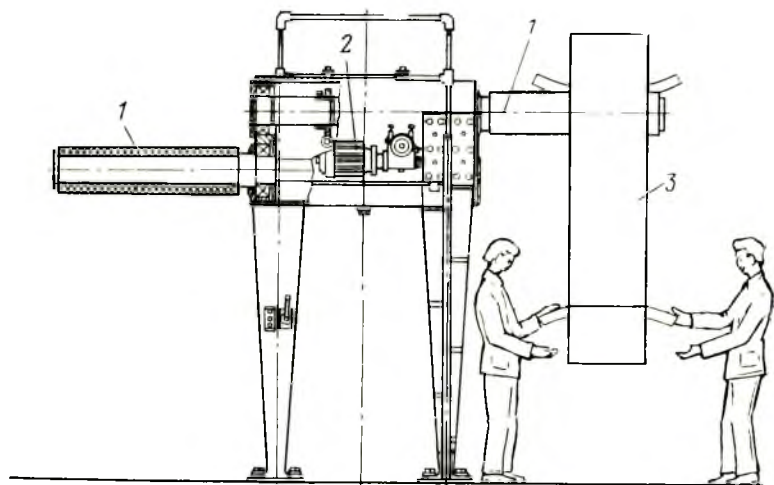


Рис. 16.18. Кантователь для статоров крупных электрических машин.

на которые навешивается внутренней поверхностью статор 3. Для предохранения сердечников от порчи и лучшего сцепления алы обрезаются. Валы имеют привод от электродвигателя 2. Частота вращения вала 1,5 об/мин. Статор перекачивается силой рения, возникающей между сердечником статора и валом. Кан-ователь предназначен для статоров с внутренним диаметром до 850 мм и длиной сердечника до 1080 мм. На нем можно одно-ременно обматывать два статора.

После укладки производят соединение и пайку схемы и вывод-ных кабелей. Эти операции выполняют так же, как и в машинах обмоткой без изоляции. Отличие состоит в том, что пайки и единительные шинки изолируются чаще всего самосклеивающи-ися лентами, число слоев которых определяется исходя из рабо-его напряжения машины. Если сердечник с обмоткой в дальней-ем не подвергается пропитке или компаундированию, то изоля-ию схемы несколько раз покрывают лаком или эмалью и сушат, аще всего на воздухе.

Глава семнадцатая

ИЗГОТОВЛЕНИЕ И УКЛАДКА СТЕРЖНЕВЫХ ОБМОТОК

17.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Стержневые обмотки применяются в статорах крупных машин, оторах асинхронных машин с фазным ротором, якорях машин остоянного тока.

Стержневые обмотки в крупных генераторах состоят из стержней, концы которых соединяются при помощи пайки с обеих сторон сердечника. Каждый стержень представляет собой полувиток. Он состоит из большого числа отдельных проводников. Для уменьшения потерь на вихревые токи проводники переплетаются по длине статора. Для удобства переплетения проводники располагают в пазу в два слоя по ширине паза, таким образом, каждый стержень состоит из двух полустержней в общей изоляции.

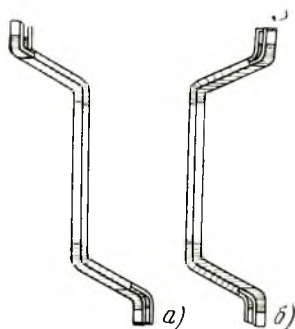


Рис. 17.1. Формы стержней волновой (а) и петлевой (б) обмоток.

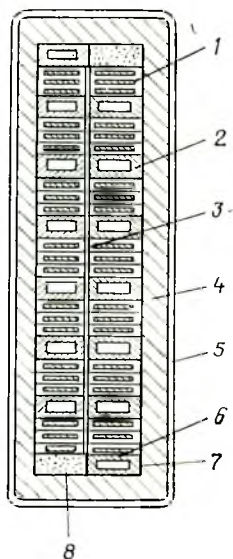


Рис. 17.2. Разрез пазовой части стержня.

В зависимости от системы охлаждения стержни состоят из сплошных проводников или из сплошных, чередующихся с полыми. Большинство обмоток стержневого типа двухслойные с двумя стержнями в пазу. По форме стержни выполняются с выгибом лобовых частей в одну сторону (петлевая обмотка для турбогенератора) или в разные стороны (волновая обмотка для гидрогенератора) (рис. 17.1, а, б). Длина стержня крупного турбогенератора достигает 5000—6000 мм при массе до 140 кг, а гидрогенератора—2000—3000 мм при массе свыше 70 кг.

На рис. 17.2 показан разрез пазовой части стержня турбогенератора с непосредственным водяным охлаждением. Он состоит из сплошных 1 и полых 2 проводников. Между рядами проводников проложена стеклянная лабетированная ткань 3, пропитанная эпоксидно-фенольным лаком. На переходах изоляция выполнена пластинками гибкого миканита 6. Места переходов проводников 8 заполнены замазкой для выравнивания стержня. До изолирования на проводники стержня наматывают впритык стеклянну

ленту 7, пропитанную лаком ЭПП-58, которая служит полупроводящим покрытием. Все проводники стержня обмотаны в 1/2 налета в несколько слоев слюдинитовой или слюдопластовой лентой 4, а сверху — одним слоем стеклянной ленты 5 впритык. На готовый стержень накладывают полупроводящее покрытие из асболовсановой ленты впритык и покрывают полупроводящим лаком.

На концы стержней напаяны медные наконечники 3 (рис. 17.3), которые для сплошных проводников 5 являются токоведущими частями, а для полых проводников 4 одновременно служат для подвода воды, охлаждающей обмотку. Сплошные проводники обрезаются короче полых, и это позволяет вставить полые проводники близко к выходному отверстию для воды, обеспечив возможность визуального контроля каждого проводника через отверстие штуцера 2. Штуцер 2 вварен в стенку наконечника для подвода воды. Токоведущий палец 1 служит для соединения стержня с другими стержнями.

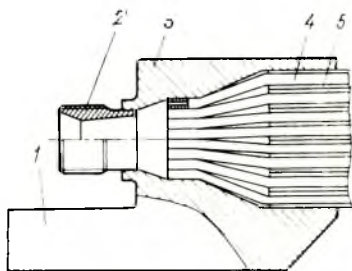


Рис. 17.3. Стержень с напаянным наконечником.

Процесс изготовления стержней из полых проводников более сложный и трудоемкий, чем процесс изготовления стержней из сплошных проводников. Рассмотрим его.

Технологический процесс изготовления стержней с полыми проводниками включает в себя следующие операции: испытание полых проводников, резка проводников в заданный размер, выгибка переходов, переплетение проводников, сборка стержня из двух олустержней, скрепление проводников в пазовой части (промазка лаками и выпечка), гибка лобовых частей, припайка наконечников, скрепление проводников в лобовой части (промазка лаками и выпечка), наложение корпусной изоляции, пропитка в компаундах или запечка в пресс-формах либо гидростатическое опрессование.

Укладка стержней производится в открытые пазы. При этом не опускаются даже незначительные выгибы стержней, и поэтому готовый стержень должен иметь законченную форму.

Стержневые обмотки фазных роторов крупных асинхронных двигателей изготавливают из шинной меди. Технологический процесс включает следующие операции: правка и резка шины, выгибной лобовой части, изолирование пазовой части, изолирование выгнутой лобовой части. Технологические процессы изготовления стержней для асинхронных двигателей и крупных машин совершенно не похожи.

Технология изготовления стержневых обмоток машин постоянного тока описана в гл. 19.

Рассмотрим технологию изготовления стержней статоров крупных генераторов с непосредственным водяным охлаждением. Проводники для изготовления стержней поступают на завод в виде бухт. Материал полых проводников испытывают на проходимость канала и механическую прочность. Проходимость канала проверяют, подавая воду от гидравлического насоса в один конец бухты и наблюдая за ее вытеканием из другого конца. Для проверки

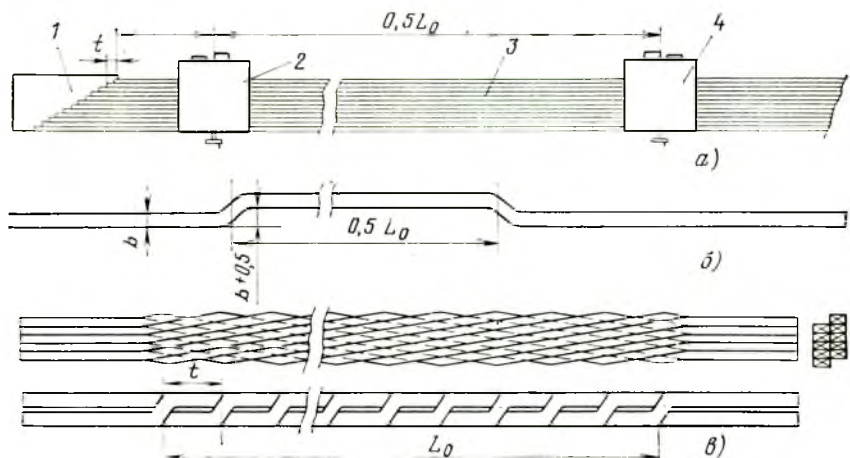


Рис. 17.4. Последовательность сплетения стержня.

на механическую прочность один конец проводника закрывают а давление воды доводят до 7 МПа и выдерживают в течении 1 мин.

Резку проводников производят на медерезательных станках. Нарезанные провода подают на стол для выгиба переходов и сборки. Как правило, стержень состоит из двух полустержней. Полустержень собирают на столе, располагая сплошные и полые проводники так, как они будут лежать в пазу. Если стержни подлежат сплетению в пазовой части для уменьшения потерь на вихревые токи, то необходимо произвести выгиб проводников. Выгиб производят на ребро. Выгибают сразу все проводники полу стержня 3 (рис. 17.4, а), лежащие в одном пазу. Концы проводников упирают в ступенчатую гребенку 1, а выгибаемые места располагают в двух штампах 2 и 4, расстояние между которыми равно половине длины плетеной части стержня. Затем проводники зажимают с торца и одновременно двумя штампами производят выгиб. Выгнутый проводник показан на рис. 17.4, б. После выгиб проводники выравнивают с торца и скрепляют в середине стержня скобой. Переплетение ведут от середины, причем сначала все проводники переплетают в местах первого перегиба так, чтобы второй проводник поменялся местами с первым, третий — со вто

рым и последний с предпоследним (рис. 17.4, в). Второе плетение полустержня производят в местах второго перегиба. Второй полустержень изготавливают аналогично первому.

Для получения целого стержня два полустержня складывают вместе и рихтуют по длине. Между полустержнями устанавливают прокладку. Под каждый переход устанавливают миканитовую прокладку, а переходы в пазовой части выравнивают эпоксидной замазкой ЭЗ-215.

Для придания пазовой части стержня монолитности ее прессуют. Перед прессовкой промазывают лаком ЛЭФ-ЗУС и для механической защиты обматывают второпластовой лентой с небольшим нахлестом и киперной лентой впритык. Стержень кладут в пресс-форму гидравлического пресса с паровым подогревом и водяным охлаждением. Ввиду большой длины пазовая часть прессуется десятиблочным прессом. Каждый блок состоит из двух цилиндров. Давление на прессуемый стержень предварительное 4 МПа и окончательное 20 МПа. При прессовке производят запечку лака, выдерживая в течение 1 ч температуру 120—130 °С. Затем стержень извлекают из пресс-формы, снимают киперную и второпластовую ленты и проверяют размеры пазовой части и качество прессовки. Вторую прессовку проводят после нанесения шпатлевки ЭШ-211. После двух прессовок проверяют стержень на отсутствие замыкания между элементарными проводниками.

Для придания лобовым частям нужной формы и монолитности их промазывают лаком и прессуют с последующей запечкой на специальных шаблонах. Шаблоны гидрофицированы, что облегчает гибку в них лобовых частей в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Запечку выполняют в течение 1—1,5 ч при температуре 150—160 °С. Затем, не снимая с шаблона, концы стержней обрезают в размер, зачищают до блеска, надевают на них наконечник и пропаивают их серебряным припоем ПСр-15. После пайки наконечников стержни подвергают гидравлическим испытаниям для проверки отсутствия припоя в полых проводниках. Затем стержни передают на изолировку.

К изолировке стержни тщательно подготавливают. Пазовую и лобовую части после двух прессовок шлифуют по предельным калибрам с допуском 0,4—0,6 мм, наносят полупроводящее покрытие и высушивают его. Изолирование стержней производят на станках лентами.

Раньше основным электроизоляционным материалом, используемым для изготовления корпусной изоляции высоковольтных машин, была микалента, состоящая из одного слоя шипаной слюды, склеенной связующим веществом с подложкой из миканитовой бумаги. Стержни, изолированные микалентой, пропитывались (компаундировались) термопластичным битумным компаундом. Механическая прочность этой изоляции невысока даже при нормальной температуре окружающей среды, а при повышении температуры до рабочей изоляция размягчается и легко деформируется. За счет термопластичности битума при повышении температу-

туры происходит потеря монолитности изоляции, и в местах наибольшей напряженности электрического поля возникают процессы ионизации. Наиболее нестабильным элементом микалентной компаундированной изоляции является бумажная подложка, разрушающаяся как под действием нагрева, так и под действием электрических разрядов. Эта подложка, будучи механически непрочной в исходном состоянии, не обеспечивает необходимой защиты микаленты при нанесении изоляции.

В последние годы развитие высоковольтной изоляции для стартовых обмоток идет по пути применения термореактивных связующих и материалов, содержащих взамен слюды слюдяные бумаги. В нашей стране разработаны два вида бумаг: слюдинитовая и слюдопластовая, которые отличаются как способом получения, так структурой и параметрами. При разработке новой термореактивной изоляции в качестве основного диэлектрического материала была выбрана слюдинитовая бумага, заменившая щипаную слюду, в качестве связующего — термореактивные лаки и пропиточные составы на базе эпоксидных смол, а тонкая стеклоткань с успехом заменила бумагу, применяемую в качестве подложки в микалентной изоляции. Изготовленная таким образом новая изоляция обладает рядом существенных преимуществ. Она имеет лучшие значения электрической и механической прочности, меньшее значение $\tan \delta$ по сравнению с микалентной компаундированной изоляцией. Применение слюдинитовых бумаг позволяет создать наиболее монолитную и механически прочную структуру.

В нашей стране созданы три системы такой изоляции: монолит, ВЭС и слюдотерм. Изоляция монолит создана на основе сухих непропитанных лент, накладываемых на стержни на станке или вручную с последующей вакуумной сушкой, пропиткой эпоксидным компаундом под давлением и запечкой в котлах или пресс-формах. Изоляция ВЭС создана на основе заранее пропитанных лент. После нанесения на стержни она подвергается вакуумной сушке и запечке в котлах при гидростатическом опрессовании или в пресс-формах. Изоляция слюдотерм изготовлена из сухих предварительно пропитанных стеклослюдинитовых лент, состоящих из одного слоя слюдинитовой бумаги толщиной 0,04 мм и одного слоя стеклоткани толщиной 0,04 мм, склеенных связующим на основе эпоксидных или идитольных смол. Разработаны три варианта ленты в зависимости от их назначения. Лента марки ЛТСС-3 предназначена для механизированного нанесения на станке с подогревом. Лента марки ЛТСС-5 может быть использована для ручного нанесения на обмотку (эластичная лента). Лента марки ЛТСС-3У — для обмоток низкого напряжения. Ленты всех марок изготавливают одной толщины 0,17 мм. После нанесения на стержни изоляция подвергается механической прессовке в пресс-формах и выпечке.

Рассмотрим технологический процесс изготовления стержней с лентами марки ЛТСС-3, предназначенными для механизированного нанесения.

Изолировка машинным способом производится на изолировочных станках типа ЛШ (изолировка стержней гидрогенераторов) и ЛУС (изолировка стержней турбогенераторов), разработанных в ЛЭО «Электросила». На рис. 17.5, а показан изолиро-

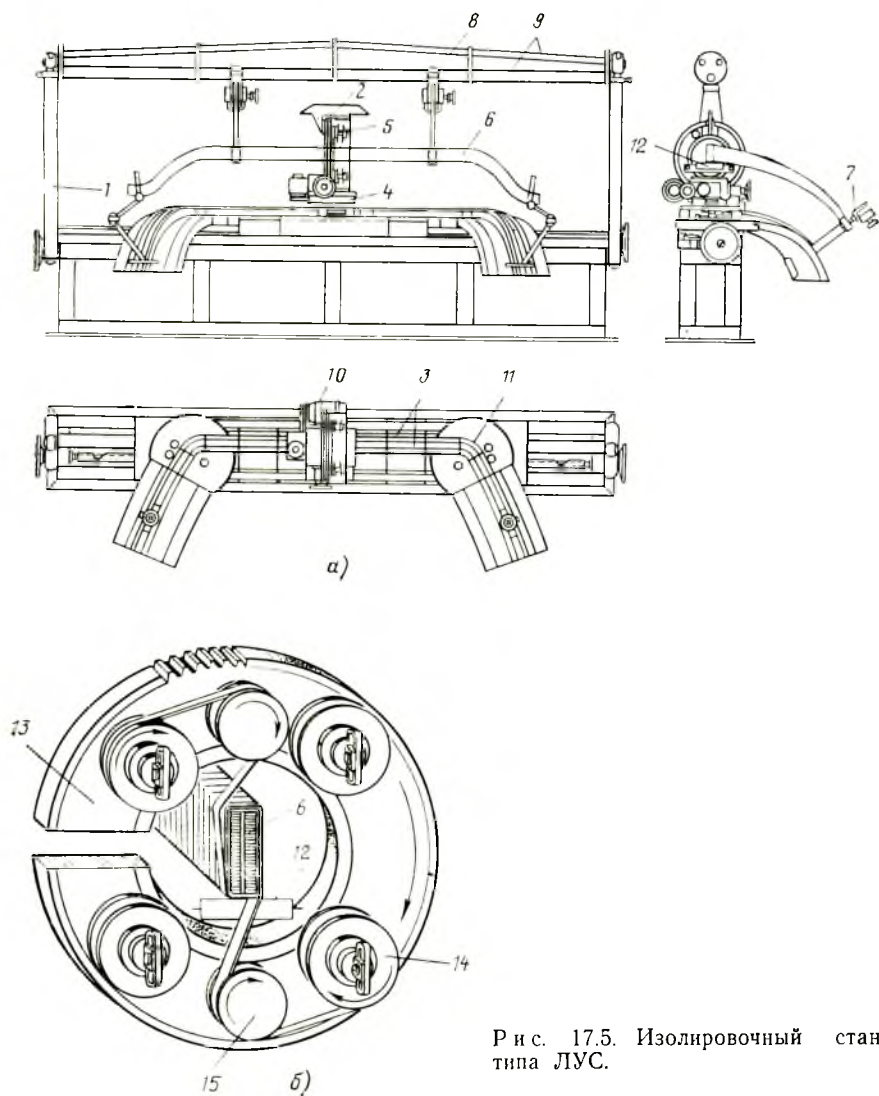


Рис. 17.5. Изолировочный станок типа ЛУС.

вочный станок типа ЛУС. Стержень своей средней частью 6 подвешен на раскрывающихся стержнедержателях 8, а концы лобовых частей опираются на стойки 7. Стержнедержатели закреплены на трубчатой раме 9, лежащей на регулируемых по высоте стой-

ках 1. Изолировочная головка 5 располагается на каретке 4. Каретка передвигается по копиру 3, который повторяет форму изолируемого стержня. Прямолинейная и криволинейные части копира соединяются переходом 11. Копир можно настраивать на изолирование стержней различной длины, устанавливая сменные вставки между прямолинейными и криволинейными частями. В верхней части изолировочной головки 5 закреплен гребень 2 со скосами, предназначенный для раскрытия рычагов стержнедержателей при движении каретки. Закрытие рычагов происходит после прохода гребня под действием собственного веса. Электродвигатель 10 служит для привода каретки.

Схема изолировочной головки показана на рис. 17.5, б. Ее разрезная шестерня 13 несет на себе четыре роликодержателя 14 и два нагревательных ролика 15. Два роликодержателя предназначены для слюдинитовых лент, а два других — для киперной или стеклянной лент. Нагревательные ролики служат для нагрева слюдинитовых лент. При этом происходит размягчение лака ленты, лента становится эластичнее и лучше ложится на стержень. Поверхность ролика нагревается до 80—100 °С нихромовыми спиралями, заложенными внутри их. В изолировочной головке стержень поддерживается горизонтальным роликом 12, который регулируется по высоте.

Станок работает следующим образом. Слюдинитовая лента с двух роликов пропускается через нагревательные ролики и закрепляется на стержне, как показано на рисунке. Включается станок, и каретка начинает движение по шаблону, а головка, вращаясь, накладывает изоляцию на стержень в 1/2 нахлеста. Для получения необходимого нахлеста необходимо чтобы были согласованы: скорость движения каретки, скорость головки, ширина изоляционной ленты, угол наклона ленты к стержню. Лента накладывается на прямолинейную часть стержня и на лобовую. При этом каретка проходит по копиру прямолинейную часть, поворот и криволинейную часть.

Участок стержня 80—100 мм перед наконечником не может изолироваться механически, так как каретка не разворачивается по дуге малого радиуса. Эти участки работница изолирует вручную, проутюживая каждый слой электроутюгом. Изолирование производится только в одном направлении. Обратное каретка возвращается ускоренным ходом, при этом ролики с лентой не возвращаются.

При выпечке изоляция усаживается на 25 %, исходя из этого, назначают размер стержня после изоляции. Контроль ведут предельными калибрами с шириной губок 20 мм. На изолированный стержень наносят технологическую защитную изоляцию из одного слоя фторопластовой ленты толщиной 0,02—0,03 мм и одного слоя стеклотенты вразбежку. Эти слои предохраняют стержень от повреждений и облегчают отделение выпеченного стержня от рабочих поверхностей пресс-форм.

После изолирования изоляцию необходимо опрессовать и за-

печь. Для этого стержни, изолированные сухими лентами, подвергаются пропитке в эпоксидных компаундах (см. гл. 21), стержни, изолированные пропитанными лентами, подвергаются гидростатическому прессованию и выпечке в автоклавах (гл. 21) или механическому прессованию и выпечке в пресс-формах.

Механическая прессовка и выпечка производятся в специальных двухместных пресс-формах, которые изготовлены с большой точностью и механизированы. Для обеспечения взаимозаменяемости стержней все стержни одной электрической машины проходят через одну пресс-форму. Перед укладкой стержней рабочие поверхности пресс-формы очищают от натеков лака, пыли, грязи и промазывают раствором для предотвращения прилипания изоляции стержня к стенкам пресс-формы. Пресс-форму нагревают до 120°C , закладывают в нее стержни и подают давление 4 МПа. Стержень нагревается в течение 1 ч. Затем давление поднимают до 20 МПа, а температуру до 160°C и выдерживают в течение 10 ч. По окончании режима выключают обогрев и медленно охлаждают стержень, пропуская воду по трубам пресс-формы, не снимая давления. Остывший стержень вынимают из пресс-формы, снимают защитную изоляцию и зачищают напильником или шкуркой от наплывов лака. Производят измерение толщины стержня и при необходимости калибруют пазовую часть по ширине. Калибровку производят шабером, снимая изоляцию равномерно с обеих сторон не более 0,5 мм. Калибровка стержня по высоте не допускается. Готовый стержень отправляют на сборку.

Технология изготовления стержневых обмоток подробно изложена в [9, 10].

17.3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ СТЕРЖНЕЙ РОТОРОВ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Стержень ротора асинхронного электродвигателя показан на рис. 17.6. Заготовку для стержня правят и отрезают на медерезательных станках. Заготовки для стержней верхнего слоя должны быть длиннее заготовок для нижнего слоя, так как их лобовые части выгибают по большему радиусу. После резки и правки концы стержней зачищают карцовочными щетками и облуживают припоем. При гайке стержней в собранном роторе припоем ПМФ лужение концов не производится. Стержень имеет ширину, примерно равную ширине паза, и укладывается в сердечник ротора, имеющий полузакрытые пазы с торца сердечника, поэтому при изготовлении стержней лобовая часть изгибается с одной стороны. Вторая сторона будет выгнута после укладки в сердечник.

Для гибки первой стороны используется пневматическое гибочное приспособление (рис. 17.7). Заготовка стержня 6 (показана штриховой линией) укладывается в пазы приспособления и включается станок. Пуансон 1, опускаясь, изгибает на ребро лобовую часть стержня по радиусу, а затем рычаги 2 и 7, поворачиваясь вокруг осей 3 и 5, производят окончательную гибку. На

рис. 17.7 положение рычагов показано до начала гибки, а окончательно согнутый стержень 4 показан сплошной линией. После гибки стержни изолируют. Пазовую часть изолируют гильзой, а лобовую — лентами вполнахлеста. При изолировке пазовой части за-

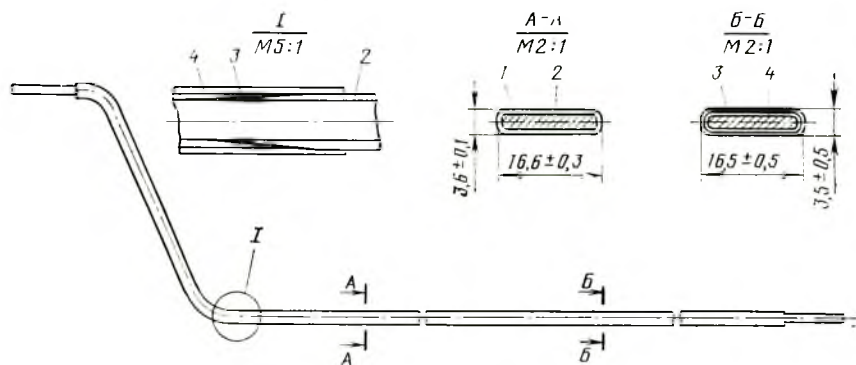


Рис. 17.6. Стержень ротора асинхронного электродвигателя.

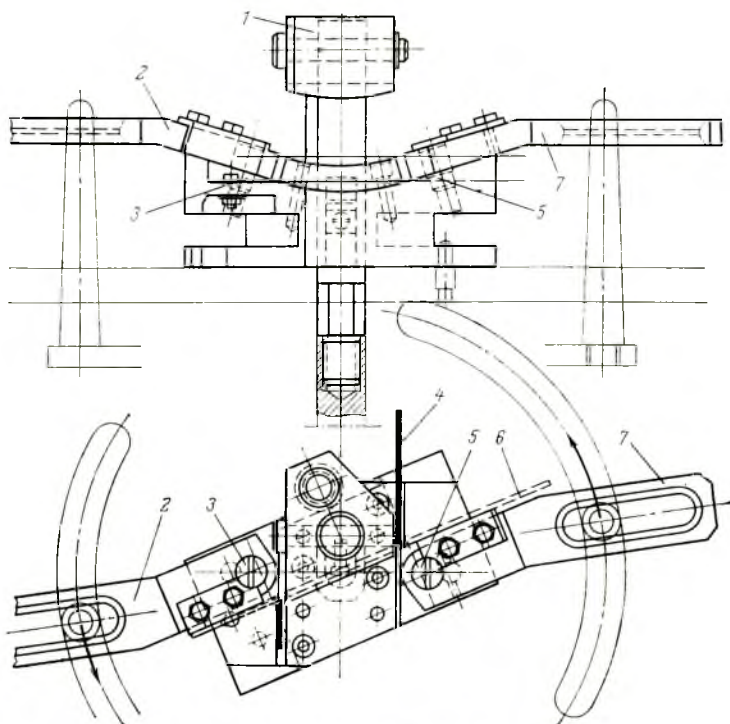


Рис. 17.7. Гибка стержней в приспособлении.

готовку изоляции из гибкого миканита или стекломиканита, имеющую форму трапеции, помещают на плиту и накладывают на нее стержень, на который наворачивают 1—1,5 оборота заготовки. Стержень с заготовкой помещают в обкаточный станок, где производят наворачивание заготовки на стержень и горячую обкатку изоляции. Затем пазовая изоляция подвергается прессовке при давлении не менее 0,5 МПа. Для этого стержни закладывают в предварительно нагретый пресс (рис. 16.5). При прессовке изоляция проклеивается, запекается и становится монолитной. После получения на пазовых частях твердых гильз производится изолировка лобовых частей лентами вполнахлеста. Для этого используют микаленты или стеклотканевые ленты. При этом необходимо следить за тем, чтобы в месте стыка пазовой и лобовой изоляций не было просветов и утолщений.

17.4. УКЛАДКА СЕРЖНЕВЫХ ОБМОТОК В ПАЗЫ СТАТОРА ГИДРОГЕНЕРАТОРА

Для укладки обмотки статор гидрогенератора разбирают на секторы, в которые укладывают обмотку. До начала укладки размечают пазы, в которые будут укладываться: стержни с отогнутыми головками, для соединения с другими стержнями; стержни с прямыми головками, для соединения с выводными шинами; пазы, в которые будут укладываться стержни при монтаже. В пазы забивают доски для предохранения зубцов от повреждений при транспортировке. Затем на выходе из пазов приклеивают торцевые коробки, изготовленные из стеклоткани. На дно пазов устанавливают промазанные клеем стеклотекстолитовые прокладки и укладывают стержни нижнего ряда. Зазор между стержнями и стенкой паза заполняют прокладками.

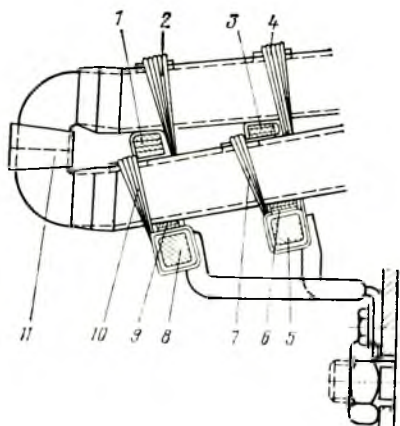


Рис. 17.8. Крепление лобовых частей гидрогенераторов.

Лобовую часть стержня бандажируют к бандажным кольцам 5 и 8 (рис. 17.8) лавсановой лентой 7 и 10. Предварительно между стержнем и бандажным кольцом устанавливают стеклотекстолитовые прокладки 6 и 9, чтобы выбрать зазор. Прокладки бандажируют к бандажному кольцу. На выходе из паза между стержнями устанавливают упорные прокладки, изготовленные из пресс-материала марки АГ-4.

Прокладки (рис. 17.9) состоят из двух частей 2 и 4. Для точной фиксации упорных прокладок между ними помещены прокладки из стеклотекстолита 3. Число стеклотекстолитовых прокла-

док выбирается по месту. Упорные прокладки бандажируются лавсановой лентой 1.

Если гидрогенератор имеет косвенное охлаждение, то стержни соединяются хомутами. На головки нижних стержней устанавливают хомутыкИ 11 (рис. 17.8), затем аналогичным методом укладывают стержни верхнего ряда. При этом изогнутые концы стержней заводят в хомутыкИ. Между верхними и нижними стержнями приклеивают стеклотекстолитовые прокладки 1 и 3, бандажируют

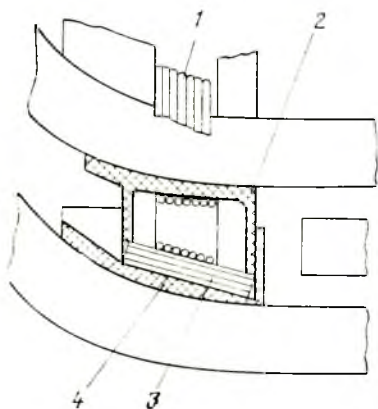


Рис. 17.9. Крепление стержней на выходе из паза.

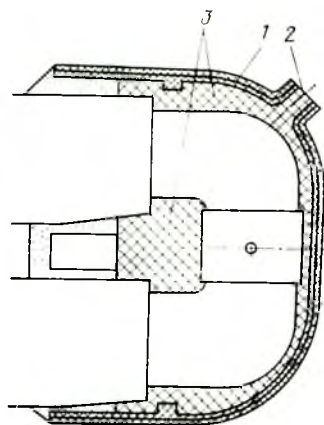


Рис. 17.10. Изоляция головки стержней.

верхние стержни лавсановой лентой 2 и 4, устанавливают и бандажируют упорные прокладки и забивают в пазы клинья. Все бандажи промазывают клеем. На прямые стержни надевают хомутыкИ и соединяющие перемычки. Затем производят пайку всех соединений серебряным припоем ПСР-15.

После пайки для изоляции на головки стержней надевают изоляционные коробки 1 (рис. 17.10), изготовленные из пресс-материала марки АГ-4, и заливают через отверстие 2 внутрь коробок изоляционный компаунд 3. Места соединения стержней с перемычками изолируют несколькими слоями ленты ЛЭТСАР толщиной 0,13 мм, а сверху одним слоем стеклотенты. Каждый слой ленты промазывают клеем. Уложенный сектор покрывают лаком, испытывают и готовят к отгрузке на место монтажа [10].

В современных гидрогенераторах стараются не использовать бандажных колец, крепление лобовых частей обмоток осуществляют прочной увязкой стержней между собой.

17.5. УКЛАДКА СТЕРЖНЕВЫХ ОБМОТОК В ПАЗЫ СТАТОРА ТУРБОГЕНЕРАТОРА

Укладка стержней обмотки в пазы турбогенератора, бандажирование изоляционных прокладок, пайка и изолировка стержней

выполняются так же, как в гидрогенераторе. Отличительной особенностью является то, что длина и масса стержня турбогенератора в несколько раз больше длины и массы стержня гидрогенератора, а укладка производится в собранный статор, который необходимо при укладке поворачивать.

Для обеспечения качества укладки и облегчения труда в объединении «Электросила» спроектированы и изготовлены специальные установки. Поворот статора на этих установках производится кантователями (рис. 17.11, а). Статор кольцами 1 устанавливает-

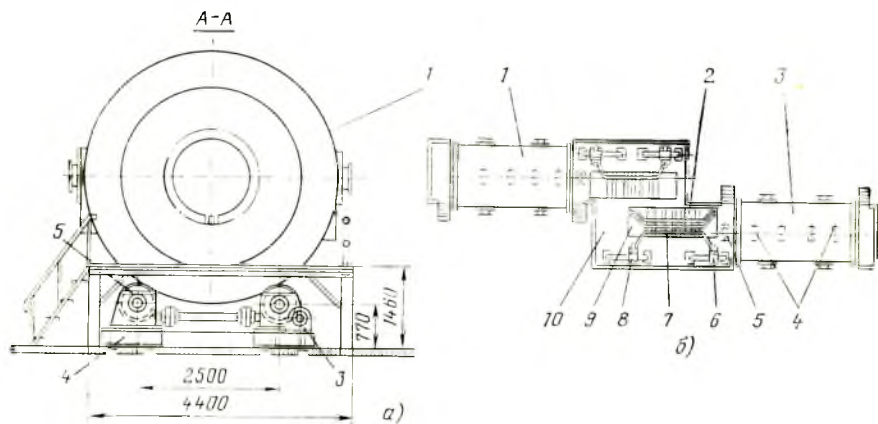


Рис. 17.11. Установка для обмотки двух статоров турбогенераторов.

ся на четыре стойки 4, имеющие ролики 5. Один из роликов является ведущим и приводится во вращение электродвигателем 3 через редуктор. Для того чтобы статор не пробуксовывал на роликах, к нему крепят грузы, уравнивающие лапы и колодцы под охладители.

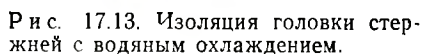
Установки позволяют укладывать два статора. Все оборудование для укладки и материалы располагают на эстакаде, которая поднята над полом на высоту 1460 мм. Можно было бы не делать эстакаду, а углубить кантователь и производить работы с уровня пола. Однако опыт ряда заводов показал, что, хотя эстакада и занимает площадь, она создает лучшие условия для работы. Под эстакадой удобно располагать трансформаторы и другое оборудование. Все это позволяет повысить качество работы. Эстакаду нельзя использовать для временного хранения не относящихся к обмотке деталей и узлов.

Работы на установках (рис. 17.11, б) производятся следующим образом. Статоры 1 и 3 устанавливают на кантователи. Тара 9 с обмоткой 7 опускается на эстакаду 10. На эстакаде имеется рольганг, стойки которого 2 входят в проемы тары. При этом пазовая часть стержней оказывается на стойках рольганга, а лобовые остаются на площадке тары. Укладку начинают с край-

На рис. 17.12 показаны закладные ролики, устанавливаемые в пазы. Стержень 1 лежит на защитном деревянном угольнике 2



Стержни соединяются между собой пайкой. Соединение при помощи хомутиков производят так же, как и в гидрогенераторах. Соединение стержней с водяным охлаждением выполняют специальными наконечниками. К стержню 7 (рис. 17.13) наконечник 6 припаивают серебряным припоем ПСр-15, а между собой наконечники спаяны мягким припоем. Переход на мягкий припой обусловлен тем, что место пайки не подвергается большим перегревам, а также тем, что температура плавления мягкого припоя ниже, чем температура припоя ПСр-15 и при пайке наконечников между собой не произойдет повреждения места



пайки наконечника к стержню. Для пайки наконечников на их хвостовую часть надевают хомуты 3, расклинивают клиньями 2. Часть стержней имеет подводящие шланги 1, через которые поступает вода. Места пайки закрывают кожухом 4 и заливают компаундом 5 [9].

17.6. УКЛАДКА И СОЕДИНЕНИЕ СТЕРЖНЕВЫХ ОБМОТОК РОТОРА

Перед началом укладки ротор осматривают и производят изолировку нажимных шайб, обмоткодержателей и пазов. На шайбы 3 и 4 (рис. 17.14) накладывают в два слоя стеклослюдопластовые

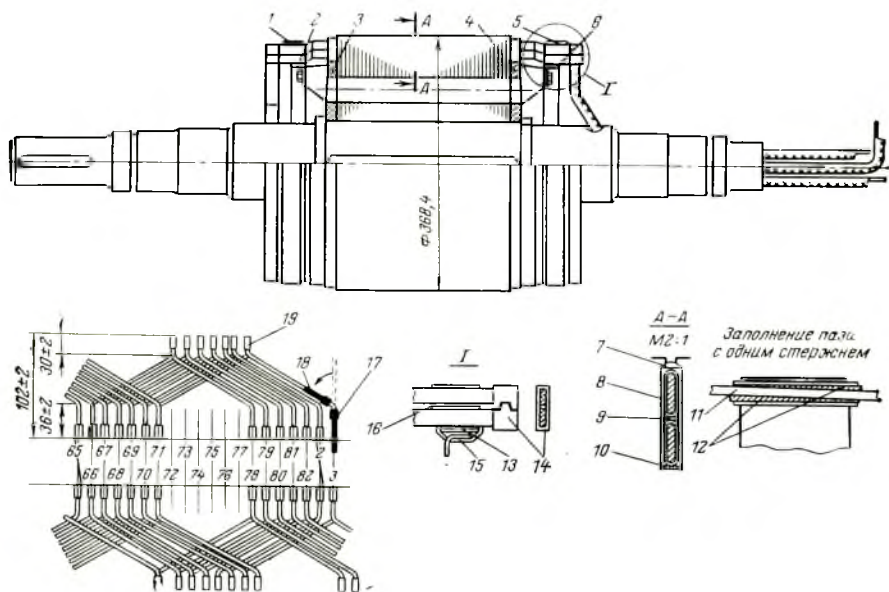


Рис. 17.14. Ротор со стержневой обмоткой.

полоски, а обмоткодержатели 2 и 6 обертывают двумя слоями лакостеклорезинослюдопласта 13 и закрепляют их лентой 15 в два слоя по ободу. В пазы устанавливают электроизоляционный картон 8, а на дно паза стеклотекстолитовые прокладки 10.

Стержни поступают на укладку с одной изогнутой частью, вторая — прямая. В пазы (закрытые или имеющие шлиц меньше ширины стержня) стержни заводят с торца сердечника. Сначала укладывают нижний ряд, осаживают и на изогнутые концы накладывают временный бандаж. Затем производят ручную гибку вторых концов. Гибку выполняют двумя ключами. Ключ 17 надевают на прямую часть стержня и удерживают стержень, а ключ 18

надевают на лобовую часть и изгибают ее. Первые стержни нельзя сразу изогнуть на требуемый угол, так как мешают лежащие рядом стержни, поэтому первый стержень изгибают только на расстояние между стержнями, второй — на двойное расстояние и т. д. В конце гибки догибают стержни, с которых начиналась гибка. Затем такими же приемами загибают концы стержней 19, на которые будут надеваться соединительные хомуты.

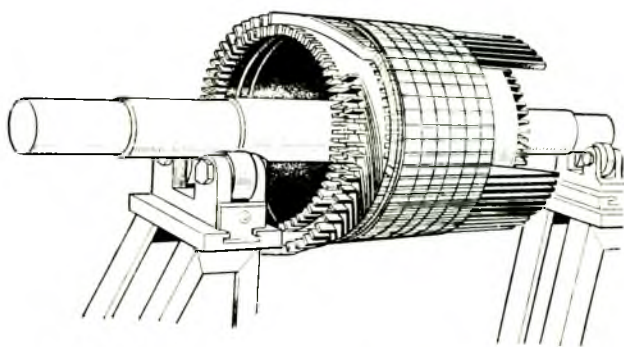


Рис. 17.15. Ротор в процессе укладки обмотки.

После гибки временный бандаж снимают, устанавливают изоляцию между слоями лобовых частей 16 в виде композиционных материалов и бандажируют одним слоем стеклянной ленты в $1/2$ нахлеста. В пазы между стержнями помещают прокладку 9. Затем заводят стержни верхнего ряда, но не с той стороны, с которой заводили нижние, а с другой. После этого в каждый паз забивают пазовые клинья 7 и прямую часть стержней изгибают такими же приемами, как и стержни нижнего ряда. Верхние и нижние стержни соединяют с торца хомутами 14, выштампованными из меди. К трем стержням нижнего ряда, являющимся началом фаз, хомутами присоединяют три кабеля, которые выводят через три наклонных отверстия и центральное отверстие вала для соединения с контактными кольцами. Три верхних стержня, являющиеся концами фаз, соединяются в звезду нулевой шиной.

Для того чтобы не создавать неуравновешенность ротора, три выводных конца и соединение нулевых стержней располагают под углом 120° . В пазы, имеющие один стержень 11, забивают два деревянных клина 12. В собранном таким образом роторе производят пайку хомутиков (паяльником или в ванне) и отправляют на бандажировку. Бандажи 1 и 5 накладывают на обмотку в местах, которые лежат на обмоткодержателях.

На рис. 17.15 показан ротор в процессе укладки обмотки.

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОЛЛЕКТОРОВ И КОНТАКТНЫХ КОЛЕЦ

18.1. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К КОЛЛЕКТОРАМ

Коллектор представляет собой наиболее сложный и ответственный узел электрической машины. Это объясняется, во-первых, конструкцией кольца, составленного из большого количества медных пластин, чередующихся с изоляционными прокладками, во-вторых, сложными геометрическими формами сопряжения металлических и изоляционных деталей и, наконец, силовыми явлениями, возникающими под действием центробежных сил и температурных изменений. Для обеспечения хорошей коммутации биение коллектора в готовой машине должно быть не более 0,03—0,04 мм. Если учесть, что половина этого значения обуславливается зазором подшипников, эксцентриситетом подшипниковых щитов, то на долю допустимого биения коллектора остается 0,007—0,01 мм.

При разработке технологических процессов изготовления коллекторов необходимо обеспечить монолитность конструкции и способность сохранять геометрическую форму в течение всего эксплуатационного периода.

Коллекторы электрических машин по конструкции и технологии изготовления можно разделить на следующие основные типы: коллекторы со стальными втулками арочного типа (рис. 18.1, а); коллекторы с бандажными кольцами (рис. 18.1, б); коллекторы на пластмассе (рис. 18.1, в, г). Каждый тип коллектора имеет большое количество разновидностей.

Рассмотрим арочный коллектор (рис. 18.1, а). Он состоит из коллекторных пластин 5, изоляционного цилиндра 7, изоляционных манжет 8, втулки 10, нажимного конуса 3, гайки 1, стопорного винта 2. Коллекторные пластины изолированы между собой изоляционными прокладками 12. В верхней части пластин располагаются петушки 9, которые имеют прорези 11 для вкладывания проводников обмотки при пайке. В машинах, у которых диаметр коллектора намного меньше диаметра якоря, для удобства соединения обмотки 14 с коллектором в пластины 5 впаивают ленточные петушки 13. Бандаж 4 крепит манжету 8 и закрывает щель 6 между манжетой и пластиной.

Принцип действия арочного коллектора основан на том, что посредством усилий, создаваемых втулкой и нажимным конусом, пластины прижимаются к центру и между ними создается боковое давление, которое называют арочным распором. Это давление передается на коническую поверхность ласточкиных хвостов пластин через изоляционные манжеты.

Качество коллекторов и их эксплуатационная надежность зависят от правильно выбранного технологического процесса.

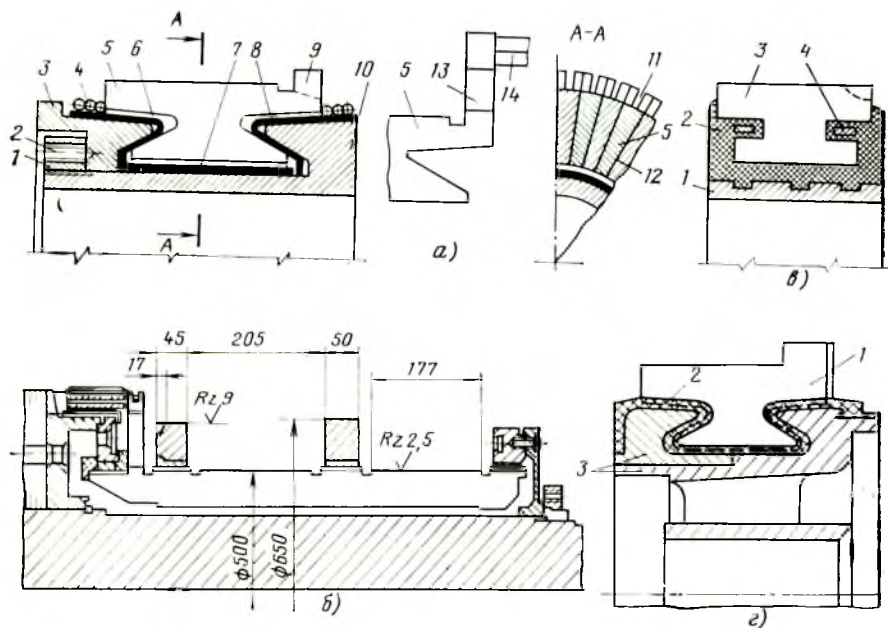


Рис. 18.1. Типы коллекторов.

а — на стальной втулке; *б* — с бандажными кольцами; *в* — на пластмассовом корпусе; *г* — щелевой конструкции.

В настоящей главе рассматривается технология изготовления коллектора до момента его сборки с валом машины. После сборки с валом машины производится ряд операций по отделке наружной поверхности, которые будут рассмотрены в гл. 19.

18.2. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОЛЛЕКТОРНЫХ ПЛАСТИН И КОЛЛЕКТОРНЫХ ПРОКЛАДOK

Коллекторные пластины изготавливают из холодноотянутой меди специального трапецидального профиля. Для большинства коллекторов применяют медь марки М1 (ГОСТ 859-78), а для скоростных машин — кадмиевую медь (с содержанием 1 % кадмия), обладающую большей механической прочностью и меньшим износом на истирание по сравнению с холоднокатаной коллекторной медью. Находит также применение коллекторная медь с присадками серебра, циркония и др. В последнее время все большее распространение находят коллекторные пластины, прессованные из медного порошка.

Электромашиностроительные заводы получают коллекторную медь в виде полос длиной от 1,5 до 3,5 м. При изготовлении коллекторной меди кабельные заводы руководствуются ГОСТ 3568-70, который устанавливает допуски на изготовление, методы контроля и требования к качеству поверхности. Размеры *a*, *h* и *α* должны

быть оговорены в заказе электромашиностроителями. Проверка размера a и угла α производится предельным шаблоном (рис. 18.2). Размер a будет соответствовать допускаемому в том случае, если медь не будет выступать выше верхнего среза (a_{max}) и утопать за нижний срез (a_{min}). Правильность угла проверяется плотностью прилегания сторон профиля меди к сторонам шаблона. Допускаемый просвет между стороной профиля и шаблоном определяется щупом. Размер h контролируется скобой или универсальным инструментом.

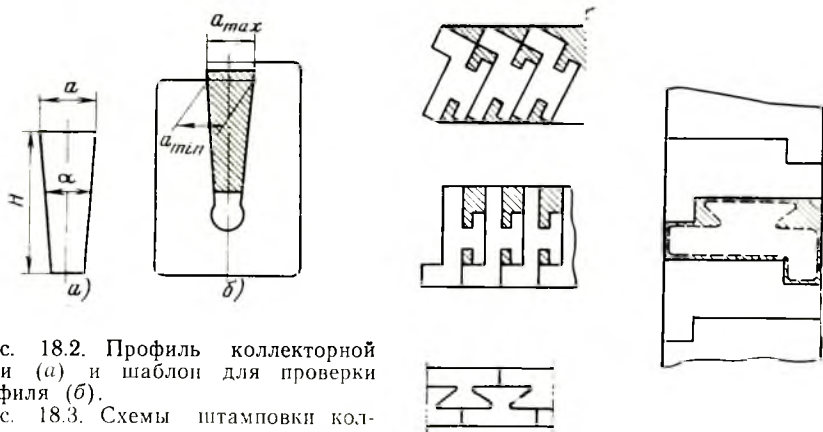


Рис. 18.2. Профиль коллекторной меди (а) и шаблон для проверки профиля (б).

Рис. 18.3. Схемы штамповки коллекторных изоляционных прокладок.

Коллекторные пластины толщиной до 10 мм чаще всего штампуют на эксцентриковых прессах с окончательным профилем для коллекторов на пластмассе и с учетом припуска на механическую обработку для коллекторов на металлической втулке. После штамповки или резки пластины должны быть выправлены и опилены от заусенцев. Правку можно производить в штампе на прессе. При этом рабочие поверхности матрицы и пуансона имеют продольные выступы высотой 0,3 мм через каждые 5 мм. При ударе выступы рабочих частей штампа внедряются в пластину, растягивая верхний слой металла, и таким образом выправляют пластину в целом. В выправленных пластинах производят фрезерование шлица для вкладывания проводников обмотки. При необходимости боковые поверхности шлица облуживают. Если припайку проводников к пластине осуществляют аргоно-дуговой сваркой, лужение не производят.

При штамповке пластины 30—40 % меди идет в отход. Более экономичным способом можно получать пластины прессованием их из металлопорошка (см. гл. 5). При этом использование материала достигает 95—98 %.

Коллекторные изоляционные прокладки изготавливают из коллекторного миканита, слюдинита, слюдопласта. Это хорошо спрессованные материалы с малым содержанием связующих (до 4 %)

и с малой усадкой при нагреве. Как правило, прокладки штампуют на кривошипных прессах. Изоляция является дорогим материалом, поэтому следует применять, по возможности, безотходную штамповку. На рис. 18.3 приведены схемы штамповки. Штриховкой показаны получающиеся отходы.

18.3. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИОННЫХ МАНЖЕТ

Изоляционные манжеты, изолирующие коллекторные пластины от стяжных конусов — весьма ответственная изоляционная деталь, требующая тщательной технологии изготовления. Изоляционные манжеты изготавливают из формовочного миканита, слюдинита, слюдопласта. Формовочные материалы для коллекторных манжет имеют более высокое содержание связующих (8—15 %).

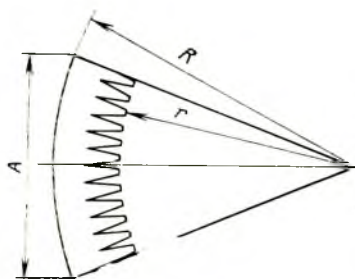


Рис. 18.4. Заготовка миканитовой манжеты.

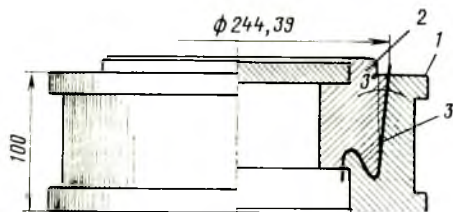


Рис. 18.5. Пресс-форма для опрессовки манжет.

При диаметрах нажимного конуса до 500 мм манжеты выполняют целыми, а при больших диаметрах — из отдельных сегментов. Заготовки сегментов (рис. 18.4) вырезают из листа по шаблону или при больших количествах штампуют на прессе. Затем отбирают необходимое число заготовок на каждую манжету. Суммарная толщина должна быть равна 1,15 номинальной толщины манжеты, так как в процессе изготовления миканит дает усадку на 15 %.

Заготовки нагревают до размягчения смолы и производят загиб в холодном пуансоне 1 (рис. 18.5) пресс-формы. Затем половину заготовок лакируют маловязким клеящим лаком и подсушивают на воздухе. Пресс-форму нагревают до 180—190 °С, смазывают смазкой, прокладывают телефонной или пергаментной бумагой, после чего закладывают в нее заготовки 3. В процессе закладки чередуют лакированные и нелакированные заготовки и сдвигают их на 1/3 или 1/4 зубца. Затем снова прокладывают лист бумагой, вставляют горячий пуансон 2, покрытый смазкой, и выполняют предварительную прессовку. Вырезку зубцов и сдвиг заготовок производят для того, чтобы после изгиба этой части на меньший диаметр толщина всей манжеты была одинаковой. После прессовки пресс-форма с заготовками подается на запекание —

температура и время запекания зависят от марки формовочного миканита и толщина манжеты. В результате запекания манжета должна приобрести жесткость, но не должна быть хрупкой. Она должна сохранить возможность формовки в процессе подтяжки гайки при сборке деталей коллектора на втулку. После запекания пресс-форму извлекают из печи и в горячем состоянии прессуют на прессе, подтягивая гайку стягивающего болта. Обрезку краев манжеты производят в пресс-форме после ее остывания.

18.4. ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ КОЛЛЕКТОРОВ

Технологический процесс сборки и обработки коллекторов состоит из следующих операций: сборка пластин в кольцо, опрессовка, выпечка, расточка ласточкина хвоста, сборка кольца на втулку, обработка рабочей поверхности, разгон, балансировка и контроль. После напрессовки коллектора на вал машины производят чистовую обработку наружного рабочего диаметра и продоразживание.

Сборку коллекторных пластин в кольцо выполняют на сборочном диске (рис. 18.6). На торце диска в радиальном направлении профрезерованы пазы, в которые при сборке вставляются изоляционные прокладки. Число пазов в диске равно числу пластин коллектора. Сборка пластин в кольцо на диске удобна, так как не надо вести счет пластинам и легко транспортировать весь комплект.

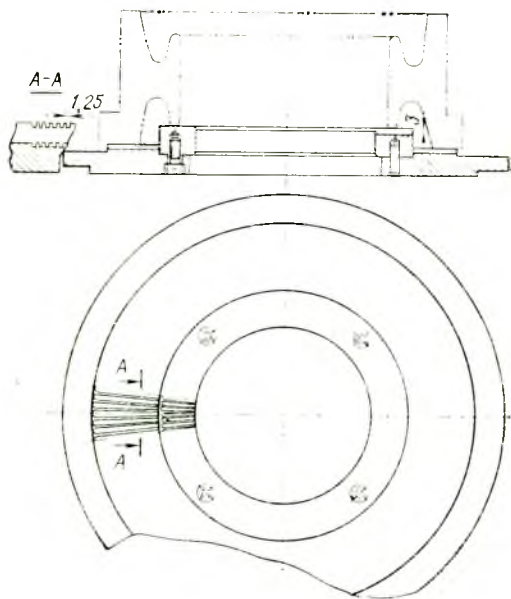


Рис. 18.6. Кольцо для сборки коллектора.

Перед сборкой коллекторные пластины и коллекторные прокладки калибруют. При сборке на диск поочередно устанавливают пластины и прокладки. Собранный в кольцо комплект пластин стягивают отожженной стальной проволокой и производят прессовку.

Прессовка производится на гидравлических прессах в приспособлениях. Прессовка комплекта пластин нужна для придания ему цилиндрической формы и получения монолитности за счет создания бокового давления между пластинами.

В процессе изготовления комплект пластин прессуют несколь-

ко раз. Первый раз в холодном состоянии после сборки пластин в кольцо, второй раз — сразу после нагревания и выпечки, третий — после остывания до температуры окружающей среды. При первой прессовке создается нужное боковое давление между пластинами. Вторая и третья прессовки служат для восстановления этого давления, уменьшающегося после выпечки миканита, а затем при охлаждении в результате различного сжатия меди и стального кольца, имеющих разные температурные коэффициенты объемного расширения. Миканитовые прокладки у средних и больших кол-

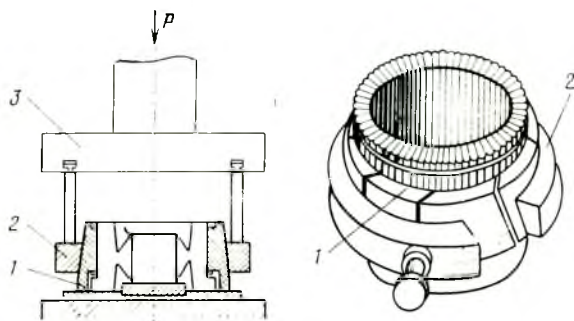


Рис. 18.7. Схема опрессовывания кольца коллекторных пластин на гидравлическом прессе.

лекторов не удастся выпечь за один нагрев. Комплект пластин таких коллекторов нагревают еще 1—2 раза и производят 1—2 цикла прессовок. Операция прессовки выполняется следующим образом. На кольцо пластин сверху надевают плашки 1 (рис. 18.7) запрессовочного приспособления и накладывают запрессовочное кольцо 2. После напрессования вручную запрессовочного кольца приспособление переворачивают и проверяют перпендикулярность пластин коллектора к запрессовочному кольцу по угольнику. Затем пластины коллектора запрессовываются на прессе 3.

Количество плашек чаще всего равно 6. Их получают из цилиндрической заготовки, разрезанной под косым углом к торцу. Косой разрез предохраняет от попадания в зазор между плашками миканитовых прокладок при прессовке. Угол наклона образующей конуса кольца и плашек выбирают из условий самоторможения, он равен 4° .

Выпечка производится в печи в течение 4—10 ч при температуре $160\text{--}200^\circ\text{C}$.

После выпечки выполняется операция расточки ласточкина хвоста для крепления комплекта пластин на втулке. В зависимости от габаритов комплекта пластин расточку производят на токарных или карусельных станках. За базу при расточке принимают торец и наружный или внутренний диаметр приспособления. На рис. 18.8 показана расточка комплекта пластин. Расточка выполняется на пневматической консольной оправке с базой по внут-

ренному диаметру. Комплект пластин 2 вместе с плашками и кольцом надевается на кулачки 3, которые разжимаются внутренней оправкой 5. Внутренняя оправка получает движение от тяги 8 через съемную шайбу 7. Обработав одну сторону пластин, гайкой 6 запирают оправку 5 в корпусе 4. Затем тягу 8 подают вправо, снимают шайбу 7 и оправку 4, вместе с комплектом пластин переворачивают на 180° и вставляют в корпус 1 другой стороной. Производят обработку второй стороны пластин. Таким образом обеспечивают соосность обеих обработанных сторон пластин.

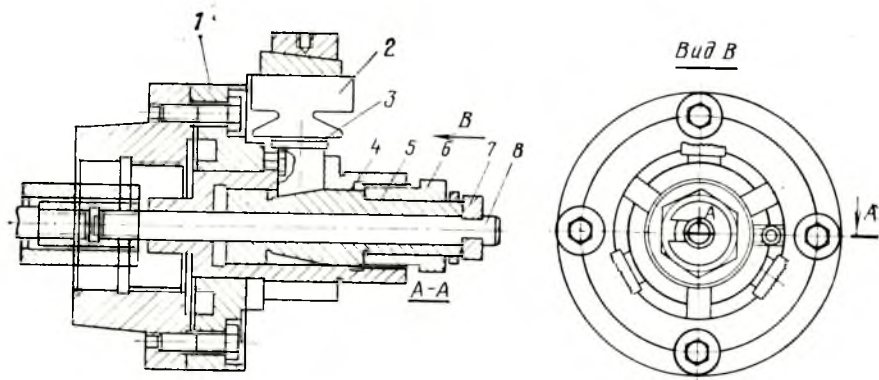


Рис. 18.8. Пневматическая консольная оправка для расточки ласточкина хвоста.

Общую сборку коллектора производят в следующей последовательности. На втулку 10 (см. рис. 18.1, а) надевают слегка нагретую манжету 8 и изолирующий цилиндр 7. Затем надевают кольцо пластин 5, нажимной конус 3 с манжетой и предварительно заворачивают гайку 1. После предварительного заворачивания гайки 1 собранный коллектор устанавливают на гидравлический пресс и под давлением подтягивают гайку до упора. При помощи специального шаблона выверяют положение шпоночной канавки втулки по отношению к пластинам коллектора. Середина шпоночной канавки должна совпадать с серединой медной или миканитовой пластины, на что должно быть указание в чертеже. В крупных коллекторах установить комплект пластин на втулку по шаблону трудно, поэтому шпоночную канавку долбят или протягивают в собранном коллекторе. При сборке коллектора проверяют параллельность торцевых поверхностей, пластин и нажимных колец.

Для того чтобы при работе коллектора не ослаблялось давление на ласточкин хвост, коллектор нагревают и выдерживают некоторое время в печи при $t^\circ = 160 \div 180^\circ\text{C}$, а затем в горячем состоянии подтягивают гайку. После остывания коллектора гайку подтягивают еще раз. Крупные и быстроходные коллекторы до 3 раз нагревают и подтягивают гайку. Затем коллектор освобождают от прессовочного кольца и плашек и обтачивают по наружной поверхности.

Готовые коллекторы желательно подвергнуть динамической формовке для сохранения правильности формы коллектора в процессе эксплуатации. При этом коллектор нагревают до 150—160 °С, надевают на оправку установки динамической формовки и разгоняют 10—30 мин при температуре 150—160 °С со скоростью, равной 1,5 номинальной для данного коллектора. Динамическая формовка коллектора производится до 3 раз. При этом после каждой формовки проверяют затяжку гайки [4].

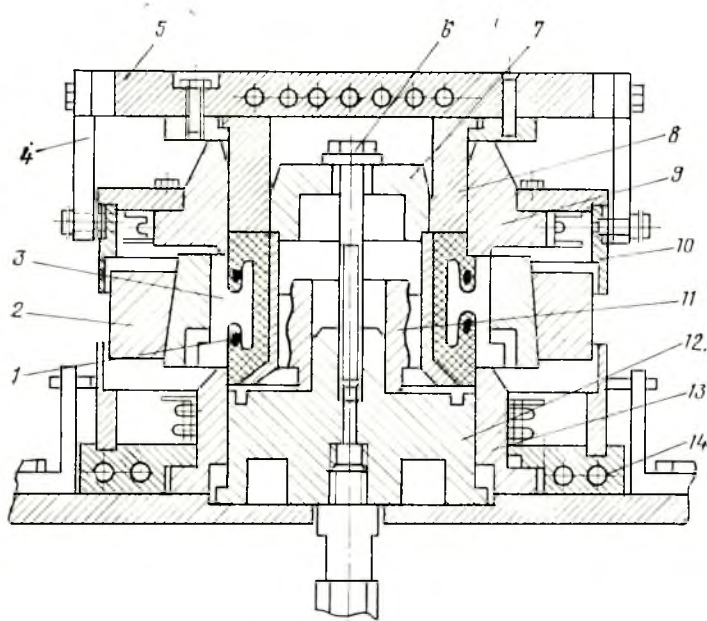
18.5. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОЛЛЕКТОРОВ НА ПЛАСТМАССЕ

В коллекторах с наружным диаметром до 200—250 мм широкое распространение получило крепление пластин пластмассой. Коллекторы этого типа имеют значительно меньшую трудоемкость и себестоимость по сравнению со сборными за счет отсутствия механической обработки крепящих деталей и пластин (рис. 18.1, в). Для большей надежности посадки коллекторов на вал машины их снабжают стальной втулкой 1, а для повышения механической прочности в пластмассе 2 размещают армирующие стальные кольца 4. Для крепления используется пластмасса марки К6 или АГ-4.

При изготовлении коллекторов на пластмассовом корпусе пакет пластин 3 собирается так же, как при изготовлении сборного коллектора, и после сборки прессуется в холодном состоянии на гидравлическом прессе. Усилие прессовки выбирается таким, чтобы обеспечить необходимое давление между пластинами с учетом падения арочного распора в процессе прессовки пластмассой и ее термообработки. Процесс усадки и запекания изоляционных прокладок происходит при прессовке пластмассового корпуса, когда вследствие арочного распора и температурного расширения меди между пластинами коллектора создается давление около 60 МПа при температуре 140—180 °С.

Прессовка коллектора пластмассой в пресс-форме производится следующим образом. Пресс-форма нагревается до температуры 130—140 °С (для АГ-4) или 170—180 °С (для К6). До этой же температуры должны быть нагреты пакет коллектора и армировочные кольца. Затем на нижний пуансон 12 пресс-формы (рис. 18.9) надевают нагретую втулку коллектора 11. Во втулку вставляют центрирующий стакан 7 и стягивают болтом 6. В нижнее прессовочное пространство (между втулкой 11 и матрицей 13) закладывают таблетку из пластмассы. Таблетка имеет форму кольца и предварительно нагревается высокочастотным нагревом до температуры 70 °С для придания ей пластичности и удаления из пластмассы летучих веществ. Затем берут комплект пластин 3, запрессованный в кольцо 2, и в его выемку устанавливают армирующее кольцо 1. В таком виде кольцо коллектора ставят в пресс-форму. Ползун пресса вместе с деталями 9 и 10 опускается вниз, при этом пресс-форма смыкается, после чего ее закрепляют шарнирными болтами (на чертеже не показаны) с нижней частью пресс-формы. Откидывают защелку 4, и ползун 8 с верхней плитой 5

поднимается вверх. В загрузочное пространство верхней части пресс-формы закладывают вторую подогретую таблетку. Опускают ползун вниз и производят прессовку коллектора. Давление при прессовке 35—45 МПа. Выдержка под давлением в течение 1—2 мин на 1 мм толщины пластмассового корпуса коллектора. Верхняя матрица 9 и пуансон 8 установлены на верхней плите 5, которая крепится к ползуну пресса. Нижняя часть пресс-формы за плиту-обойму 14 прикреплена к столу пресса.



Р и с. 18.9. Пресс-форма для опрессовывания коллектора с пластмассовым корпусом.

Последующими операциями изготовления коллектора являются: термообработка, снятие опрессовочного кольца, развертывание отверстия у втулки, обточка рабочей поверхности, разгон и контроль.

Коллекторы, имеющие корпус из пластмассы, можно изготавливать из пластин, полученных разделением цельной заготовки. На рис. 18.10 показана заготовка, полученная методом холодного выдавливания, а на рис. 18.11 заготовка, полученная прессовкой металлопорошка. Заготовки опрессовывают пластмассой, а затем фрезеровкой разделяют коллекторные пластины. На рис. 18.12, а, б показан коллектор, пластины которого образованы разделением целой штампованной заготовки. Последовательность изготовления понятна из рисунка.

Коллекторы на пластмассе кроме достоинств обладают рядом недостатков, обусловленных свойствами применяемых пресс-материалов и особенностями конструкции. Пластмасса АГ-4 обладает

резко выраженной анизотропией, т. е. механические свойства в направлении волокон наполнителя отличны от свойств в поперечном к волокнам направлении. Это приводит к появлению весьма высоких напряжений в пластмассе при изготовлении и эксплуатации коллектора, являясь нередко причиной его разрушения. Отмеченные недостатки послужили причиной создания коллекторов щелевой конструкции (рис. 18.1, з).

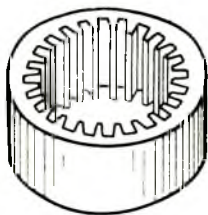


Рис. 18.10. Пакет пластин после выдавливания.

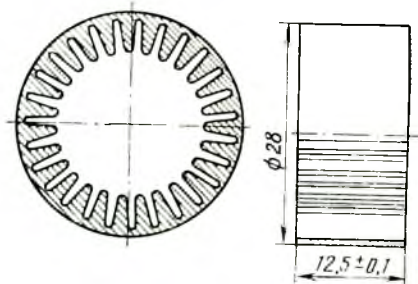


Рис. 18.11. Пакет пластин после прессования из металлопорошка.

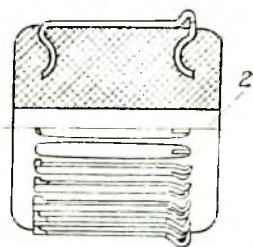
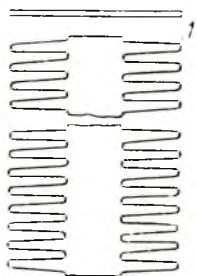
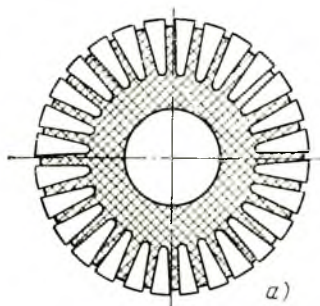


Рис. 18.12. Коллекторы на пластмассе, пластины которых образованы разделением цельной заготовки.

а — с пакетом пластин, изготовленных из кольца (см. рис. 18.11); *б* — с пакетом пластин, изготовленных из полосы; 1 — развертка (заготовка) пакета пластин; 2 — готовый коллектор.

Коллектор щелевой конструкции имеет стальные втулки 3 и кольцо коллекторных пластин 1 с изоляционными прокладками. Между втулками и кольцом предусмотрена щель 2, которая заполняется пластмассой. Отсутствие растягивающих усилий в пластмассовой прослойке позволило отказаться от материала марки АГ-4 и применить материал «Премикс», обладающий высокими реологическими свойствами. Прессовка происходит через узкую щель (1—5 мм) при высоком давлении (около 100 МПа). В конструкции обеспечивается однородность материала.

На Рижском электромашиностроительном заводе (РЭЗ) освоено производство коллекторов щелевой конструкции для быстроходных двигателей напольного транспорта. Окружная скорость в

коллекторах достигает 30 м/с. Щелевая конструкция выгодно сочетает лучшие свойства коллекторов на пластмассе (простота процесса изготовления, надежность) и сборных коллекторов (хорошая теплоотдача, жесткость несущих элементов).

18.6. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНТАКТНЫХ КОЛЕЦ

Технологический процесс изготовления контактных колец включает следующие стадии: изготовление деталей, изолировка втулки, сборка и отделка.

Втулку 1 (рис. 18.13, а) отливают из чугуна и обрабатывают на станках. Контактные кольца 2—4 изготавливают из различных металлов. Перспективными с точки зрения технологии являются кольца, прессованные из медного порошка. Изолирующие шайбы 6 и провододержатель 7 прессуются из пластмассы.

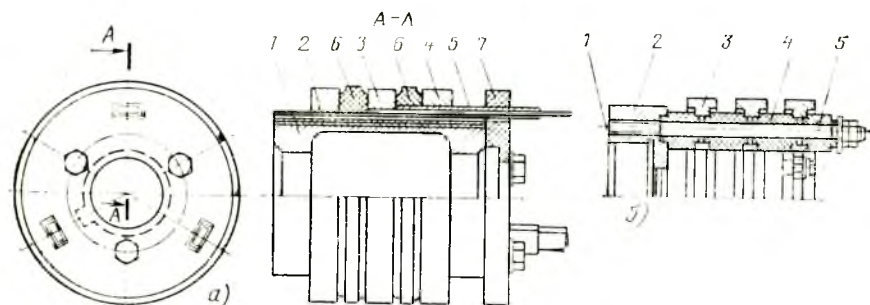


Рис. 18.13. Узел контактных колец.

а — на чугунной втулке; б — консольный с пластмассовой изоляцией.

Изолирование втулки производят формовочным миканитом, но может также применяться формовочный слюдопласт или слюдинит. При всех материалах технология одинакова.

Ширину заготовки выбирают на 15—20 мм больше высоты втулки. Цилиндрическую часть ступицы промазывают клеящими лаками и на высушенную поверхность плотно накатывают на горячей плите изоляционный материал, поверхность которого предварительно лакируется. Затем втулку опрессовывают и запекают изоляцию в пресс-форме с конусными сегментами, аналогично прессовке и запекке коллекторного кольца. Температура и время зависят от примененных изоляционных материалов и габаритов втулки. После запекания изоляция должна быть плотной и при постукивании издавать металлический звук. После извлечения из пресс-формы ступицу обрабатывают на токарном станке до размеров, указанных в чертеже.

Контактные кольца сажают на изолированную втулку с натягом. Для этого кольца нагревают до 300—450 °С. При сборке втулку устанавливают на оправку. На втулку надевают горячие контактные кольца 2—4 и две изолирующие пластмассовые шай-

бы 6. Затем контактные кольца прессуют и, не снимая давления, охлаждают. После охлаждения на выводные концы надевают изоляционные гильзы 5. Провододержатель 7 привертывают к втулке болтами.

В готовых узлах контактных колец свободные поверхности изоляции бандажируют лентами и шнурами и покрывают эмалями с последующим запеканием.

В некоторых электрических машинах применяют контактные кольца без втулок (рис. 18.13, б). Контактные кольца 3 через пластмассовые изоляционные кольца 4 крепятся тремя шпильками 5 к фланцу 2. Кольца прикрепляются к торцу вала электродвигателя внутренней поверхностью фланца 1. Так как обеспечить соосность контактных колец сборкой весьма трудно, на собранной машине производят проточку колец по наружному диаметру.

Контактные кольца также могут изготавливаться на пластмассе. При этом исключаются явления усадки изоляции, ослабления посадки, разбалтывания контактных колец. Щеточная пыль не может попасть между кольцами и изоляционными втулками и образовывать проводящие мостики.

Прессовка контактных колец в пресс-форме производится так же, как и коллекторов. Применяемые пластмассы аналогичны. После прессования узлы следует подвергать термообработке.

Глава девятнадцатая

ИЗГОТОВЛЕНИЕ И УКЛАДКА ОБМОТОК ЯКОРЕЙ

19.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

К обмоткам якорей относятся обмотки, уложенные в пазы вращающихся частей машин (якоря машин постоянного тока, преобразователей и т. п.).

Якорные обмотки по способу изготовления можно разделить на машинные из круглого провода, катушечные из круглого провода, катушечные из прямоугольного провода, одновитковые из прямоугольного провода и стержневые.

Машинные обмотки из круглого провода применяются в машинах малой мощности. Намотка осуществляется непосредственно в пазы. Изоляция пазов и торцов сердечника может производиться напылением порошка. При этом длина лобовых частей получается минимальной. Для предохранения лобовых частей от действия центробежных сил достаточна пропитка обмотки.

Катушечные обмотки из круглого провода применяются в машинах с высотами оси вращения 80—200 мм. Катушки наматываются на шаблон, растягиваются и укладываются в овальные полузакрытые пазы.

В качестве корпусной изоляции используют изофлекс или имидофлекс толщиной 0,25—0,35 мм, которыми изолируют паз до начала укладки.

Обмотки из прямоугольного провода применяют в машинах с высотой оси вращения 225 мм и выше, а также в тяговых, крановых и других машинах специального назначения. Обмотки выполняют в виде жестких формованных катушек и укладывают в открытые пазы.

Для повышения надежности обмотки секции, из которых состоят катушки, дополнительно через одну изолируют стеклянной лентой или полиамидной пленкой. Корпусная изоляция наносится на катушки до их укладки в пазы.

Стержневые обмотки выполняют из полувитков, эти обмотки имеют соединения с обеих сторон сердечника якоря. Они используются в крупных машинах постоянного тока.

Для закрепления обмотки в пазах применяют бандаж и клинья, а для крепления обмотки в лобовых частях — бандаж.

После укладки обмотки производят припайку (сварку) концов секций к коллекторным пластинам, наложение бандажей и пропитку. Обмотанные якоря с изоляцией класса В пропитывают лаками без растворителей капельным или струйным способами. Якоря с изоляцией классов F и H подвергают пропитке в вакууме или при давлении в лаках с растворителями. В настоящее время все большее распространение находит пропитка в эпоксидных компаундах, а также в вакууме и под давлением (см. гл. 21). После пропитки якорь проходит операции отделки.

Как известно, в обмотках появляются дополнительные потери в сечении проводника из-за рассеяния паза, поэтому в статорных обмотках машин переменного тока проводники прямоугольного сечения кладут в паз широкой стороной, обращенной к дну паза. В машинах постоянного тока проводники обращены к дну паза узкой стороной. Это объясняется тем, что при таком расположении проводников их удобнее соединять с пластинами коллектора. При высоте проводника, превышающей так называемую критическую высоту, зависящую от частоты тока в якоре, проводники разделяют по высоте на два параллельных. Обмотки с разделенными проводниками вызывают дополнительные трудности при гибке и изоляции.

На заводах разрабатываются обмотки с расположением проводников в пазу плашмя. Для соединения с коллекторными пластинами концы секций поворачивают на 90° или подвергают прессовке. При прессовке проводник деформируется так, что узкой стороной входит в пазы коллекторных пластин. При повороте проводников появляются трудности в изолировке и бандажировании выводов секций.

19.2. НАМОТКА ЯКОРЕЙ МАШИНЫМ СПОСОБОМ

Конструктивно якорь представляет собой сборочную единицу, состоящую из вала, на который насажены сердечник (или сердечники), коллектор, контактные кольца, шайбы и другие детали.

Сердечники в зависимости от расположения паза относительно их оси бывают с косым или прямым пазом. Форма пазов различна: круглая, овальная, трапециевидная и др.

Наличие на валу вместе с сердечником коллектора и других элементов затрудняет процесс станочного наматывания, отрицательно сказывается на качестве формирования лобовых частей, а в отдельных случаях, когда диаметр коллектора близок к диаметру якоря и расположен на малом расстоянии от него, делает практически невозможной станочную намотку.

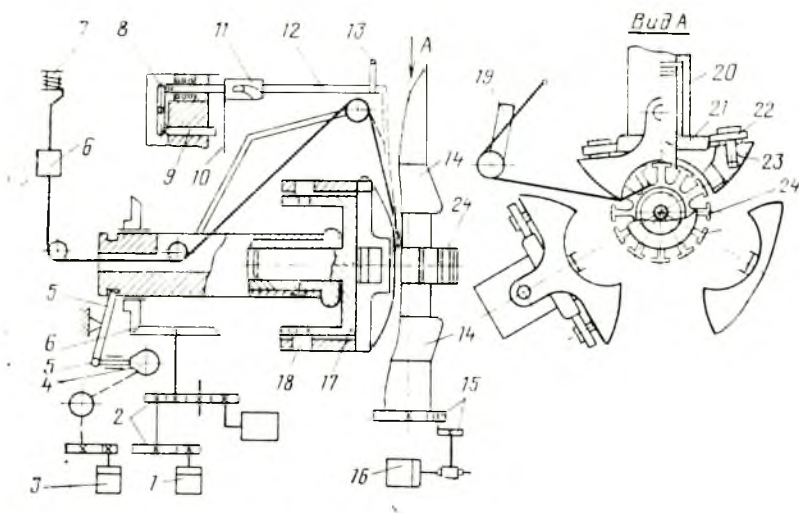


Рис. 19.1. Станок для бесчелночного наматывания обмотки якоря.

По способу образования витка намоточные станки можно разделить на бесчелночные и челночные. В бесчелночных станках виток образуется вследствие вращения сердечника, наматывающего на себя провод. В челночных станках виток образуется вследствие вращательного или иного функционального движения челнока (поводка) относительно сердечника. При этом сердечник может быть неподвижен или совершать определенные функциональные перемещения.

Рассмотрим работу станка (рис. 19.1) для бесчелночного наматывания якоря.

Наматываемый якорь 24 устанавливается в цангах 14, включается станок, и от электродвигателя 3 через зубчатые колеса движение передается кулачку 4, обеспечивающему рычажной системой 5 подачу шпинделя 20 в осевом направлении, в результате чего выступы скобы 17 входят в паз сердечника, фиксируя его в заданном положении. Скоба 17 осями 18 связана с кулачками 23.

Для удержания провода станок содержит подпружинный крючок 13, закрепленный на конце стержня 12, имеющего штифт, входящий в винтовую канавку неподвижной муфты, закрепленной на фланце 10.

После подачи шпинделя к сердечнику дается команда на включение двигателя 1, который через систему зубчатых колес 2 и 6 сообщает вращение шпинделю 20 и связанному с ним вращающему поводку 19, обеспечивающему намотку секции. Провод, сматываемый с катушки 7, проходит натяжное устройство, систему роликов и через полый шпиндель попадает на ротор.

Перед самым началом намотки, когда подается вперед шпиндель, фланец 10 отходит от упора 9. При этом пружина стержня 12 толкает его влево, поворачивая рычаг 8 и передвигаая упор 9. Одновременно вследствие осевого перемещения стержня 12 от штифта, входящего в винтовой паз муфты 11, он поворачивается, освобождая провод.

В процессе намотки кулачок 21, выполненный в виде втулки, запрессованный в шпиндель 20, попеременно воздействует на ролики 22, запрессованные в кулачки 23, сообщая им качательное движение. Направляющая кромка кулачка входит в паз, тем самым обеспечивая периодическое уплотнение обмотки.

Поворот сердечника на новый пазовый шаг производится электродвигателем 16 через передаточный механизм 15.

Применение в станках механизма поворота сердечника повышает производительность намоточной операции приблизительно на 30 %. Однако более высоких результатов можно достигнуть лишь применением станков, наматывающих параллельно все секции [8].

19.3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОБМОТОК ЯКОРЕЙ

а) Намотка катушки из круглого провода

Катушка якорной обмотки состоит из нескольких секций. Каждая секция присоединяется к своим коллекторным пластинам. Общее число секций равно числу коллекторных пластин. На рис. 19.2 показана катушка, состоящая из трех секций.

Намотку производят на шаблон сразу всех секций. Шаблон по форме соответствует шаблону для намотки статорных катушек из круглого провода. Число барабанов, с которых наматывают катушки, равно числу элементарных проводов в катушке. Так как секции имеют небольшое число витков (2—8), не требуется применение

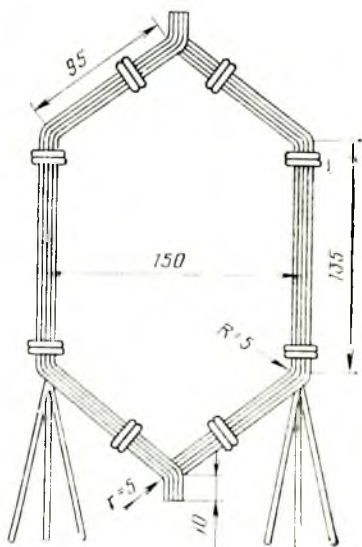


Рис. 19.2. Шаблонная катушка из круглого провода.

высокой скорости намотки. Обычно используют простые станки собственного изготовления. При намотке производят маркировку начала и конца каждой секции. Наиболее просто это делают, надевая на концы трубки разных цветов.

После намотки катушку перевязывают в нескольких местах и снимают с шаблона. При необходимости производят формовку головки в приспособлении с гидро- или пневмоприводом. Затем выводные концы обрезают до размера, указанного в чертеже, и зачищают изоляцию. Если катушки припаиваются к коллекторным пластинам, то концы катушек лудят. В таком виде катушки поступают на укладку.

6) Намотка катушки из прямоугольного провода

Многовитковая катушка обмотки якоря из прямоугольного провода показана на рис. 19.3. Она имеет сложную пространственную форму с изгибом в различных плоскостях. Эта форма придается ей в результате трех операций: намотки на шаблон, растяжки па-

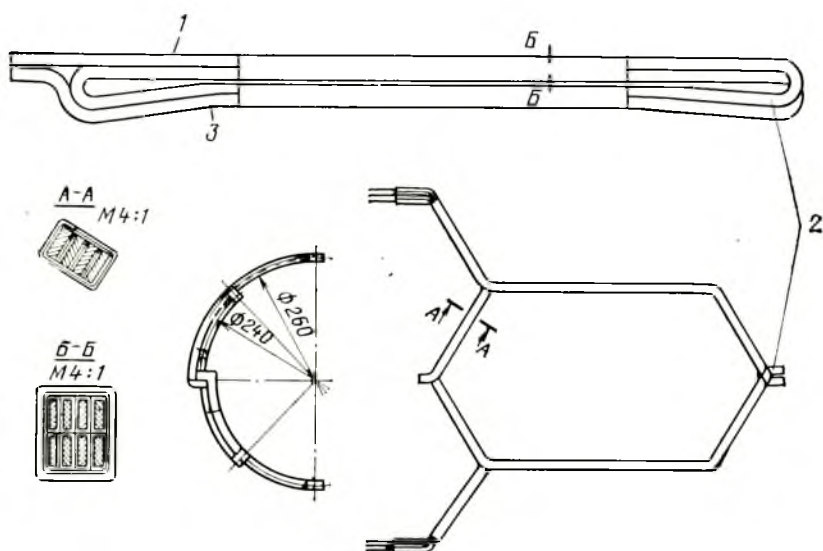


Рис. 19.3. Шаблонная многовитковая катушка из прямоугольного провода.

зовых частей и формовки лобовых частей. Якорная катушка отличается от статорной тем, что имеет двойную головку 2 со стороны лобовой части, не имеющей выводных концов. В статорной катушке (см. рис. 16.2) один выводной конец выходит из внутренней части катушки и после укладки располагается между катушками. В статоре это не очень опасно, так как выводной конец из внутренней части катушки соединяется с выводным концом соседней катушки, выходящим с наружной части. В якоре выводные концы присоединяются к коллекторным пластинам. Выводить

провод из середины обмотки и перегибать его опасно, так как можно повредить изоляцию. Поэтому перекрещивание проводов перенесено на другую сторону катушки. Катушка в месте перекрещивания имеет двойную толщину, но это не очень опасно, так как между головками может быть проложена изоляция. Головки катушек этой стороны в процессе укладки подвергаются менее сильным деформациям, чем головки со стороны коллектора. В результате этого нижний слой выводных концов 3 выходит к коллекторным пластинам из-под петли лобовых частей, а верхний слой 1 — над петлями.

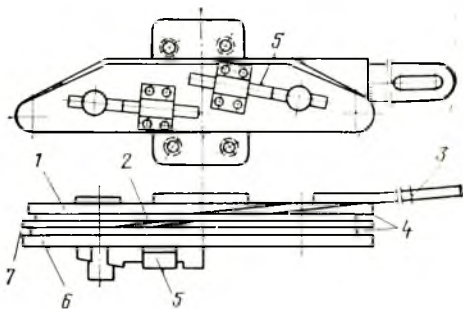


Рис. 19.4. Шаблон для намотки катушки с двойной головкой.

На рис. 19.4 показан шаблон для намотки катушек с двойной головкой. Шаблон имеет две щеки 1 и 6. Щека 6 съемная и кре-

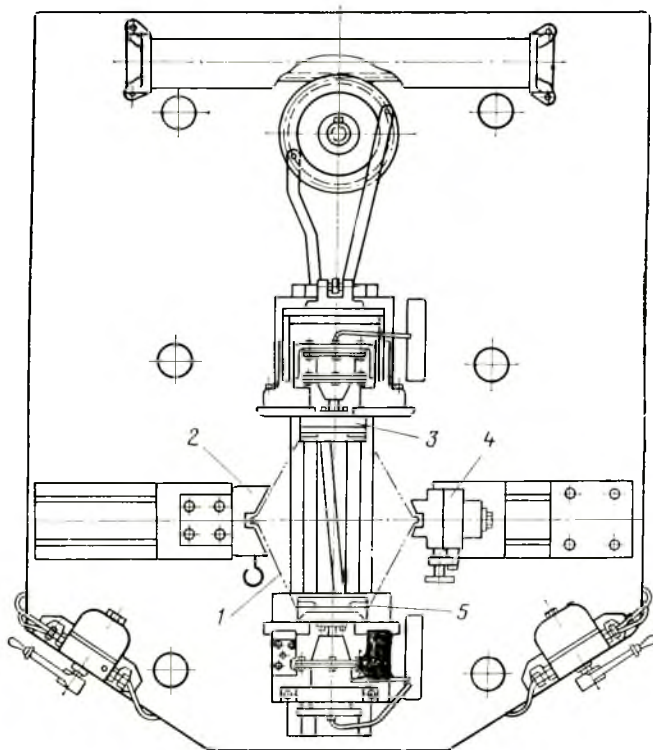


Рис. 19.5. Растяжной станок.

пится клиньями 5. Шаблон имеет два ручья 4, разделенных съемной перегородкой 7. Для образования двойной головки имеется паз 2, обеспечивающий переход проводов катушки с одного ручья на другой.

Намотка производится следующим образом. Провод через натяжное устройство подводится к поводку шаблона 3 и крепится на нем. Затем осуществляется намотка. Скорость намотки невелика, так как витков мало, а прямоугольный провод должен лечь в ручьи шаблона ровно. При необходимости его подбивают молотком через текстолитовую подбойку. Намотанную катушку перевязывают в нескольких местах и снимают с шаблона.

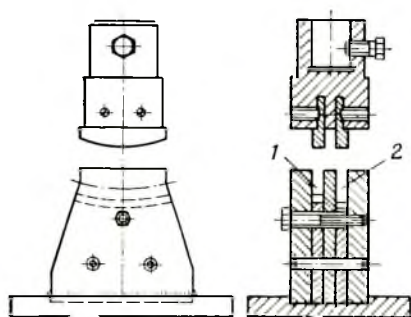


Рис. 19.6. Штамп для выгибания лобовых частей катушки.

Растяжку производят в растяжных станках. На рис. 19.5 показан один из них. Катушка 1 головками укреплена в кулачках 2 и 4, а пазовая часть в захватах 3 и 5. При растяжке привод станка разводит захваты в разные стороны, а кулачки, не имеющие привода, сближаются до упора. На рисунке положение всех механизмов показано в конечный момент растяжки. При растяжке станок настраивают по шагу (углу) между пазами, в которые будут укладываться катушки, при этом лобовые части получают прямолинейной формы, вместо радиусной, предусмотренной чертежом. При необходимости катушки перед растяжкой могут обертываться хлопчатобумажной лентой впритык для предохранения витков от смещения и повреждения в процессе растяжки и последующей формовки.

Формовку производят для придания прямолинейной лобовой части радиусной формы в соответствии с требованием чертежа. Это выполняется в пневматических прессах, оснащенных гибочными штампами.

На рис. 19.6 показаны пуансон и матрица гибочного штампа. Штамп имеет два ручья 1 и 2. В одном из них изгибаются лобовые части нижней стороны катушки, а в другом верхней. Поэтому основания ручьев изготовлены с различной кривизной, а глубины их отличаются на высоту одного витка. Для удобства укладки и выемки катушки из матрицы ручки выполняются расширяющимися кверху. Дальнейшими операциями изготовления катушки будут: лужение концов, изолировка, контроль.

в) Изготовление одновитковых катушек

Одновитковая якорная катушка показана на рис. 19.7. Технологический процесс изготовления одновитковых катушек включает в

себя операции: правку и отрезку провода, гибку головки 2, разводку лобовых частей 1, формовку верхней и нижней полукатушек.

Катушки изготавливают из шинки или изолированных проводов. Процесс изготовления катушек из шинки более трудоемкий, так как требует наложение витковой изоляции на каждый проводник и поэтому применяется редко. Правка и отрезка проводов производится на медерезательных станках. Гибку головки катушки выполняют на ребро в пневматических приспособлениях. Для этого набирают пакет проводов для одной катушки и производят гибку. После гибки в другом пневмоприспособлении разводят головку лобовых частей на угол α . Формовку полукатушек выполняют в две операции на гибочных приспособлениях, называемых горбылями. Каждую операцию осуществляют в отдельном приспособлении.

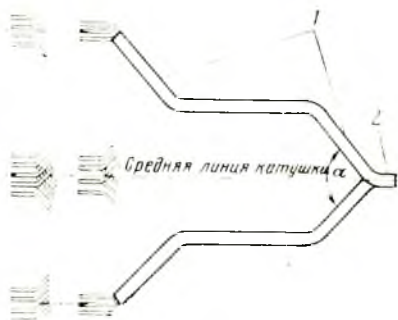


Рис. 19.7. Одновитковая катушка якоря.

На рис. 19.8 показан горбыль для формовки верхней части катушки. Горбыль изготовлен из толстолистовой стали в виде макета части сердечника якоря. Заготовку катушки закладывают головкой в продольный паз 7, а лобовую часть нижней неформуемой полукатушки в паз 8 и зажимают эксцентриком 9. После этого приступают к формовке верхней полукатушки. Ударами мо-

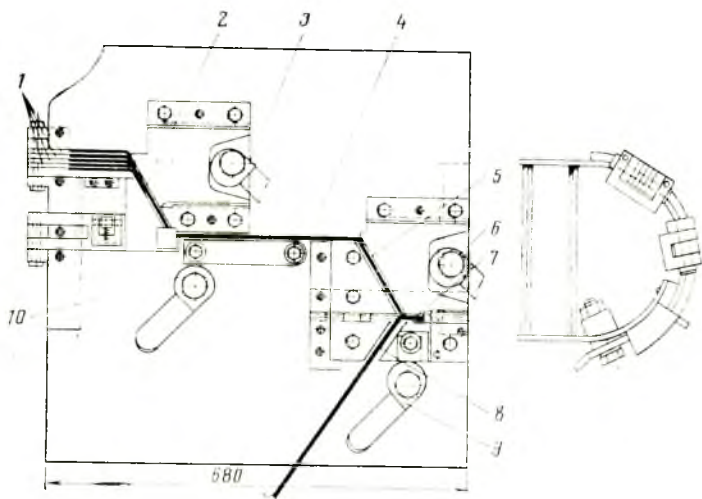


Рис. 19.8. Приспособление для формовки одновитковых катушек.

лотка сгибают по радиусу лобовые 2 и 5, пазовую 4 части и отгибают концы катушки. После гибки каждая часть катушки зажимается эксцентриками 3, 6, 10. Концы помещают между прокладками 1. После формовки освобождают зажимы и катушку снимают с горбыля. Вторую сторону формуют аналогично на другом горбыле. В таком виде катушки поступают на изолировку.

г) Изготовление стержней

При диаметрах якоря свыше 500 мм одновитковые катушки якорных обмоток получаются очень громоздкими, поэтому в крупных машинах применяют стержневые обмотки, состоящие из полукатушек, форма которых приведена на рис. 17.1.

Стержневые обмотки называют также разрезными. Их применяют и для волновой части катушечных обмоток, и в ступенчатых обмотках, у которых проводники катушки, лежащие в нижнем слое в одном пазу, в верхнем слое распределены в два паза.

Технологический процесс изготовления стержней роторных обмоток, которые являются типичными представителями стержневых, изложен в гл. 17. Разница между ними заключается в том, что якорные обмотки укладывают в открытый паз и поэтому при изготовлении стержня производят гибку обеих сторон.

19.4. ИЗОЛИРОВКА ОБМОТОК ЯКОРЯ

Изоляцию обмотки якоря можно разделить на витковую, пазовую, лобовых частей и дополнительную изоляцию головок, перегибов и выводных концов секций.

При намотке секций из проводов, имеющих изоляцию (ПЭТВП, ПЭТ-155, ПСД, ПСДК), витковой изоляцией служит изоляция провода. Если необходимо, она может быть усилена дополнительной изоляцией проводов стеклянной лентой ЛЭС вполнахлеста или полиамидной пленкой ПМ впритык. При этом изолируют не все провода, а через один.

На рис. 19.9, а — в показаны сечения пазовых и лобовых частей катушек с круглыми и прямоугольными проводами. В катушке рис. 19.9, б отсутствует дополнительная витковая изоляция проводов, а в катушке рис. 19.9, в средние витки имеют дополнительную изоляцию. Наложение дополнительной изоляции через один проводник вызвано желанием не увеличивать толщину изоляции паза. При изготовлении катушек из шин витковую изоляцию необходимо наложить до начала изготовления катушки.

Изолировку начинают с головок, выводных концов и мест перегиба провода. В головках изолируют каждый проводник, а затем изолируют все проводники вместе, скрепляя их. Изоляцию накладывают вполнахлеста. Концы катушек, которые будут соединяться с коллектором, зачищают на нужную длину, остальную часть изолируют вполнахлеста. В местах перегибов при необходимости укладывают между проводниками простынки и изолируют

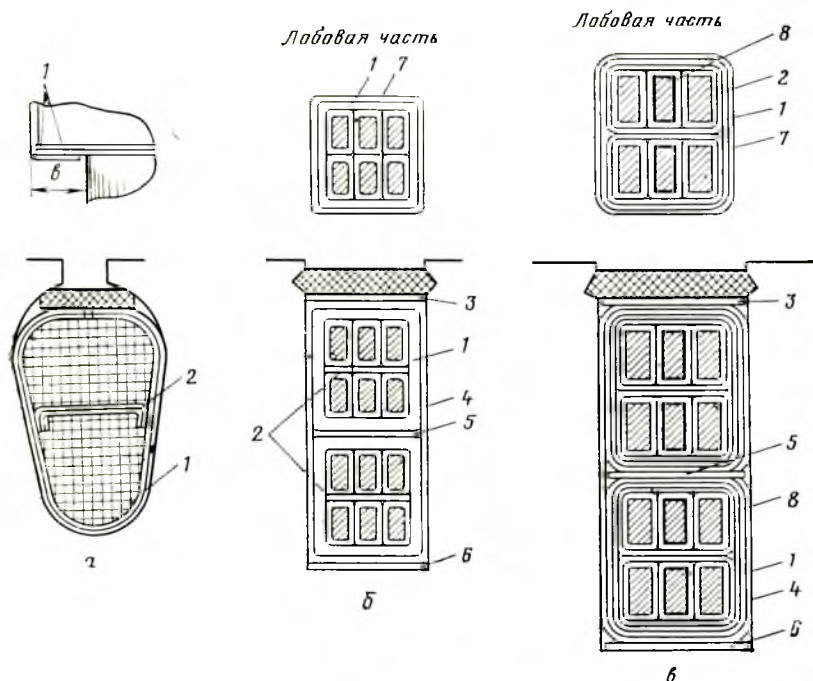


Рис. 19.9. Сечение пазовых и лобовых частей якорных катушек.

а — из круглого провода; *б* — из прямоугольного провода без дополнительной витковой изоляции; *в* — из прямоугольного провода с дополнительной витковой изоляцией; 1 — корпусная изоляция; 2 — изоляция между слоями; 3 — прокладка под клин; 4 — вспомогательная изоляция паза; 5 — прокладка между катушками; 6 — прокладка на дно паза; 7 — защитная изоляция лобовых частей; 8 — дополнительная витковая изоляция.

ют вполнахлеста место перегиба. Затем проводники катушки скрепляют стеклянной лентой, обматывая ее вразбежку в пазовых и в $1/2$ нахлеста в лобовых частях. После этого изолируют лентой лобовые части, накладывая ее вполнахлеста. Пазовые части можно изолировать простынкой (гильзовая изоляция) или лентами. Изолирование простынками применяют чаще, так как этот процесс более производительный. Простынка представляет собой стеклянное полотно или стеклослюдинитовое полотно, на которое нанесена полиамидная пленка. Простынки промазывают бакелитовым лаком и обертывают ею пазовую часть катушки. Затем катушку устанавливают в обкатное приспособление и обкатывают изоляцию в течение 1—2 мин.

В обкатное приспособление (рис. 19.10) катушку 5 заводят через прорезь

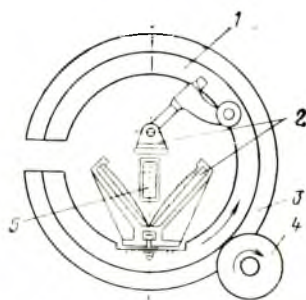


Рис. 19.10. Приспособление для обкатки изоляции.

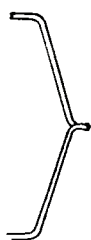
и устанавливают между нажимными планками 2, имеющими длину, равную длине пазовой части катушки. Кольцо 1 вращается вместе с нажимными планками при помощи ролика 4. Катушка и кольцо 3 неподвижны.

После обкатки пазовой части катушку скрепляют стеклянной лентой, наложенной впритык, она же служит защитной изоляцией. Катушка готова к укладке.

В некоторых случаях до наложения изоляции катушку пропитывают в лаке и прессуют. Это делается для лучшего скрепления витков. Обкатка производится горячими планками для запекания изоляции. После запечки производится опрессовка. Такая технология имеет более высокую трудоемкость, требует более сложного оборудования (см. гл. 16).

19.5. ИЗГОТОВЛЕНИЕ УРАВНИТЕЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Уравнительные соединения разнообразны по конструкции. В петлевых обмотках чаще применяют уравнительные соединения вилкообразной формы (рис. 19.11). В отдельных конструкциях находят применение штампованные уравнительные кольца.



Уравнительные соединения изготавливают из шинной меди. Медь рихтуют и нарезают нужной длины. Затем лудят концы и производят изгиб секции. Сначала изгибают на ребро головку, потом выгибают по радиусу прямолинейную часть и изгибают выводные концы. После гибки секцию изолируют лентами. Изолировку начинают, отступая 20—25 м от конца, и производят в сторону головки. Сна-

Рис. 19.11. Секция уравнительного соединения.

чала накладывают основную изоляцию, а затем защитную. Если изоляция на клеющих лаках, то ее запекают.

19.6. УКЛАДКА ОБМОТОК ЯКОРЯ

Технологический процесс укладки катушек и присоединения выводных концов обмотки к пластинам коллектора является наиболее сложным и ответственным. Якорь поступает на укладку с напрессованными обмоткодержателями 3 и 6 (рис. 19.12) и коллектором 1. Коллекторные пластины и пазы сердечника имеют вполне определенное положение относительно друг друга. Для этого в конструкторской документации указывают положение шпоночной канавки в коллекторе относительно коллекторных пластин, шпоночной канавки в штампованном листе относительно пазов и расположение шпоночных канавок на валу. Перед началом укладки производят осмотр якоря и проверку коллектора. При осмотре якоря убеждаются в отсутствии острых углов стали в пазах, кромок заусенцев и т. п. Обнаруженные дефекты устраняются. Кол-

лктор проверяют контрольной лампой на отсутствие замыкания коллекторных пластин между собой. Затем пазы якоря и обмоткодержатели покрывают быстросохнущим лаком. После высыхания лака производят изолировку обмоткодержателей.

Конструктивное исполнение обмоткодержателей различно. Обмоткодержатель, расположенный со стороны коллектора 3, имеет

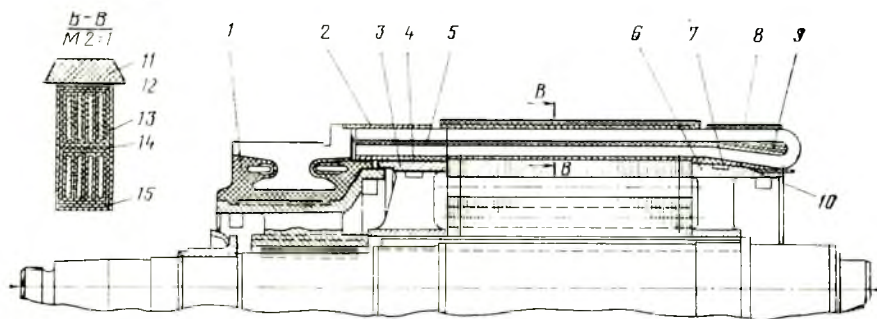


Рис. 19.12. Якорь с обмоткой и коллектором.

цилиндрическую наружную поверхность, а обмоткодержатель, расположенный с другой стороны 6, может иметь наружную поверхность с небольшим конусом. Эта особенность вносит некоторое различие в изоляцию обмоткодержателей. При изолировке обмоткодержателя со стороны коллектора его обертывают несколькими слоями киперной или стеклянной ленты. Затем, продолжая наматывать ленту, подкладывают под нее полосы 4 гибкого миканита (изоляция якоря классов F и H), обеспечив 2—3 слоя. Сверху полосы скрепляют лентой.

Изолировка другого обмоткодержателя производится следующим образом. На обмоткодержатель 6 накладывают стеклоткань в 2 раза шире обмоткодержателя (если обмоткодержатель не примыкает к сердечнику якоря, то ширина ткани в 3 раза шире обмоткодержателя). Край ткани свисает. На обмоткодержателе ткань крепят биндажом, который наматывается на место обмоткодержателя, где проточена канавка 7. Биндаж удерживает ткань от сползания с обмоткодержателя. Затем накладывают вдоль обмоткодержателя небольшие полоски миканита или стекломиканита 10 и наматывают на них ленту. Можно положить большую полосу так же, как на круглый обмоткодержатель, но для того, чтобы полоса плотно легла на конус, надо сделать на ней несколько надрезов, направленных вдоль якоря. Далее, не обрывая ленты, заворачивают наверх свисающий край стеклоткани и обматывают его плотно лентой. Высота изоляции обмоткодержателей должна достигать до дна паза. В ответственных якорях и якорях тропического исполнения при наложении изоляции ее промазывают лаком и сушат.

После изолировки обмоткодержателей производят разметку якоря. Разметка якоря заключается в нумерации пазов и коллекторных пластин. При этом их взаимное положение однозначно определено чертежом. В чертежах указана разметка и ее следует перенести на якорь. Для этого согласно чертежу находят и нумеруют первый паз. Остальные пазы нумеруются так же. Определяют коллекторную пластину, лежащую напротив первого паза, и нумеруют ее согласно указаниям чертежа. Затем присваивают номера остальным пластинам. Номера пазов надписывают на якоре карандашом или мелком.

Укладку начинают с установки уравнительных соединений, которые располагают под лобовыми частями катушек на обмоткодержателях. Уравнительные соединения изолируют, стягивают лентой и присоединяют к своим коллекторным пластинам.

Затем на дно пазов устанавливают стеклотекстолитовую прокладку 15 толщиной 0,5 мм и изоляцию 13, которая должна выходить поверх паза на 20—25 мм с каждой стороны, и укладывают первую катушку. Одной стороной катушку укладывают на дно паза, а вторая сторона остается неуложенной. Выводные концы уложенной стороны вкладывают в прорезь коллекторных пластин согласно разметке. Затем на дно второго паза укладывается одна сторона второй катушки, а вторая сторона остается неуложенной. Выводные концы уложенной стороны вкладываются в пазы коллекторных пластин, которые следуют за теми, в которые были вложены концы первой катушки. Так производится укладка, пока не будет уложено число катушек, равное шагу обмотки. Последующие катушки одной стороной будут уложены на дно паза, а второй стороной будут уложены в верхнюю часть паза, так как в пазу уже будет находиться нижняя сторона (катушка, уложенная ранее).

Все последующие катушки будут укладываться одной стороной на дно паза, а второй стороной вверх паза. Между катушками устанавливается междукатушечная прокладка 14 толщиной 0,5 мм. После укладки последней катушки производится укладка последнего шага (вторых сторон катушек, с которых начиналась укладка). При укладке в пазы катушки осаживаются молотком через текстолитовую прокладку, ширина которой равна ширине паза. В процессе укладки между верхними и нижними сторонами лобовых частей катушек для предохранения от замыкания помещают полосы изоляции 5 и 9. Выводные концы катушек укладывают в щлицы коллекторных пластин по мере укладки обмотки. При этом следят, чтобы выводные концы не перехлестывались, а присоединялись к коллекторным пластинам в той же последовательности, с какой они выходят из пазов якоря. При необходимости выводные концы с обеих сторон катушек маркируют, одевая разноцветные чулки. Тогда последовательность укладывания концов в пластины коллектора определяется чередованием цветов. По окончании укладки пазовую изоляцию, выступающую из паза, срезают, а оставшиеся края загибают в пазы. Убедившись в правильности

укладки обмотки, концы катушек, выступающие из петушков коллектора, срубают.

Если крепление катушек в пазах производится клиньями, то устанавливают прокладку под клин 12 (стеклотекстолит толщиной 0,5 мм) и забивают клинья 11. Затем якорь отправляют на бандажирование.

При укладке стержневых обмоток сначала укладывают в пазы и прорезы коллекторных пластин все нижние стержни, изолируют их в пазу и лобовых частях. После этого так же укладывают верхние стержни. На стороне, противоположной коллектору, производят соединение верхних и нижних стержней хомутиками. Выступающие из хомутиков концы стержней срезают. Пайку или сварку якорных обмоток производят после контрольных операций (см. гл. 14).

19.7. БАНДАЖИРОВАНИЕ ОБМОТОК ЯКОРЕЙ И РОТОРОВ

При вращении якорей и роторов развиваются центробежные силы, которые стремятся выбросить обмотку из пазов и отогнуть лобовые части. Центробежные силы растут пропорционально квадрату скорости и во много раз превышают вес обмотки. Лобовые части всех вращающихся обмоток, за исключением турбогенераторов, удерживаются от отгибания намотанными бандажами. Бандажи якоря 2 и 8 показаны на рис. 19.12. Обмотки в пазовых частях могут быть укреплены бандажами или клиньями. В крупных машинах всегда используют клинья. Бандажи наматывают с натяжением. Напряжение, создаваемое бандажом, должно быть всегда больше напряжения, создаваемого центробежными силами. Наложение бандажей производится на специальных бандажировочных станках или на токарных станках, специально переделанных. Якорь устанавливается одним концом вала в патрон, а второй конец зажимается задней бабкой. На месте суппорта токарного станка устанавливается устройство для натяжения бандажа и его раскладки при бандажировании. Бандажирование может производиться стальной бандажировочной проволокой или нетканой стеклянной бандажной лентой. Бандажи некоторых машин выполняются из немагнитной стальной проволоки, а иногда из бронзовой.

Наложение бандажа из стальной проволоки производится следующим образом. Установив якорь в станок, вручную накладывают первый виток по окружности сердечника и закрепляют его петлей. Затем включают станок и вразбег за 2—3 оборота выводят проволоку на то место, где должен начинаться бандаж. Обычно бандаж устанавливают на лобовой части над обмоткодержателями. Под проволоку подкладывают изоляцию из композиционных материалов, которая должна выступать за пределы бандажа не менее чем на 5 мм с каждой стороны. Затем начинают наложение бандажа в направлении от стали якоря к краю лобовых частей для исключения выпучивания лобовых частей у торца сердечника. Сверху изоляции под проволоку подкладывают скобы для крепле-

ния бандажа. Скобы подкладывают равномерно по всей окружности. Наматывая необходимое количество витков, доводят проволоку до ближайшей скобы, загибают ее на проволоку и припаивают. Затем, не отпуская проволоку, подводят ее к месту наложения следующего бандажа и производят его намотку. Наматывая все бандажи, их пропаивают по всей окружности якоря.

На рис. 19.13 показана заделка первого витка 1 и последнего витка 2 бандажа. Куски проволоки, которые служили переходами

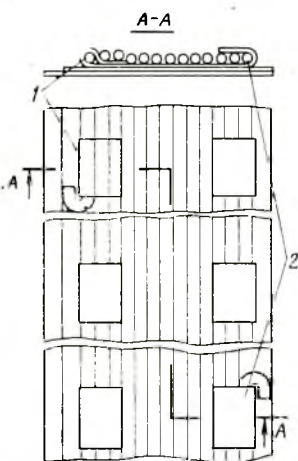


Рис. 19.13. Заделка начала и конца бандажа.

от одного бандажа к другому, после пропайки удаляют. При намотке следят, чтобы между витками проволоки не было промежутков. При необходимости витки подбивают тупым бородком. В крупных машинах бандажи на лобовых частях могут накладываться в несколько слоев. В этом случае натяжение проволоки в каждом следующем слое должно быть примерно на 10 % меньше, чем в предыдущем. Если бы все слои наматывались с одинаковым натяжением, то вся нагрузка от центробежной силы пришлось бы на последний слой. В многослойных бандажах между слоями прокладывают изоляцию.

Бандажи на пазовые части обмотки наматывают в канавках якоря, образованных за счет листов якоря меньшего диаметра.

В последние годы проволоочные бандажи все больше заменяют бандажами из стеклянной нетканой ленты. Лента состоит из параллельно расположенных стеклянных нитей, пропитанных полиэфирно-эпоксидным лаком марки ПЭ-933. Толщина ленты 0,2, ширина 5—30 мм, предел прочности при растяжении не менее $7 \cdot 10^6$ Па. Аварийность якорей со стекловолокнистыми бандажами меньшая, чем при применении проволоочных бандажей. В связи с высокими электроизоляционными параметрами стекловолокнистых бандажей подбандажная изоляция не применяется. Обычно площадь сечения стекловолокнистых бандажей принимается вдвое большей, чем площадь сечения проволоочного бандажа, так как прочность бандажных лент почти вдвое меньше прочности стальной проволоки [13]. Если бандаж переходит через большие зазоры между обмотками якоря, то зазоры перекрываются полосками из текстолита или стеклотекстолита для предотвращения вминания нижних слоев бандажа в зазоры. На стекловолокнистых бандажах по возможности следует избегать установки балансировочных грузов. Если установка таких грузов неизбежна, то лучше всего накладывать на бандаж в соответствующих местах эпоксидный компаунд с 60 % свинца.

Бандажирование лентами осуществляется на том же оборудовании, на каком выполняется бандажирование проволокой, но его

обычно дополняют натяжным приспособлением для ленты. Скорость бандажирования лентой в несколько раз выше, чем стальной проволокой. Витки ленты укладывают вполнахлеста, число слоев указывается в чертеже. Во избежание расползания бандаж и образования трещин при термообработке перед намоткой на лобовые части по всей окружности накладывают слой стеклянного полотна толщиной 0,1 мм, пропитанного эпоксидным лаком. Полотно должно выступать за пределы бандаж с обеих сторон. Ленту наматывают поверх полотна. Перед намоткой двух последних слоев выступающую часть полотна заворачивают на бандаж и на него наматывают два последних слоя. При толщине стекловолоконного бандаж более 1,6 мм применяют боковые упоры, препятствующие сдвигу нижних слоев верхними. При бандажировании по краям бандаж прокладывают алюминиевые хомуты, которые после запечки снимают.

Для закрепления ленты используют паяльник, нагретый до температуры 200 °С. Им нагревают участок бандаж длиной 50—70 мм. После остывания ленты снимают натяжение и отрезают ленту. Забандажированный якорь подвергается термообработке. Обычно термообработка совмещается с сушкой узла перед пропиткой или с сушкой после пропитки. Режимы термообработки зависят от диаметра и конструкции узла.

В результате термической обработки бандаж приобретает монолитность, прочность и имеет хороший товарный вид. По сравнению с бандажами из стальной проволоки бандажи из стеклянной ленты более экономичны и имеют ряд преимуществ при эксплуатации.

19.8. ОТДЕЛКА ЯКОРЯ

После укладки обмотки, забивки клиньев, наложения бандажей, пайки коллектора, пропитки необходимо выполнить следующие операции: заделать выступающий край миканитовой манжеты коллектора; проточить и покрыть якорь эмалью; обточить, продорожить, отшлифовать и отполировать рабочую поверхность коллектора. Эти операции объединяют под общим названием — отделка якоря.

Заделка миканитовой манжеты необходима по следующим причинам. Во-первых, выступающий край манжеты (см. рис. 18,1, а) может расслаиваться при вращении и, во-вторых, между пластиной 5 и манжетой образовывается щель 6, в которую может набиваться щеточная пыль. Заделка манжет производится намоткой бандаж из киперной ленты или шнура 4 с последующей многократной лакировкой и сушкой бандаж.

Наружную поверхность якоря покрывают эмалью для повышения влагостойкости обмотки и защиты поверхности якоря от коррозии. Эмаль закрывает все возможные щели, стыки, переходы и т. п., создавая ровную, гладкую и скользкую поверхность. Скользящая поверхность необходима для того, чтобы на якоре не задерживалась пыль лобового состава.

Для проточки коллектора якорь устанавливают на токарный станок. Иногда на этом же станке протачивают торцы колец, в которые упираются внутренние обоймы подшипников. Якорь устанавливают в центрах. Для большей соосности желательно установку производить в люнеты. Проточку коллектора производят рез-

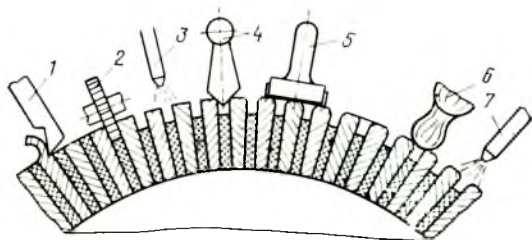


Рис. 19.14. Обработка поверхности коллектора.

1 — проточка; 2 — продоразивание; 3 — продувка; 4 — снятие фаски; 5 — шлифовка; 6 — полировка; 7 — продувка.

цами (рис. 19.14). Коллекторы крупных машин могут протачиваться после сборки машины. Для этого на машину устанавливают переносной суппорт с механизированной подачей.

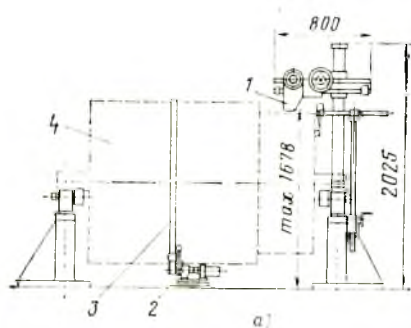
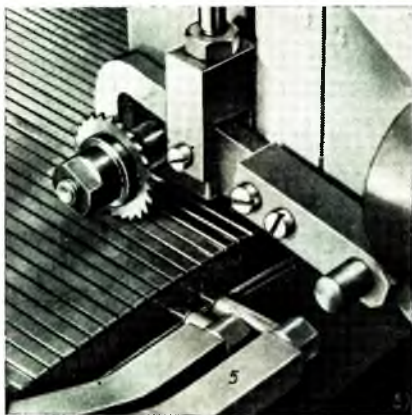


Рис. 19.15. Схема станка для продоразивания коллекторов.



После проточки коллектора высота коллекторных пластин и изоляционных прокладок между ними одинаковая. При этом щетка не сможет нормально работать, так как будет нарушаться ее контакт с медными пластинами. Необходимо уменьшить высоту изоляционных прокладок. Это выполняют фрезой, углубляясь на 0,8—1,5 мм. Операция называется продоразиванием.

На рис. 19.15, а показана схема станка для продоразивания, а на рис. 19.15, б — фреза и шупы управления. Ротор 4 устанавливают на две стойки. Правая стойка имеет подвижную головку с

фрезой 1, которая может перемещаться вдоль коллекторных пластин. Поворот якоря на одно коллекторное деление производится электроприводом 2 через ремень 3. Станок работает следующим образом (см. гл. 14). Якорь медленно вращается, а щупы скользят по торцу коллектора. При сходе правого щупа 5 с изоляционной прокладки подается сигнал на остановку якоря. Якорь останавливается, и фреза производит один проход между коллекторными пластинами. Разнотолщинность коллекторных пластин не влияет на точность установки фрезы между пластинами, так как фреза ориентирована со щупом 5. После прохода фрезы якорь начинает вращаться до схода щупа 5 со следующей коллекторной пластины. Таким образом, станок производит продоразивание коллектора автоматически.

После продоразивания с края коллекторных пластин снимается фаска.

При эксплуатации машины коллекторные пластины могут вырабатываться. Их периодически протачивают и после каждой проточки обязательно производят продоразивание.

При проточке коллектора резцом невозможно получить требуемую шероховатость поверхности коллектора, обеспечивающую его хорошую работу. Это достигается шлифовкой и полировкой, которые производят специальными шлифовальными кругами, пемзой, стеклянной бумагой мелких номеров и другими материалами.

Глава двадцатая

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОБМОТОК ПОЛЮСОВ СИНХРОННЫХ МАШИН И МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА. ИЗГОТОВЛЕНИЕ И СБОРКА ОБМОТОК ВОЗБУЖДЕНИЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ

20.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

К обмоткам полюсов относятся сосредоточенные обмотки, расположенные на неподвижных (машины постоянного тока) и вращающихся (синхронные машины, гидрогенераторы) полюсах.

Обмотки полюсов можно разделить: на обмотки из круглого и прямоугольного изолированного проводов; обмотки из шины, наматываемой плашмя, и обмотки из шины, наматываемой на ребро. Обмотки могут наматываться на полюс, на каркас, с которым они устанавливаются на полюс, а также могут быть бескаркасными. По виду работы обмотки делятся на неподвижные и вращающиеся.

Действие центробежной силы на вращающуюся катушку вызывает ряд дополнительных требований к ее конструкции и технологии. Влияние центробежной силы особенно сказывается в катушках из тонкого круглого провода, которые подвергаются при вращении деформациям, что приводит к нарушению балансировки

якоря и замыканиям между витками. Надежная междувитковая изоляция получается только у шинных катушек, намотанных на ребро, у которых давление между витками значительно ниже по сравнению с другими обмотками.

Катушки полюсов наматывают круглым проводом сечением до 7 мм², прямоугольным до 16 мм². При сечениях свыше 20 мм² катушки наматывают медными шинами. В катушках из изолированного провода междувитковой изоляцией служит изоляция провода. В катушках, наматываемых медными шинами на ребро, изоляцией между витками вставляют в виде прокладок, а при намотке плоская междувитковую изоляцию наматывают вместе с шинами.

Перед установкой в машину катушки пропитывают лаками или эпоксидными компаундами. После пропитки лаком катушку надевают на полюс и закрепляют при установке в машину. Пропитку катушки в компаунде осуществляют вместе с сердечником полюса. При этом компаунд скрепляет катушку с сердечником, повышая их надежность в работе и облегчая установку в машину. При пропитке в эпоксидных компаундах систему изоляции называют «монолит».

Роторные обмотки турбогенераторов отличаются от других обмоток как конструкцией, так и технологией. Обмотка выполняется однослойной, концентрической. Прямолинейная часть обмотки укладывается в пазы бочки ротора и заклинивается, а короткие лобовые части, находящиеся вне бочки, удерживаются при вращении стальными бандажами и центрирующими кольцами.

20.2. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КАТУШЕК ПОЛЮСОВ ИЗ КРУГЛОГО ПРОВОДА

Технологический процесс изготовления катушек состоит из операций намотки, изолировки, пропитки, сушки и контроля. Катушки можно наматывать на намоточный шаблон, на каркас или непосредственно на изолированный полюс. Катушки, наматываемые на шаблон, называются бескаркасными. Шаблон служит только для намотки. Катушки, наматываемые на каркас, называются каркасными. Вместе с каркасом они проходят все дальнейшие операции и вместе с каркасом их надевают на полюс машины.

Наибольшее применение находят бескаркасные катушки. Рассмотрим технологию их изготовления. Намотку таких катушек производят на станках различной конструкции, но все они должны иметь механизм раскладки провода. На рис. 20.1 показан шаблон, который состоит из сердечника 3 и двух щек 2 и 4. Шаблон прикреплен к планшайбе станка втулкой 1. Размеры шаблона по ширине и длине должны соответствовать размерам катушки с учетом припуска на изоляцию и неплотности намотки. В щеках шаблона имеется шесть пазов для скрепления катушки после намотки. Щека 4 крепится клином 5 к сердечнику 3. При намотке раскладчик станка производит рядовую раскладку провода, передвигаясь за один оборот шаблона на расстояние, равное диаметру

наматываемого провода. При намотке ступенчатых катушек для образования ступеней между щекой шаблона и рядами витков могут быть установлены закладные кольца. В ответственных машинах для достижения монолитности витков при намотке ряды катушек промазывают клеящими лаками. Намотанные катушки перевязывают в нескольких местах лентой, снимают с шаблона и припаивают наконечники. Затем накладывают часть изоляции, называемую стягивающим слоем, который служит для предохранения витков от сдвига, и расклинивают внутреннее отверстие деревянными клиньями. В таком виде катушку пропитывают лаком. После пропитки клинья выбивают из неостывшей катушки. На катушку накладывают остальные слои наружной изоляции и повторяют пропитку. Повторная пропитка предназначена для заполнения пор наружной изоляции и воздушных промежутков между ее слоями. Заключительными операциями изготовления катушек являются: зачистка выводных концов, маркировка и контроль. Зачистку выводных концов от пленки лака, образовавшейся при пропитке, производят вручную металлической щеткой. Около каждого вывода представляют буквы «Н» или «К», означающие начало и конец намотки, а на боковой поверхности — номер чертежа.

Контроль катушек заключается в проверке габаритных размеров, активного сопротивления, количества витков, отсутствия междувитковых замыканий.

Технология изготовления катушек на каркасе начинается с изготовления каркаса. Каркас изготавливают из листовой стали толщиной от 0,5 до 2,0 мм. Перед намоткой каркас необходимо изолировать. Применяемые для изоляции материалы выбираются конструктором в зависимости от условий работы машины. Выполняется изоляция следующим образом. По всем четырем сторонам каркаса накладывается в два слоя полоса изоляции толщиной 1 мм. Ширина полосы должна быть равна высоте каркаса и плотно упираться краями в боковые стороны каркаса. Начало и конец полосы обрезают на конус, для того чтобы избежать утолщения в этих местах. Для предотвращения разматывания полосы поверх ее наматывают вразбег технологическую ленту. Затем для изолировки боковых сторон каркаса вырезают четырехугольные шайбы с таким расчетом, чтобы их края выступали за намотанную катушку на 10—15 мм с каждой стороны. В нарезанных четырехугольниках намечаются ширина и длина изолированного каркаса, а затем вырезается намеченная часть. Полученные таким обра-

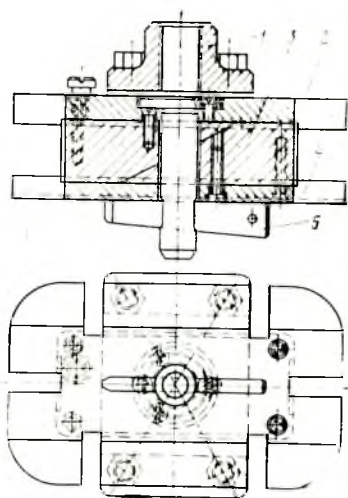


Рис. 20.1. Шаблон для намотки катушки полюса.

зом шайбы надевают на каркас. Для этого они разрезаются по короткой стороне наискось, но ни в коем случае не прямо, и по две накладываются на отогнутые части стального каркаса, причем шайбы должны быть уложены так, чтобы разрезы их помещались на разных сторонах каркаса. Надев шайбы, со средней части каркаса снимают временно наложенную ленту и приступают к намотке катушек.

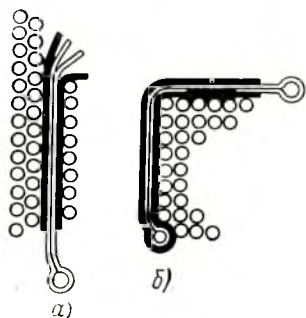


Рис. 20.2. Крепление выводного конца катушки.

Сначала выполняют вывод от начала намотки (рис. 20.2, б). Вывод от начала намотки на наружную поверхность катушки выполняют из медной ленты, которую припаивают к первому витку и огибают им сечение катушки. Под медную ленту подкладывают изоляцию из электроизоляционного картона и лакоткани. Толщину ленты обычно принимают не более 1 мм, так как при большей толщине ленту трудно выгибать, и она занимает много места по высоте катушки. Ширина ленты определяется протекающим по ней током. Для укрепления второго выводного конца катушки (рис. 20.2, а) перед концом намотки прокладывают медную ленту с ушком на одном конце. При дальнейшей намотке она закрепляется 5—10 витками. Лента изолирована от витков катушки.

После намотки катушку с каркасом пропитывают лаком и производят заключительные операции. На полюс машины катушка устанавливается вместе с каркасом.

Намотка катушек из круглого провода на изолированный сердечник производится редко и здесь не рассматривается [13].

20.3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ КАТУШЕК ПОЛЮСОВ ИЗ ШИННОЙ МЕДИ

а) Намотка катушек из шинной меди плашмя

Катушки из шинной меди могут быть одно- или двухрядными. Однорядные катушки, как правило, являются составной частью катушек смешанного возбуждения. Рассмотрим технологический процесс намотки двухрядной катушки как наиболее сложной. На рис. 20.3, а показана двухрядная катушка. Ее намотка на шаблоны производится на намоточных станках типа ТТ. Витки наматывают по спирали виток на виток. До начала намотки конец шины изгибают на ребро для обеспечения перехода в другой ряд (рис. 20.3, б). Затем производят намотку одного ряда. После этого шаблон переворачивают, к отогнутому концу шины, который расположен внутри катушки, приваривают конец шины от бухты и выполняют намотку второго ряда. Последние витки при намотке закрепляют припаянной скобочкой из жести (рис. 20.3, в). К первому и последнему виткам, которые получаются при таком спо-

собе катушки, снаружи катушки приваривают выводные скобы (рис. 20.3, в). Изоляцией между витками служит асбестовая бумага 1, которая в процессе намотки сматывается с ролика, находящегося ниже шаблона. Толщина изоляции 0,2—0,25 мм, а ширина на 1—2 мм больше ширины медной шины. Изоляцией между ря-

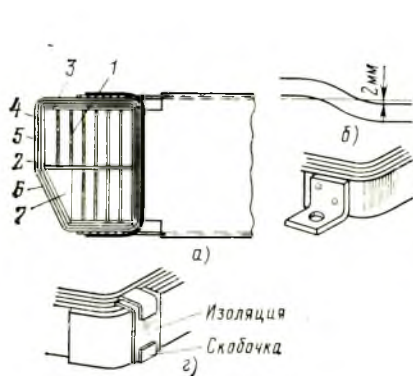


Рис. 20.3. Шинная двухрядная катушка, намотанная плашмя.

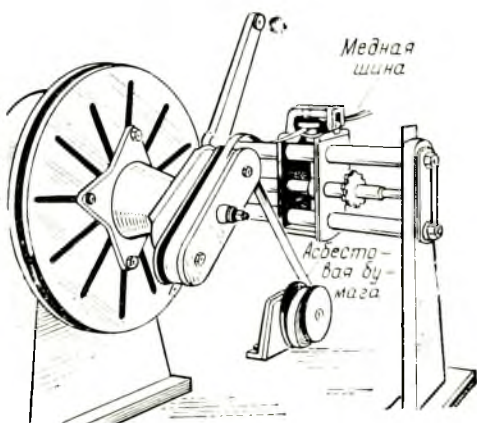


Рис. 20.4. Намоточный станок для шинных катушек.

дами служит прокладка 2 из твердого миканита толщиной 0,5 мм, оклеенного с двух сторон асбестовой бумагой толщиной 0,3 мм. Пустоты 7 заполняются изолирующей замазкой. После намотки производят изолировку катушки. Изоляция катушки относительно корпуса состоит из миканитовых фланцев 3, асбестовой ленты 4, микаленты 5 и стеклянной ленты 6.

На рис. 20.4 показан станок для намотки шинных катушек.

б) Намотка катушек из шинной меди на ребро

Намотка катушек из шинной меди на ребро производится на специальных станках, оснащенных приспособлениями, предохраняющими шину от скручивания. Последовательность работы станка I—IV показана на рис. 20.5. Шаблон 6 для намотки устанавливается на зубчатое колесо 5, имеющее овальную форму. В колесе 5 имеется паз, на котором оно свободно установлено на неподвижном пальце 4. Зубчатое колесо 3 является приводом и находится в зацеплении с колесом 5. Устройство 2 предохраняет шину 1 от скручивания по намотке. Шину закрепляют на шаблоне и включают привод станка. Ведущее колесо 3 совершает вращательное движение, а колесо 5 с шаблоном — прямолинейное и вращательное. Половина оборота колеса 5 показана на рисунке (для наглядности один край колеса зачернен). Витки наматываются непрерывной спиралью и находятся постоянно над устройством 2.

Когда шина на бухте кончается, ее конец приваривают к началу шины следующей бухты. По окончании намотки спираль разрезают на отдельные катушки.

При изгибе на ребро поперечное сечение шины из прямоугольного становится трапециевидным вследствие возникновения утолщения на внутреннем радиусе и утонения на наружном, а медь шины нагортовывается и становится твердой. Для снятия нагортовки катушки отжигают в печах при температуре 600—700 °С в течение

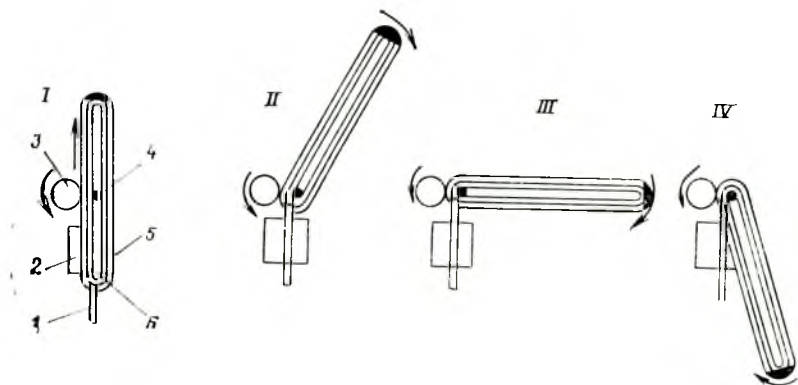


Рис. 20.5. Последовательность работы станка для намотки катушки из шинной меди на ребро.

15—30 мин. После отжига производят охлаждение катушки, погружая ее в воду, а затем на 3—5 мин в 5 %-ный раствор серной кислоты для удаления окисной пленки. После раствора серной кислоты катушка должна быть промыта в течение 4—5 мин водой, подогретой до 40—60 °С, и высушена. Для устранения утолщений катушку подвергают прессовке на гидравлическом прессе, предварительно вложив между витками стальные плиты. Вторую прессовку проводят для выравнивания боковых сторон и получения размеров, заданных чертежом.

Прессовка катушки производится на шаблоне (рис. 20.6), состоящем из двух щек 1, трехклинного сердечника 4, шайб 5 с болтами 2 и гайками 3. Для удобства установки катушки на шаблон и снятия ее после прессовки шаблон разбирают на составные части. Сборка и прессовка катушки происходят в следующей последовательности. На одну из щек помещают катушку, в отверстие ее вставляют крайние части сердечника, надевают вторую щеку и вставляют среднюю часть сердечника, имеющую форму клина. Давлением пресса клин осаживается заподлицо со щекой. Таким образом производят правку внутренних сторон катушки. Затем давлением пресса через щеку катушка исправляется по высоте. Для прессовки боковых сторон шаблон поворачивают на 90°, вставляют в отверстие сердечника оба болта с шайбами и все это

стягивают гайками. Боковые стороны прессуют до упора в щеки шаблона.

Следующая операция — изолировка катушки. Для этого катушку на верстаке растягивают гармошкой и между витками вставляют асбестовую изоляцию, предварительно нарезанную в форме прямоугольника длиной и шириной, несколько большей длины и ширины катушки. После термообработки излишки изоляции по внутреннему и наружному контурам катушки обрезают специальным ножом. Для предохранения от сдвига изоляции катушку в местах закружений связывают киперной лентой.

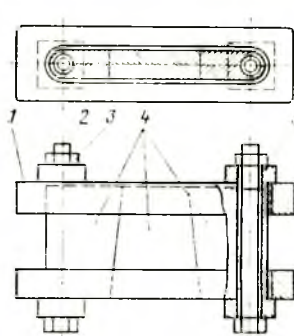


Рис. 20.6. Шаблон для опрессовки катушек.

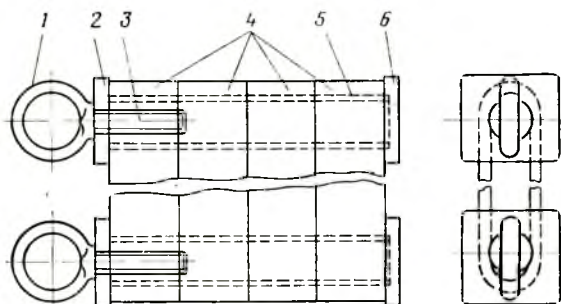


Рис. 20.7. Катушки, стянутые струбцинами.

После изолировки катушку пропитывают. Перед пропиткой катушку стягивают струбцинами (рис. 20.7). Струбцина состоит из овальной трубы 5, к одному из торцов ее приварен диск 6, а с другого торца в отверстие трубы вварена втулка с резьбой 3, в которую ввертывается болт 1. Между катушками 4, набранными на струбцину, прокладывают сменную шайбу 2.

Перед пропиткой катушки сушат в печи при температуре 110—130 °С в течение 4—6 ч. Охлажденные до температуры 60—70 °С катушки с расслабленными струбцинами (для лучшего прохождения лака) погружают в лак и выдерживают там до прекращения выделения пузырьков воздуха, но не более 30 мин. После стекания излишков лака катушку стягивают струбцинами до отказа и помещают в печь для сушки. По истечении половины времени сушки струбцины подтягивают до отказа. По окончании выпечки струбцины снова подтягивают до отказа, и в таком положении катушки охлаждаются, после чего их освобождают от стягивающих струбцин и передают на изолировку. После изолировки катушки снова пропитывают. После пропитки катушки окрашивают покровной эмалью. Прочие операции изготовления катушек выполняются аналогично операциям изготовления катушек из круглого про-
вода.

Катушки полюсов гидрогенераторов имеют различную конструкцию, которая зависит от способа их охлаждения. В этой главе рассматривается технология изготовления наиболее простых по конструкции катушек с воздушным охлаждением. Технология изготовления катушек с форсированным воздушным охлаждением и водяным приводится в специальной литературе [9—11].

Технология изготовления катушек полюсов с воздушным охлаждением включает следующие операции: намотку, отжиг, рихтовку, изолировку, запечку.

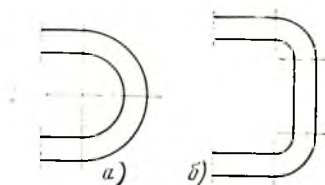


Рис. 20.8. Лобовые части катушек.
а — однорациусных; б — двухрадиусных.

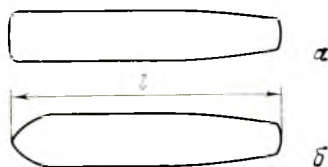


Рис. 20.9. Профили меди роторных катушек.

а — прямоугольный с технологическим правым скосом; б — прямоугольный с двусторонним левым скосом и технологическим правым скосом.

По форме катушка имеет удлиненную прямолинейную часть и сопрягаемую с ней лобовую, очерченную одним или двумя радиусами (рис. 20.8). Намотка производится из меди специального профиля, поставляемого кабельными заводами в бухтах массой 80—90 кг. При намотке из обычной шинной меди при изгибании на ребро на внутренних закруглениях витков образуются утолщения и наплывы, которые должны быть удалены, так как они увеличивают высоту катушки и могут явиться причиной витковых замыканий. Снятие наплывов требует больших затрат станочного и ручного труда, поэтому намотку производят медными шинами, имеющими скосы в правой части, исключаящие образование наплывов (рис. 20.9). Если производится операция снятия наплывов, то катушку наматывают не целиком (ее масса 500—900 кг), а секциями массой 40—50 кг, которые можно устанавливать на станок для снятия наплывов. Из секций комплектуется катушка. При намотке катушки шинами из фасонной меди отсутствует операция снятия наплывов, и катушку наматывают целиком. Если не хватает длины шины в бухте во время намотки, то концы медных шин из отдельных бухт приходится сваривать. При этом следует сохранить форму сечения шины.

Намотку производят на специальных намоточных станках (см. рис. 20.5).

После намотки для снятия внутренних напряжений и уменьшения жесткости производят отжиг. Отжиг меди в обыкновенных

электрических печей влечет за собой появление окалины, удаление которой сопряжено с затратами труда; поэтому узлы из меди большой массы и габаритов предпочитают отжигать в безокислительных электрических печах, т. е. без доступа воздуха, с последующим охлаждением их холодной водой. Работа печей описана в [10].

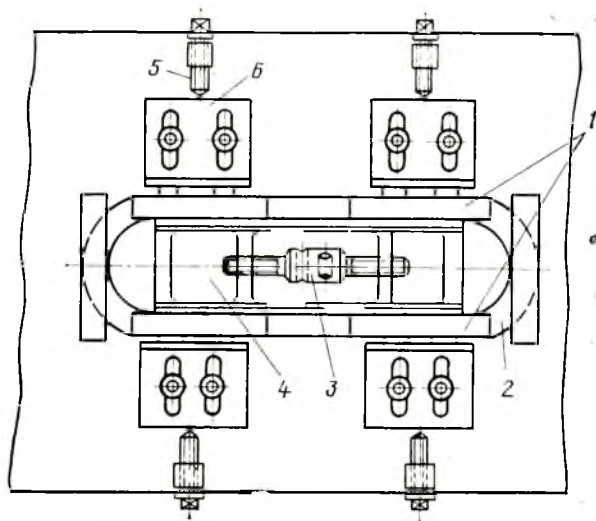


Рис. 20.10. Рихтовка катушки на гидравлическом прессе.

Рихтовку полюсных катушек выполняют на оправке 4 (рис. 20.10), ширина которой равна ширине катушки, а длина регулируется винтом 3. Катушку 2 надевают на оправку. На верхнюю часть катушки кладут стальные планки 1 и ударами через фибровую пластину выравнивают витки. Наружную поверхность обжимают угольниками 6 при помощи болтов 5.

Для плотного прилегания витков производят холодную пресовку катушки на гидравлическом прессе. На установочную плиту 8 (рис. 20.11), смонтированную на платформе 1 выдвигной тележки, устанавливают рихтовочную оправку 3. На оправку помещают стальную прокладку 2, устанавливают катушку и сверху кладут вторую прокладку. Катушку зажимают в прессующие угольники 6, подвертывая болты 7. Тележку вкатывают на стол гидравлического пресса 4, устанавливают прессовочные колонки 5 и пресуют катушку по высоте до размеров, указанных в чертеже.

Изоляция между витками состоит из полосок асбестовой бумаги, которые нарезают на рычажных ножницах. Для прямолинейной части катушки нарезают полоски шириной на 2 мм шире медной шины. Для изолировки закруглений нарезают полоски двух размеров, чтобы можно было смещать стыки между полосками.

Катушку устанавливают на стеллаж, растягивают в виде спирали, протирают витки тряпкой и покрывают лаком. На обе стороны витков накладывают асбестовую изоляцию, смещая стыки между собой. Поверхность асбестовой изоляции покрывают лаком и сушат на воздухе. Затем витки сдвигают и зажимают катушку скобами. Внутреннее окно расклинивают деревянными клиньями.

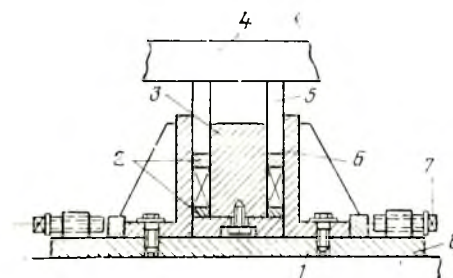


Рис. 20.11. Прессование катушки на гидравлическом прессе.

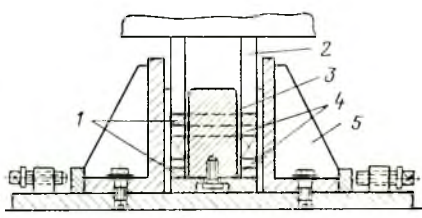


Рис. 20.12. Запекание катушки.

Для скрепления витков катушку запекают. Для этого на плиту выдвижной тележки устанавливают оправку, на основание которой кладут стальную прокладку 1 (рис. 20.12), изоляционную шайбу 4, сверху катушки шайбу и вторую прокладку. От оправки и угольников катушку изолируют асбестовыми прокладками 3. Через витки катушки пропускают постоянный ток и нагревают ее до 180—200 °С, проверяя температуру нагрева термоэлектрическим термометром. Во время нагрева катушки внутреннее окно раздвигают разжимной оправкой, а наружные стороны поджимают угольниками 5 с помощью болтов. Включают ток, устанавливают на верхнюю стальную прокладку прессовочные планки 2 шириной несколько большей ширины медной шины и прессуют катушку по высоте до указанных в чертеже размеров. Затем, не снимая давления, охлаждают катушку до температуры окружающего воздуха. После остывания катушки снимают давление, освобождают ее от прессующих приспособлений и удаляют оправки. Катушку кладут на плиту и зачищают вровень с медными шинами наружную и внутреннюю ее поверхности от выступающей междувитковой изоляции. Боковые поверхности катушки покрывают эмалью.

20.5. ИЗОЛИРОВКА КАТУШЕК ПОЛЮСОВ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

Изолировка катушек является трудоемким процессом, который недостаточно механизирован. Изоляция катушки (рис. 20.13) состоит из нескольких слоев ленты. Первый и последний слой являются вспомогательной изоляцией. Первый слой скрепляет витки после намотки, а последний предохраняет основную изоляцию от механических повреждений в процессе изготовления и эксплуата-

ции. В качестве вспомогательной изоляции используют киперные или стеклянные ленты. Основная изоляция служит для изоляции катушки от корпуса машины. В качестве основной изоляции используют миканитовые или стеклослюдинитовые ленты. Основная изоляция может накладываться на катушку в виде простынок, имеющих сложную форму. Простынки заготавливаются заранее вырезкой из листа или штамповкой.

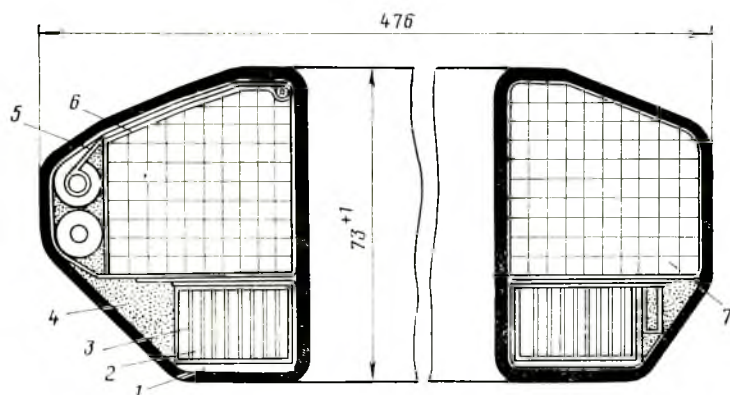


Рис. 20.13. Катушка главного полюса со смешанной обмоткой.

1 — рамка изолирующая; 2 — последовательная обмотка; 3 — асбестовая бумага; 4 — изолирующая замазка; 5 — вывод; 6 — прокладка миканита; 7 — параллельная обмотка.

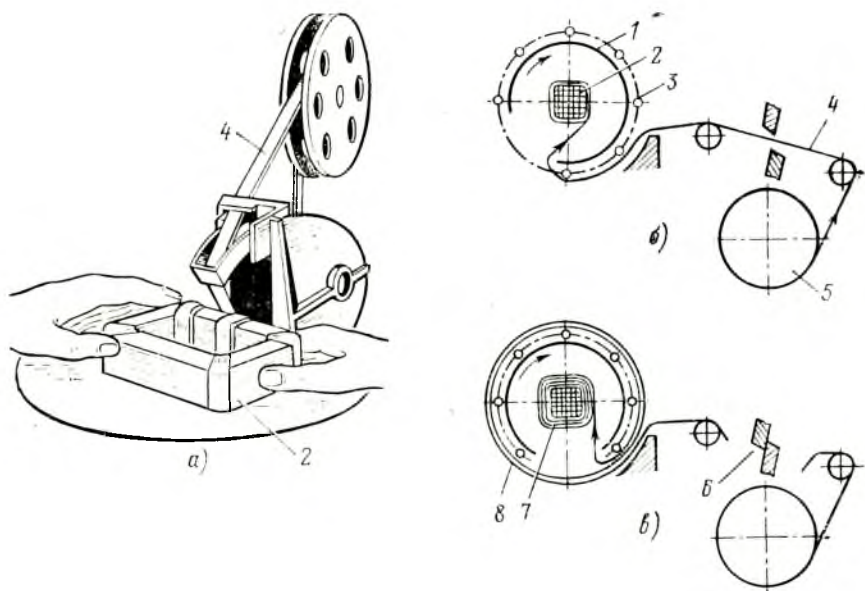


Рис. 20.14. Универсальная изолировочная головка.

а — общий вид; б — начало намотки; в — окончание намотки.

Наложение лент может производиться вручную или на приспособлениях. При ручной изолировке ролик изоляции проводят через внутреннее отверстие катушки. Для этого при каждом обороте ролик дважды перекалывают из одной руки в другую. Для механизации процесса изолировки используют изолировочные головки различной конструкции. Широкая номенклатура катушек, изготавливаемых на одном предприятии, и небольшое их количество приводят к применению универсальных изолировочных головок. Общий вид и принцип действия одного типа универсальной изолировочной головки показан на рис. 20.14, *а—в*. На катушку 2 наматывают вручную 2—3 витка ленты 4, сматываемой с ролика 5. Затем катушку вдвигают одной стороной внутрь каретки 1, которая имеет прорезь, и включают станок. Каретка 1 начинает вращаться, и при каждом ее обороте на одну сторону катушки наматывается один виток изоляции. Одновременно происходит наматывание изоляции на наружный диаметр каретки. Для того чтобы изоляция легче скользила по наружному диаметру, на нем расположены ролики 3. После нескольких оборотов каретки ножом 6 лента обрезается, а запас ленты 8, образовавшийся на наружном диаметре каретки, сматывается на катушку 7. Во время работы головки катушку перемещают так, чтобы изоляция ложилась вполнахлеста. Работа с универсальной изолировочной головкой требует определенного навыка. После изолировки катушки пропитывают.

20.6. ИЗГОТОВЛЕНИЕ И УКЛАДКА ОБМОТКИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ

В роторах крупных турбогенераторов под действием центробежных сил и повторных термических напряжений при повышенных нагревах, частых пусках и остановках появляются остаточные деформации, которые могут привести к разрушению меди обмотки. Поэтому в крупных турбогенераторах применяют медь с присадкой серебра, обладающую повышенными механическими свойствами.

В зависимости от мощности турбогенераторов применяются три основных типа роторных обмоток: с поверхностным охлаждением воздухом или водородом, форсированным водородным охлаждением и непосредственным охлаждением водой (рис. 20.15, *а—в*). Каждый тип обмотки имеет конструктивные особенности и отличия в технологии изготовления.

Рассмотрим технологию изготовления роторных обмоток с форсированным водородным охлаждением. Обмотка состоит из двух катушечных групп, одна из которых образует северный полюс, а другая южный. Катушечная группа выполнена из катушек. Каждая катушка группы имеет разную ширину пазовой части и разную длину вылета лобовых частей. Однако и в одной катушке все витки имеют разную ширину. Схема одной катушки показана на рис. 20.16.

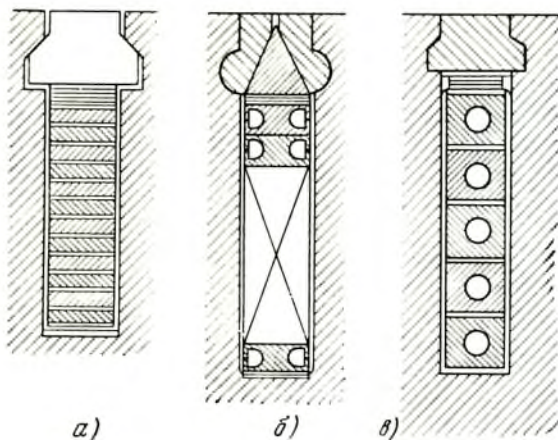


Рис. 20.15. Пазы роторов турбогенераторов с поверхностным охлаждением воздухом или водородом (а); форсированным водородным охлаждением (б); непосредственным охлаждением водой (в).

Последовательность операций при изготовлении катушек следующая: намотка катушки, изолировка витков, гибка лобовых частей, фрезеровка вентиляционных каналов.

Намотка катушки производится на специальном намоточном станке (рис. 20.17). Перед намоткой катушек на раздвижных плитах 2 поворотного стола 4 закрепляются четыре колонки 1 с оправками, обеспечивающими радиус закругления медной шины. Бухту провода 9 устанавливают на вращающийся барабан, а свободный конец шины пропускают через рихтовочное приспособление 8, намоточную головку 5 и закрепляют на одной колонке.

Намотка выполняется следующим образом. Стол вращается против часовой стрелки, а намоточная головка загибает медную шину вокруг оправки. При этом хобот 6 выдвигается из стоек 7 и поворачивается на необходимый угол. Как только две колонки займут положение, параллельное оси хобота, вращение стола прекращается. Хобот начинает движение к колонке, образуя прямолинейную часть витка. Когда намоточная головка надвинется на оправку следующей колонки, включается поворот стола и головка начинает огибать колонку, изгибая шину. В такой последовательности повторяются циклы поворота стола и возвратного движения хобота до окончания намотки катушки. Намотанные витки 3 после оформления четырех закруглений последовательно опускаются вниз на плиту стола. Намотку начинают с широкого витка. Изменение ширины витка производят сближением плит с колонками.

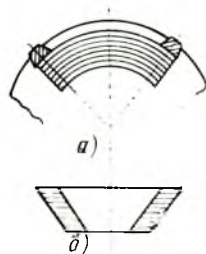


Рис. 20.16. Схема катушки ротора турбогенератора.

а — уложенная в пазы; б — намотанная на станке.

При намотке катушек на внутренней части закруглений полу-
 чаются утолщения (наплывы), а на внешней части наблюдается
 вытягивание меди (утонение). Чтобы предотвратить увеличени-
 давления на витковую изоляцию и избежать деформирования вит-
 ков катушки при работе, наплывы снимают цилиндрической на-
 садной фрезой до номинальной толщины медной шины, а затем
 опиливают острые углы.

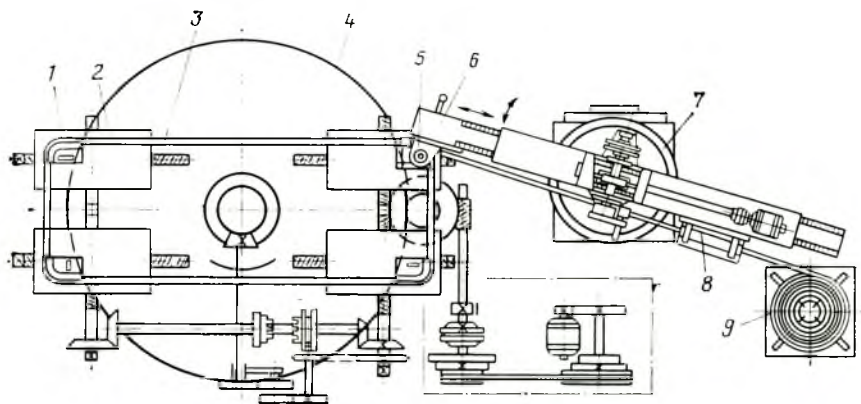


Рис. 20.17. Схема станка для намотки катушек ротора турбогенератора.

После намотки производят изолировку витков. Для этого ка-
 тушки развешивают на стойках узкими витками кверху. Каждый
 виток очищают от пыли, грязи и обезжиривают.

Затем на клеющем лаке устанавливают изоляцию (стеклотек-
 столит толщиной 0,35—0,5 мм) и крепят ее липкой стеклолентой.
 Сушку лака производят на воздухе или пропуская по обмотке
 постоянный ток. Перед опусканием со стоек витки покрывают таль-
 ком для предотвращения слипания.

После изолировки в специальном приспособлении производят
 гибку лобовых частей катушки. В этом же приспособлении вы-
 полняют фрезерование вентиляционных каналов. Затем катушку
 очищают от стружки и пыли и отправляют на укладку.

Корпусная изоляция роторных катушек с форсированным
 охлаждением представляет собой короб, который прессуют из
 стеклотекстолита в пресс-формах при высоких температуре и дав-
 лении (рис. 20.18). После прессовки короб обрезают по высоте
 так, чтобы края были ниже пазового клина.

Укладка в пазы роторной обмотки турбогенератора является
 сложным процессом ввиду большой длины катушек обмотки.
 Укладка включает следующие основные операции: заведение ча-
 сти витков в пазы, подпрессовка витков, укладка всех витков в
 пазы, прессовка пазовых и лобовых частей обмотки, забивка
 клиньев, изолировка лобовых частей, насадка бандажных колец.

Р и с. 20.18. Прессовка ко-
роба.

1 — матрица; 2 — пуансон; 3 — нагреватели; 4 — короб.

A technical line drawing of a lathe machine. The machine consists of a headstock on the left, a tailstock on the right, and a bed between them. A large cylindrical workpiece is mounted between the headstock and tailstock. A tool rest is positioned above the workpiece. The headstock has a pulley labeled '1'. The workpiece has a flange labeled '2'. The tool rest is labeled '3'.

Рис. 20.19. Приспособление для укладки обмотки в пазы.

Давление на лобовые части передается через несколько слоев электроизоляционного картона и воспринимается опалубкой 9, уложенной на шейку ротора. Между лобовыми частями катушек вставлены деревянные клинья 8, которые перед второй прессовкой заменяются постоянными.

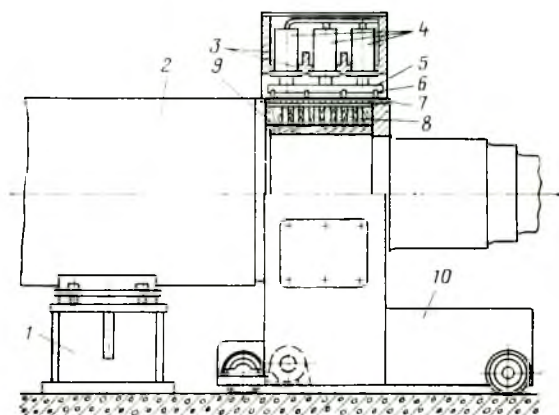


Рис. 20.20. Установка для прессовки лобовых частей.

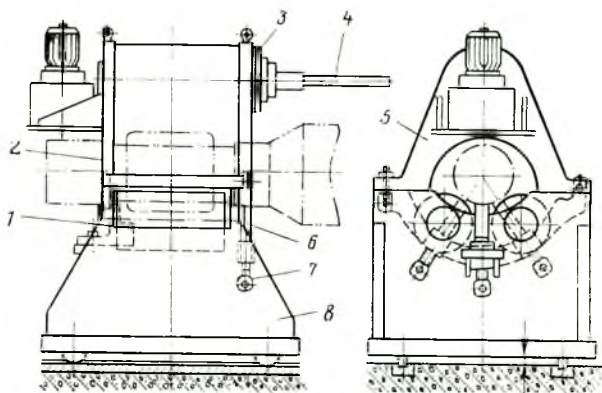


Рис. 20.21. Гидравлический пресс для заклиновки пазов.

Прессовку лобовых частей можно производить прессовочными кольцами, в которых усилие прессовки создается затяжкой болтов гаечными ключами. Однако при гидравлической прессовке не только облегчается труд и повышается производительность, но и значительно повышается качество, так как все режимы прессовки точно выдерживаются и не может быть несимметрии в распределении давления между отдельными участками.

Для заклиновки пазов применяется гидравлическая установка, состоящая из двух тумб и горизонтального цилиндра, подающего клинья в паз. На рис. 20.21 показана подвижная стойка, подводимая к ротору при заклиновке. Арочный корпус 5 прикреплен к тумбе 8, несущей ролики, на которые опирается шейка вала ротора, изображенная штриховой линией. В корпусе 5 закреплены горизонтальный цилиндр 3 со штоком 4, служащие для вдвигания клиньев в пазы. В проушинах корпуса крепится откидной хомут 6 с тремя подводимыми опорами 7. Они не должны препятствовать поворотам ротора, когда не включен горизонтальный цилиндр. Регулируемый упор 1 упирается в буртик 2 ротора и вместе с хомутом 6 предохраняет стойку от опрокидывания при заклиновке, усилие которой достигает 0,15 МН. Перед вдвиганием клина участок паза с обмоткой обжимается гидравлическими цилиндрами. Для снижения усилия вдвигания клиньев их предварительно охлаждают в жидком азоте.

На лобовые части в горячем состоянии надевают бандажные кольца из немагнитной стали. При нагреве до 200—300 °С внутренний диаметр бандажного кольца увеличивается на 4—5 мм, что позволяет посадить его на лобовую часть и получить большой натяг после остывания. Для нагревания кольца пользуются индуктором, питаемым от сети частотой 50 Гц при напряжении 127 В и токе 1200 А. Витки обмотки индуктора охлаждаются водой.

Ротор турбогенератора кроме электрических испытаний подвергается контролю проходимости вентиляционных каналов. Перекрытие каналов может служить причиной возникновения значительных превышений температуры и вызвать повреждение изоляции или нарушение балансировки [9].

Глава двадцать первая

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОПИТКИ И КОМПАУНДИРОВАНИЯ ОБМОТОК

21.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Обмотки электрических машин, изготовленные из катушек без корпусной изоляции, подвергаются пропитке в лаках, а обмотки, изготовленные из катушек с корпусной изоляцией, пропитке в компаундах или компаундировке в битумах.

Пропиткой принято называть процесс заполнения обмотки и ее изолировку специальными лаками или составами с последующей запечкой. В процессе пропитки воздушные включения и пустоты в обмотках и изоляции заполняются лаками, что приближает ее конструкцию к монолиту. Пропитку производят составами без растворителей или лаками на основе растворителей с содержанием пленкообразующих веществ от 35 до 70 % в зависимости от лака и технологии пропитки. Пропитка значительно замедляет

процессы теплового старения и увлажнения электронизоляционных материалов, так как уменьшается площадь их соприкосновения с окружающей средой. Повышается электрическая прочность изоляции вследствие заполнения пор и капилляров обмотки лаками имеющими более высокую электрическую прочность, чем воздух. Пропитка снижает превышение температуры обмоток, так как теплопроводность лаков намного выше теплопроводности воздуха. Цементируя витки обмоток, пропитка снижает механический износ их изоляции [7].

При выборе пропиточного лака учитывают класс нагревостойкости изоляции машины и применяемые электронизоляционные материалы для витковой и корпусной изоляций. Например, для пропитки обмоток с изоляцией класса нагревостойкости В применяют лаки с растворителями МЛ-92 и составы без растворителя КП-34 КП-103; для обмоток с изоляцией класса нагревостойкости F применяют лаки ПЭ-933, а класса H — лак КО-916К и КО-964Н.

Растворители лаков (ксилол, толуол) при сушке должны испариться и выделиться из обмоток в виде летучих, которые необходимо нейтрализовать или рассеять в атмосфере, поэтому участки пропитки с такими лаками, как правило, располагаются в отдельных помещениях с хорошей принудительной приточно-вытяжной вентиляцией. Составы без растворителей при отверждении не выделяют вредных летучих. Специальные установки пропитки, работающие на составах без растворителей, можно располагать в общем технологическом потоке, что очень важно и экономично в поточно-массовом производстве.

Пропитке всегда предшествует сушка или нагрев изоляции. Это необходимо для удаления влаги из обмоток, а также снятия внутренних напряжений в эмалевой изоляции проводов, которые возникли при эмалировании провода и намотки. Пропитке желательно подвергать узлы, нагретые до 60—70 °С для лучшего проникновения лака в глубь обмотки. После пропитки узлы сушат для удаления растворителя и запекания пленкообразующих лака.

Компаундированием принято называть способ заполнения обмоток битумом для ликвидации пустот в изоляции и создания практически полной монолитности обмоток. При этом происходит гидростатическая опрессовка обмоток. Битум может проникать в изоляцию на всю ее толщину или незначительно в зависимости от принятой технологии. Обязательным является отсутствие воздуха в обмотке перед внесением состава и сохранение в обмотке внесенного состава. Процесс происходит при высокой температуре.

Пропитка в эпоксидных компаундах — сравнительно новый технологический процесс. Он преследует те же цели, что и компаундирование. Заполнение пустот в обмотке производится эпоксидными компаундами при температуре 50—80 °С. При этом компаунд проникает в обмотку и заполняет в ней пустоты. Обязательной также является гидростатическая опрессовка. Процесс пропитки в эпоксидных компаундах получил название **монолит**. При этих процессах повышается электрическая прочность изоляции, умень-

шаются диэлектрические потери, создается устойчивость к воздействию окружающей среды и повышается теплоотдача.

21.2. ПРОПИТКА ОБМОТОК СПОСОБОМ ПОГРУЖЕНИЯ

Сущность способа состоит в том, что пропитываемое изделие погружают в ванну с лаком, и лак под действием гидростатического давления и капиллярных сил проникает в обмотку, вытесняя воздух, содержащийся в пространстве между проводниками. Затем изделие извлекают из ванны и после стекания излишнего лака производят сушку. Сушка включает в себя две стадии: удаление растворителя и термообработку смолы для ее отверждения.

Погружение является наиболее гибким технологическим процессом, так как позволяет на одном оборудовании пропитывать изделия различных размеров и конструкций. Используя несколько пропиточных ванн, можно на одном участке пропитывать изделия различными лаками. К недостаткам способа погружения следует отнести большую трудоемкость процесса, большое количество ручных работ, большой расход лака. Лак покрывает всю поверхность изделия и его приходится удалять с тех мест, где его присутствие недопустимо. Кроме того, необходимо подбирать специальные марки выводных кабелей или смывать лак с выводных концов в целях сохранения их гибкости после пропитки и сушки. Способ погружения находит применение в мелкосерийном производстве и при ремонтных работах. Процесс включает в себя следующие этапы: сушку до пропитки, пропитку, сушку после пропитки. Сушку осуществляют в печах конвекционного или терморadiационного нагрева.

Длительность режима сушки до пропитки зависит от химического состава и физических свойств изоляционных материалов, степени увлажнения изоляции, температуры печи, скорости циркуляции воздуха, конструкции изоляции и массы изделия, но не превышает 2—3 ч при температуре 120 °С. После сушки изделия охлаждают до температуры 60—70 °С и погружают в ванну. Лак в ванну подается снизу или может находиться в ванне постоянно. Изделие устанавливается в ванну так, чтобы воздух мог свободно подниматься вверх и не образовывались воздушные мешки. При этом вязкость лака должна быть небольшой. Обычно используются маловязкие лаки с вязкостью 40—45 с. (вязкость определяется по вискозиметру ВЗ-4 при температуре лака 20 °С) и содержанием пленкообразующих веществ 51—58 %. Для того чтобы внести в обмотку необходимое количество лака, выполняют несколько пропиток. После каждой пропитки узел сушат. При первой пропитке время нахождения изделия в лаке от 20 мин до 1 ч, а при последующих от 10 до 20 мин. Заполнение пор и пустот в изоляции обмоток происходит в основном при первой пропитке, а последующие пропитки фактически являются покровными. После пропитки лак удаляется из ванны, и в течение 15—30 мин изделие находится в ванне для стекания излишков лака. Места, где при-

существование лака недопустимо, замывают. Замывку производят растворителем лака. Затем изделия загружаются в печь для сушки. Для удаления растворителей в начале сушки температура выше 110—130 °С нежелательна, так как могут произойти частичное удаление лака из пор и капилляров и частичное запекание пленки. В случае, если окончательная сушка должна производиться при температуре 150 °С, сушку производят в две ступени, поднимая температуру после того, как произошло удаление растворителя.

Процесс пропитки погружением может быть механизирован. При достаточно больших количествах изделий сооружается непрерывный подвесной конвейер, на который навешивают изделия, проходящие при движении конвейерной цепи последовательно заданное число пропиточных ванн с лаком и проходных сушильных печей. Такая механизация требует больших площадей и сложной вентиляционной системы.

Технологический процесс пропитки изделий способом погружения, являясь гибким и универсальным, продолжает оставаться наименее экономичным и наиболее трудоемким при низких комфортных условиях работы.

21.3. ПРОПИТКА ОБМОТОК В ВАКУУМЕ И ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Сущность способа пропитки обмоток в вакууме и под давлением состоит в том, что изделие помещают в автоклав, создают вакуум и, сохраняя его, подают в автоклав лак. Когда уровень лака станет выше изделий, создают давление. После снятия давления еще раз создают вакуум и только после этого извлекают изделие из автоклава. Отсутствие воздуха в изделии способствует глубокому проникновению лака в обмотку, а создание давления, после того как лак заполнил автоклав, способствует этому еще больше. Обмотка хорошо заполняется лаком. При таком способе пропитки можно использовать лаки с вязкостью 55—100 с и содержанием пленкообразующих 35—45 %. После пропитки создание вакуума приводит к испарению более половины летучих веществ и повышению вязкости лака. При этом лак становится настолько вязким, что практически не вытекает из обмотки после пропитки и при сушке. Использование вязкого лака и повышение его вязкости сразу после пропитки позволяет за одну пропитку внести в обмотку необходимое количество лака. Поэтому при пропитке в вакууме и под давлением пропитку производят один раз. Особенно эффективен этот метод для многослойных катушек.

Фирмой «Хитека» (ВНР) для пропитки обмоток в вакууме и под давлением выпускаются высокопроизводительные конвейерные пропиточно-сушильные установки типа АВБ. На рис. 21.1 показана схема установки типа АВБ-32.

Процесс пропитки и сушки на этих установках происходит следующим образом. Загруженные на подвеску статоры поступают в камеру предварительной сушки 1. Затем статоры перемещаются в автоклав 2, в котором осуществляются: вакуумирование до оста-

точного давления $2,7 \cdot 10^3$ Па; снижение вакуума до остаточного давления $(13,3—40) \cdot 10^3$ Па и заполнение автоклава лаком; повышение давления до 0,2—0,3 МПа; снятие давления и слив лака; вакуумирование при остаточном давлении $(5,3—13,3) \cdot 10^3$ Па; снятие вакуума, раскрытие автоклава и перемещение подвески со статорами в проходную сушильную печь 3. Печи конвекционного

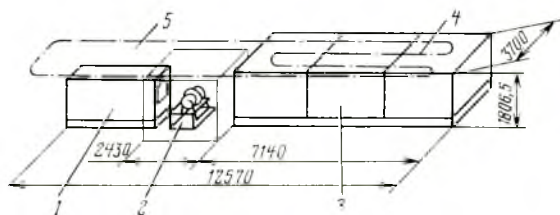


Рис. 21.1. Схема установки типа АВБ.

типа. Сушка производится в две ступени. После сушки статоры попадают в камеру охлаждения, а затем подаются к месту загрузки и выгрузки 5.

Цепной конвейер 4 с подвесками для пропитываемых изделий совершает прерывистое движение. Такт движения конвейера может изменяться от 6 до 16 мин, время сушки 3—6 ч. Небольшое время сушки обусловлено использованием вязкого лака и удалением из лака более половины летучих веществ при вакууме в автоклаве.

Максимальная нагрузка на подвеску 350 кг. Циклограмма работы автоклава по времени приведена ниже.

Т а б л и ц а

Операция	Время, мин								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Закрытие автоклава	×	—	—	—	—	—	—	—	—
Вакуумирование до $2,7 \cdot 10^3$ Па	×	×	×	—	—	—	—	—	—
Снижение вакуума до $(13—40) \cdot 10^3$ Па	—	—	×	—	—	—	—	—	—
Заполнение автоклава лаком	—	—	×	—	—	—	—	—	—
Повышение давления до 0,2—0,3 МПа	—	—	—	×	×	—	—	—	—
Снятие давления и слив лака	—	—	—	—	×	×	—	—	—
Вакуумирование до $(5,0—13) \cdot 10^3$ Па	—	—	—	—	—	×	×	—	—
Снятие вакуума	—	—	—	—	—	—	—	×	—
Раскрытие автоклава	—	—	—	—	—	—	—	×	—
Шаг конвейера	—	—	—	—	—	—	—	—	×

Оригинальна конструкция автоклава, представляющего собой шарообразный сосуд, разделенный на две части, которые автома-

тически раздвигаются, давая возможность проникнуть внутрь подвеске с изделиями, а затем сдвигаются, образуя герметизированную камеру. Установки выпускаются с автоклавами, имеющими внутренний диаметр 484, 780 или 876 мм. Разрабатываются установки с автоклавом, имеющим внутренний диаметр 1200 мм.

На подвески навешиваются изделия, например в автоклав с внутренним диаметром 876 мм помещается подвеска с 20 сердечниками статоров диаметром 168 и длиной 230 мм или подвеска с 120 трансформаторами размером $60 \times 60 \times 60$ мм.

К достоинствам установок типа АВБ следует отнести: механизацию всего процесса пропитки, возможность получения качественного изделия при однократной пропитке, стабильность качества пропитки, малую площадь, занимаемую установками, определенную универсальность.

Процесс пропитки в вакууме и под давлением является наиболее прогрессивным.

Недостатком установок типа АВБ является необходимость зачистки внутренней поверхности сердечника от наплывов лака и предохранения выводных концов от пропитки. Зачистка внутреннего диаметра сердечника от наплывов лака проводится на пропиточном участке круглой карцовой щеткой, которая вращается пневмомашиной.

21.4. ПРОПИТКА ОБМОТОК СТРУЙНЫМ СПОСОБОМ

Сущность технологии пропитки струйным (или капельным) способом заключается в следующем. Статор или якорь подключают к источнику электрического тока низкого напряжения, который производит нагрев обмотки. Температура нагрева регулируется по заданной программе автоматически.

В нагретую обмотку 1 через сопло 3 тонкой струей подается пропиточный состав 2 (рис. 21.2). При этом статор или якорь находятся в наклонном положении и вращаются. Пропиточный состав подается на наружную и внутреннюю поверхности передней (верхней) лобовой части обмотки и вследствие наклонного положения пропитываемого изделия, а также под воздействием капиллярных сил проникает через пазы между проводниками обмотки в заднюю (нижнюю) лобовую часть. При соприкосновении состава с нагретой обмоткой вязкость его резко снижается, благодаря чему он лучше проникает в обмотку. В процессе пропитки нагрев обмотки продолжается, однако температура ее почти не повышается из-за охлаждающего действия пропиточного состава.

По окончании пропитки статор или якорь поворачивается в горизонтальное положение и продолжает вращаться. При этом пропиточный состав равномерно распределяется в лобовых частях. Температура обмотки начинает повышаться, происходит желатинизация, а затем полное отверждение пропиточного состава.

Для пропитки всыпных обмоток статоров асинхронных электродвигателей и якорей машин постоянного тока струйным спосо-

бом ВНИИТЭлектромаш разработал ряд установок, выполняющих пропитку и термообработку автоматически по заданной программе. Для пропитки применяются термореактивные составы без растворителей.

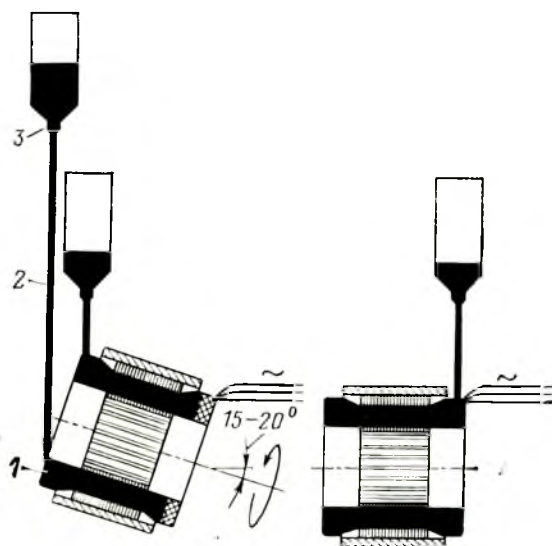


Рис. 21.2. Схема пропитки струйным методом.

Для пропитки обмоток статоров асинхронных электродвигателей основного исполнения и модификаций с наружным диаметром сердечника 89—149 мм (кроме многоскоростных и однофазных) созданы установки трех типоразмеров: УПС-3, УПС-4, УПС-6.

Пропиточная установка роторного типа УПС-4 (рис. 21.3) состоит из вращающегося стола 8 с приспособлениями для закрепления пропитываемых сердечников статоров 4, устройства для дозирования 2 и распределения 3 пропиточного состава, электроприода 7 и устройства для токового нагрева обмоток. Ток через коллектор 5 и токосъемник 6 подается к сердечникам, установленным приспособлениях.

Все механизмы размещены в корпусе 9. Корпус имеет смотровые окна и патрубок для подключения к вентиляционной сети.

На каждое приспособление устанавливаются по два сердечника статора. Стол приводится во вращение шаговым механизмом, который с определенным тактом перемещает сердечники каждый раз на одну позицию. Поворот стола производится поворотным устройством 1.

Полный цикл пропитки и термообработки происходит при перемещении пропитываемых сердечников через все 18 позиций. Такт работы установки регулируется в широких пределах. На по-

следней, 18-й позиции выгружаются пропитанные и загружаются непропитанные сердечники. Загрузка и выгрузка сердечника (масса каждого не превышает 10 кг) производится вручную. При выгрузке концы обмотки отключаются от подключаемого устройства, сердечники снимаются с приспособления и укладываются на транспортное устройство. При загрузке сердечники устанавли-

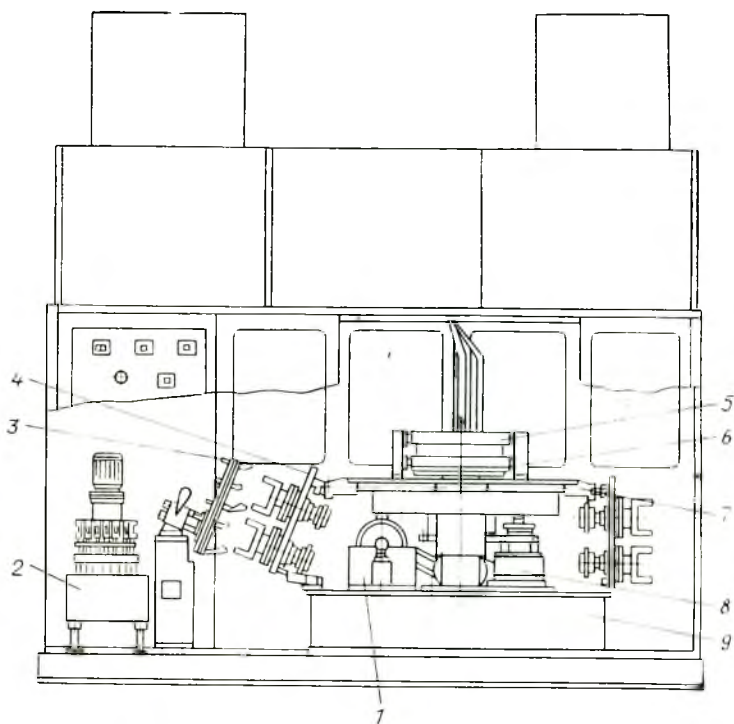


Рис. 21.3. Схема установки для пропитки типа УПС-4.

ваются на приспособление и подключаются выводные концы обмотки. Последующие операции выполняются в автоматическом режиме. На 1-й и 2-й позициях происходит предварительный нагрев обмоток до температуры 80—100 °С. На 3—5-й позициях на наружную и внутреннюю поверхности верхней лобовой части сердечника, расположенного под углом 20° к горизонту и вращающегося с частотой 25 ± 5 об/мин, подаются через два сопла дозы пропиточного состава. На 6—15-й позициях происходит отверждение пропиточного состава в обмотке. При этом сердечники находятся в горизонтальном положении и продолжают вращаться. На 16-й позиции прекращается питание обмотки током, и на позицию загрузки и выгрузки сердечник поступает несколько охлажденным.

Имеются исполнения обмоток (например, многоскоростных небольших однофазных электродвигателей), к которым нельзя

применить схему питания, принятую для основного исполнения. Для нагрева таких обмоток применен индукционный способ с использованием специальных индукторов (рис. 21.4). На сердечник 1 надевается катушка 2 с магнитопроводами 4. Ток подводится к выводам 3 катушки.

На базе таких индукторов разработаны двухместные пропиточные установки: УПС-2 и УПС-5, на которых пропитка и термообработка выполняются автоматически. Установки эти имеют меньшую производительность, соответствующую программам выпуска модификаций электродвигателей, для которых они предназначены. На них можно пропитывать обмотку любого исполнения.

Для пропитки обмоток якорей машин постоянного тока ВНИИТЭлектромаш разработал пропиточные установки трех типов (для наружных диаметров якорей 90—202 мм) — УПЯ-1, УПЯ-2, УПЯ-3 с индукционным нагревом обмоток, позволяющим нагревать якоря с любыми обмоточными данными, не изменяя параметров источников питания.

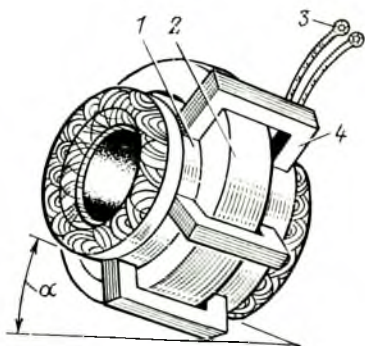


Рис. 21.4. Индуктор для нагрева сердечников статоров.

К достоинствам струйного метода пропитки следует отнести: значительное сокращение длительности пропитки и термообработки обмоток; отсутствие необходимости в зачистке поверхностей пакетов от наплывов пропиточного состава; очень малые потери пропиточного состава; хорошее заполнение обмотки смолой; хорошую цементацию обмотки; небольшие производственные площади, занимаемые технологическим оборудованием; возможность встраивания технологического оборудования в поточно-механизированную линию; снижение расхода электроэнергии, особенно при токовом нагреве обмоток [25].

21.5. ПРОПИТКА ОБМОТОК В ЭПОКСИДНЫХ КОМПАУНДАХ

Пропитке эпоксидными компаундами подвергаются обмотки высоковольтных электрических машин, а также обмотки низковольтных электрических машин, работающих в тяжелых условиях. На катушки обмоток нанесена корпусная изоляция в виде слюдинитовых лент. Пропитка должна обеспечить полное отсутствие воздуха в катушках и сохранение пропиточного состава. Это достигается тем, что пропитка ведется составами без растворителей, а подача состава в катушки производится при глубоком вакууме.

Для обеспечения этих условий необходимо специальное оборудование, состоящее из пропиточных котлов с подогревом, насосов для создания глубокого вакуума, насосов для создания давления и другой аппаратуры.

В качестве пропиточного состава применяется эпоксидный компаунд: эпоксидная смола в сочетании с отвердителем. Состав наиболее часто используемого компаунда следующий: смола эпоксидно-диановая типа ЭД-22 — 100 массовых долей (допускается замена смолами типа DER-330, MER-200, СУ-205), отвердитель ИМТГФА — 80 массовых долей и ускоритель — 3 массовых доли.

Очень важной характеристикой компаундов является срок «жизни». За срок жизни компаунда принимается время, в течение которого вязкость достигает 40 с по вискозиметру ВЗ-1. Для увеличения срока жизни необходимо добавлять свежие порции или использовать жидкие маловязкие смолы и отвердители. Компаунд может содержать до 5 % воздуха. Поэтому перед использованием его необходимо вакуумировать при температуре 75 °С и остаточном давлении 50 Па в течение 1,5—2 ч. При этом содержание воздуха снижается до 0,01 %.

Технологический процесс пропитки сердечников с обмоткой и катушек в эпоксидном компаунде включает следующие операции: сушку изделия в печи при температуре 110 ± 10 °С в течение 3—6 ч, вакуумирование изделия в котле при остаточном давлении 50—100 Па в течение 2—3 ч при температуре 50—60 °С, подачу пропитывающего эпоксидного компаунда (при этом вакуум продолжается), снятие вакуума и подачу давления $0,8 \cdot 10^6$ Па в течение 2—3 ч (давление на зеркало компаунда создается азотом), снятие давления и удаление компаунда. При всех операциях в котле поддерживается температура 60 °С. После извлечения из котла сердечники с обмоткой запекаются при температуре 150—180 °С в течение 16—24 ч, а катушки подсушиваются при температуре 45—50 °С в течение 16 ч, а запечку производят после укладки их в сердечник. Подсушка выполняется до «отлипа». Снаружи катушки должны быть сухими настолько, чтобы руки не липли, а внутри должны быть влажными, для того чтобы изоляция была эластичной и не повредилась во время укладки.

При запечках статоров или катушек почти во всех случаях в первые часы сушки их необходимо поворачивать со скоростью 3—10 об/мин, для того чтобы компаунд был распределен по катушкам равномерно, а не стекал в стороны, расположенные внизу. Это особенно важно при запечке вращающихся обмоток, так как при стекании компаунда в одну сторону изделие будет трудно или невозможно уравновесить при балансировании.

Стержни турбо- и гидрогенераторов для того, чтобы они не потеряли форму перед пропиткой, собирают в многоместные кассеты. На пазовые части накладывают разъемные пресс-планки, которые укладывают в кассеты и расклинивают до полного их смыкания. Пресс-планки повторяют поперечное сечение пазовой части стержня, а основание кассеты — в целом профиль стержня.

В таком состоянии стержни пропитывают. Режим пропитки следующий. Создается давление 50—60 Па для удаления из обмотки воздуха. Затем подается компаунд, и на его зеркале создается давление 30 МПа для лучшего проникновения компаунда. При

этом происходит гидростатическое опрессование стержней. Температура пропитки 60—70 °С.

Схема установки для пропитки эпоксидными компаундами приведена на рис. 21.5. Последовательность работы установки следующая. Пропиточный компаунд перед применением вводится в дегазационную колонку 9, где освобождается от летучих веществ

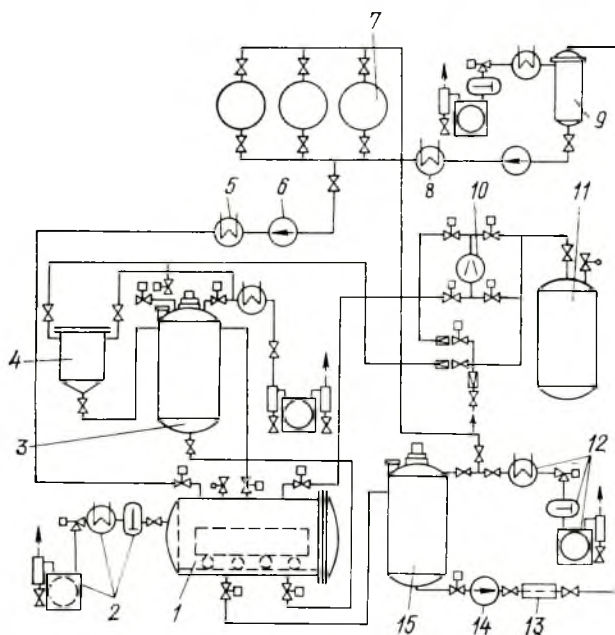


Рис. 21.5. Схема установки для пропитки в эпоксидных компаундах.

и влаги, а после дегазации хранится под вакуумом в сборнике 7. Пропитываемые статоры или катушки, уложенные в ванну на тележке, вкатываются в горизонтальный вакуумный котел 1. Температура в котле повышается, и с помощью вакуумного агрегата 2 создается вакуум. При этом пропитываемые узлы дегазируются и высушиваются при остаточном давлении. Пропиточный компаунд хранится в сборнике холодным, а при работе насосом 6 перегоняется через нагреватель 5 в ванну с пропитываемыми узлами. При пропитке для лучшего проникновения компаунда в обмотки в котле создается избыточное давление с помощью азотной установки. Затем азот компрессором 10 перекачивается в сосуд 11. Избыток пропиточного компаунда из ванны перегоняется благодаря перепаду давлений в смеситель-сборник 15, где под вакуумом, создаваемым агрегатом 12, смешивается со свежим компаундом, а затем насосом 14 через фильтр 13 перегоняется в дегазационную ко-

лонку 9. Здесь пропиточный компаунд дегазируется, высушивается и насосом перегоняется через холодильник 8 в сборник 7.

Приготовление компаунда горячего отверждения производится в сосуде 4 (для расплавления смолы) и смесителе 3 (с вакуумным насосом 2 для дегазации).

21.6. ГИДРОСТАТИЧЕСКАЯ ПРЕССОВКА И ЗАПЕЧКА ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК В АВТОКЛАВАХ

Гидростатическая прессовка и запечка изоляции в автоклава производятся у обмоток, изолированных пропитанными слюдинитовыми или слюдопластовыми лентами.

Рассмотрим этот процесс на примере стержневых обмоток. При опрессовке и запечке изоляции в пресс-формах не удастся полностью реализовать преимущества термореактивной изоляции. Механическая прессовка неизбежно сопровождается перепрессовкой в одних местах и недопрессовкой в других. Перепрессовка приводит к местным утонениям изоляции, сопровождающимся механическими разрушениями непрерывности слоев и выжиманию связующего. Недопрессовка влечет за собой рыхлость изоляции, наличие пустот и, как следствие, снижение механической и электрической прочности. При механическом способе прессовки изоляция перед запечкой не вакуумируется, что также снижает ее качество.

При гидростатической прессовке обжатие и формирование изоляции происходят вокруг проводников плетеного стержня с помощью жидкой среды: разогретого битума, перегретой воды и т. п. Перед прессовкой на стержень для его защиты от битума накладывают изоляцию из двух слоев фторопластовой ленты вполнахлеста и одного слоя стеклоскапоновой ленты. Между слоями фторопластовой ленты на пазовую и лобовые части стержня устанавливают металлические планки толщиной 1 мм. Планки препятствуют изгибу стержня в процессе выпечки и создают равномерно давление по всему стержню. Наконечники заматывают несколькими слоями изоляции.

Стержень устанавливают на раму и фиксируют пазовую и лобовые части. Взаимное положение гребенок, определяющих фиксацию пазовой и лобовых частей на раме, должно быть выдержано с возможно большей точностью. Стержень крепится к раме клиньями. После раскрепления стержней рамы устанавливают в ванну с битумом, предварительно нагретым до 165 °С, и вкатывают в автоклав. Автоклав герметически закрывают, создают вакуум до 4 кПа, при котором воздух удаляется из обмотки и битума, затем подается азот и создается давление 1 МПа. При этом температура битума 165 °С. Производят прессовку и запечку изоляции в течение 16 ч при давлении 1 МПа и температуре 165 °С.

Таким образом гидростатическая опрессовка позволяет применить вакуумирование и осуществить переход от вакуумной сушки изоляции к опрессовке. При этом процессы происходят в одном сосуде, а откакумированный стержень защищен битумом от воздуха и влаги.

Для получения более стабильных размеров стержни перед гидростатической прессовкой кратковременно прессуют в механических пресс-формах.

После прессовки и запечки со стержней снимают технологическую изоляцию и планки. Следует отметить, что в автоклав можно загрузить большое количество стержней, в то время как в одной пресс-форме выпекают два стержня. Процесс гидростатической прессовки следует считать более производительным.

21.7. КОМПАУНДИРОВАНИЕ ОБМОТОК В БИТУМНЫХ КОМПАУНДАХ

Процесс компаундирования в битумах — наиболее старый процесс и в последние годы вытесняется пропиткой в компаундах. Цели и задачи компаундирования в битуме, а также области применения те же, что и при пропитке эпоксидными компаундами.

Компаундированию подвергаются обмотки, изолированные мн-калентой. В качестве компаунда используется нефтяной битум марок В и ВН с температурой размягчения 115—119 °С.

Технологические процессы компаундирования на различных заводах отличаются выбором температуры размягчения битума.

Последовательность операций следующая: сушка в котле с постепенным подъемом температуры до 155—165 °С в течение 2—3 ч; вакуумирование до остаточного давления 400—500 Па при температуре 155—165 °С и сушка в течение 2—4 ч; выпуск массы, нагретой до температуры 160 ± 2 °С при остаточном давлении 200—300 Па; увеличение давления до 0,7—0,8 МПа при температуре 160 ± 5 °С и компаундирование в течение 2—5 ч; выпуск массы из котла; снятие давления и извлечение катушек.

Находясь в горячем состоянии, битум гидростатически опрессовывает изоляцию катушек и пропитывает их.

Температура нагрева катушек перед выпуском битума в котел должна быть максимально близкой к температуре битума, так как битум, попадая на более нагретую или более холодную поверхность катушек, меняет свою вязкость и пропитывающую способность.

Оборудование для компаундирования по своему составу принципиально не отличается от оборудования для пропитки эпоксидными компаундами. Компаундированию подвергаются только катушки и стержни. Уложенные статоры не компаундируются. Перед компаундированием катушки обертываются киперной лентой впритык, а после компаундирования ее снимают вместе с наплывами битума. Повторно лента не может быть использована.

Глава двадцать вторая

КОНТРОЛЬ И ИСПЫТАНИЕ ОБМОТОК

22.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Долговечность и надежность работы электрической машины главным образом зависят от качества обмотки и изоляции. Качество изоляции определяется

правильным использованием изоляционных материалов и правильной технологической изготовлении изоляционных деталей. Однако при изготовлении и укладке обмоток могут быть случаи смещения изоляции, повреждение ее, образование трещин и другие нарушения целостности, плохая пайка. Поэтому для своевременного предотвращения брака следует испытывать изоляцию обмоток в процессе их изготовления и укладки. Так как повреждения изоляции могут возникнуть на разных этапах изготовления изделия, принято испытывать изоляцию после каждой технологической операции, если это возможно по условиям организации производства. При испытании проверяется целостность: витковой, корпусной и междувитковой изоляции, коллекторных манжет, междудуговой изоляции, изоляции втулок контактных колец, сопротивление корпусной и междудуговой изоляции и сопротивление обмоток. Так как основным параметром изоляции является ее электрическая прочность, то качество изоляции проверяется повышенным напряжением. Испытательные параметры: напряжение и время приложения испытательного напряжения должны обеспечить выявление явных и скрытых дефектов (проколы, надрывы, смещения, надломы), не вызывая разрушений годных участков изоляции. Время приложения испытательного напряжения выбирается таким, чтобы выявились дефекты в изоляции, но не имело места старение изоляции под действием электрического поля. Наибольшее испытательное напряжение, как правило, должно быть не менее чем в 2 раза ниже пробивного напряжения изоляции в исходном состоянии (при кратковременном приложении напряжения), но значительно больше рабочего напряжения изделия. По мере перехода от одной технологической операции к другой испытательное напряжение снижается.

При испытании тропикостойкой изоляции все нормы повышаются на 10 %. Изоляция считается годной, если во время испытаний не происходит пробоя изоляции, перекрытия скользящими разрядами, резкого повышения тока утечки.

22.2. ИСПЫТАНИЕ ОБМОТОК С КОРПУСНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

При изготовлении обмоток с корпусной изоляцией испытанию подвергают катушки после их изготовления и всю обмотку машины после укладки катушек. Катушки с корпусной изоляцией испытываются в первый раз до наложения корпусной изоляции на отсутствие междувитковых замыканий. Электрическая прочность корпусной изоляции проверяется после компаундирования. Для проверки электрической прочности корпусной изоляции на пазовую часть катушки накладывается электрод из фольги или стальная коробочка. Испытательное напряжение подается на медь обмотки, а электроды заземляются. Испытательное напряжение частотой 50 Гц повышается с напряжения, равного $1/3$ максимального, до максимального значения в течение 10 с, выдерживается в течение 60 с и в течение 10 с уменьшается до $1/3$ максимального напряжения, а затем снижается.

Для проведения испытаний разработаны специальные пульты (рис. 22.1), которые располагаются на испытательных станциях. Испытательная станция состоит из испытательной камеры, где располагается испытуемое изделие, и помещения, в котором располагается пульт управления и испытатель. Испытательная станция выгораживается из остального помещения и снабжается блокировкой ВК, которая выключает установку при открытых дверях. Блокировка ВК также имеется и на дверях испытательной камеры. Эта блокировка не позволяет включить установку при открытых дверях. Для получения высокого напряжения используют однофазный трансформатор *Тр*. Первичное напряжение плавно регулируется автотрансформатором *АТр*. Во вторичной обмотке высокого напряжения один конец заземляется, а второй является испытательным. Он присоединяется к испытуемой обмотке. Высокое напряжение измеряется вольтметром *V*, который включен в первичную обмотку трансформатора *Тр* и отградуирован на высокое напряжение. Трансформатор должен иметь мощность не менее 1 кВ·А на 1 кВ испытательного напряжения. Испытательная установка должна иметь видимый разрыв, создаваемый электрическим соединителем ЭС. Красная лампочка ЛК сигнализирует о подаче высокого напряжения, зеленая лампочка ЛЗ1 контролирует положение дверей испытательной станции и камеры, а зеленая лампочка ЛЗ2 сигнализирует о включении сети.

Испытание витковой изоляции производят импульсным напряжением в течение 15 с. При выборе испытательных напряжений междувитковой изоляции исходят не из значения напряжений на витках при работе электрической машины, а из значений коммутационных перенапряжений, которые определяют тип междувитковой изоляции обмотки. Верхний предел испытательных напряжений определяется разрядным напряжением данного типа витковой изоляции и необходимым коэффициентом запаса (40—50 % среднего пробивного напряжения витковой изоляции). Нижний предел — возможностью пробоя воздушного зазора между смежными проводниками при повреждении витковой изоляции. Практически для междувитковой изоляции катушек электрических машин на напряжение 6000 В принято испытательное напряжение 1400 В.

Разрезные обмотки обычно испытываются путем приложения к двум соседним виткам испытательного напряжения частотой 50 Гц. После укладки обмотки в пазы до пайки схемы производят испытание на электрическую прочность корпусной изоляции, а после пайки схемы и выводных концов проводят испытание электрической прочности корпусной, междувитковой, междуфазной изоляции и измерение сопротивления обмотки. Испытание корпусной и междуфазной изоляции осуществляют при одном опыте. На одну испытываемую обмотку подается высокое напряжение, а все остальные обмотки заземляются. При этом проверяется прочность изоляции испытываемой обмотки как по отношению к корпусу, так и к другим обмоткам. Таким образом испытывают каждую обмотку электрической машины.

Сопротивления обмоток измеряют двойным мостом или методом амперметра и вольтметра.

22.3. ИСПЫТАНИЯ ОБМОТОК БЕЗ КОРПУСНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Обмотки без корпусной изоляции проходят первое испытание после укладки. Проверяется электрическая прочность корпусной изоляции. Так как катушки еще не запаяны, то все концы катушек соединяются вместе и на них подается высокое напряжение. После пайки схемы и выводных концов обмотку испытывают на прочность корпусной, междуфазной и витковой изоляции и измеряют сопротивление обмотки. Испытание на прочность корпусной и междуфазной изоляции, измерение сопротивления обмотки проводят так, как описано в § 22.2. Междувитковую изоляцию испытывают приборами типа СМ и ЕЛ-1. Прибор представляет собой генератор импульсов с напряжением до 600 В. Импульсы подаются на две фазы обмотки поочередно и электронно-лучевую трубку. При неисправности в одной из фаз на экране появляется изображение двух кривых. При определенном навыке оператор, производящий контроль, может по форме кривых определить неисправность (междувитковое замыкание, плохой контакт, обрыв, разные числа витков). При совершенно идентичных обмотках две кривые на экране сливаются, и оператор видит одну кривую. При-

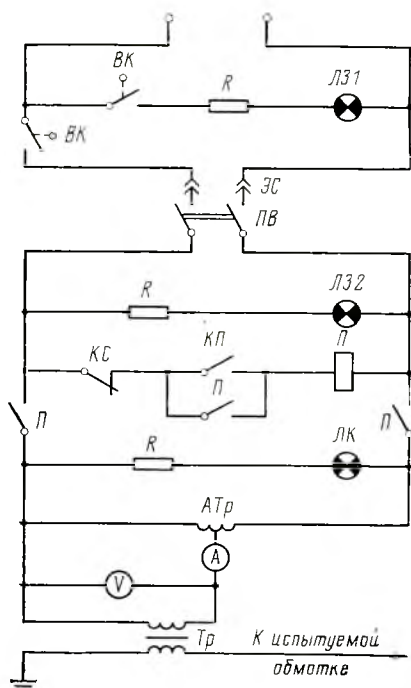


Рис. 22.1. Схема пульта для испытаний электрической прочности изоляции.

бор универсален. Он позволяет контролировать обмотки электрических машин постоянного и переменного токов различной мощности.

22.4. ИСПЫТАНИЯ СТАТОРНЫХ ОБМОТОК ИЗ КРУГЛОГО ПРОВОДА В ПОТОЧНО-МАССОВОМ И КРУПНОСЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

В поточно-массовом и крупносерийном производстве укладка в пазы обмоток из круглого провода осуществляется механизированным способом. Испытание обмоток производится после того, как выполнены пайка схемы и выводных концов, бандажировка лобовых частей. Как правило, рабочее напряжение машины с обмотками из круглого провода не превышает 660 В.

Контроль обмоток статора включает проверку схемы соединения катушек обмотки, испытание электрической прочности изоляции — междувитковой, междупазовой и относительно корпуса, а также контроль сопротивления обмотки при постоянном токе.

Проверка схемы соединения катушек обмотки сводится к определению правильности маркировки начала и конца каждой фазы. Для этого применяют способ регистрации разности напряжений на фазах обмотки при встречном или согласном их включении. Если две фазы обмотки соединить встречно и подать на них переменное напряжение, то при правильной их маркировке на третьей фазе обмотки напряжения не будет. При неправильной маркировке на третьей фазе обмотки возникает ЭДС.

Электрическая прочность междувитковой изоляции обмоток статоров испытывается путем подачи испытательного напряжения к обмотке. На испытуемую обмотку в течение 10 с подается волна импульсного напряжения с амплитудой 2500 В при частоте следования импульсов 50 Гц. Длительность переднего фронта импульса 2—5 мкс, длительность импульса 150—200 мкс. Волна возникает в результате разряда на испытуемую обмотку конденсатора большой емкости, подключенного к генератору импульсов высокого напряжения.

Для обнаружения витковых замыканий в обмотке применяется мостовой способ индикации. Использование в условиях поточно-массового производства приборов с трубкой осциллографа для определения междувитковых замыканий нецелесообразно из-за быстрой утомляемости оператора и влияния на результаты контроля субъективного фактора.

Электрическая прочность изоляции обмоток относительно корпуса и между фазами испытывается напряжением 2700 В частотой 50 Гц в режиме плавного подъема напряжения, выдержки его максимального значения в течение 10 с и плавного снижения. Наличие пробоя изоляции определяется по резкому увеличению испытательного тока.

Контроль сопротивления обмоток при постоянном токе производится отдельно для каждой фазы способом одинарного или двойного моста, в зависимости от сопротивления обмотки. Для контроля применяются как серийные измерительные приборы, так и автоматические блоки, встраиваемые в комплексные контрольные установки.

Для контроля обмоток статоров асинхронных электродвигателей с высотами оси вращения 71—112 мм мощностью до 10 кВт ВНИИТЭлектромаш разработаны высокопроизводительные комплексно-механизированные установки типа АКО. На установках могут испытываться обмотки статоров электродвигателей основного исполнения и 19 модификаций; время для переналадки установки на различные исполнения 3 мин. Производительность установок 300—400 тыс. статоров в год.

Наряду с высокопроизводительными установками используются также универсальные установки стендового типа, предназначенные для различных программ и режимов испытаний статоров специальных исполнений и модификаций. Производительность универсальных установок 30—50 тыс. статоров в год [25].

22.5. ИСПЫТАНИЕ ОБМОТОК ЯКОРЕЙ И ПОЛЮСОВ

При испытании обмоток якорей проверяют электрическую прочность изоляции, отсутствие междувитковых замыканий, качество пайки и правильность присоединения концов обмоток к коллектору.

Электрическую прочность изоляции на корпус проверяют повышенным напряжением. Повышенное напряжение прикладывают к корпусу якоря и к обмоткам.

Отсутствие междувитковых замыканий можно определить несколькими способами. В производстве широко используют способ испытательных электромагнитов. Сущность способа заключается в том, что на электромагниты 1 (рис. 22.2, а), имеющие обмотку, устанавливают якорь 2. Обмотка электромагнита питается переменным током 50 Гц или повышенной частоты (500—1000 Гц). При прохождении по обмотке электрического тока создается магнитный поток,

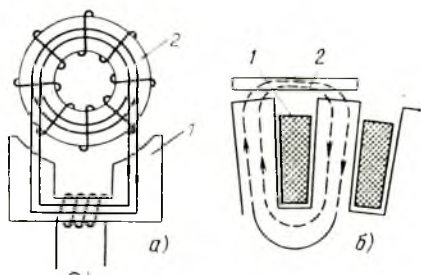


Рис. 22.2. Определение замкнутых витков.

а — способом испытательных электромагнитов; б — способом стальной пластины.

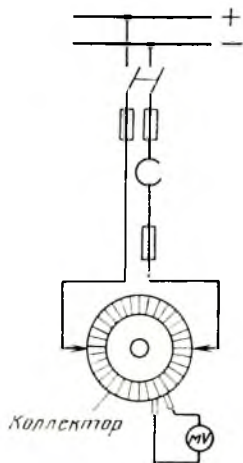


Рис. 22.3. Схема испытания обмотки якоря на витковое замыкание.

который замыкается через якорь. Если в обмотке якоря имеется междувитковое замыкание, то в замкнутых витках потечет ток большой силы и вызовет их нагрев. Междувитковое замыкание также можно обнаружить, если провести по пазам якоря стальной пластиной. При прохождении паза с короткозамкнутыми витками она притянется к ним (рис. 22.2, б). Способом испытательных электромагнитов можно проверять якоря небольших габаритов, а также якоря с петлевой и волновой обмотками. Этим способом нельзя проверить междувитковые замыкания лягушечных обмоток и петлевых обмоток с уравнительными соединениями, так как в них всегда имеются короткозамкнутые контуры. Поэтому якоря с указанными обмотками проверяют способом милливольтметра.

К двум коллекторным пластинам (рис. 22.3), находящимся одна от другой на расстоянии полюсного деления, подводится такой постоянный ток, при котором хорошо видно показание стрелки миллиамперметра. Миллиамперметром поочередно измеряют падение напряжения между рядом расположенными коллекторными пластинами. При исправной обмотке показания миллиамперметра будут отличаться мало. При междувитковом замыкании сопротивление обмотки уменьшится, следовательно, уменьшится падение напряжения на ней. При плохом соединении обмотки с коллектором показания миллиамперметра увеличиваются. При обрыве в петлевой обмотке показания миллиамперметра будут наибольшими. Это надо учитывать при выборе прибора. При неправильном присоединении к коллектору концов обмотки, т. е. при их перекрещивании, стрелка миллиамперметра отклонится в обратную сторону. Если обратное отклонение стрелки будет наблюдаться при волновой обмотке периодически, через число пластин, соответствующих коллекторному шагу, то это — явление нормальное.

Обмотки полюсов проверяют на отсутствие междувиткового замыкания. Проверку можно производить измерением сопротивления и специальным тран-

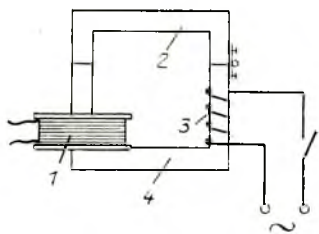


Рис. 22.4. Испытание катушек трансформатором.

сформатором. При измерении сопротивления катушка с междувитковым замыканием будет иметь пониженное сопротивление в зависимости от числа замкнутых витков. При замыкании небольшого количества витков в многовитковой катушке обнаружить междувитковое замыкание этим способом трудно.

При определении междувиткового замыкания трансформатором используют схему, показанную на рис. 22.4. Обмотка трансформатора 3 питается переменным током. Испытуемая катушка 1 помещается на стержень трансформатора 4 через съемное верхнее ярмо 2. Если в испытуемой катушке имеются короткозамкнутые витки, то

они быстро нагреваются, а амперметр в первичной цепи показывает резкое увеличение тока.

В последнее время при испытании якорей и обмоток полюсов на заводе «Электросила» применяют индикаторы витковых замыканий ИВЗ. Они имеют большую чувствительность, высокое испытательное напряжение при малых габаритах и небольшое потребление мощности. Принцип действия приборов — импульсный.

22.6. КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОПИТКИ И КОМПАУНДИРОВАНИЯ

Проверить качество пропитки и компаундирования в готовых узлах весьма трудно, поэтому для обеспечения высокого качества необходимо контролировать ход технологического процесса. Контролю подвергаются лаки и компаунды в состоянии поставки, а также из пропиточных ванн и компаундировочных котлов. При контроле лаков, взятых из пропиточных ванн, проверяются количество летучих веществ и их вязкость. При частичном коагулировании лаковой основы резко повышается вязкость лака. В случае повышения вязкости лака при одновременном снижении или неизменности количества пленкообразующих лак необходимо разбавить растворителями, прекращающими их коагуляцию. У состава без растворителей проверяется вязкость и время желатинизации.

При сушке обмоток очень важным является соблюдение заданной температуры и времени сушки. Сушка при низких температурах приводит к тому, что лаки в обмотках оказываются непросушенными. Это может привести к пробоям изоляции и деформации обмоток вращающихся частей. При недопустимо высоких температурах сушки изоляция может состариться и прийти в негодность.

В вакуумпропиточных установках типа АВБ и установках капельной пропитки режимы сушки и пропитки автоматизированы. Контрольно-измерительная аппаратура, расположенная на пульте управления, позволяет контролировать все параметры. При других способах пропитки и компаундирования устанавливаются приборы для контроля температуры, давления, вакуума и т. п.

При пропитке и компаундировании весьма ответственных узлов иногда изготавливают на один узел больше. После окончания режимов пропитки или компаундирования его разбирают и проверяют качество. Разбираемый узел называют «свидетелем».

При пропитке после каждого цикла сушки мегаомметром измеряют сопротивление изоляции в нагретом состоянии. Нормы сопротивления устанавливают для каждой группы узлов в зависимости от конструкции изоляции, пропиточного лака, условий работы электрической машины. При измерении сопротивления изоляции мегаомметром отсчет показаний приборов следует производить через 1 мин после приложения напряжения.

Оценкой качества пропитки и запекания высоковольтной термореактивной изоляции является определение $\operatorname{tg} \delta$ и $\Delta \operatorname{tg} \delta$ (разности $\operatorname{tg} \delta$, измеренных при $1,5 U_{\text{ном}}$ и $0,5 U_{\text{ном}}$).

ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОРОТКОЗАМКНУТЫХ ОБМОТОК РОТОРОВ

23.1. ТИПЫ КОРОТКОЗАМКНУТЫХ ОБМОТОК И ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Асинхронные электродвигатели с короткозамкнутой обмоткой являются самыми распространенными. В двигателях до 400 кВт короткозамкнутая обмотка изготавливается заливкой ротора алюминием, а в двигателях большей мощности — из медных стержней с медными замыкающими кольцами. В последние годы делаются попытки применить в двигателях большой мощности обмотку из алюминиевых стержней и алюминиевого короткозамыкающего кольца. Кольца приваривают к стержням аргоно-дуговой сваркой.

Заливка ротора алюминием является наиболее прогрессивным технологическим процессом, который позволяет получить обмотку, состоящую из стержней в пазу и замыкающих колец, расположенных на торцах сердечника. Заливка алюминия может быть выполнена при любой форме паза. Она обеспечивает хороший контакт между стержнями и кольцами. Вместе с кольцами отливают вентиляционные лопасти, которые отводят теплоту от колец и стержней. В электрических машинах с радиальной вентиляцией лопасти работают как вентиляторы и обеспечивают охлаждение. В некоторых конструкциях роторов на лопатках или кольцах во время балансировки крепят грузы для устранения неуравновешенности ротора.

Для двигателей с повышенным скольжением применяют алюминиевые сплавы с большим удельным сопротивлением.

Технологический процесс заливки роторов алюминием является сложным, так как форма алюминиевой обмотки не удовлетворяет требованиям литейного производства. В соединении стержней и колец имеются резкие переходы от тонких стержней к толстым кольцам. В местах резких переходов наблюдаются обрывы стержней в процессе остывания металла. Масса сердечника ротора в несколько раз больше массы алюминия и для того, чтобы алюминий равномерно распределился по всей форме паза, сердечник необходимо нагревать до 350—780 °С. Нагрев сердечников усложняет и удорожает процесс заливки. В процессе остывания алюминий дает усадку до 2 %. Длина роторных стержней уменьшается, и сердечник сжимается. Если перед заливкой сердечник был спрессован слишком сильно, стержень разорвется, а при слишком слабой прессовке сердечника алюминий проникает между листами железа и замыкает их. Кроме того, слабая прессовка сердечника свидетельствует о низком коэффициенте заполнения сердечника сталью, что ухудшает характеристики машины. Сложность заливки также состоит в том, что расплавленный алюминий активно окис-

ляется, и окисная пленка, обладая электроизоляционными свойствами, попадая в пазы и кольца, может привести к обрывам стержней, неполной заливке, образованию трещин. Расплав алюминия следует производить в печах, исключаяющих его насыщение примесями. В раздаточных печах с этой целью обычно используют графитовые тигли.

Для повышения КПД и снижения превышений температуры электродвигателя большое значение имеет контактное переходное сопротивление между стержнями и сердечником ротора. Контактное сопротивление зависит от способа и режима заливки. Существует несколько способов заливки роторов алюминием. Выбор способа заливки зависит от объема выпускаемых машин, имеющегося оборудования, опыта работы предприятия.

Наиболее производительным способом заливки является заливка под давлением на специальных литейных машинах. Этим способом заливают 95 % роторов электрических машин малой и средней мощности массового и крупносерийного производства. Диаметры роторов, заливаемых под давлением, достигают 200—250 мм. При заливке роторов больших диаметров на существующем оборудовании из-за значительного объема заливаемого металла не обеспечивается требуемое качество обмотки ротора. Создание больших и сложных литейных машин неоправдано вследствие малых программ выпуска изделий. В этих случаях используют способы заливки под низким давлением: статический, вибрационный или центробежный. Для каждого способа существуют свои рекомендации при выборе конструкции ротора и режимов заливки.

Для роторов электрических машин большой мощности применяют обмотки с медными стержнями и замыкающими кольцами. Пусковые обмотки в этом случае изготавливают из медных сплавов с повышенным сопротивлением. Эти обмотки более трудоемки и менее надежны в эксплуатации, особенно в тяжелых условиях работы с частыми пусками.

23.2. ТЕХНОЛОГИЯ ЗАЛИВКИ РОТОРОВ ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ

Заливка роторов под высоким давлением производится на специальных литейных машинах. Возможна модернизация и агрегатирование универсальных литейных машин, предназначенных для литья конструкционных деталей. Заливке подвергаются сердечники роторов, собранных на литейной оправке. Заливка выполняется в пресс-формах без предварительного нагрева сердечника ротора. Заливка без предварительного нагрева сердечника позволяет сократить технологический цикл и возможна под высоким давлением, когда металл успевает заполнить всю пресс-форму, не успев остыть. Процесс заливки под давлением улучшает условия труда и позволяет располагать оборудование в общем технологическом потоке.

Для роторов небольших диаметров наиболее производительна вертикальная заливка в многоместных пресс-формах, а более круп-

ные роторы заливают в горизонтальном положении в одноместных пресс-формах. При вертикальной заливке роторов с наружным диаметром сердечника 50—90 мм в многоступенчатых пресс-формы производительность установки составляет 360—100 шт./ч, а при горизонтальной заливке роторов диаметром 200—250 мм в одноместные пресс-формы — 30 шт./ч. В автоматизированной ли-

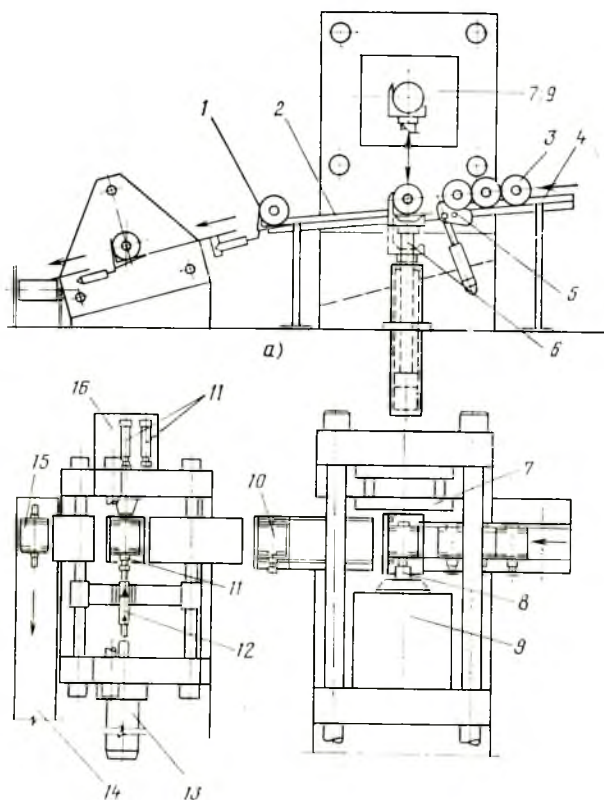


Рис. 23.1. Полуавтоматическая установка для горизонтальной заливки роторов диаметром свыше 200 мм.

тейной машине должны выполняться следующие операции: подача ротора в камеру заливки, дозированный впрыск металла в камеру, извлечение ротора, отрезка литника, выпрессовка сборочной оправки, очистка и смазка пресс-формы.

Рассмотрим заливку роторов диаметром свыше 200 мм на установке горизонтального типа. Установка работает в полуавтоматическом режиме (рис. 23.1). Роторы 3, собранные на оправке, помещаются на наклонный транспортер 4. Отсекатель 5 подает роторы по одному на гидравлическое подъемное устройство 6. Подъемное устройство поднимает ротор до уровня раскрытых пресс-форм 7 и 9. Центральный выталкиватель пресс-формы 8 за-

хватывает ротор за оправку и втягивает в полость пресс-формы 9. Затем подъемное устройство опускается, пресс-форма смыкается и происходит заливка ротора алюминием. После остывания отливки пресс-форма раскрывается, и при этом отделяется литник. Затем ротор выталкивается из пресс-формы и поступает на подъемное устройство, которое к этому моменту поднимается. Подъемное устройство опускается ниже транспортера 2, и ротор скатывается до упора 1. Из позиции 10 ротор подается на пресс 13, где происходят выпрессовка сборочной оправки 11 и одновременно запрессовка вала 12 электродвигателя. Выпрессованные сборочные оправки складываются на стол 16. Готовый ротор 15 транспортером 14 подается на следующие операции.

Качество заливаемых под давлением роторов зависит от многих параметров, в том числе от температуры заливаемого металла, скорости заливки, давления, длительности подпрессовки. Подпрессовка необходима для питания отливки металлом при затвердевании. Во ВНИИТЭлектромаш разработан типовой технологический процесс, обеспечивающий качественную заливку роторов и получение заданной электрической проводимости материала. Электрическая проводимость исходного материала $33,5 \cdot 10^6 \text{ (Ом} \cdot \text{м)}^{-1}$ при температуре 20°C обеспечивается при расплаве алюминия в плавильных печах и использовании в раздаточных печах графитовых тиглей. Параметры заливки: давление 50—60 МПа, скорость заливки 0,5—1,0 м/с, температура алюминия 690—700°C. При этом клетка ротора имеет пористость не более 5 %, а электрическая проводимость снижается не менее чем до $30 \cdot 10^6 \text{ (Ом} \cdot \text{м)}^{-1}$.

23.3. ТЕХНОЛОГИЯ ЗАЛИВКИ РОТОРОВ ПОД НИЗКИМ ДАВЛЕНИЕМ

Схема заливки роторов под низким давлением показана на рис. 23.2. Форма заполняется алюминием снизу, что способствует лучшему удалению воздуха из нее. Алюминий подается из середины расплава, что исключает попадание в форму окислов с поверхности расплава. Процесс заливки осуществляется в следующем порядке. В тигель 5 печи 7 заливают жидкий алюминий, и тигель герметически закрывают. Набранный на оправку 2 сердечник ротора 3 предварительно нагревают до температуры 400—500°C и в нагретом состоянии вставляют в нижнюю часть формы 4. Верхняя часть формы 1 опускается вниз и допрессовывает сердечник. При включении пневмокрana 9 в тигель подается сжатый воздух, и алюминий по питателю 6 поднимается вверх и заполняет форму. После заполнения формы давление увеличивают для питания отливки при ее затвердевании. Затем, включив пневмокран 8, сообщающийся с атмосферой, снимают давление. Форму раскрывают и извлекают залитый ротор.

Разработанная ВНИИТЭлектромаш технология обеспечивает качественную отливку, предусматривает двухступенчатое нарастание давления в тигле (рис. 23.3): давление 0—0,02 МПа (первая ступень) обеспечивает полное заполнение формы с заданной ско-

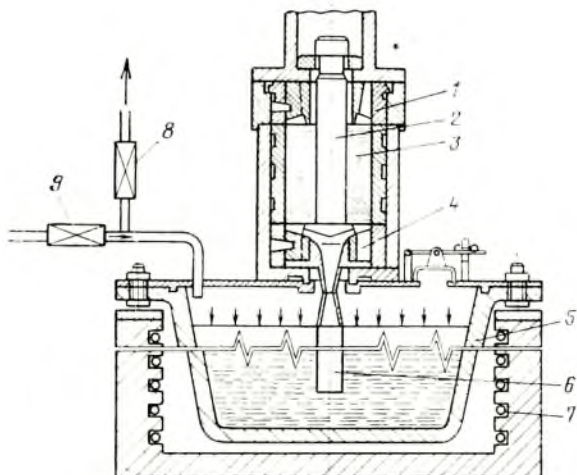


Рис. 23.2. Схема заливки роторов под низким давлением.

ростью, давление 0,02—0,07 МПа (вторая ступень) создается непосредственно после полного заполнения формы и служит для питания отливки при ее затвердевании. Продолжительность выдержки отливки под давлением на ступени 2 составляет 150—240 с. Форма заполняется металлом за 3—5 с. При заполнении формы алюминий должен поступать сплошным ламинарным потоком для исключения захвата воздуха и образования в отливке газовых раковин. При скорости движения алюминия в пазах не выше 32 см/с поток алюминия сохраняется ламинарным. Литье под низким давлением дает наименьшую и более равномерную пористость по длине отливки по сравнению с другими способами литья, что увеличивает процент выхода годного литья и улучшает характеристики электрических машин.

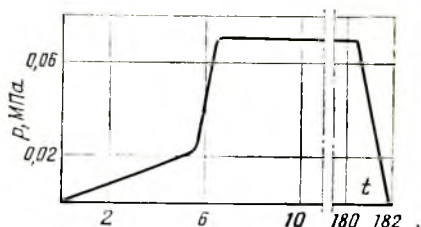


Рис. 23.3. График режима заливки роторов под низким давлением.

Цикл заливки осуществляется автоматически. Применение автоматики позволяет сделать технологический процесс стабильным и независимым от квалификации литейщика.

23.4. ТЕХНОЛОГИЯ ЗАЛИВКИ РОТОРОВ СТАТИЧЕСКИМ, ВИБРАЦИОННЫМ И ЦЕНТРОБЕЖНЫМ СПОСОБАМИ

Статический способ заливки наиболее прост по выполнению и не требует дорогого оборудования и сложной оснастки. Схема заливки статическим способом показана на рис. 23.4. Собранный

на оправку 2 сердечник ротора 6 запирают кольцом 1. Предварительно нагретый до температуры $400\text{--}500^\circ\text{C}$ сердечник устанавливают на нижнюю часть пресс-формы 7, которую также нагревают. Для получения направленного остывания алюминия нижнюю часть пресс-формы нагревают до $200\text{--}250^\circ\text{C}$, а верхнюю до $300\text{--}350^\circ\text{C}$. Затем на ротор надевают разъемную рубашку 5 для предохранения от вытекания алюминия из пазов. Если ротор имеет закрытые пазы, то рубашка не требуется. Затем выключают пресс, и поршень 10 при помощи тяг 8 опускает верхнюю часть пресс-формы 4, и пресс-форма смыкается. Заливку алюминия производят через летниковую чашу 3 при температуре $750\text{--}780^\circ\text{C}$. Воздух из пресс-формы выходит, поднимаясь навстречу алюминию. Это вызывает пористость отливки. Статическое давление создается алюминием, находящимся в летнике.

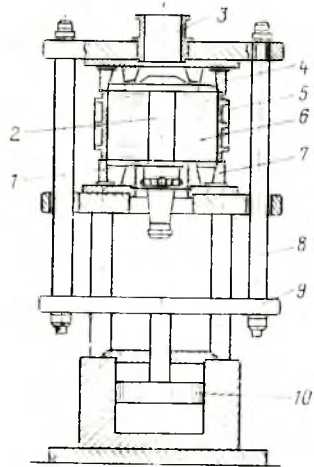


Рис. 23.4. Схема заливки роторов статическим способом.

Остывание отливки и кристаллизация алюминия происходят снизу вверх. Алюминий в летниках остывает последним. Вследствие этого верхняя часть отливки имеет больше литевых дефектов. Давление пресса выдерживают до затвердевания алюминия. Затем пресс-форму открывают. При этом плита 9 упирается в нижнюю часть оправки 2 и выталкивает ротор из нижней части пресс-формы 7. Извлечение оправки 2 из сердечника ротора производят либо выпрессовкой на гидропрессе при температуре ротора $70\text{--}100^\circ\text{C}$, либо выбивкой на копре из остывшего ротора.

Сущность вибрационного способа заливки заключается в том, что в процессе заливки и кристаллизации металла форме сообщается колебательное движение. Хотя механизм влияния вибрации на процесс кристаллизации металла во многом еще не ясен, рядом экспериментальных работ и опытом практического применения доказано, что с помощью вибрации можно устранить или значительно уменьшить наиболее распространенные дефекты строения отливки. Доказано, что вибрация способствует выделению газов и неметаллических включений из расплава, образованию мелкой и однородной структуры. Воздействие вибрации на процесс кристаллизации металла проявляется также в изменении формы и объема усадочной раковины, пористости металла.

Сущность центробежного способа заключается в том, что сердечник ротора вместе с формой в процессе заливки вращается вокруг вертикальной оси, а жидкий алюминиевый расплав заливается через центральное отверстие. Частота вращения формы находится в пределах $130\text{--}200$ об/мин и зависит от длины и диаметра сердечника. Способ обеспечивает получение роторов удовлетворительного ка-

чества. Однако центробежный способ заливки не обеспечивает направленной кристаллизации алюминия в процессе остывания, что приводит к образованию скрытых усадочных раковин в нижнем замыкающем кольце. В стержне ротора имеется неравномерная плотность металла, которая увеличивается к периферии сердечника. К недостаткам способа следует также отнести трудности его механизации, сложность оборудования, небезопасность работы. Центробежный способ заливки роторов начал применяться почти одновременно с введением литых клеток роторов и до середины 50-х годов был наиболее распространенным. В последние десятилетия имеется тенденция к сокращению применения этого способа [15].

23.5. ОЦЕНКА СПОСОБОВ ЗАЛИВКИ РОТОРОВ

Оценку и сопоставление применяемых способов заливки роторов следует производить по их влиянию на основные показатели электродвигателя и технико-экономические показатели производства. Для заливки роторов с наружным диаметром до 200—250 мм наибольшее применение находит способ литья под высоким давлением. Применение этого способа обусловлено высокой производительностью установок. Одна установка позволяет заливать от 0,3 до 1 млн. роторов в год. Приемлемое качество заливаемых роторов удалось достигнуть тщательной отработкой и соблюдением режимов заливки, разработкой специального оборудования, улучшением качества заливаемых сердечников. Автоматизация процесса заливки позволяет получить стабильное качество роторов.

Заливка роторов под низким давлением в последние годы находит все большее применение и при механизации процесса позволяет иметь установки с производительностью до 0,15—0,2 млн. шт. в год. При этом способе заливки качество роторов выше, чем при любом другом способе. Оборудование, необходимое для заливки роторов под низким давлением, не сложно и имеет сравнительно низкую стоимость.

При статическом способе заливки качество отливок получается самым низким. Наиболее характерные дефекты беличей клетки — спаи, недоливы, раковины, уменьшение сечения стержней относительно размеров пазов, обрывы стержней. Указанные дефекты являются прежде всего следствием недостаточного давления на расплавленный металл, которое определяется высотой литниковой системы. Образующаяся на поверхности расплавленного алюминия оксидная пленка при заливке статическим способом не измельчается и, попадая в паз, может служить причиной спаев и разрывов стержней.

При центробежном способе заливки роторов обеспечивается их удовлетворительное качество. Однако эта технология не приемлема для крупносерийного и массового производства из-за высокой трудоемкости и большого объема ручных работ. При заливке роторов больших габаритов центробежная машина громоздка, а при роторах малых диаметров малоэффективна.

При вибрационном способе заливки качество роторов получается более высоким, чем роторов, полученных статическим способом. Благодаря вибрации хорошо измельчается оксидная пленка, происходит уплотнение стержней. Особенно хорошие результаты по сравнению с другими способами получаются при заливке роторов с малыми сечениями пазов, а также при заливке крупных роторов.

Для контроля качества заливки стержней разработаны различные приборы, которыми должны проверяться роторы после их проточки. Однако все приборы имеют существенные недостатки, поэтому все заводы о качестве залитых роторов судят по характеристикам машины при испытании ее после сборки.

23.6. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРОТКОЗАМКНУТЫХ РОТОРОВ С ОБМОТКОЙ ИЗ МЕДНЫХ ИЛИ ЛАТУННЫХ СТЕРЖНЕЙ

На рис. 23.5, *а* — *в* показаны роторы с двойной клеткой, с глубоким и бутылочным пазами. Трудоемкость изготовления обмотки во многом зависит от ее конструкции.

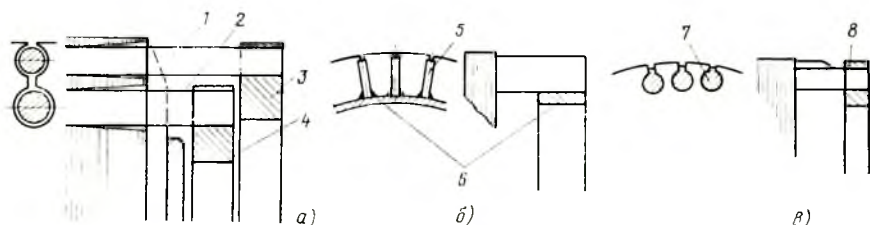


Рис. 23.5. Ротор с двойной клеткой (*а*), с глубоким (*б*) и бутылочным (*в*) пазами.

1, 2 — круглые стержни пусковой и рабочей обмоток; 3, 4, 6, 8 — короткозамыкающие кольца; 5 — плоский стержень глубокого паза; 7 — стержень бутылочного паза.

Технологический процесс изготовления роторов с обмоткой из медных и латунных стержней (рис. 23.5, *а*) включает следующие операции: резку стержней; снятие заходной фаски на стержнях; забивку стержней в пазы сердечника ротора; гибку медных полос в кольца; сверление отверстий в кольцах; установку колец на ротор; сварку стержней и колец ротора. В зависимости от профиля паза ротора стержни могут быть круглой, прямоугольной или фасонной формы. Заготовки стержней нарубают из прутков на пресс-штампами и после рубки при необходимости правят. Для лучшего захода стержней в пазы сердечника и короткозамыкающие кольца на концах стержней снимают заходную фаску. Короткозамыкающие кольца изготавливают из медных полос гибкой на ребро в кольцо и последующей сваркой стыка. Наиболее трудоемкой операцией является сверление отверстий в кольце. Сверление производят на сверлильных станках, используя накладные кондукто-

ра. После сверления с двух сторон каждого отверстия снимают фаску. Фаски необходимы для удобства сборки и сварки кольца со стержнями. Стержни забивают в пазы и устанавливают с обеих сторон короткозамыкающие кольца. Зазор между стержнями и отверстиями в кольце должен быть в пределах 0,15—0,20 мм. При этом концы стержней должны выступать из отверстий кольца. После сборки стержни и кольца сваривают. Сварку можно производить газовой горелкой или угольными электродами. В качестве припоя используют медно-фосфористый припой ПМФ.

Рассмотрим работу устройства для полуавтоматической сварки стержней с короткозамыкающими кольцами угольными электродами (рис. 23.6). Ротор 5 устанавливают на поворотный стол 2, вращающийся на стойке 1. Поворотный стол имеет привод, который на рисунке не показан. Частота вращения привода 0,05—0,2 об/мин. Один провод от сварочного трансформатора 3 подведен к головке угольного электрода 4, а другой — к медному контакту 6 через головку 7. Контакт 6 находится на валу ротора. Охлаждение при сварке осуществляется водой, которая подводится к контакту 6 по трубам 8, а к электроду по трубам 9. При включении установки ротор начинает медленно поворачиваться, и в месте контакта угольного электрода происходит нагревание кольца и стержней до температуры сварки. Припой подается вручную на каждый стержень в месте его входа в кольцо. Припой заполняет зазоры между кольцом и стержнем, а вокруг каждого стержня, в месте его входа в кольцо, образуется валик. После сварки одного кольца ротор переворачивают и сваривают второе кольцо.

При работе машины стержни нагреваются. Чтобы исключить изгиб и отрыв стержней, их расчеканивают. Расчеканку производят на середине длины стержня. Для этого зубилом и молотком сминают края двух зубцов так, чтобы они защемили стержень. Будучи закрепленным посередине, стержень при нагреве удлиняется в обе стороны сердечника, что снижает вероятность его изгиба или обрыва.

Конструкция ротора рис. 23.5, б имеет короткозамкнутое кольцо из полосы, которая приваривается к стержню с внутренней стороны. При такой конструкции уменьшается трудоемкость механической обработки кольца, но увеличивается трудоемкость сварки. Использование полуавтоматической установки (рис. 23.6) невозможно, так как сварочный шов должен накладываться вдоль стержня.

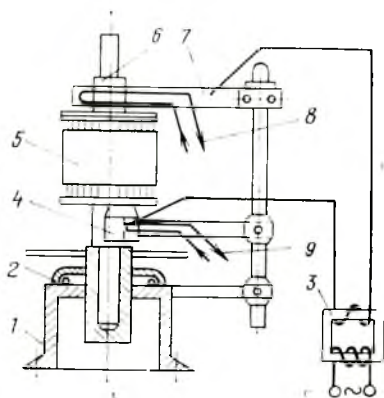


Рис. 23.6. Устройство для полуавтоматической сварки короткозамкнутого кольца и стержней.

При изготовлении роторов с пазами бутылочного типа у стержней в месте входа в отверстие кольца удаляется верхняя полка и стержень заводится в отверстие в кольце. Это позволяет производить сварку на полуавтоматической установке.

Глава двадцать четвертая

ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

24.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ

Сборка электрических машин является заключительным технологическим процессом, при котором комплектные узлы и отдельные детали соединяются в готовое изделие. От правильно выбранного технологического процесса и качественного выполнения всех операций зависят энергетические и эксплуатационные показатели электрической машины: КПД, уровень вибрации и шума, надежность и долговечность.

Технологический процесс сборки складывается из ряда операций, заключающихся в соединении сопрягаемых деталей в узлы, а узлов в машину, отвечающую требованиям чертежей и технических условий.

Технологий сборки можно разделить на сборку узлов и общую сборку. **Узлом** называют часть машины, состоящую из нескольких деталей, которые можно собрать самостоятельно, отдельно от других элементов машины. В электрической машине, как правило, различают следующие узлы: статор, ротор, индуктор, якорь, щеточный аппарат и т. п. Детали электрической машины при соединении их в узлы должны сохранять определенное положение в пределах заданной точности. В одних случаях при сборке должен быть выдержан зазор, обеспечивающий взаимное перемещение деталей, в других — необходимый натяг, обеспечивающий прочность их соединения.

В зависимости от вида производства применяют пять основных способов сборки: 1) при полной взаимозаменяемости деталей (узлов); 2) с сортировкой деталей по группам (способ группового подбора); 3) с подбором деталей (неполная взаимозаменяемость); 4) с применением компенсаторов; 5) с индивидуальной пригонкой детали по месту.

Электрические машины весьма разнообразны по конструкции, назначению, массе и другим показателям. Производство электрических машин осуществляется от единичных экземпляров до нескольких сотен тысяч. При их сборке практически находят применение все указанные способы.

В поточно-массовом производстве при сборке машин из готовых узлов в основном используется способ полной взаимозаменяемости. Статор, ротор, подшипниковые щиты взаимозаменяемы.

Однако отдельные узлы собирают по способу индивидуальной пригонки по месту. Например, при сборке сердечника статора и корпуса для достижения необходимой соосности внутреннего диаметра сердечника и замков корпуса механическую обработку замков производят на базе внутреннего диаметра сердечника. Таким же методом получают соосность наружного диаметра сердечника ротора и шеек вала под посадку подшипника.

В крупных электрических машинах при сборке обмотки и сердечника используют способы подбора деталей и компенсаторов. Для того чтобы катушки плотно сидели в пазу, перед забивкой клина устанавливают столько прокладок под клин, сколько необходимо, чтобы заполнить все оставшееся пространство между клином и катушкой. При скреплении лобовых частей катушек между ними устанавливают столько прокладок, сколько необходимо, чтобы заполнить весь промежуток между катушками.

Основными организационными формами сборки являются стационарная и подвижная. При стационарной сборке машина полностью собирается на одном рабочем месте. Все детали и узлы, требуемые для сборки, поступают на рабочее место. Стационарная сборка применяется в единичном и серийном производстве и производится концентрированным или дифференцированным способом. При концентрированном способе сборочный процесс не расчленяется на операции и сборка электрической машины от начала до конца производится одним рабочим или одной бригадой. При дифференцированной сборке сборочный процесс расчленяется на операции. Выполнение каждой операции производится рабочим или бригадой.

При подвижной сборке машина перемещается от одного рабочего места к другому. Рабочие места оснащены необходимым сборочным инструментом и приспособлениями, на каждом из них выполняется одна и та же операция. Подвижная форма сборки применяется в крупносерийном и массовом производстве и производится только дифференцированным способом. Такая форма сборки является более прогрессивной, так как позволяет специализировать сборщиков на определенных операциях, в результате чего повышается производительность труда. В процессе производства объект сборки должен последовательно переходить от одного рабочего места к другому по потоку. Под этим понятием подразумевается движение собираемого изделия, обычно осуществляемое конвейерами. Непрерывность процесса при поточной сборке достигается благодаря равенству или кратности времени выполнения операций на всех рабочих местах линии сборки, т. е. длительность любой сборочной операции на линии сборки должна быть равна или кратна ритму сборки изделия.

Ритм сборки на конвейере является планирующим началом для организации работы не только сборочного, но и всех заготовительных и вспомогательных цехов завода.

Большое разнообразие электрических машин по конструкции и габаритам вызывает большое разнообразие технологических про-

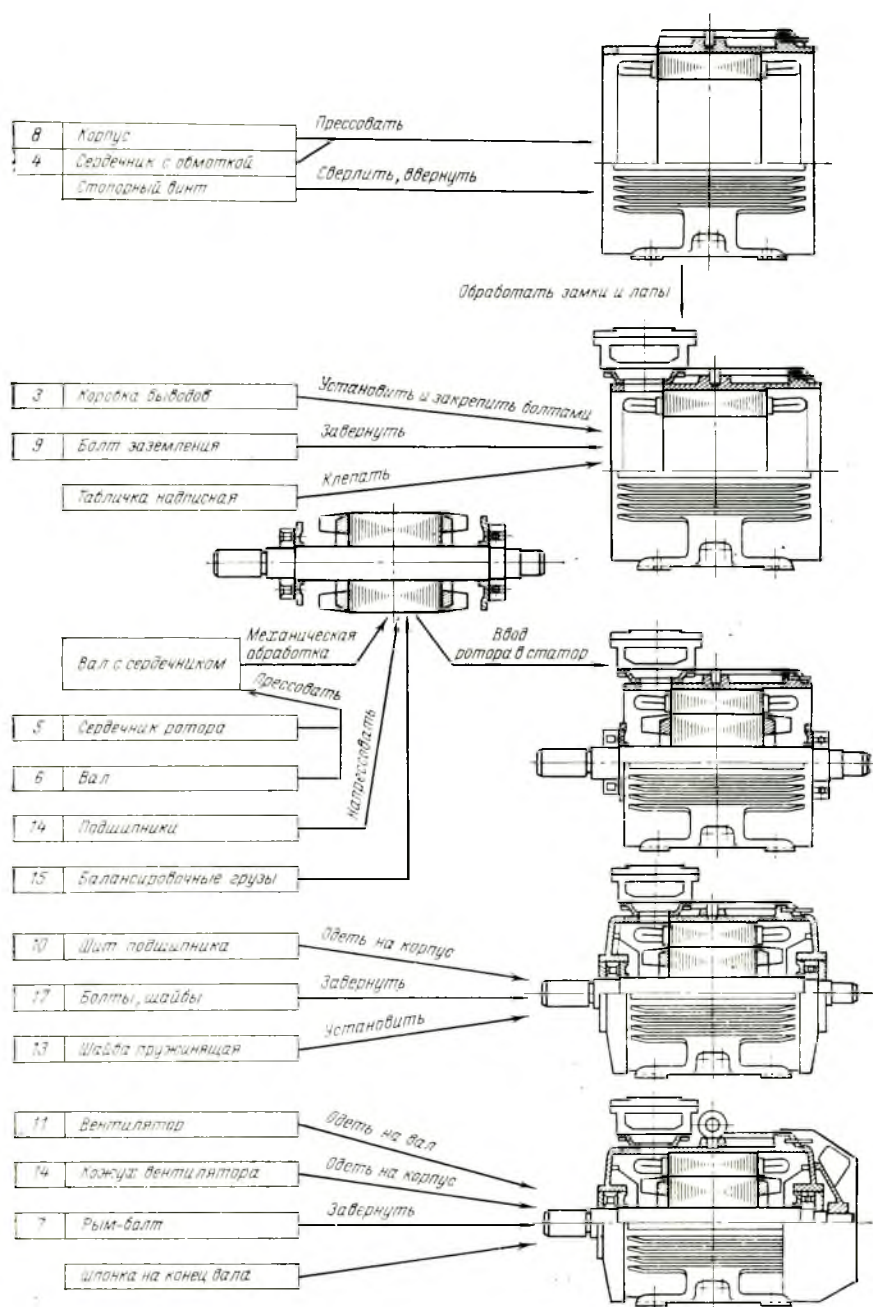


Рис. 24.1. Состав операций и порядок их следования при сборке асинхронного двигателя. Цифрами указаны позиции на рис. 1.3.

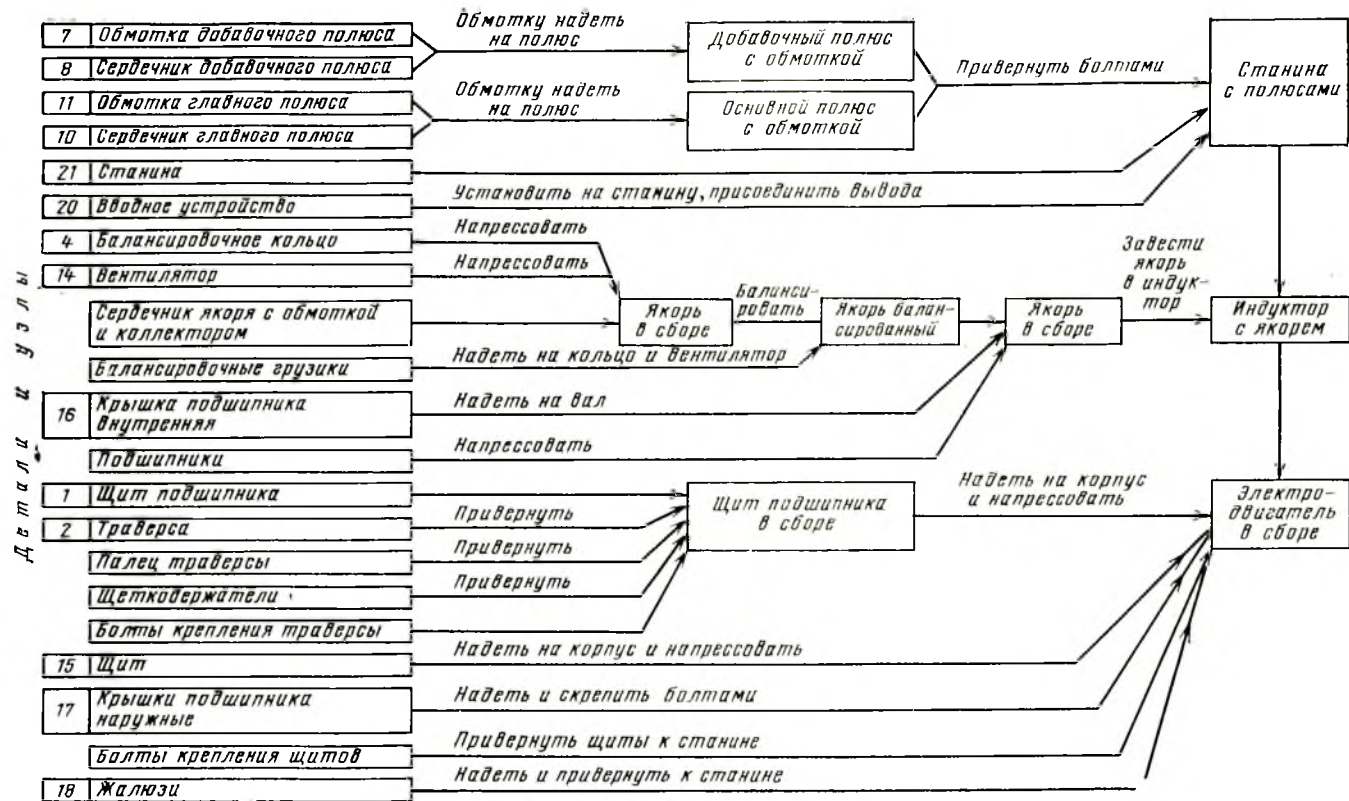


Рис. 24.2. Состав операций и порядок их следования при сборке машины постоянного тока. Цифрами указаны позиции на рис. 1.5.

цессов сборки. Выбор технологического процесса сборки, порядка следования операций, оборудования определяется конструкцией машины, объемом выпускаемых машин, степенью их унификации, конкретными условиями, имеющимися на заводе.

В этой главе рассматриваются технологические процессы сборки наиболее массовых электрических машин, технология сборки типовых соединений, присущих большинству машин.

Технология сборки крупных электрических машин рассматривается в [9—11].

Состав операций и порядок их следования при сборке асинхронного электродвигателя (см. рис. 1,2) приведены на рис. 24.1, а при сборке электрической машины постоянного тока (см. рис. 1.4) на рис. 24.2.

При сборке используются посадки с натягом, переходные и с зазором. Выбор посадок производится конструктором и указывается в чертеже. Технолог выбирает способ выполнения посадки и соответствующее оборудование. Разрабатывая технологический процесс, технолог назначает порядок следования операций, определяет механизмы для сборки и контроля и выбирает средства перемещения деталей и узлов.

24.2. СБОРКА ТИПОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ

а) Сборка соединений с натягом

Соединения с натягом применяются для получения неподвижных соединений, как правило, без дополнительного крепления винтами, штифтами, шпонками и другими деталями.

Относительная неподвижность достигается вследствие напряжений, возникающих в материале сопрягаемых деталей, деформации их контактных поверхностей. При прочих равных условиях напряжения пропорционально натягу.

Прочность сопряжения при одном и том же натяге зависит от принятого способа сопряжения, материала и размеров деталей, шероховатости поверхностей, рода смазки и скорости запрессовки, условий нагрева или охлаждения и т. п.

Наиболее известный и несложный — процесс соединения под прессом. Усилия запрессовки могут быть значительными, особенно при больших натягах и размерах посадочных поверхностей. Максимальное усилие запрессовки можно определить по формуле

$$P = pl\pi df,$$

где P — максимальное усилие запрессовки, Н; p — давление на посадочной поверхности, Па; l , d — длина и диаметр посадочной поверхности, м; f — коэффициент трения сопрягающихся поверхностей (для сталей и чугунов в среднем $f=0,1\div 0,15$).

Для облегчения запрессовки применяют тепловую сборку, нагрев охватываемой детали или охлаждение охватываемой детали,

а также то и другое вместе. При запрессовке небольших деталей в крупные корпусные практически применим только способ охлаждения охватываемой детали.

Тепловая сборка существенно (в среднем в 1,2—1,5 раза) увеличивает несущую способность соединений с натягом. Это объясняется тем, что при сборке под прессом микронеровности сминаются, в то время как при тепловой сборке они, смыкаясь, заходят друг в друга, что повышает коэффициент трения и прочность сцепления. Следовательно, в неразборных соединениях можно снизить натяг, применив тепловую сборку.

При достаточно высоком нагреве охватывающей детали (или глубоком охлаждении охватываемой) можно получить нулевой натяг или обеспечить зазор h при сборке соединения.

Для получения зазора h температура нагрева охватывающей детали определяется по формуле

$$t = \frac{\Delta + h}{d\alpha_1} + t_0,$$

где Δ — максимальный натяг в соединении, м (указан в чертеже); α_1 — температурный коэффициент линейного расширения материала охватывающей детали, $^{\circ}\text{C}^{-1}$; t_0 — температура помещения сборки, $^{\circ}\text{C}$.

Для случая охлаждения охватываемой детали

$$t = -\left(\frac{\Delta + h}{d\alpha_2} + t_0\right),$$

здесь α_2 — температурный коэффициент линейного расширения материала охватываемой детали при отрицательных температурах.

Температура нагрева охватывающей детали не должна превышать 400°C , так как превышение температуры может привести к изменению структуры металла, появлению окалины, из-за которой сопряжение станет трудноразъемным, короблениям. При охлаждении охватываемой детали эти явления не наблюдаются. Однако способ охлаждения уступает нагреву, так как при нем возможна реализация соединений с относительно меньшими натягами. Охватываемая деталь может охлаждаться с помощью сухого льда (твердая двуокись углерода, температура испарения — 79°C), твердой двуокиси углерода и спирта (температура испарения около — 100°C), жидкого кислорода (температура испарения — 183°C), жидкого азота (температура испарения — 196°C). При этом разность температур охватываемой и охватывающей деталей получается меньше, чем при нагреве. Кроме того, технологически более сложно охлаждение детали, чем ее нагрев.

Возможны комбинированные способы. Соединения с натягом в электрических машинах используются при соединении сердечника ротора с валом (в машинах малой мощности), креплении сердечника ротора от осевых перемещений втулками (машины постоянного тока), креплении внутренней обоймы подшипников на валу, креплении сердечников статора в корпус и т. п. В некото-

рых случаях осуществляют дополнительное крепление сопрягаемых деталей и узлов винтами или шпонками.

б) Сборка узла подшипника

В электрических машинах применяются различные типы подшипников в зависимости от конструкции машины, характера нагрузки и ее значения. Как правило, внутреннее кольцо подшипника насаживается на вал с натягом и при очередных разборках с вала не снимается, а наружное кольцо входит в подшипниковый щит подвижно. Поля допусков на вал и подшипниковый щит устанавливаются ГОСТ.

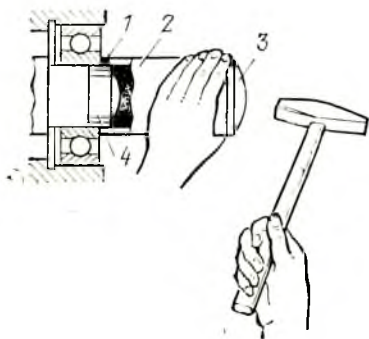


Рис. 24.3. Насадка подшипников монтажной трубой.

Монтаж подшипников на вал и в щит — весьма ответственная операция. Со складов завода на сборочный участок подшипники подаются в упакованном виде. Перед установкой подшипники должны быть расконсервированы и промыты. Промывка производится в ваннах с минеральным маслом, нагретым до температуры 80—100 °С. Обогрев ванн желательно осуществлять паром для снижения пожароопасности установок. Ванны должны иметь отсос паров масла. Подшипники загружают в корзину, которую опускают в ванну. Из корзины подшипники извлекают крючком и в горячем состоянии надевают на вал. Для надевания подшипников небольшого диаметра используют гидравлические или пневматические прессы. После установки в подшипник набивают смазку.

В некоторых электродвигателях применены закрытые подшипники со смазкой, заложённой в подшипник на заводе-изготовителе. Такой подшипник устанавливают на вал без расконсервации и промывки, следует только снять упаковку.

При монтаже более крупных подшипников используют простейшие приспособления (рис. 24.3), изготовленные из трубы 2 с ободком 1 из мягкого металла. Диаметр трубы должен быть несколько больше диаметра вала 4 и упираться во внутреннее кольцо подшипника. Конец трубы заглушается металлической пробкой 3. Перед насадкой подшипник нагревают.

Роликовый подшипник перед сборкой разбирают. Из него извлекают внутреннюю обойму, которая в нагретом виде надевается на вал. Остальную часть подшипника надевают на внутреннюю обойму после ее остывания или устанавливают в щит и сборку подшипника производят при надевании щита.

Посадку подшипников выполняют до упора внутренней обоймы в буртик на валу (рис. 24.4, а — и). В малонагруженных валах применяют буртики с поднутряющей канавкой для выхода шли-

фовального камня (рис. 24.4, а, б). В циклически нагруженных валах для повышения выносливости цилиндрическую поверхность вала соединяют с буртиком галтелью (рис. 24.4, в). Радиус галтели из условия плотного прилегания торца обоймы к буртику должен быть не более $0,8R$, где R — радиус галтели (или катет фаски) обоймы подшипника. В переходах с галтелями большого радиуса и эллиптическими, а также в конических переходах применяют промежуточные упорные шайбы (рис. 24.4, г—е). Посадочную

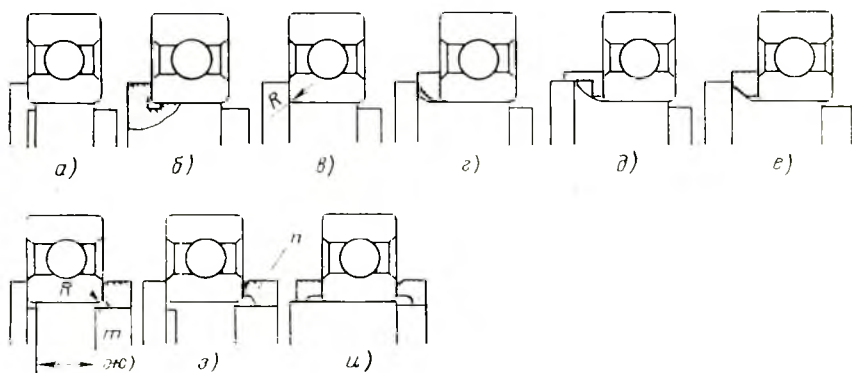


Рис. 24.4. Посадка подшипников на вал.

поверхность (рис. 24.4, ж) обычно доводят лишь до галтели подшипника. На втулке делают фаску под углом 45° для перекрытия ступеньки m и облегчения монтажа втулки на вал. Поднутрение втулки кольцевой выточкой n (рис. 24.4, з) обеспечивает более надежную затяжку. В промежуточных установках с затяжкой подшипника между двумя втулками применение поднутряющих выточек обязательно (рис. 24.4, и). В установках с креплением гайкой всегда применяют мелкую резьбу. Высоту упорных буртиков и других элементов, фиксирующих подшипники в осевом направлении, определяют с учетом условий демонтажа подшипников.

Подшипники качения монтируют и демонтируют с приложением усилия только к закрепленной обойме (внутренней обойме при посадке подшипников с натягом на вал и наружной при посадке с натягом в корпус). Воздействовать на другую обойму нельзя, так как в этом случае усилие передается через тела качения и беговые дорожки, которые при этом могут быть повреждены. Если в машине предусмотрены внутренние крышки подшипников, балансировочные кольца или другие детали, то они должны быть надеты на вал до монтажа подшипников.

Наиболее качественно можно произвести посадку подшипника на вал в гидро- или пневмоприспособлениях. При этом подшипник насаживается на вал без ударов и перекосов. Иногда посадку подшипникового щита и подшипников объединяют и производят на одном приспособлении.

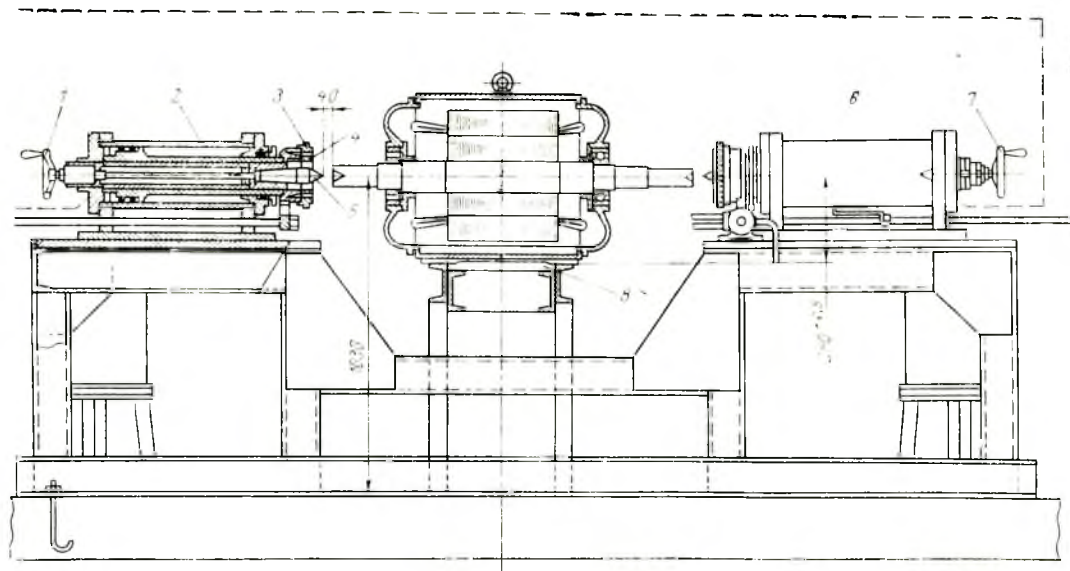


Рис. 24.5. Пресс для напрессовки подшипников и подшипниковых щитов.

На рис. 24.5 показан пресс для напрессовки подшипников и подшипниковых щитов на электродвигатели 9-го габарита. Электродвигатель находится на конвейере 8. Левая 2 и правая 6 бабки представляют собой цилиндры, в которых ходят штоки с головками — каждая головка имеет центр 5 для фиксирования положения двигателя, внутреннее прессовочное кольцо 4, которое упирается во внутреннюю обойму подшипника, и наружное прессовочное кольцо 3, которое упирается в щит подшипника. Головки штоков сменные, в зависимости от собираемых двигателей. При включении пресса штоки выходят из цилиндров и последовательно осуществляют центровку двигателя, а затем напрессовку подшипника на вал, а щита в замок корпуса. Рукоятки 1 и 7 позволяют регулировать расстояние между центрами. Ход поршня левой бабки 300 мм, а правой 380 мм. Расчетное усилие пресса при давлении в гидросистеме 5 МПа составляет 0,076 МН.

в) Запрессовка сердечника статора

Сердечники статора запрессовывают в корпус на гидравлических прессах. На рис. 24.6 показана типовая схема запрессовки, которая используется практически на всех заводах. Сердечник

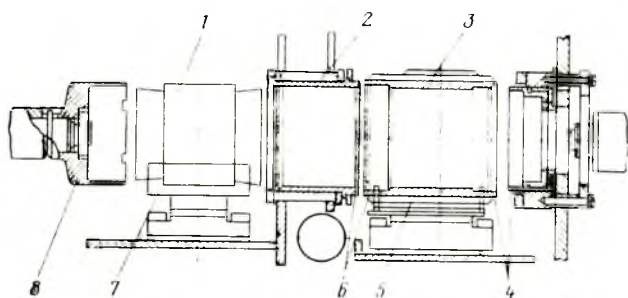


Рис. 24.6. Схема запрессовки сердечника статора в корпус.

статора 1 и корпус 3 устанавливают на стол подачи: сердечник — в призму 7, ориентируя по выводным концам, а корпус — на спутник 5. После включения пресса стол подачи перемещается на позицию прессования, где корпус центрируется по замкам 4 и 6 и зажимается. Затем прессующая головка 8 перемещает сердечник по призме и через направляющую головку 2 запрессовывает его в корпус. Как только сердечник входит во втулку, стол подачи возвращается в исходное положение. По окончании прессования статор освобождается и сталкивается с центрирующего кольца. При переналадке пресса на другую длину изделий необходимо сменить дистанционные и центрирующие кольца. Для лучшей запрессовки на корпусе должны быть предусмотрены заходные фаски.

г) Заведение ротора в статор

Заведение ротора в статор является ответственной операцией, так как воздушный зазор весьма мал. Если масса ротора до 20—25 кг, его заводят руками. При большой массе ротор можно завести в статор при помощи приспособления, показанного на рис. 24.7. Грузоподъемное кольцо 1 стараются располагать по цен-

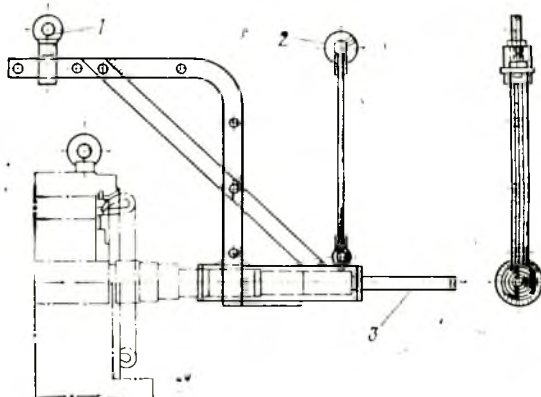


Рис. 24.7. Приспособление для ввода ротора в статор.

тру тяжести ротора. Грузоподъемное кольцо 2 поддерживающее. Рукоятка 3 позволяет придавать ротору нужное направление. При операции ввода ротора при помощи такого приспособления крановщик, поднимающий ротор, должен иметь высокую квалификацию.

Крупные машины часто собираются на месте монтажа. При заведении ротора требуются специальные приспособления и подъемные средства. После заведения ротора в статор производят надевание щитов.

д) Сборка подшипниковых щитов и крышек подшипников

Подшипниковые щиты надевают на корпус и наружную обойму подшипника по переходной посадке. В машинах, работающих в тяжелых условиях, возможны посадки щита на корпус с натягом. Во всех случаях, в подшипниковых щитах и корпусе предусматривают заходные фаски. Щиты диаметром до 500 мм в крупносерийном производстве могут запрессовываться вместе с подшипниками. Щиты большего диаметра подают на сборку подъемными средствами и надевают на наружное кольцо подшипника, а затем придвигают плотно к станине и наживляют болты. Для совпаде-

ния крепежных отверстий в щитах и внутренних крышках подшипников в последние ввертывают длинную технологическую шпильку, которую вводят в крепежное отверстие щита при его придвигании к станине. Крышку подшипника к внутренней поверхности щита подтягивают за выступающий конец шпильки. Затем надевают наружную крышку подшипника на вал, а одним отверстием на шпильку и наживляют болты. После этого вывертывают технологическую шпильку, и в это отверстие наживляют последний болт. Затем заворачивают болты и постукивают по щиту для того, чтобы его замок и замок на корпусе соединились. Затягивая болты до отказа, производят посадку щита. При этом замок на щите и корпусе должны цилиндрическими поверхностями сомкнуться без задиrow, а вертикальные поверхности плотно сомкнуться по всему периметру.

Качество сборки резьбовых соединений зависит от правильной затяжки болтов и гаек, шероховатости поверхностей и перпендикулярности торца болта или гайки и бобышки под них. Качество сборки также зависит от шероховатости сопрягаемых поверхностей. Сборку болтовых соединений следует производить завинчиванием от руки до соприкосновения болта с деталью, а затем завинчивают ключом до полной затяжки. Длина рукоятки ключа не должна превышать 15 диаметров резьбы, что обеспечивает нормальную затяжку и предотвращает срыв резьбы. Для обеспечения достаточной плотности соединения затяжку следует выполнять тарированными ключами. Момент затяжки должен быть равен заданному крутящему моменту. Для предотвращения самоотвинчивания болтов устанавливают пружинные шайбы. При расположении болтовых соединений по окружности затягивают болты крест-накрест. При сборках широко используют торцовые ключи, а также болтоверты.

При сборке на конвейерах широко используются многошпиндельные болтоверты. На рис. 24.8 показан многошпиндельный болтоверт для крепления подшипниковых щитов и крышек подшипников.

Двигатель 6 устанавливается на конвейере 9. Головки 2 и 7 имеют необходимое количество торцовых ключей. Длинные ключи 4 предназначены для заворачивания болтов, крепящих щит к корпусу, а короткие ключи 5 — для заворачивания болтов, крепящих подшипниковые крышки. Привод ключей осуществляют от электродвигателей 1 и 8. Для более легкого захода головки болтов в ключи последние сделаны плавающими. При включении болтоверта цилиндр 11 при помощи системы рычагов 10 сводит головки. Затем включается привод ключей и производится заворачивание болтов.

Для того чтобы усилие затяжки не превысило заданного усилия, в головках ключей устанавливается приспособление 3, которое обеспечивает проскальзывание ключа при достижении необходимого момента. После заворачивания всех болтов головки разводятся в исходное положение.

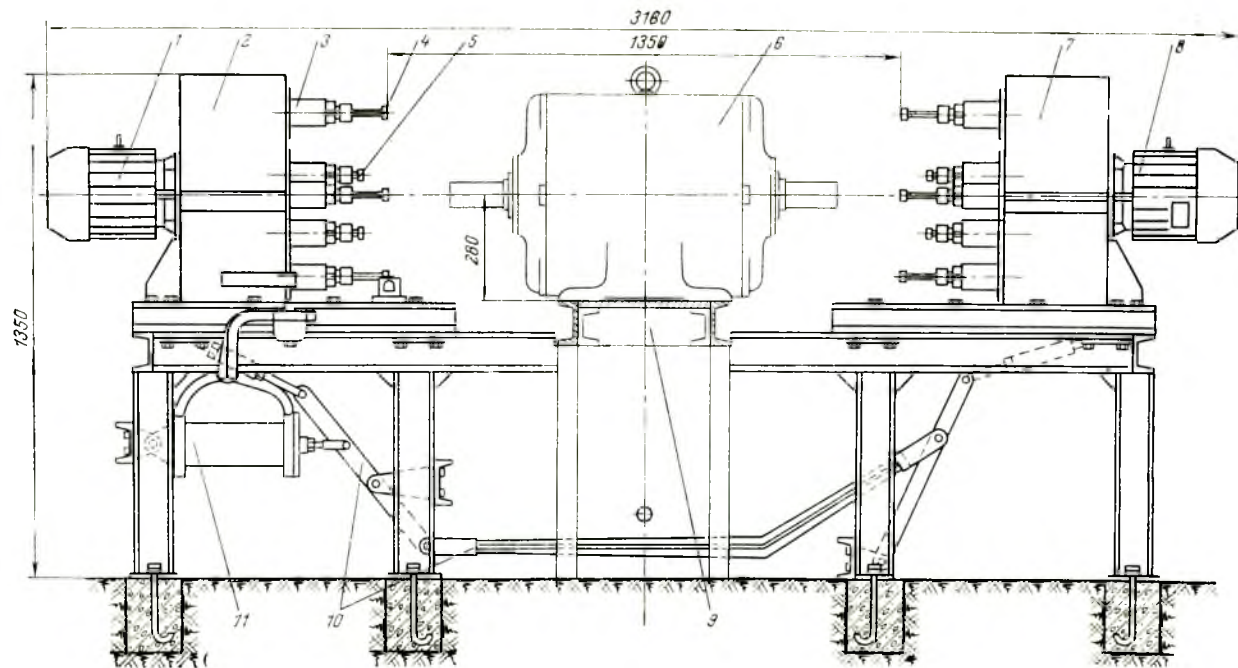


Рис. 24.8. Схема многоспindleльных болтовертов.

а) Нормы остаточных неуравновешенностей роторов

В собранных роторах электрических машин вследствие неравномерного распределения масс главная ось инерции редко совпадает с осью вращения. Такие роторы называются неуравновешенными. Смещение оси инерции является результатом неточностей изготовления. В зависимости от взаимного расположения этих осей неуравновешенность разделяют на три вида: статическую, моментную и динамическую. Все три вида неуравновешенности вызывают вибрацию, которая разрушает подшипники, обмотку, ухудшает коммутацию и т. д. Частота вибрации равна частоте вращения ротора. Для устранения вредного влияния неуравновешенности вращающиеся детали подвергают балансировке.

Балансировка — это технологическая операция, в процессе которой находят значение неуравновешенной массы и ее расположение, а затем производят ее уравнивание путем добавления грузов на легкие стороны или удаление части металла с тяжелых сторон. Нормы допустимой остаточной (после операции балансировки) неуравновешенности роторов и методы ее измерения регламентированы ГОСТ 12327-79.

Установлены три класса точности уравнивания: нулевой, первый и второй. Наименьшую остаточную неуравновешенность допускает нулевой класс. Значения остаточной неуравновешенности в одном классе точности для роторов с различной массой различны. Стандарт делит роторы электрических машин в зависимости от их массы на три группы: с массой от 0,01 до 0,1 кг (микророторы); с массой свыше 0,1 до 3 кг (малые роторы); с массой свыше 3 до 1000 кг (средние роторы). На рис. 24.9 показаны допустимые остаточные неуравновешенности для роторов массой свыше 3 до 1000 кг. В ГОСТ 12327-79 даются общие указания и рекомендации по выбору класса точности уравнивания.

Для электрических машин общего назначения с обычными требованиями по уровню вибрации достаточно уравнивания по второму классу точности. Такие электрические машины собирают, как правило, с подшипниками класса Н. Уравнивание по первому классу точности рекомендуется для электрических машин с повышенными требованиями по уровню вибрации, например элек-

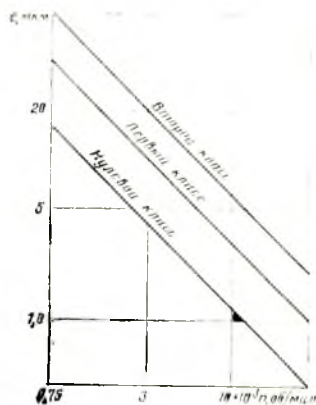


Рис. 24.9. Допустимые остаточные неуравновешенности для роторов массой свыше 3 до 1000 кг.

трических машин для станков повышенной точности, электрических машин с подшипниками классов П и В. Уравновешивание по нулевому классу точности необходимо для электрических машин, работающих с подшипниками классов А и С.

Второй класс точности уравновешивания может быть получен при балансировке ротора на окончательно обработанных шейках вала. Роторы с первым классом точности уравновешивания рекомендуются уравновешивать на балансировочном станке в собственных подшипниках. Балансировку ротора с нулевым классом точности уравновешивания необходимо производить на балансировочном станке в собственных подшипниках (или на внутренних кольцах подшипников). В конструкции таких электрических машин должна быть предусмотрена возможность подбалансировки в окончательно собранной машине.

Роторы электрических машин и детали, устанавливаемые на отбалансированный ротор (вентиляторы, коллекторы, муфты, шкивы и т. п.) должны быть конструктивно уравновешены, т. е. конструкция ротора (детали), если предположить, что точно соблюдены номинальные размеры и однородность материала, должна обеспечивать отсутствие неуравновешенности при вращении. Детали, устанавливаемые на отбалансированный ротор, должны перед установкой балансироваться отдельно. Если детали устанавливаются на ротор при помощи шпонки, то они должны балансироваться со шпонкой, а ротор балансируется без шпонки.

Согласно стандарту компенсация неуравновешенности должна производиться в двух плоскостях исправления при отношении осевого размера к диаметру $L/D \geq 0,2$; при $L/D < 0,2$ допускается одна плоскость исправления.

Плоскостями исправления называют плоскости, перпендикулярные оси вращения, в которых путем добавления или удаления массы осуществляется компенсация неуравновешенности. При этом в качестве плоскостей исправления могут быть использованы плоскости деталей, имеющих другие функции (нажимные шайбы, вентиляторы, коллекторы), или плоскости исправления могут создаваться специальными балансировочными кольцами.

При одной плоскости исправления ротор можно балансировать статически или динамически. При двух плоскостях исправления роторы должны балансироваться только динамически. Сказанное здесь и далее о балансировке роторов в полной мере относится к якорям.

Порядок назначения меры остаточной неуравновешенности следующий. Конструктор назначает класс точности неуравновешенности в зависимости от условий работы машины. Далее, зная массу ротора (якоря), частоту вращения и назначенный класс точности, по ГОСТ 12327-79 находят значение удельной неуравновешенности e , мкм (10^{-3} мм). Меру остаточной неуравновешенности определяют как

$$= eM = mr,$$

где Δ — мера неуравновешенности ротора; m — неуравновешенная масса; r — радиус расположения неуравновешенной массы; e — удельная неуравновешенность; M — масса ротора.

Выбирая плоскости исправления и радиус, на котором будут располагаться балансировочные грузы, следует учитывать, что при одном и том же значении mr масса груза на большем радиусе будет меньше. При двух плоскостях исправления необходимо определить допустимые остаточные неуравновешенности в плоскостях исправления $I(\Delta_1)$ и $II(\Delta_2)$, расположенных между опорами по разные стороны от центра тяжести ротора (рис. 24.10):

$$\Delta_1 = Me \frac{l_2 - l_C}{l_2 - l_1}; \quad \Delta_2 = Me \frac{l_C - l_1}{l_2 - l_1},$$

где l_1, l_2 — расстояние от левой опоры A до плоскостей исправления I и II , м; l_C — расстояние от левой опоры A до центра тяжести ротора C , м.

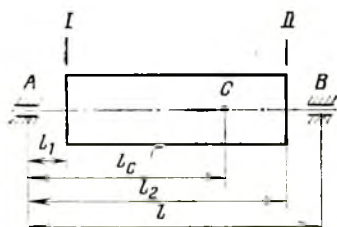


Рис. 24.10. Схема расположения плоскостей исправления ротора.

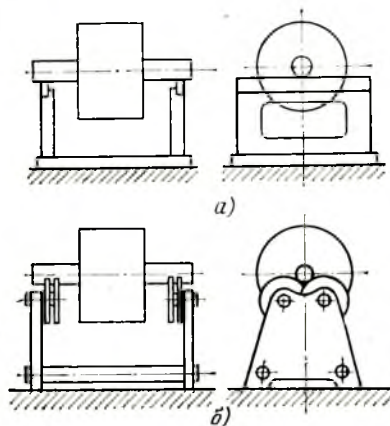


Рис. 24.11. Методы статической балансировки на стальных параллельных призмах (а) и роликах (б).

При симметричном расположении плоскостей исправления относительно центра тяжести $\Delta_1 = \Delta_2 = 0,5 Me$, а при одной плоскости исправления $\Delta = Me$.

б) Технология статической балансировки

Статическая составляющая неуравновешенности ротора (или какой-либо другой детали) наиболее просто выявляется и устраняется с помощью статической балансировки, для чего ротор устанавливается на стальные параллельные призмы (рис. 24.11, а) или ролики (рис. 24.11, б), поверхность которых должна иметь шероховатость не выше Ra 0,50. Ширина рабочей поверхности призмы определяется по формуле

$$a_s = (M/2)/d,$$

где a — ширина призмы, м; M — масса ротора, кг; d — диаметр шейки вала ротора, м.

Отклонение плоскости призмы от горизонтальной плоскости не должно превышать 0,1 мм на один метр длины призмы. Если установленный на призмы ротор вывести из равновесия и представить ему возможность самоустановиться, то после нескольких качаний

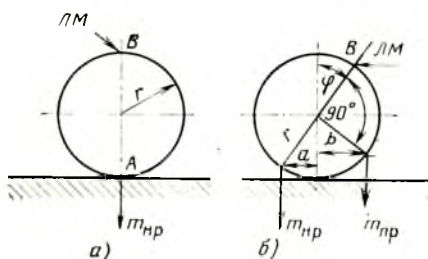


Рис. 24.12. Определение требуемой корректирующей массы при статической балансировке.

он остановится «тяжелым» местом вниз. Установка уравнивающего груза должна производиться в «легком» месте, т. е. в верхней части. Масса уравнивающего груза обычно определяется опытным путем. Ротор считается отбалансированным, если он находится в состоянии безразличного равновесия. Массу требуемого уравнивающего груза $m_{тр}$ также можно определить простым расчетом. Для этого фиксируют два положения ро-

тора после самоустановки его на призмах: 1) под действием силы тяжести неуравновешенной массы $m_{пр}$ (рис. 24.12, а); 2) с пробной корректирующей массой $m_{пр}$, установленной на ротор под углом 90° к легкому месту ЛМ (рис. 24.12, б). Расчет производят по формуле

$$m_{тр} = m_{пр}/\operatorname{tg} \varphi,$$

где φ — угол смещения легкого места от вертикальной оси при установке на ротор корректирующей массы $\operatorname{tg} \varphi = a/b$ (рис. 24.12, б).

При хорошем состоянии параллельных призм может быть достигнута точность статической балансировки не более 5—10 мкм остаточного смещения центра тяжести ротора [14].

в) Технология динамической балансировки

Динамическая составляющая неуравновешенности может быть обнаружена и устранена только при вращении ротора, т. е. динамической балансировкой.

Динамическая балансировка производится на специальных балансировочных станках. В процессе ее выполнения обе стороны ротора уравниваются поочередно в указанных на чертеже плоскостях исправления. На рис. 24.13, а показана простейшая схема станка для динамической балансировки. Подлежащий балансировке ротор 1 устанавливается на опоры 2 и 11, которые могут совершать колебательное движение в плоскости, перпендикулярной оси балансируемого ротора. Ротор на опорах представляет собой колебательную систему с двумя степенями свободы, имеющую два резонансных состояния: первое — ось колеблющегося ротора остается параллельной самой себе (рис. 24.13, б) и

второе — ось ротора совершает вращательные колебания вокруг центра тяжести (рис. 24.13, в).

Податливость опор выбирается такой, чтобы в диапазоне масс роторов, на которые рассчитан станок, резонансные частоты вращения их составляли не более половины рабочей частоты вращения станка. Частота вращения станка обычно равна 500—1000 об/мин в зависимости от типоразмера станка, тогда как но-

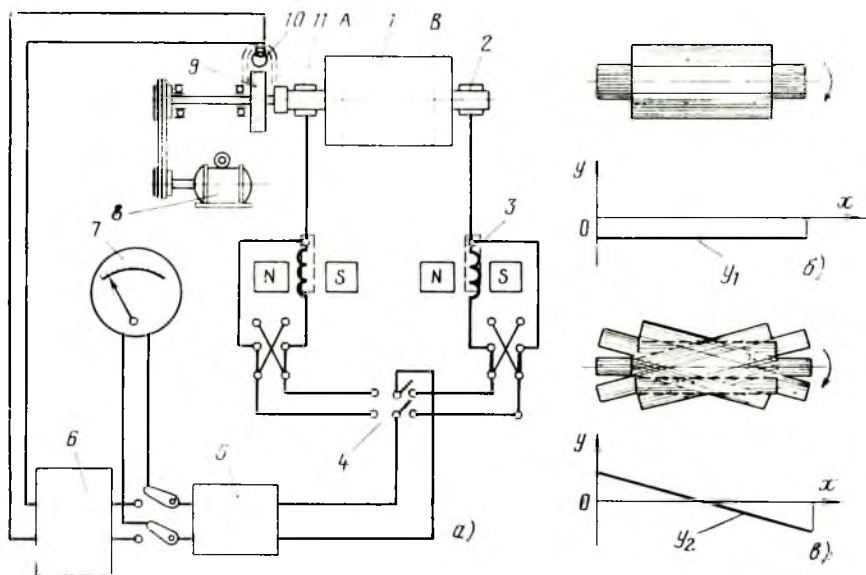


Рис. 24.13. Схема станка для динамической балансировки.

минальная частота вращения балансируемых роторов в несколько раз больше. Так как при пониженной частоте вращения ротора центробежные силы от неуравновешенности снижаются, для того чтобы скомпенсировать уменьшение чувствительности станка, податливость опор сильно увеличивают. Опора заметно перемещается от легкого нажатия.

Неуравновешенный ротор, приведенный во вращение от электродвигателя 8 (рис. 24.13, а), вызывает колебания опор. Колебания опор через тяги передаются катушкам 3 датчиков, которые перемещаются в магнитном поле. В катушках наводится ЭДС, которая пропорциональна частоте и амплитуде колебаний. Неуравновешенность ротора определяется по стрелочному прибору 7, на который через усилитель 5 подается напряжение. Это напряжение питает также цепь стробоскопа 6, лампочка 10 которого вспыхивает при каждом обороте ротора в момент наибольшей амплитуды колебания опор. Лампа стробоскопа освещает шкалу шпинделя станка. Так как шкала освещается пульсирующим светом, частота пульсации которого равна частоте вращения станка, создается

впечатление, что шкала неподвижна относительно указателя. Записав показания стрелочного прибора и шкалы шпинделя, станок останавливают и в плоскости исправления ротора под углом, в соответствии с показаниями шкалы 9, прикрепляют корректирующий груз. Затем приводят ротор во вращение. Если остаточная неуравновешенность получается менее заданной, балансировку прекращают.

Балансируют каждую сторону отдельно. Закрепление грузов или снятие металла производят в плоскостях исправления *A* и *B*. Переключение стрелочного прибора 7 для измерения колебаний каждой из опор осуществляют переключателем 4. Высокая точность измерений, обеспечиваемая аппаратурой, и свободный допуск к любому месту ротора позволяют проводить уравнивание на станке быстро и с большой точностью, которая составляет 0,5—1 мкм остаточного смещения центра тяжести.

г) Способы устранения неуравновешенности

Основными способами устранения неуравновешенности ротора являются съем лишнего материала в «тяжелом» месте и добавление груза в «легком». Съем металла можно производить фрезерованием или сверлением. На рис. 24.14, *a, б* показаны способы фрезерования роторов вогнутой и дисковыми фрезами. При фрезеровании дисковыми фрезами не всегда можно снять металл в тяже-

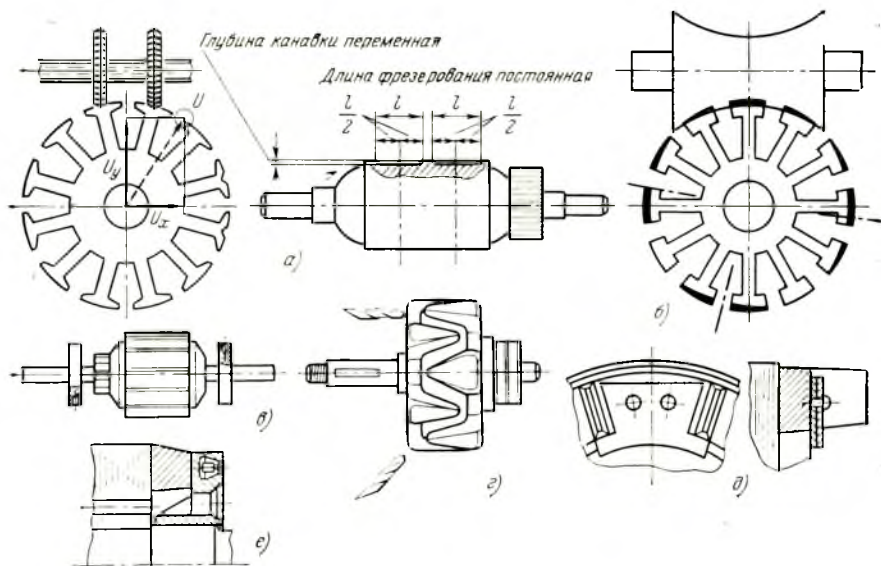


Рис. 24.14. Способы устранения неуравновешенностей ротора.

a — фрезерованием дисковыми фрезами; *б* — фрезерованием вогнутой фрезой; *в* — сверлением в балансировочных кольцах; *г* — сверлением в торцах ротора; *д* — креплением пластин; *е* — установкой балансировочных грузов.

лом месте, поэтому вектор неуравновешенности раскладывается на две составляющие по заранее определенным осям исправления. При этом длина фрезерования всегда постоянна, а масса снимаемого металла определяется глубиной фрезерования.

На рис. 24.14, *в, г* показан способ съема металла сверлением. В этом случае «лишний» металл можно снять в любой точке балансировочного кольца или тела ротора.

Добавление груза в легком месте может выполняться различными способами. В асинхронных двигателях при отливке короткозамкнутой клетки между лопатками отливают по два выступа. На них (рис. 24.14, *д*) надевают груз-пластину с двумя отверстиями и расклепывают оси. Груз также можно крепить болтом и гайкой к вентиляционной лопатке. В некоторых случаях (рис. 24.14, *е*) делают круговую выточку в виде ласточкина хвоста, куда закладывается груз. После балансировки груз крепится винтом, который кернится для предотвращения от самоотвинчивания. Как правило, в легких малогабаритных роторах используют способ съема металла, а в тяжелых крупногабаритных роторах способ добавления груза. При автоматизации пресса балансировки роторов предпочтение отдают способу снятия металла.

д) Механизация балансировочных работ

Для балансировки роторов электродвигателей серии 4А с высотой оси вращения 71—100 мм Одесское СКБ прецизионных станков разработало, а Одесский завод прецизионных станков изготовил автомат модели ОП-24 (рис. 24.15).

Автомат имеет четыре позиции, связанные между собой транспортным устройством 5. Операции измерения и устранения неуравновешенности совмещены во времени.

На позиции 1 — измерительной — определяют значение и место начальной неуравновешенности ротора с фиксацией этих данных элементами памяти измерительной схемы. Затем ротор поступает на позицию 2 — фрезерный станок, где неуравновешенность устраняется фрезерованием сегментного паза по наружному диаметру короткозамкнутого ротора в двух плоскостях. Место снятия и количество металла определяются информацией, хранящейся в элементах памяти измерительной схемы. Отбалансированный ротор поступает на позицию 3 — контроль, где проверяется качество балансировки. По результатам контроля на позиции 4 снимаемые с автомата роторы сортируют на три группы: первый, второй классы точности и неотбалансированные. Производительность автомата 50 роторов в час. Масса балансируемого ротора 2—10 кг.

24.4. ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН В МЕЛКОСЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Рассмотрим сборку машины постоянного тока в мелкосерийном производстве.

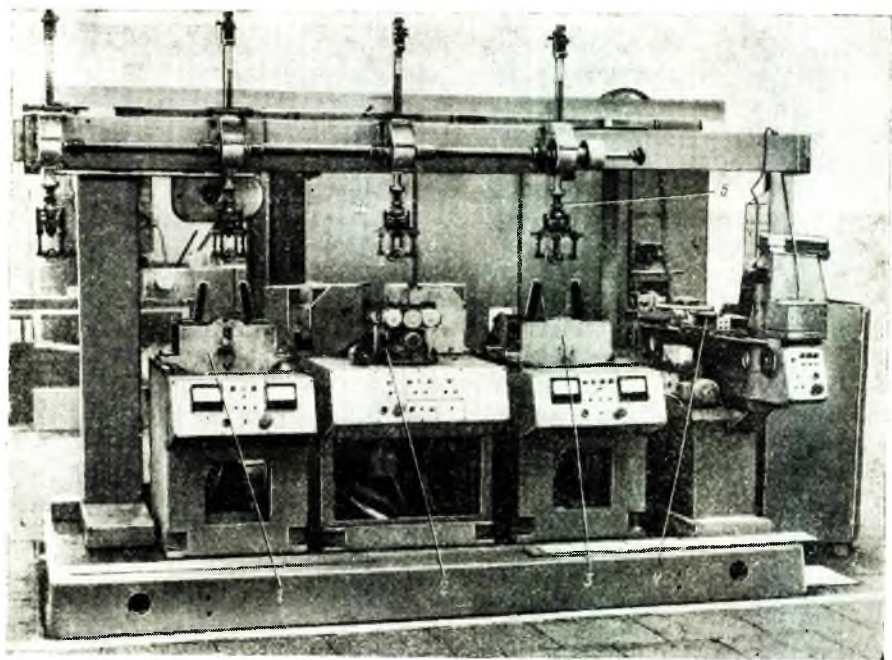


Рис. 24.15. Автоматический станок для балансировки роторов типа ОП-24.

Сборку машин постоянного тока начинают со сборки индуктора (см. рис. 24.2). Сборка индуктора заключается в установке и креплении в корпусе главных и добавочных полюсов с катушками, соединении катушек по электрической схеме, изолировке междукатушечных соединений и проверке правильности соединений.

До установки в корпус на сердечники главных и добавочных полюсов помещают катушки. Для предохранения от истирания изоляции катушек о сердечник между сердечником и катушкой устанавливают изоляцию, а в ряде конструкций металлические фланцы. Корпус располагают вертикально. Установка сердечников полюсов с катушками небольшой массы не представляет особых затруднений. Лево́й рукой сборщик поддерживает в корпусе сердечник, а правой вставляет в отверстие корпуса болты и ввертывает их в сердечник полюса. Тяжелые полюса при установке поддерживают с помощью местных подъемников или мостового крана. Болты затягивают тарированными болтовертами. После установки полюсов расстояние между ними проверяют контрольными штихмассами.

Катушки главных и дополнительных полюсов соединяют между собой и выводными кабелями согласно электрической схеме, соединяя наконечники болтами с шайбой и гайками. Междукатушечные соединения и соединения катушек с выводами изолируют

несколькими слоями стеклолакоткани и стеклянной ленты. Изоляция выводных кабелей в местах входа и выхода из корпуса машины предохраняют резиновыми втулками, которые устанавливают в корпус. На корпус устанавливают и крепят вводное устройство.

В собранном индукторе обмотку возбуждения подключают к источнику постоянного тока и проверяют полярность полюсов компасом.

Затем собирают подшипниковый щит, устанавливаемый со стороны коллектора, с комплектом щеткодержателей и щеток. Если щеткодержатели закреплены на отдельных пальцах, то их положение определяется отверстиями под пальцы, которые сверлят в щите по кондуктору. В этом случае щеткодержатели помещают на пальцы, а пальцы крепят в щите гайками. Если щеткодержатели закреплены на кольцевой поворотной траверсе (как показано на рис. 24.2), то их положение определяется отверстиями под пальцы в траверсе, которые сверлятся также по кондуктору. В этом случае щеткодержатели устанавливают на пальцы, а пальцы крепят к траверсе гайками. Для более точной установки щеткодержателей сборку производят в специальных приспособлениях.

После крепления щеткодержателей в них устанавливают щетки, крепление выводов щеток к щеткодержателям и сборку схемы щеток выполняют согласно чертежу. Траверсу помещают на щит и крепят болтом. При сборке щеткодержателей особо важным является обеспечение возможно более высокой точности угла между ними. Это необходимо, потому что в собранной машине при установке щеток в нейтраль щетки будут сдвигаться по коллектору либо поворотом щита, либо поворотом траверсы, в обоих случаях щетки будут поворачиваться все вместе.

На якорь напрессовывают вентилятор, надевают внутренние крышки подшипников и напрессовывают подшипники. Затем якорь балансируют.

После сборки индуктора, щита и якоря производят сборку машины. Якорь заводят в индуктор с помощью приспособления (см. рис. 24.7), и опускают на полюса. Затем надевают с обеих сторон подшипниковые щиты, наживляют болты и, заворачивая их, обеспечивают смыкание замков щита и корпуса. При этом для облегчения смыкания замков можно слегка приподнимать щит. В крышках подшипников на $\frac{1}{3}$ заполняют смазкой камеру под смазку, устанавливают крышки на место и заворачивают болты.

На коллектор опускают щетки, выставляют их на коллекторе в аксальном направлении и регулируют нажатие пружин. После установки щеток производят их предварительную притирку по радиусу коллектора. Для этого щетки поднимают и обертывают коллектор шкуркой, имеющей мелкое зерно. На шкурку опускают щетки и делают несколько поворотов якоря вручную. При этом на контактной поверхности щеток образуется радиус, близкий к радиусу коллектора. Окончательная притирка щеток производится в собранной машине на операции обкатки. Затем собирают

коробку контактных зажимов, выводят в нее все необходимые кабели от индуктора и якоря. На этом в основном сборка машины заканчивается. Для того чтобы болты не отворачивались, под головки устанавливают разжимные шайбы. Посадочные поверхности щитов и крышек перед сборкой покрывают суриком. После испытания машины и окончательной установки суппорта подтягивают до отказа болт крепления суппорта, а на выступающей фаске щита и суппорте делают риски и заполняют их красной эмалью. При сборке машин постоянного тока возможна другая последовательность операций.

24.5. ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПРИ ПОТОЧНО-МАССОВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

При поточно-массовом производстве сборку электрических машин производят на комплексно-механизированных линиях. Как правило, технологический поток состоит из двух линий: линии сборки статоров и линии сборки электродвигателя. Рассмотрим работу линии сборки электродвигателей серии 4А с высотой оси вращения 160—180 мм.

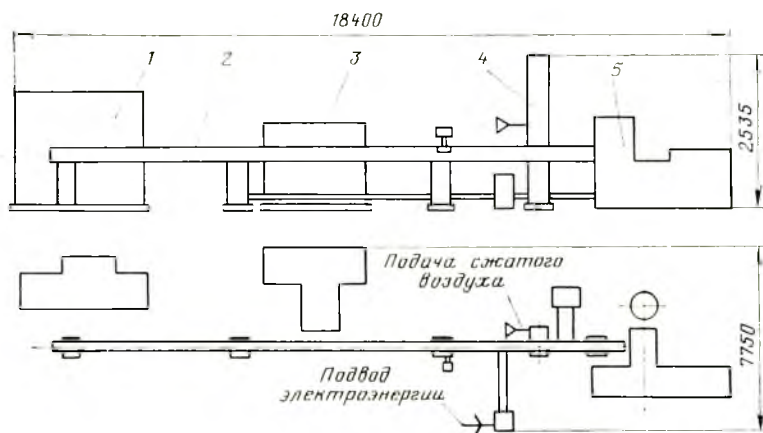


Рис. 24.16. Линия для сборки и обработки статоров типа ЛН-25.

Линия ЛН-25 сборки статоров показана на рис. 24.16. Оборудование линии связано между собой шаговым конвейером 2, который автоматически перемещает статоры на позиции обработки. Станина и пропитанный сердечник поступают на пресс 5, на котором производится запрессовка сердечника с одновременным протягиванием выводных концов наружу станины. На вертикально-фрезерном станке 4 выполняют сверление отверстий под стопорные штифты, нарезают резьбу и заворачивают стопорный штифт. Стопорные штифты удерживают сердечник от радиальных и осе-

вых перемещений. Затем устанавливают заводской щиток и болты заземления. На расточном станке 3 осуществляют чистовую обработку замков. Обработываются два замка с одного установа для получения максимальной соосности. Чистовое фрезерование поверхностей лап выполняют на вертикально-фрезерном станке 1. Затем статор передается на линию сборки электродвигателя.

В зависимости от типополнения статора такт линии равен 1,3—2,4 мин. Обслуживают линию четыре человека.

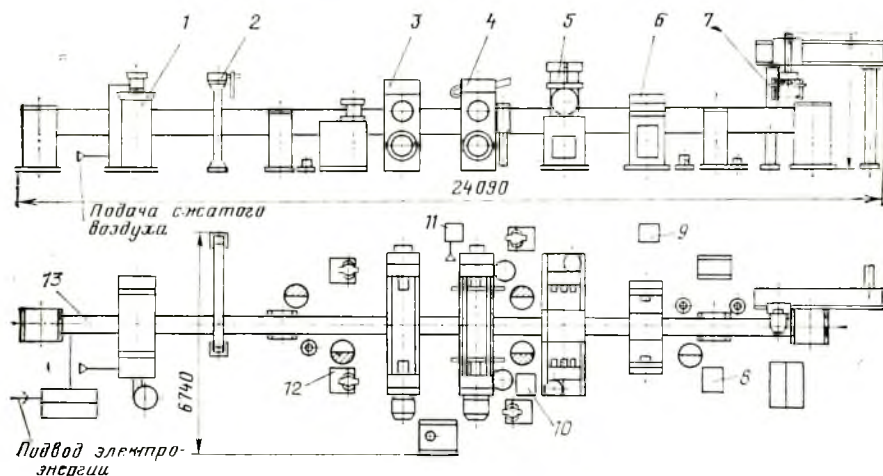


Рис. 24.17. Линия для сборки электродвигателей типа ЛН-24.

Линия ЛН-24 сборки электродвигателя показана на рис. 24.17. Линия представляет собой конвейер со встроенным в технологической последовательности оборудованием. Собираемые двигатели устанавливают на спутнике. Базой служат отверстия в лапах. Собираемые двигатели транспортируются конвейером 13. После остановки конвейера 13 двигатель оказывается перед оборудованием, с помощью которого производится сборка. Сборка начинается с операции продувки статора от пыли и мелкой стружки. Продувка производится в автомате 1 сжатым воздухом из вращающихся сопел, расположенных с обеих сторон статора. Удаляемая стружка сбрасывается в мусоросборники, а пыль вытягивается вентиляционным пылеулавливающим агрегатом. Затем на установке 2 заводят ротор в статор и надевают внутренние крышки подшипников. Напрессовка подшипников производится на прессе 3. Смазка для подшипников дозируется на установке 12. На стенде 11 в подшипниковые щиты устанавливают воздухонаправляющие щитки. Затем подшипниковые щиты надевают на наружные обоймы подшипников и на прессе 4 напрессовывают на замки статора. На стенде 10 подготавливают наружные крышки подшипников и устанавливают на двигатель. Наживляют болты, крепящие подшипниковые щиты и крышки подшипников, и на автоматическом

болтоверте 5 заворачивают их. На стенде 9 собирают коробку выводов и устанавливают на двигатель. На прессе 6 напрессовывают вентилятор, надевают кожух вентилятора и устанавливают рым-болт. Собранный двигатель проверяет контролер ОТК (8 — стол ОТК) и делает необходимые измерения геометрических размеров. Собранный двигатель автооператором 7 перегружают на испытательную станцию.

В зависимости от собираемых двигателей такт линии равен 1,3—1,7 мин. Линию обслуживают пять человек.

Глава двадцать пятая

ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

25.1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Каждая электрическая машина, изготовленная предприятием должна удовлетворять требованиям, предъявляемым к ней стандартами или техническими условиями.

Для машин общего назначения переменного и постоянного тока с номинальной мощностью свыше 50 Вт общие технические требования устанавливаются ГОСТ 183-74. Требования, предъявляемые к машинам специального назначения, изложены в других стандартах. Допуски на установочные и присоединительные размеры и способы проверки их указаны в ГОСТ 8592-79.

Для определения соответствия требованиям стандарта производится контроль и испытание собранной электрической машины. Виды и программа испытаний электрических машин общего назначения предусмотрены ГОСТ 183-74, а общие методы испытаний по этой программе указаны в ГОСТ 11828-75.

Согласно ГОСТ испытания делятся на приемочные, приемо-сдаточные, периодические и типовые. Программа при каждом виде испытаний определяется тем же ГОСТ.

Приемочные испытания должны проводиться на опытном образце электрической машины. Результаты приемочных испытаний являются основанием для принятия решения о начале производства машин.

Приемо-сдаточным испытаниям подвергается каждая электрическая машина при ее изготовлении. Положительные результаты испытания являются основанием для приемки машины и передачи ее потребителю.

Периодические испытания следует проводить по программе и в сроки, устанавливаемые в стандартах или технических условиях на отдельные виды машин. Периодические испытания должны выполняться по полной программе. Результаты периодических испытаний являются основанием для дальнейшего выпуска данной серии машин.

Типовые испытания проводятся при изменении конструкции, материалов или технологии, если эти изменения могут повлиять на характеристики машин. В программу типовых испытаний включают проверку параметров заданных программой приемочных испытаний, причем некоторые параметры могут при этом изменяться.

Если при периодических или типовых испытаниях хотя бы одна из электрических машин не будет соответствовать требованиям стандарта, повторные испытания следует проводить на новых образцах машин, результаты которых являются окончательными.

25.2. ПРОГРАММА ПРИЕМО-СДАТОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Приемо-сдаточным испытаниям следует подвергать каждую электрическую машину по следующей программе: измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса и между обмотками; измерение сопротивления обмоток

при постоянном токе в практически холодном состоянии: испытание изоляции обмоток относительно корпуса машины и между обмотками на электрическую прочность; испытание междувитковой изоляции обмоток на электрическую прочность.

Кроме того, для каждой машины постоянного тока следует: определить ток возбуждения генератора или частоты вращения двигателя при холостом ходе (для двигателей с последовательным возбуждением опыт проводится при независимом возбуждении); проверить номинальные данные машины; проверить коммутацию при номинальной нагрузке и кратковременной нагрузке по току.

Машины постоянного тока следует испытать при повышенной частоте вращения. Синхронные машины следует испытать при повышенной частоте вращения и определить: характеристику холостого хода; характеристику установившегося трехфазного короткого замыкания (трехфазные машины) или однофазного короткого замыкания (однофазные машины).

Следует также проверить состояние уплотнений и определить утечку водорода (для машин с водородным охлаждением) и испытать электромашинный возбудитель по программе приемо-сдаточных испытаний машин постоянного тока.

У асинхронных машин определяют коэффициент трансформации (для двигателей с фазным ротором); ток и потери холостого тока; ток и потери короткого замыкания.

25.3. ОБЩИЕ МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ

Рассмотрим установленные ГОСТ 11828-75 методы испытания, общие для всех типов машин.

Измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса и между обмотками. Измерение сопротивления изоляции обмоток производят в практически холодном состоянии машины, в нагретом состоянии (при температуре обмоток, близкой к температуре режима работы) и до и после испытания изоляции обмоток на электрическую прочность. Для измерения сопротивления изоляции используют мегаомметры на 500 В для электрических машин с номинальным напряжением до 500 В включительно и мегаомметры на 1000 В для электрических машин с номинальным напряжением свыше 500 В. Измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса машины и между обмотками выполняют поочередно для каждой независимой электрической цепи при соединении всех остальных цепей с корпусом машины.

Измерение сопротивления обмоток при постоянном токе в практически холодном состоянии. Обмотки рассчитывают в практически холодном состоянии, если их температура отличается от температуры окружающей среды не более чем на $\pm 3^\circ\text{C}$. Измерение может производиться одним из следующих способов: вольтметра и амперметра; одинарного или двойного моста; омметра логометрической системы. При измерении сопротивлений меньших 1 Ом применение одинарного моста не допускается. Во избежание нагрева обмоток измерительный ток должен быть не более 15—20 % номинального тока данной обмотки, а длительность его протекания — не более 1 мин. Приборы следует подбирать так, чтобы класс точности был не ниже 0,5, а измеряемые значения находились в пределах 26—95 % шкалы. Отсчеты рекомендуется производить одновременно.

Испытание машин при повышенной частоте вращения. Испытание следует проводить либо в режиме генератора путем повышения частоты вращения приводного двигателя, либо в режиме двигателя, причем для бесколлекторных машин переменного тока — путем повышения частоты питания. После испытания проводится тщательный осмотр вращающихся частей. Для машин с коллекторами или контактными кольцами рекомендуется измерять биение узлов до и после испытаний.

Испытание изоляции обмоток на электрическую прочность относительно корпуса машины и между обмотками и на электрическую прочность междувитковой изоляции. Испытание проводят при синусоидальном напряжении частотой 50 Гц. Испытательное напряжение устанавливается ГОСТ 183-74 в зависимости от типа, мощности и номинального напряжения машины. Для машин мощностью до 15 кВт включительно на номинальные напряжения до 660 В при мас-

совом выпуске на конвейере при приемо-сдаточных испытаниях допускается заменять вышеуказанные испытания испытанием в течение 1 с при напряжении, повышенном на 20 % против принятого при испытании в течение 1 мин. Испытанию изоляции относительно корпуса и между обмотками подвергают поочередно каждую электрически независимую цепь. Для этого не испытываемую обмотку подают высокое напряжение, а все остальные обмотки соединяют с корпусом машины. К корпусу на время испытаний присоединяют второй вывод источника высокого напряжения. Таким образом, у испытываемой обмотки проверяется прочность изоляции на корпус и между всеми остальными обмотками. Годной считается такая изоляция обмотки, у которой за время испытания не произошло пробоя или перекрытия разрядом.

Изоляция обмотки между смежными ее витками должна выдерживать в течение 3 мин испытание повышенным напряжением. Это испытание проводят при холостом ходе электрической машины путем подводимого (при испытании в режиме двигателя) и генерируемого (при испытании в режиме генератора) напряжения на 30 % сверх номинального. Для гидрогенераторов изоляция обмотки между смежными ее витками должна выдерживать повышенное напряжение на 50 %, а турбогенераторов на 30 % сверх номинального в течение 5 мин.

25.4. ПРОВЕРКА УСТАНОВОЧНО-ПРИСОЕДИНИТЕЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ

Для всех видов электрических машин общего и специального назначения ГОСТ 8592-79 устанавливает предельные отклонения установочных и присоединительных размеров, а также способы их контроля. Предусмотрены три точности исполнения: нормальная, повышенная и высокая. Предельные отклонения

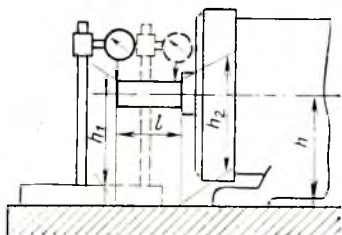


Рис. 25.1. Проверка высоты и непараллельности оси вращения вала.

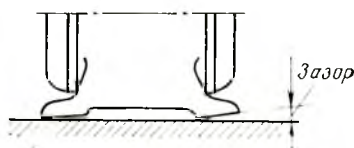


Рис. 25.2. Проверка неплоскостности опорной поверхности.

высоты оси вращения h (рис. 25.1) для машин с выступающим концом вала и непараллельность оси вращения вала относительно опорной плоскости электрической машины измеряют индикаторами. Размер h измеряют в трех положениях вала после его поворота примерно через каждые 120° . За результат принимается среднее значение. Для определения непараллельности оси вращения выступающего конца вала измеряют индикатором расстояния h_1 и h_2 от опорной плоскости до образующей вала. Измерения производят в трех положениях. Измерять абсолютные значения h_1 и h_2 нет необходимости, можно определить только их разность.

Неплоскостность опорной поверхности электрической машины характеризуется зазором между опорной поверхностью и поверочной плитой (рис. 25.2) и определяется по контуру лап. Шуп не должен проходить между лапой и плитой. Допускается свободное прохождение шупа под каждой лапой в пределах 30 % ее опорной поверхности.

Смещение осей отверстий в лапах от номинального расположения контролируется посредством комплексного калибра, базирующегося на конце вала (рис. 25.3).

Допускается контролировать предельные отклонения размеров универсальным инструментом. Для измерения биения при вращении вала прикладывают

наконечник индикатора к середине выступающего конца вала и записывают максимальное и минимальное значения показаний индикатора за один медленный оборот вала. В машинах, имеющих фланец, производят определение радиального биения заточек крепительного фланца. Для этого индикатор закрепляют посередине посадочной части вала или на расстоянии 10 мм от опорного торца крепительного фланца (рис. 25.4, а). При невозможности закрепления индикатора на валу его закрепляют в вертикальных стойках при вертикальной установке машины с неподвижным зажимом вала (рис. 25.4, б).

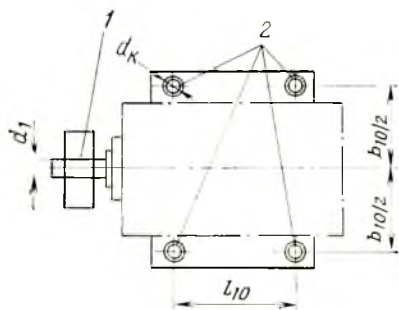


Рис. 25.3. Проверка смещения осей отверстий в лапах.

1 — центрирующий паз калибра; 2 — измерительные пробки калибров.

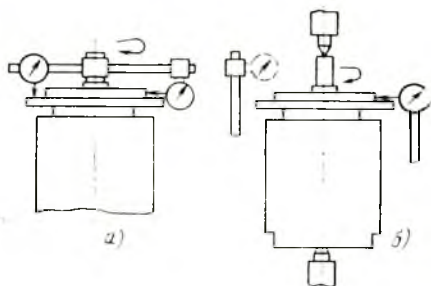


Рис. 25.4. Проверка биения опорного торца крепительного фланца относительно оси вращения.

а — при закреплении индикатора на валу; б — при проверке в вертикальных центровых стойках.

25.5. СТАНЦИИ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИСПЫТАНИЯ

Приемо-сдаточные испытания электрических машин производятся на испытательных станциях ОТК, которые выделяются в отдельные участки или встраиваются в общий технологический поток.

В условиях единичного и мелкосерийного производства при большой номенклатуре выпускаемых машин испытательная станция выделяется в отдельный участок. Она оснащается необходимыми электроизмерительными приборами и аппаратурой. На ней предусматриваются испытательные поля, для установки и крепления испытуемых машин, приводные двигатели для привода испытуемых генераторов во вращение, стенды нагрузки для испытания электродвигателей. Питание испытательной станции электроэнергией нужной частоты и напряжения производится из машинного отделения, которое стараются располагать рядом. При испытаниях крупных электрических машин предусматривают рекуперацию электроэнергии в сеть.

При серийном и массовом производстве, особенно когда сборка производится на конвейерах, испытательная станция располагается также на конвейере, являясь продолжением конвейера. При испытании на конвейере операции испытаний разбивают так, чтобы время их проведения не нарушало такт конвейера.

Для контроля собранных электродвигателей с высотой оси вращения 71—160 мм мощностью до 45 кВт во ВНИИТЭлектромаш разработаны комплексномеханизированные испытательные станции карусельного (СКП-1) и конвейерного (СКП-3, СКП-4) типов.

На этих станциях могут испытываться электродвигатели основного исполнения и 17 модификаций. Производительность оборудования 250—400 тыс. электродвигателей в год.

Для проведения приемо-сдаточных испытаний модификаций и специальных исполнений электродвигателей (однофазных, многоскоростных, с электромагнит-

ным тормозом, выполненных на частоту 60 Гц) разработаны универсальные механизированные испытательные стенды типа СИ. Производительность одной рабочей позиции в зависимости от модификации испытуемого электродвигателя 9—21 тыс. электродвигателей в год.

На комплексно-механизированных испытательных станциях весь процесс испытаний автоматизирован. При обнаружении брака на какой-либо позиции дальнейшие испытания дефектного двигателя прекращаются, а информация о дефекте поступает на световое табло и регистрирующие счетчики. Информация о дефектах и их видах в течение определенного времени может накапливаться, что позволяет проводить анализы качества машин. С развитием АСУТП автоматизированные испытательные станции становятся частью ее.

25.6. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Испытания электрических машин производятся на испытательных станциях. Основные требования по технике безопасности к установкам испытательных станций и работе на них:

- 1) испытательная станция должна соответствовать требованиям ПУЭ;
- 2) испытательная станция должна иметь ограждения;
- 3) ограждения, стенды, пульта должны быть надежно заземлены;
- 4) двери, открывающиеся или съемные элементы должны иметь блокировки, которые полностью снимают напряжение с испытательного стенда. При закрывании дверей напряжение может быть восстановлено только после повторного включения пускового устройства;
- 5) на испытательной станции должен быть полный комплект электросхем установленного оборудования, плакаты и правила оказания первой помощи и тушения пожара, производственные инструкции;
- 6) обслуживающий персонал должен иметь необходимую квалификацию, допуск к работе и строго соблюдать все правила техники безопасности.

Глава двадцать шестая

ПРОИЗВОДСТВО МАГНИТОПРОВОДОВ

26.1. УСТРОЙСТВО И КОНСТРУКЦИЯ МАГНИТОПРОВОДОВ

Магнитопровод, являясь магнитной системой трансформатора, служит также основанием для установки и крепления обмоток, отводов, узлов и деталей. Поэтому кроме заданных электромагнитных характеристик магнитопровод должен обладать жесткостью, достаточной для восприятия механических усилий, возникающих в процессе производства, транспортировки и эксплуатации, трансформатора. Этими обстоятельствами и определяется конструкция магнитопровода (рис. 26.1, а, б), состоящая из активной части — пластин магнитопровода, непосредственно проводящих магнитный поток, и конструктивной части — ярмовых балок, деталей и узлов осевой прессовки и других, предающей магнитопроводу механическую жесткость и являющуюся основанием для крепления узлов трансформатора.

В свою очередь, в активной части различают стержни, на которые монтируются обмотки, и ярма, замыкающие стержни и тем самым образующие замкнутый магнитный контур. Вследствие непрерывного изменения значения и направления намагничивающего тока, протекающего в первичной обмотке трансформатора, в магнитопроводе создается переменный магнитный поток, изменение которого приводит к перемагничиванию электротехнической стали. Потери в активной части магнитопровода обуславливаются природой процессов намагничивания ферромагнитных материалов и состоят из потерь на гистерезис P_h и потерь на вихревые токи P_v . Потери на гистерезис в электротехнической стали зависят от ее микроструктуры и параметров внешнего магнитного поля. Потери на вихревые токи пропорциональны квадрату толщины и обратно пропорциональны удельному электрическому сопротивлению активного материала. Поэтому для уменьшения потерь P_v магнитопровод собирают из тонких (толщиной 0,5—0,28 мм) изолированных друг от друга пластин или лент электротехнической стали. В целях получения наименьшей массы магнитопровода стремятся повысить в нем индукцию, для чего пластины или ленты изготавливают из холоднокатаной текстурированной электротехнической стали. Применение этой стали позволило повысить магнитную индукцию в магнитопроводах силовых трансформаторов до 1,7—1,8 Тл при одновременном уменьшении массы, потерь и тока холостого хода трансформатора.

При большом разнообразии конструкций магнитопроводов различают два основных типа: стержневой и броневой.

Стержневой тип магнитопровода обычно имеет вертикальное расположение стержней, ярма соединяют разные стержни и нет боковых ярм (рис. 26.1, а).

Броневой тип магнитопровода характеризуется тем, что оба конца каждого стержня соединяются не менее чем двумя боковыми ярмами; стержни и ярма могут располагаться как вертикально, так и горизонтально. В течение последних десятилетий броневой тип магнитопроводов применяется только отдельными зарубежными фирмами.

Промежуточным типом является **бронестержневой** магнитопровод, широко применяемый для трансформаторов больших мощностей, когда вопросы транспортабельности трансформатора приобретают решающее значение. Он имеет вертикально расположенные стержни для установки обмоток, горизонтальные и вертикальные боковые ярма.

По взаимному расположению стержней и ярм магнитопроводы могут иметь

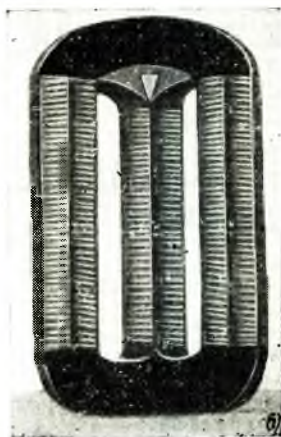


Рис. 26.1. Магнитопроводы трансформаторов.

а — плоский стержневой шихтованный; *б* — пространственный витой ленточный; 1 — активная часть; 2 — конструктивная часть.

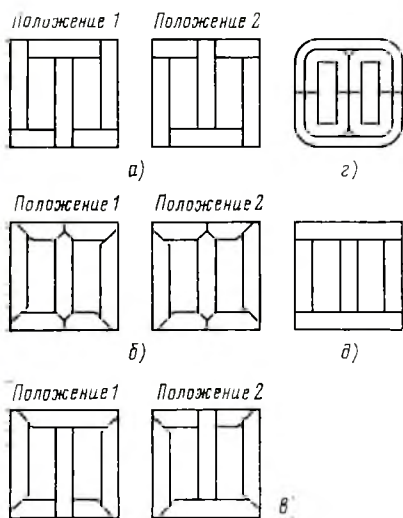


Рис. 26.2. Схема шихтовки магнитопровода.

а — с прямым стыком; *б* — с косым стыком в шести углах; *в* — с косым стыком в четырех углах; *г* — навивкой из ленты; *д* — стыковкой из плоских пластин.

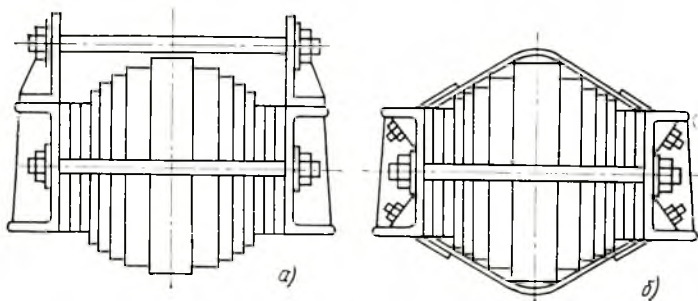


Рис. 26.3. Способы прессовки ярма.
а — шпильки; б — полубандажами.

плоское и пространственное положения и применяться как для однофазных, так и для трехфазных трансформаторов.

По способу соединения стержней с ярами магнитопроводы разделяются на стыковые, когда магнитопровод собирают из отдельных частей и соединяют (стыкуют) после насадки обмоток на стержни, и шихтованные, когда стержни и яра не являются отдельными элементами, а их пластины переплетаются (шихтуются) (рис. 26.2, а—в).

По форме стыка стержневых и яровых пластин шихтованные магнитопроводы могут выполняться с прямым и косым стыком — для уменьшения длины участков магнитной цепи, на которых направление магнитного потока не совпадает с направлением прокатки электротехнической стали. Уменьшение зоны повышенных потерь в углах магнитопровода с косым стыком позволяет существенно снизить потери холостого хода трансформатора.

Наиболее полно используются анизотропные свойства холоднокатаной стали в ленточных магнитопроводах, у которых возможно осуществить переход от стержня к яру по кривой, практически совпадающей с направлением магнитного потока. Однако применение таких магнитопроводов ограничено из-за сложности установки обмоток.

В последние годы в трансформаторах небольшой мощности расширяется применение непрерывных ленточных магнитопроводов, выполненных из непрерывной ленты с «вмотанными» непосредственно на стержне магнитопровода обмотками. Конструкция пространственного непрерывного ленточного магнитопровода обеспечивает полную механизацию и частичную автоматизацию его изготовления и высокие эксплуатационные показатели (см. рис. 26.1, б). Начато также изготовление трансформаторов 250 кВ·А с пространственным пластинчато-ленточным магнитопроводом.

В отечественных силовых трансформаторах плоская стержневая конструкция магнитопроводов получила наиболее широкое применение. Магнитопровод собирают из отдельных слоев, каждый из которых состоит из одной или двух пластин, уложенных в слое встык. В смежных слоях стыки обязательно перекрываются. Так как форма поперечного сечения стержней определяется в основном формой обмотки, поперечное сечение стержня стремятся приблизить к кругу.

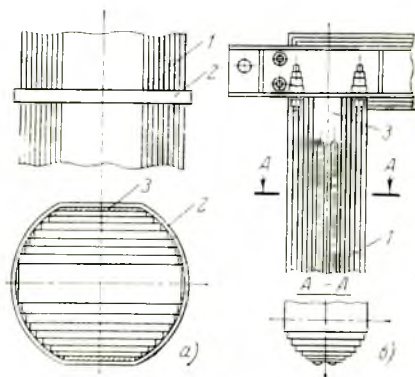


Рис. 26.4. Способы прессовки стержней.

а — стеклобандажами; б — вертикальными пластинами; 1 — активная сталь стержня; 2 — стеклобандаж; 3 — пластины прессующие.

Из-за трудностей набора круглого сечения его выполняют ступенчатой формы, набирая каждую ступень (пакет) из пластин одинаковой ширины.

Диаметры описанных окружностей стержней, их сечение и ширина пластин каждого пакета нормализованы и должны выполняться в строгом соответствии с отраслевой нормалью. Форма поперечного сечения ярма не связана с формой обмотки и поэтому нет необходимости приближать сечение ярма к кругу. Сечение ярма трансформаторов I, II габаритов выполняют прямоугольной, Т-образной и крестообразной формы. Для лучшего распределения магнитного потока у трансформаторов III—VIII габаритов сечение ярма, как правило, выполняется повторяющим сечение стержня. Для обеспечения достаточной жесткости магнитопровода пластины стержней и ярем должны быть опрессованы и скреплены как бы в одно целое. На рис. 26.3, а, б показаны наиболее применяемые способы прессовки ярма, а на рис. 26.4, а, б — стержня.

Сердечник магнитопровода и его крепление должны быть надежно заземлены. В противном случае эти элементы, находясь в электрическом поле обмоток, приобретут некоторый потенциал. Поэтому в магнитопроводе активную часть и ярмовые балки заземляют с таким расчетом, чтобы они имели один общий потенциал — потенциал бака (земли).

26.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРОИЗВОДСТВА МАГНИТНЫХ СИСТЕМ

Одним из важнейших показателей качества магнитопровода является коэффициент увеличения потерь K , который показывает, как возросли потери в реальном магнитопроводе по сравнению с потерями в исходной стали, из которой изготовлена активная часть магнитопровода при той же расчетной индукции:

$$K = \rho_{\text{уд, маг}} / \rho_{\text{уд, стали}},$$

где $\rho_{\text{уд, маг}}$ — удельные потери в магнитопроводе; $\rho_{\text{уд, стали}}$ — удельные потери в исходной стали.

Увеличение потерь в магнитопроводе определяется в значительной мере технологией его производства. Известно, что для одних и тех же конструкций магнитопровода коэффициент увеличения потерь $K = 1,2 \div 1,3$ — для заводов с передовой технологией и $K = 1,6 \div 2,0$ — для заводов с низким уровнем технологии. И несмотря на то что КПД трансформаторов относительно высок (98—99,5 %), суммарные потери в результате многократной трансформации энергии на пути от станции до потребителя все еще значительны. Они составляют до 4—5 % всей энергии, вырабатываемой электростанциями. Поэтому при проектировании и разработке технологических процессов производства магнитопроводов, выборе оборудования и режимов его эксплуатации следует руководствоваться технологическими требованиями к изготовлению магнитопроводов и помнить, какое огромное влияние оказывает качество изготовления магнитопроводов на технико-экономические показатели трансформатора.

Производство магнитопроводов силовых трансформаторов можно разделить на следующие основные технологические процессы, выполняемые в определенной последовательности как непосредственно на участках цеха, так и в других цехах завода: изготовление пластин для активной части магнитопровода; изготовление ярмовых балок магнитопровода; изготовление изоляции и изоляцион-

ных деталей, а также различного рода деталей для опрессовки магнитопровода; изготовление крепежных деталей и узлов прес-совки; сборка магнитопровода; отделка; испытание магнитопро-вода.

В зависимости от конструкции и габаритов магнитопровода, масштабов производства и номенклатуры технологические процес-сы изготовления могут иметь свои специфические особенности, зна-чительно отличаться степенью механизации и автоматизации про-изводства. Основные технологические процессы изготовления маг-нитопровода рассмотрены ниже.

26.3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПЛАСТИН МАГНИТОПРОВОДОВ

Для качественной сборки магнитопровода его пластины долж-ны изготавливаться с выполнением следующих технических тре-бований.

Максимальные отклонения размеров пластин по ширине и дли-не не должны превышать следующих значений:

Ширина пластин B , мм	До 400	Более 400		
Допустимые отклонения ΔB , мм	+0,4	+0,6		
Длина пластин L , мм	До 400	400—1000	1000—2000	2000—4000
Допустимое отклонение ΔL , мм	—0,1	—0,1	—0,3	—1,5

Допустимые заусенцы после резки и штамповки пластин по наружному периметру и по контурам отверстий должны быть не более 0,03 мм для стали толщиной 0,35 мм и 0,04 мм для стали 0,5 мм. После операции удаления заусенцев они не должны пре-вышать толщину изоляционного покрытия.

Саблевидность пластин как выпуклая, так и вогнутая в сум-ме не должна превышать допустимого отклонения на ширину пла-стины.

Отклонение от прямого угла пластины не должно превышать допустимого отклонения на длину или ширину пластины.

Пластины магнитопроводов, штампуемые из электротехнической стали без изоляционного покрытия, изолируют в зависимости от мощности трансформатора: до 6300 кВ·А — однократно, а свыше 6300 кВ·А — двукратно. Пластины магнитопроводов трансформ-аторов мощностью свыше 32 МВ·А или напряжением свыше 110 кВ, изготовленные из электротехнической стали с изоляционным по-крытием, дополнительно изолируют. Толщина покрытия должна быть не более 3—4 мкм на сторону, а поверхностное сопротивление изоляции после лакировки — не менее 120 Ом·см².

По волнистости и коробоватости пластины после изготовления должны соответствовать требованиям ГОСТ 21427.1-75.

Укладка пластин в процессе изготовления и хранения должна осуществляться только в стопы, высота которых не должна пре-вышать 200 мм.

Применение рулонной электротехнической стали вместо листо-вой коренным образом изменило технологию изготовления пластин

и позволило почти полностью механизировать и в значительной степени автоматизировать процесс их изготовления. Вместо участков резки листовой стали, оборудованных главным образом гильотинными ножницами и прессами, появились участки поперечного и продольного раскроя стали с механизированными и автоматическими поточными линиями.

При всем многообразии размеров и форм пластин магнитопроводов плоской шихтованной конструкции технологию получения их из рулонной стали можно свести к двум основным процессам: продольная резка исходных рулонов на отдельные рулоны, по ширине равные изготавливаемым из них пластинам, и поперечная резка раскроенных рулонов на мерные по длине пластины. Технологию получения витых элементов из рулонной стали можно также свести к двум технологическим процессам: продольная резка (аналогично) и навивка из раскроенных рулонов витых элементов требуемой формы.

Для восстановления электромагнитных характеристик холоднокатаной стали ухудшившихся в процессе изготовления пластин или витых элементов производят отжиг. Следует помнить, что незначительное ухудшение электромагнитных свойств стали на каждом из этапов технологической обработки приводит в готовом магнитопроводе к весьма ощутимому увеличению исходного уровня потерь, что не всегда возможно восстановить даже повторным отжигом.

Изготовление пластин начинается с резки исходного материала. Операция резки полос вдоль исходного материала получила наименование продольной резки. Наиболее эффективно осуществляется она с помощью многодисковых ножниц, позволяющих вести процесс резания непрерывно. Технология продольной резки рулонной стали для изготовления пластин магнитопроводов должна обеспечить экономный расход стали, получение качественного реза и высокую производительность. Экономный раскрой стали достигается за счет правильного подбора сочетаний ширины полос, на которые раскраивается лента рулона, с учетом обрезки кромки ленты по 7—10 мм с двух сторон. При составлении карт раскроя вначале рассчитывают потребность полос каждой ширины в метрах на заданную программу выпуска магнитопроводов, затем подбирают такое сочетание ширин пластин, при котором отходы стали являются минимальными, после чего указывают, какое количество рулонов и в каком сочетании ширин необходимо раскраивать. При правильном расчете, обычно выполняемом с помощью ЭВМ, коэффициент использования рулонной стали достигает 0,95.

Качество продольного реза должно обеспечивать использование в магнитопроводе отрезанных полос без дополнительной механической обработки по ширине, для чего высота заусенцев не должна превышать 0,05 мм. Такая высота заусенцев может быть достигнута только при гарантированных боковых зазорах между ножами и необходимым перекрытии. Рекомендуется устанавли-

вать боковой зазор в пределах 5—2,5 %, перекрытие — 50 % толщины разрезаемой стали.

Продольная резка рулонной электротехнической стали как за рубежом, так и в нашей стране выполняется на специальных автоматических линиях различной конструкции модели НЧ208 (СССР), фирм «Иодер» (США), «Бигвуд» (Англия), «Комек» (Франция). Устройство различных узлов и работа на линии описаны в гл. 6 и в [5]. Скорость резания на таких линиях составляет 80—160 м/мин. На линии продольной резки (см. рис. 6.3) из рулона выполняются последовательно следующие операции: установка и закрепление рулона на барабане разматывателя; заправка рулона на полосы; заправка и закрепление полос на барабанах наматывателя; автоматическая разрезка рулона на полосы с намоткой их в «рулончики»; закрепление концов рулончиков и разгрузка их с барабана наматывателя.

Средняя годовая производительность линии составляет около 10—12 тыс. т рулонной стали при двухсменной работе.

Операцию резки пластин из рулончика поперек полосы называют поперечной резкой. Технологический процесс получения пластин весьма прост: лента разматывается с рулончика и разрезается без каких-либо отходов специальными ножницами на пластины требуемой длины. Для поперечной резки широко применяют гильотинные ножницы благодаря их высокой надежности и возможности установки ножиц под различными углами к направлению подачи, что позволяет резать косоугольные пластины.

Поперечная резка носит циклический характер, вследствие чего для компенсации рассогласования непрерывного движения сматывателя ленты и прерывистого движения в зоне резания предусматривают специальное устройство — петлеобразователь. Для резки пластин применяются разнообразные конструкции автоматических линий. Устройство основных узлов и работа на линии описаны в гл. 6 и в [5].

Наиболее перспективны линии для изготовления косоугольных пластин. Их особенностью является установка режущих ножей под углом к направлению подачи ленты, благодаря чему отрезаются пластины со скошенными поперечными кромками, а наличие специальных укладчиков обеспечивает раскладку пластин отдельными стопами в зависимости от направления скосов.

Производительность линии поперечного реза зависит как от конструкции линии, так и от длины пластин. В среднем производительность линии составляет от 24 до 50 м пластин в минуту. Разгрузку автоматических линий от стоп нарезанных пластин производят специальными выключными многозубными захватами с помощью мостового крана. Хранение стоп пластин осуществляют с помощью накопителя, оборудованного механизированными стеллажами и кранами-штабелерами.

Механизация складирования стоп пластин в сочетании с применением поточных и автоматических линий изготовления пластин,

а также с механизаций транспортных операций позволяет создать комплексно-механизированные участки изготовления пластин магнитопроводов.

При необходимости изготовления пластин магнитопроводов трансформаторов I, II габаритов из листовой электротехнической стали наиболее производительным является раскрой с использованием многодисковых ножниц. Вначале стандартный лист стали на дисковых ножницах раскраивается поперек листа (проката) на заготовки требуемой длины. Затем заготовки на многодисковых ножницах с комбинацией ножей, соответствующих минимальным отходам, разрезают вдоль заготовки (вдоль проката) на пластины.

Для снятия напряжения и частичного восстановления первоначальных магнитных характеристик исходного материала пластины магнитопровода подвергаются отжигу. Режим отжига имеет решающее значение для восстановления высоких характеристик электротехнической стали. В общем цикле отжига пластин имеются три фазы: нагрев, выдержка и охлаждение, каждая из которых характеризуется определенными режимами. Основными параметрами режима отжига является скорость нагревания, температура, время выдержки в нагретом состоянии и скорость охлаждения. Отжиг производят обычно при температуре 800—830 °С, используя печи периодического и непрерывного действия.

Отжиг пластин в пакетах или стопах с длительностью отжига более одного часа требует защиты от вредного действия атмосферы печи, поэтому их отжигают в периодических печах, имеющих нейтральный или восстановительный характер. В печах непрерывного действия в обычной среде без применения защитной атмосферы отжигают полистно пластины из стали с нагревостойким покрытием.

Наиболее технологичным является процесс полистного непрерывного восстановительного отжига в проходных рольганговых

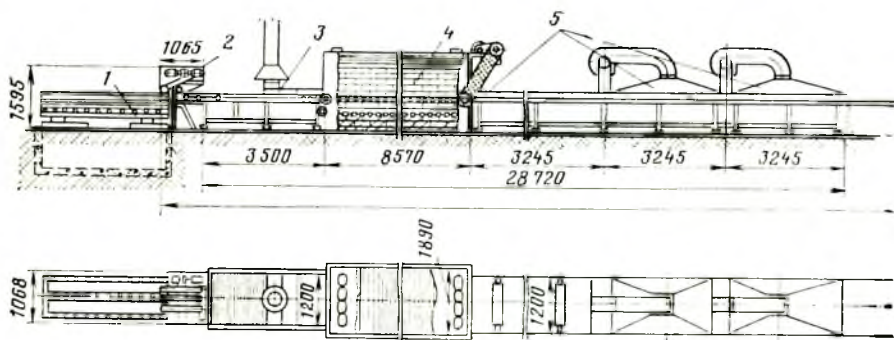


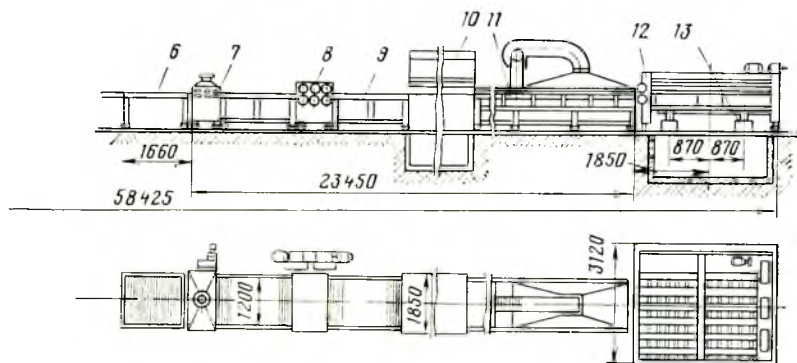
Рис. 26.5. Схема поточно-механизированной линии отжига и лакировки пластин. 1 — приемный стол; 2 — задатчик пластин; 3 — загрузочный стол печи отжига; 4 — камера отжига; 5 — лакировальная машина; 6 — холодный рольганг; 7 — камера нагрева лакировальной

печах типа ОКБ-885 при температуре 820°C и скорости перемещения пластин $7\text{--}10$ м/мин. Движение пластин осуществляется за счет вращения рольгангов, приводимых в движение приводным механизмом. В зависимости от ширины пластин их могут пропускать через печь в один, два, три ряда, на что соответственно рассчитан механизм задатчика, имеющий три системы подающих устройств. Задатчик работает в комплексе с подъемным столом, периодически поднимающим стопы пластин по мере подачи их в печь. Команду на подъем подает счетчик пластин. Задающее устройство снабжено блокировкой от одновременной подачи двух или более пластин. Каждая пластина, выходящая из печи отжига, стапелируется с помощью механизма укладчика пластин. Приемный стол укладчика оборудован механизмом подъема и опускания.

В собранном магнитопроводе пластины должны быть надежно изолированы друг от друга. Как правило, сталь имеет двустороннее жаростойкое покрытие в виде керамических или оксидных пленок, которые наносятся после прокатки на металлургических заводах. Это покрытие не повреждается при обработке пластин инструментом и выдерживает отжиг. Иногда поверх жаростойкого покрытия на готовые пластины или листы электротехнической стали после отжига наносится лаковая пленка. Как правило печи отжига ставят в одну линию с лакировальными машинами. Схема поточно-механизированной линии отжига и лакировки пластин представлена на рис. 26.5.

В качестве изоляционных лаков применяют главным образом лаки: № 302, КФ-95 и № 202 [20]. Толщина лаковой пленки при однократной лакировке равна $6\text{--}8$ мкм, двукратной $12\text{--}18$ мкм на одну сторону.

Качество лакированных и запеченных пластин должно соответствовать определенным требованиям. Пленка лака должна иметь сплошную, блестящую, однородную и гладкую поверхность, без пропусков, натеков и обгоревших мест. Пленка должна быть



нагрева; 5 — камера охлаждения; 6 — промежуточный рольганг; 7 — зажимное устройство; машины; 11 — камера охлаждения; 12 — пластиноукладчик; 13 — подъемный стол.

твердой, иметь прочное сцепление с поверхностью пластин и не иметь отлипа в холодном состоянии (при нажатии пальцем на пленке не должно оставаться отпечатков). Сопротивление изоляции лаковой пленки должно соответствовать нормам для данного типа магнитопровода.

26.4. СБОРКА МАГНИТОПРОВОДОВ

Технологический процесс сборки магнитопроводов включает в себя ряд самостоятельных операций, которые в зависимости от его конструкции, принятой технологии и организации производства могут выполняться на одном или нескольких рабочих местах. Сборка плоских и пространственных пластинчатых и ленточных магнитопроводов имеет существенные различия как по технологии, так и по применяемому оборудованию. Ниже рассмотрены технологические процессы сборки наиболее распространенных магнитопроводов отечественных трансформаторов.

а) Сборка плоских стержневых магнитопроводов

Для обеспечения качества магнитопровода на сборку должны поступать пластины и другие узлы и детали, изготовленные в соответствии с техническими требованиями, предъявляемыми к ним. При сборке необходимо обеспечить заданные чертежом геометрическую форму и размеры магнитопровода; для получения заданного коэффициента заполнения сердечника сталью необходимо, чтобы пластины в среднем пакете были сжаты давлением $(2-4) \times 10^5$ Па; зазор между пластинами в местах стыка допускается не более 1,5 мм. Нахлест пластин не допускается. Возможный выход отдельных пластин от плоскости торца пакета («гребенки») не должен превышать 1,5 мм. При сборке магнитопроводов не допускаются удары и броски пластин, резкие изгибы их и деформации. При шихтовке, а также подъеме магнитопровода должна быть исключена возможность искривления стержней и ярм. Допуски на номинальные размеры собранного магнитопровода не должны превышать значений, указанных в табл. 26.1.

Допустимое отклонение оси стержня магнитопровода от вертикали не более 1,5 мм на 1 м высоты.

Таблица 26.1

Допуск, мм	Диаметр стержня, мм		
	до 340	340—750	свыше 750
На толщину стержня	—2	—3	—5
На диаметр стержня	+3	+4	+6
На толщину центрального пакета	+2	+3	+4
Размер диаметра по бандажам	+3	+5	+8

раются при подъеме кронштейны-подпорки. Они предотвращают опрокидывание стола и удерживают его в поднятом положении под углом 87° к горизонтали, как показано на рис. 26.8.

Технологический процесс сборки требует настройки стэнда для каждого типоразмера магнитопровода. Настройка заключается в установке и закреплении элементов стэнда таким образом, чтобы обеспечивались необходимые размеры магнитопровода. Верхнюю и нижнюю ярмовые балки стороны НН устанавливают и фиксируют на домкратных подставках, на них укладывают изоляцию из электронизоляционного картона и приступают к шихтовке с так называемым «прямым» стыком пластин первого пакета магнитопровода. При шихтовке слой набирается из пластин, имеющих прямоугольную форму. Пластин базироваться по специальным опорам-шаблонам, которые предварительно настраиваются на требуемый размер по ширине и высоте пакета. В процессе шихтовки пластины с торцов подбиваются легкими ударами деревянного молотка, чтобы зазор в стыках не превышал 1,5 мм и для уменьшения «гребешков». При шихтовке следует следить за тем, чтобы было уложено расчетное число пластин, поэтому в процессе сборки систематически контролируют толщину пакетов: отдельных пакетов штангенциркулем, стержня в сборе — специальными гидравлическими струбцинами. После укладки второго или третьего пакета между пластинами помещают луженую медную ленту, заземляющую магнитопровод. В ленте делают отверстие под болт, ввинчивающийся в полку ярмовой балки. Под ленту обязательно кладут полосу электронизоляционного картона во избежание замыкания торцов пластин. Продолжают укладку пластин пакетов. Дойдя до охлаждающего канала, укладывают пластины, образующие канал (с гофрами, прутками, полосами), и продолжают шихтовку остальных пакетов, проверяя отсутствие смещения верхних пакетов относительно нижних.

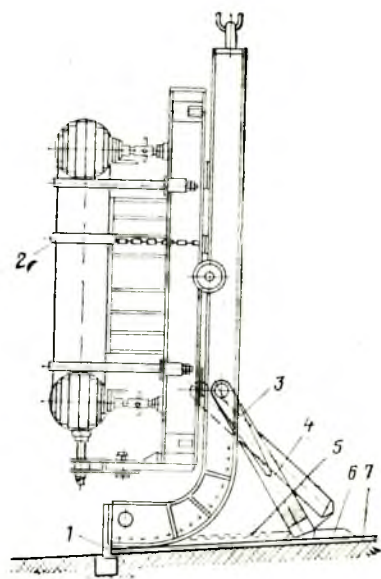


Рис. 26.8. Стенд с магнитопроводом в скантованном положении.
1 — Г-образная планка; 2 — стяжка; 3 — рукоятка; 4 — кронштейн (подпорка); 5 — рейка; 6 — пластина упорная; 7 — основание.

Сборка магнитопроводов из пластин, стыкующихся под углом 45° , — с косым стыком — является более сложной и трудоемкой, тем более что в целях обеспечения перекрытия стыков пластин при шихтовке приходится смещать их по длине (см. рис. 26.2, б). Несколько проще шихтовка магнитопровода с «комбинированным» стыком (см. рис. 26.2, в), широко применяемым в трансформатор-

рах большой мощности. После проверки толщины активной стали всего магнитопровода стержни магнитопровода прессуют с помощью гидробалки и стягивают стеклобандажами с шагом 150 и 120 мм соответственно для трансформаторов II, III и IV—VIII га-баритов.

Прессовку и установку бандажей на магнитопровод производят последовательно, начиная с середины крайнего стержня. Установив прессующую балку, включают редукторы и начинают

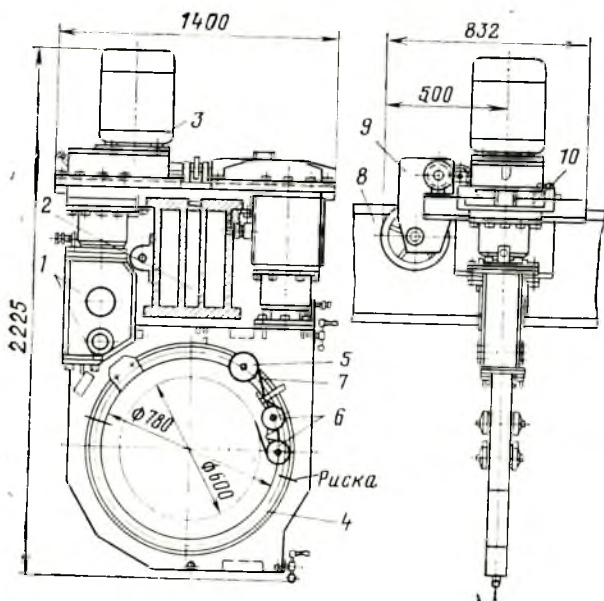


Рис. 26.9. Приспособление для намотки стеклобандажей.

1 — головка; 2 — гидроцилиндр; 3 — электрооборудование; 4 — полушестерни; 5 — бобина; 6 — ролики механизма натяжения; 7 — стеклолента; 8 — прессующая балка; 9 — механизм перемещения; 10 — каретка.

прессовку стержня магнитопровода. По достижении заданного усилия прессовки $(4-6) \cdot 10^5$ Па электродвигатели прессующей балки автоматически выключаются и производится намотка бандажей с помощью лентонамотчика (рис. 26.9).

При разведенных полушестернях намотчик устанавливают на стержень магнитопровода, затем соединяют полушестерни намотчика. Устанавливают и заправляют бобины со стеклолентой между роликами механизма натяжения. Проверяют усилие натяжения стеклоленты и производят намотку стеклобандажей. Одновременно наматывают два бандажа. После установки бандажей на все стержни приступают к прессовке ярем. Укладывают изоляцию, а на нее яремные балки стороны ВН. Пакеты ярем магнитопровода прессуют с помощью яремных балок, стянутых шпильками или полубандажами и специальными трубцами, проходящими вне ак-

тивной стали. Затяжку шпилек или полубандажей ведут с заданным усилием. Контроль затяжки осуществляется специальными градуированными тензометрическими ключами и индикаторным указателем. Магнитопровод закрепляют на стенде специальной стяжкой, а затем с помощью крана вместе со столом кантуют. В положении, близком к вертикальному (87°), стенд стопорят кронштейнами-подпорками, как показано на рис. 26.8. Магнитопровод зачаливают стропами, после чего освобождают от крепления, снимают со стенда и устанавливают на отделочную площадку.

Магнитопроводы мощных трансформаторов имеют более сложную конструкцию, большие размеры стержней, ярм и массы. Эти усложнения отражаются как на конструкции стенда-кантователя, так и на организации рабочего места. Большое разнообразие пластин в магнитопроводе, а также необходимость перед сборкой разделять пластины одного и того же типоразмера равными долями в соответствии со схемой шихтовки возле рабочих мест (для последующей укладки в стержни и ярма) усложняют сборку, увеличивая ее трудоемкость, поэтому предварительно производят комплектацию взвешенных пакетов пластин.

Стенды-кантователи для сборки таких магнитопроводов по конструкции аналогичны вышеописанным, но они дополнены рядом устройств и механизмов, облегчающих труд сборщиков. Дополнительно стенд имеет подъемные столы для установки контейнеров с длинными стержневыми пластинами. Опоры стола в зависимости от высоты окна собираемого магнитопровода можно сближать при настройке и при необходимости поднимать или опускать контейнер с пластинами в процессе сборки.

Операция отделки магнитопроводов является завершающей перед его предъявлением ОТК и проведением операционных испытаний. При отделке устанавливают прессующие винты, экраны, шунты и другие детали согласно чертежу и технологической карте сборки магнитопровода. Согласно схеме заземления магнитопровода устанавливают заземляющие шинки рабочего и защитного заземлений и устраняют мелкие дефекты. Все замковые пластины на деталях и узлах, не подлежащие разборке при первой сборке трансформатора и не подвергающиеся дополнительной подтяжке после сушки активной части, должны быть застопорены. Места, имеющие повреждения изоляционных или лакокрасочных покрытий, должны быть подкрашены. Собранный магнитопровод проверяется отвесом на отсутствие отклонений от вертикального положения.

Состояние изоляции ярмовых балок, стержней, шпилек, прессующих пластин, других узлов и деталей проверяют мегаомметром и устраняют обнаруженные замыкания. После окончания этих работ магнитопровод предъявляют ОТК.

Собранные магнитопроводы (остовы) подвергаются испытаниям. Цель испытания — установить качество сборки изготовленного магнитопровода и целостность изоляции пластин. На испыта-

тельной станции производят испытание изоляции шпилек, накладок, ярмовых балок и других деталей относительно активной стали магнитопровода напряжением переменного тока 2000 В в течение 1 мин.

Сопротивление междулистовой изоляции измеряют способом амперметра — вольтметра. Измерение производят при постоянном токе 0,25—8,5 А от аккумуляторной батареи напряжением 6—12 В. Осуществляют измерение сопротивления каждого пакета и всего магнитопровода, регулируя ток реостатом. Результаты измерений должны соответствовать установленным требованиям [17, 18].

6) Сборка пространственных магнитопроводов

Наряду с плоскими магнитными системами, у которых продольные оси всех стержней и ярм располагаются в одной плоскости, существуют пространственные системы, у которых оси стержней и ярм располагаются в разных плоскостях.

Витой пространственный магнитопровод (см. рис. 26.1, б) состоит из трех овальных секций, навитых из лент рулонной стали на специальные оправки. Фасонная форма сечения навитой секции образуется за счет использования лент различной ширины. Намотку секций производят на специальных механизированных линиях. Конец ленты закрепляют сваркой. После намотки секция закрепляется металлическими струбцинами и подвергается отжигу для снятия напряжений, полученных при намотке. Освобожденные от струбцины отожженные кольца комплектуют по три штуки, располагают их между собой под углом 120° и закрепляют в таком положении бандажом из стеклоленты. Прямые участки овальных элементов образуют стержни, а радиусные стороны овала — ярма магнитопровода.

Сборка магнитопровода заключается в соединении воедино трех секций с образованием пространственного симметричного трехфазного магнитопровода.

В этих магнитопроводах в полной мере использованы лучшие свойства холоднокатаной стали — весь путь магнитного потока направлен только вдоль проката стали. Поэтому у трансформатора с таким магнитопроводом значительно ниже потери холостого хода. Трансформаторы с пространственными магнитопроводами изготавливают на Минском электротехническом заводе (МЭТЗ) им. В. И. Козлова.

Пространственный пластинчато-ленточный магнитопровод состоит из ярм, навитых из непрерывной ленты, и стержней, собранных из прямоугольных пластин. Изготовление и сборка ярм и стержней ведется самостоятельно на отдельных рабочих местах. Намотка ярма производится аналогично намотке элементов витого сердечника на специальных механизированных линиях. Намотку ленты производят до половины сечения ярма, затем вставляют закладки для образования отверстий под стягивающие

шпильки и заканчивают намотку ярма. После отжига ярма передают на сборку со стержнями. Стержни собирают из прямоугольных пластин вручную и скрепляют стеклобандажами.

Глава двадцать седьмая

ОБМОТОЧНО-ИЗОЛЯЦИОННОЕ ПРОИЗВОДСТВО ТРАНСФОРМАТОРОВ

27.1. ОБМОТКИ И ИЗОЛЯЦИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Обмотки являются одним из основных элементов трансформатора, позволяющим осуществлять преобразование напряжения, т. е. получение двух или нескольких различных напряжений. Вместе с магнитопроводом они образуют активную часть трансформатора. Обмотки трансформатора выполняются из обмоточного провода и непосредственно связаны с деталями, которые образуют изоляцию трансформатора, удерживают провода в положении, предусмотренном расчетом и конструкцией, препятствуют их смещению под действием электромагнитных сил, а также создают каналы для охлаждения. В конструкцию обмоток входят выводные концы, регулировочные ответвления, емкостные кольца и экраны емкостной защиты.

Обмотки трансформаторов различных мощностей и напряжений различаются типом намотки, числом витков, поперечным сечением провода и числом параллельных проводов, направлением намотки, схемой соединения отдельных элементов обмотки и конструкцией изоляции. В зависимости от назначения трансформатора, его типа, мощности и напряжения обмотки выполняются различных конструкций [17]. В сериях отечественных силовых трансформаторов применяют концентрические обмотки круглой формы. Они устойчивы при воздействии на них растягивающих или сжимающих усилий, имеют наименьшую длину провода при заданном активном сечении магнитопровода, надежны в эксплуатации, просты в изготовлении.

Основным элементом обмотки трансформатора является виток, который в зависимости от номинального тока нагрузки может быть выполнен одним или группой параллельных проводов. Число витков обмотки определяется расчетом исходя из напряжения трансформатора. Ряд витков, намотанных на цилиндрической поверхности, называется слоем. Число витков в одном слое может быть от одного до нескольких десятков и даже сотен. Отдельные витки обмотки группируются в катушки. Обмотка может состоять из одной или нескольких катушек, соединенных между собой. Между витками, слоями или катушками, а также между разными обмотками и частями трансформатора устанавливается электрическая изоляция, гарантирующая обмотку от пробоя как при рабочем напряжении, так и при возможных перенапряжениях. Для нормального охлаждения обмотки между ней и другими частями трансформатора, а также между слоями, катушками или отдельными витками предусмотрены каналы.

Во всех типах обмотки принято различать направления намотки правое и левое. Большинство обмоток трансформаторов, по соображениям удобства их изготовления, выполняется с левой намоткой.

По конструктивно-технологическим признакам различают следующие основные типы обмоток: цилиндрическую (одно- и многослойную), дисковую (катушечную), непрерывную катушечную, переплетенную, витковую (рис. 27.1, а—г). Выбор типа обмоток зависит от числа витков, размера и числа параллельных проводов, способа охлаждения, мощности трансформатора и других факторов. При выборе типа обмоток следует руководствоваться предъявляемыми к ним требованиями, а также технической возможностью их выполнения. Основные требования, предъявляемые к обмоткам трансформаторов, можно подразделить на эксплуатационные и производственные.

Основными эксплуатационными требованиями являются достаточная электрическая и механическая прочность, а также нагревостойкость обмоток. Изоляция обмоток должна выдерживать без повреждений как рабочее, так и коммутационные и атмосферные перенапряжения, которые могут возникнуть в сети. Механическая прочность обмоток должна гарантировать их от повреждений при токах короткого замыкания и других механических воздействий. Геометрические размеры и форма обмоток должны сохраняться неизменными в течение всего периода эксплуатации трансформатора.



Рис. 27.1. Обмотки силовых трансформаторов.

а, б — цилиндрическая двух- и многослойная; в — непрерывная катушечная; г — винтовая одноходовая.

Производственные требования заключаются в наименьших затратах труда и материалов на их изготовление. В [17] детально изложены вопросы выбора обмоток, их устройства, а также расчета и конструирования.

В масляных трансформаторах обмотки, отводы, переключающие устройства и соединяющие провода находятся внутри бака, залитого маслом. Вводы (проходные изоляторы) имеют две части — нижнюю, более короткую, находящуюся в масле бака, и верхнюю, воздушную, находящуюся вне бака. Поэтому изоляцию масляного трансформатора можно разделить на внутреннюю (в масле) и внешнюю (в воздухе).

Внутренняя изоляция масляного трансформатора подразделяется на главную и продольную [17]. Главная изоляция представляет собой изоляцию данной обмотки (вместе с электрически соединенным с ней экраном отводами и переключателями) относительно корпуса, т. е. к заземленным частям магнитопровода и бака, а также по отношению к соседним обмоткам, электрически с нею не соединенным. Продольной изоляцией называют изоляцию между различными точками и частями данной обмотки (между витками, слоями, катушками и элементами емкостной защиты), имеющими разные потенциалы.

В процессе работы трансформатора изоляция в различных ее частях может подвергаться различным воздействиям, а именно: электрическим, тепловым, механическим, физико-химическим.

В период эксплуатации трансформатор постоянно находится во включенном состоянии и на его изоляцию длительно воздействует электрическое поле, соответствующее номинальному рабочему напряжению. Это напряжение изоляция должна выдерживать, не повреждаясь весь период эксплуатации трансформатора. В процессе эксплуатации изоляция трансформатора подвергается также и

кратковременным перенапряжениям, которые вызываются явлениями атмосферного характера (грозовым разрядом), коммутационными процессами (включение — выключение трансформатора) и процессами аварийного характера (короткими замыканиями). Атмосферные перенапряжения наиболее опасны для продольной изоляции.

Весьма серьезным вопросом при обеспечении длительной безотказной работы трансформатора является исключение местных чрезмерных перегревов, ведущих к преждевременному старению изоляции. При правильной эксплуатации масляных трансформаторов, когда температура изоляции в наиболее нагретой точке не превышает 105°C , изоляция может служить 20—25 лет. Повышение температуры на 6 — 8°C приводит к сокращению срока службы трансформатора примерно в 2 раза.

Изоляция трансформатора представляет сложный диэлектрик. При воздействии переменного электрического поля в сложном диэлектрике происходит выделение теплоты и нагревание изоляции, это явление носит название диэлектрических потерь.

При протекании тока по проводам обмоток и другим токоведущим частям между отдельными обмотками и проводами одной обмотки возникают механические усилия, которые при коротких замыканиях возрастают и могут вызвать остаточные деформации и даже повреждение обмоток и их изоляции.

Сложные физико-химические воздействия на изоляцию возникают в масляных трансформаторах в результате наличия в изоляции посторонних примесей и воздействия температуры. Наиболее вредными примесями являются: влага, остатки растворителя пропиточного лака, воздушные или газовые включения, загрязнения посторонними примесями (например, волокнами твердой и жидкой изоляции).

Необходимую электрическую прочность изоляции в трансформаторах обеспечивают выбором материала изоляции, изоляционных конструкций и размеров изоляционных промежутков. Рациональная конструкция и расположение обмоток обеспечивают их необходимую механическую прочность. Изоляционные материалы, применяемые в трансформаторостроении, не вступают в химическое взаимодействие с маслом, поэтому они не разрушаются и не способствуют разложению и загрязнению масла. В масляных трансформаторах допустимая температура обмоток определяется не только классом изоляции обмоток, но также и допустимой температурой для масла, в котором находится обмотка.

Значительную роль в обеспечении электрической прочности изоляции играет правильная технология ее обработки. Одной из важнейших технологических операций является вакуумная сушка активной части трансформатора, которая проводится перед заливкой ее маслом.

В практике трансформаторостроения наибольшее распространение получила маслобарьерная изоляция обмоток, состоящая из различных комбинаций масляных каналов или промежутков с барьерами в виде цилиндров, простых и угловых шайб.

В трансформаторах стержневого типа с concentрическими обмотками основными промежутками главной изоляции являются следующие: канал между обмоткой и стержнем магнитопровода, канал между обмотками НН и ВН, промежутки между обмоткой ВН и стенкой бака, между обмотками разных фаз (междуфазное расстояние) и между торцами обмоток НН и ВН и ярами.

Достоинством маслобарьерной изоляции является более простая (по сравнению с масляно-бумажной) технология изготовления обмоток, изоляции, сборки активной части, ее сушки и пропитки маслом. В отечественных сериях силовых трансформаторов главная изоляция обмоток — маслобарьерная.

На рис. 27.2 показана конструкция изоляции трансформатора класса напряжения 35 кВ. В ней изоляция между обмотками ВН и НН, между обмотками ВН и стержнем магнитопровода 3 выполнена в виде масляного промежутка, разделенного изоляционными (жесткими бумажно-бакелитовыми) цилиндрами 5 и 7. Обмотки ВН и НН намотаны на бакелитовых цилиндрах, являющихся каркасом обмотки.

Электрическую прочность продольной изоляции обеспечивают правильным выбором витковой и междукатушечной изоляции. Изоляция между витками обеспечивается собственной изоляцией обмоточного провода. Междукатушечная изоляция в непрерывной обмотке осуществляется радиальными масляными ка-

налами, образусыми дистанционными прокладками 16, надетыми на рейки 13 и 15. Электроизоляционные картонные рейки, расположенные по окружности обмотки, как показано на рис. 27.2, создают вертикальные каналы между цилиндром и проводниками обмотки. Детали радиального крепления удерживают обмотки концентрично относительно стержня магнитопровода и относительно друг друга и образуют для витков внутренних обмоток опоры, воспринимающие направленные внутрь обмоток радиальные усилия короткого замыкания. Ра-

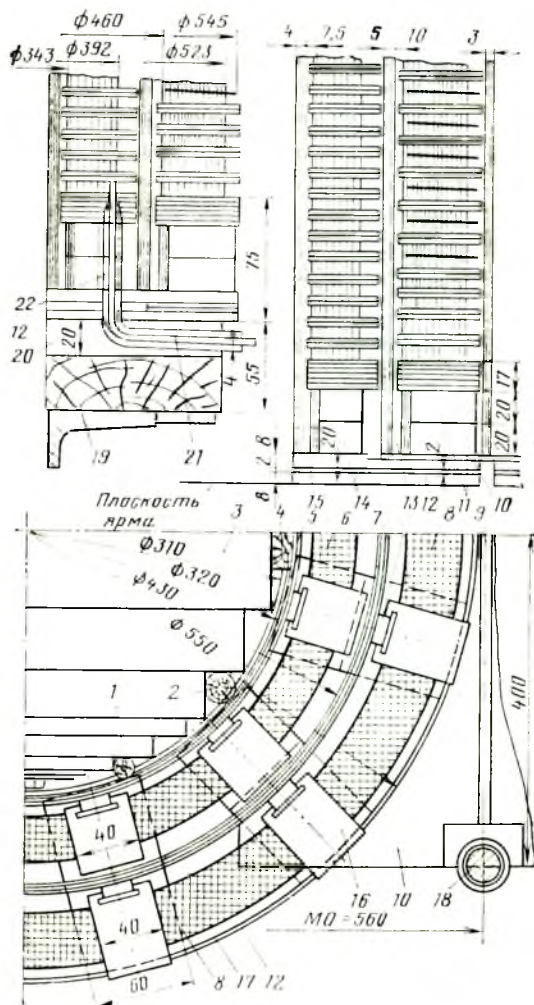


Рис. 27.2. Строение изоляции обмоток трехфазных трансформаторов класса напряжения 35 кВ.

1, 2 — деревянные стержни крепления; 3 — магнитопровод; 4 — округленная деревянная планка расклинивания; 5 — бумажно-бакелитовый цилиндр обмотки НН; 6 — непрерывная обмотка НН; 7 — бумажно-бакелитовый цилиндр обмотки ВН; 8 — непрерывная обмотка ВН; 9 — междуфазная перегородка; 10 — щиток, закрывающий ярмо; 11 — опорные кольца обмотки ВН; 12 — ярмовая изоляция; 13 — рейки обмотки ВН; 14 — опорные кольца обмотки ВН; 15 — рейки обмотки ВН; 16 — прокладки обмотки ВН; 17 — электрокартонная шайба; 18 — вертикальная стальная шпилька, изолированная бумажно-бакелитовой трубкой; 19 — ярмовая балка; 20 — планка уравнивающей изоляции; 21, 22 — отвод (конец) обмотки.

диальное крепление цилиндра обмотки НН на стержне магнитопровода осуществляется нормализованными деревянными стержнями 1, 2 и планками 4. Между обмотками ВН различных фаз устанавливают междугазную изоляцию. В трансформаторах малой и средней мощности напряжением до 15 кВ размеры изоляционных промежутков между торцами обмоток и яровыми балками относительно невелики. Поэтому концевую изоляцию обычно осуществляют в виде деревянных подкладок или деталей из электроизоляционного картона, как бы совмещающих в себе и яровую, и уравнительную изоляцию.

Одним из перспективных видов изоляции является бумажно-масляная изоляция, применение которой позволяет уменьшить изоляционные расстояния, а это способствует увеличению предельной мощности транспортабельных трансформаторов.

27.2. МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ИЗОЛЯЦИОННО-ОБМОТОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ, И ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НИМ ТРЕБОВАНИЯ

В производстве трансформаторов, как и электрических машин, применяют проводниковые и изоляционные материалы. В качестве проводников тока в обмотках трансформаторов применяется чистая электролитическая медь или алюминий.

Для обмоток масляных силовых трансформаторов применяют медный и алюминиевый изолированный провод круглого и прямоугольного сечений по ГОСТ 16512-70, 16513-70 и специальным ТУ кабельной промышленности. Применяются провода, изолированные лентами высоковольтной уплотненной кабельной бумаги, марок ПБО, ПБД, АПБД, ПЭБО, ПЭЛБО, а также провода, изолированные лентами кабельной или телефонной бумаги, марок ПБ и АПБ.

Номинальная диаметральная (удвоенная) толщина изоляции круглых проводов составляет: 0,3; 0,72; 0,96; 1,20 мм. Номинальная удвоенная толщина изоляции для проводов марок ПБ и АПБ составляет: 0,45; 0,55; 0,72; 0,96; 1,20; 1,36; 1,68; 1,92 мм; а для марок ПБУ и АПБУ 2,0; 2,48; 4,08; 4,4 мм.

За рубежом в качестве междувитковой изоляции проводов наряду с применением лучших сортов кабельной бумаги стали применять синтетические изоляционные материалы.

Для обмоток сухих трансформаторов применяют провода марок ПСД, ПСДК, ПДА (ГОСТ 7019-71).

При применении в обмотке проводов большой толщины (3—5 мм) и большого числа элементарных проводников в витке (более 100) очень важно ограничить добавочные потери, вызываемые магнитным полем рассеивания и циркулирующими токами. В этом случае целесообразно применять специальные транспонированные провода.

Транспонированный провод (рис. 27.3, а) состоит из нечетного числа прямоугольных изолированных проводников, расположенных в два ряда. Между рядами проводов проложена изоляция из кабельной бумаги толщиной 0,12 мм. Для изготовления транспонированных проводов применяются провода марки ПЭМП — провода медные прямоугольные эмалированные высокопрочные. Транспозиция элементарных проводников выполняется по принципу круговой перестановки по прямоугольному контуру. Поверх образованного таким образом провода накладывается общая бумажная изоляция из кабельной бумаги марки КМ-120 толщиной 0,12 мм для проводов марки ПТБ или из кабельной бумаги КВУ толщиной 0,08 мм для проводов марки ПТБУ-С (провод транспонированный из элементарных эмалированных проводников в общей бумажной изоляции, специальный). Номинальная удвоенная толщина бумажной изоляции для транспонированных проводов 0,95 и 1,35 мм.

По сравнению с обычными обмоточными проводами марки ПБ транспонированные провода марки ПТБ имеют ряд преимуществ: снижается трудоемкость изготовления обмоток, так как в процессе намотки отпадает необходимость транспозиции отдельных проводников; значительно повышается коэффициент заполнения сечения обмотки медью, благодаря замене бумажной изоляции элементарных проводников более тонкой эмаль-изоляцией; уменьшаются размеры обмоток, что ведет к уменьшению вложения материалов, снижает габариты и массу трансформатора; снижаются добавочные потери от полей рассеивания

благодаря более совершенной транспозиции и применению меньших сечений элементарных проводников.

В обмотках НН трансформаторов большой мощности применяется также транспонированный подразделенный провод марки ППТБ (рис. 27.3, в).

Для снижения потерь успешно применяют другой вид специальных обмоточных проводов марок ПБП и ПБПУ, так называемые подразделенные провода (рис. 27.3, б). Провод образован 2—3 элементарными проводниками (жилами) с бумажной изоляцией толщиной 0,4 мм и общей (дополнительной) изоляцией

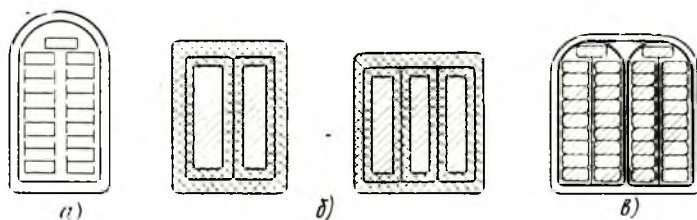


Рис. 27.3. Специальные провода.

а — транспонированный марки ПТБ; б — подразделенный марки ПБП (двух- и трехжильный); в — подразделенный транспонированный марки ППТБ.

1,35; 1,68; 1,92; 2,48; 2,96 мм. Разделение проводника приводит к значительному (на 20—30 %) снижению добавочных потерь от полей рассеяния, благодаря чему уменьшается нагрев обмотки.

Одной из причин повреждения трансформаторов в эксплуатации является потеря устойчивости обмоток вследствие недостаточной механической прочности обмоточных проводов. Предполагается получение медного сплава, обладающего при относительно небольшом увеличении удельного сопротивления до 5 % существенно более высокими, чем у меди, механическими характеристиками (1,5—2 раза). Необходимы обмоточные провода (в том числе и транспонированные) с терморезистивным изоляционным покрытием, которое, полимеризуясь при сушке обмоток, склеивает витки. Намечается увеличение выпуска проводов с эмалевой изоляцией для применения в трансформаторах напряжением до 330 кВ включительно.

В последнее время за рубежом и в нашей стране в качестве проводникового материала для обмоток трансформаторов малой мощности (до 630 кВ·А) широко применяются медная и алюминиевая фольга и лента, что позволяет резко повысить коэффициент заполнения объема активным проводником. Медную фольгу изготавливают из меди марки М-1 (ГОСТ 859-78) толщиной 0,35—0,065 мм; ленту толщиной 0,100; 0,080; 0,075; 0,050; 0,035 мм.

Алюминиевая фольга и лента, предназначенные для обмоток трансформаторов, изготавливаются из алюминия марки АЕ по ГОСТ 11069-74. Толщина фольги 0,2—0,02, толщина ленты 2,0—0,22 мм.

Основное назначение электроизоляционных материалов — надежно изолировать токоведущие части трансформаторов между собой и от заземленных частей, для чего эти материалы должны обладать определенными свойствами. Наиболее важными из них являются электрическая и механическая прочность, диэлектрическая проницаемость, электропроводность, гигроскопичность и нагретостойкость [20].

В современных силовых трансформаторах применяется твердая изоляция в сочетании с электроизоляционным (нефтяным) маслом. Жидкие диэлектрики, т. е. минеральное трансформаторное масло или синтетические жидкости (совтол 10), кроме изоляции служат также охлаждающей средой.

В качестве основной твердой изоляции масляных трансформаторов в настоящее время применяют волокнистые материалы из целлюлозы. К ним относятся электроизоляционные картоны и бумаги.

Важнейшими характеристиками электроизоляционного картона являются высокие электрические показатели — стойкость к воздействию поверхностных

разрядов и электрическая прочность. Особенности конструкции трансформаторов, механические и электрические воздействия, имеющие место при их работе, приводят к необходимости применять для деталей изоляции электроизоляционный картон с различными свойствами. Так, для цилиндров главной изоляции трансформаторов и изоляционных перегородок нужен мягкий картон. Он должен быть эластичен, иметь повышенную маслостойкость и минимальную усадку по длине при высокой механической прочности на разрыв. Основными электрическими характеристиками мягкого картона должны быть его стойкость к поверхностному разряду и высокая электрическая прочность (на пробой по толщине).

Для элементов продольной изоляции — дистанционных прокладок, ярмовой и уравнительной изоляции — нужен твердый картон, хорошо работающий на сжатие. Он должен иметь минимальную усадку по толщине, улучшенную механическую прочность на сжатие и хорошо обрабатываться методом вырубki (штамповки) и резания. Кроме электроизоляционных картонов, обрабатываемых методом резки и штамповки, нужно иметь электроизоляционные картоны специальных марок для изготовления деталей сложной конфигурации методом горячей формовки на прессах или вытяжки в пресс-формах.

Электроизоляционный картон, выпускаемый промышленностью, изготавливается в соответствии с ГОСТ разных марок и толщин.

Картон марки А — эластичный, гибкий, с высокой стойкостью к действию поверхностных разрядов в масле. Этот картон предназначен для изготовления деталей главной изоляции высоковольтных масляных трансформаторов с напряжением до 1200 кВ включительно. Электроизоляционный картон марки М (с добавкой в композицию картона хлопковой целлюлозы) имеет более высокие показатели (в 2 раза выше марки А) по стойкости к воздействию поверхностных разрядов; предназначен для главной изоляции трансформаторов напряжением 750 кВ и выше.

Картон марки Б — средней плотности с повышенными электрическими свойствами — применяется для изготовления деталей главной изоляции масляных трансформаторов напряжением до 220 кВ включительно. Изготавливаемый в настоящее время электроизоляционный картон марки Б плотностью 950—1100 кг/м² неполностью обеспечивает надежную электродинамическую стойкость обмоток, особенно трансформаторов, подвергающихся частым электродинамическим воздействиям, поэтому для элементов продольной изоляции применяют «жесткий» картон плотностью 1250—1350 кг/м² и сжимаемостью при давлении 20 МПа до 3,5 % без остаточных деформаций после снятия давления.

Картон марки В — твердый, с малой сжимаемостью под давлением, высокой электрической прочностью (перпендикулярно поверхности), используется для изготовления деталей продольной изоляции трансформаторов.

Картон марки Г — средней плотности с повышенным сопротивлением расслаиванию, применяется как основа для получения склеенного картона и изготовления изоляционных деталей масляных трансформаторов.

Электроизоляционные бумаги (телефонная и кабельная) применяются в трансформаторах в качестве витковой и дополнительной изоляции обмоточного провода.

Кабельная бумага согласно ГОСТ 645-67 применяется марок К-080, К-120, К-170 толщиной соответственно 0,08; 0,12; 0,17 мм и КВУ (уплотненная) толщиной 0,08 мм, а телефонная — марок КТ-04 и КТ-05. В настоящее время применяется нагревостойкая бумага марок КМТ-125 и КМТУ-80 (ГОСТ 18448-73), применение которой допускает увеличение нагрузочной способности трансформаторов на 16—15 %, что эквивалентно увеличению мощности. Крепированная электроизоляционная бумага марки ЭКТМ (ГОСТ 12769-76) благодаря поперечному крепу (гофрировке) при натяжении дает удлинение до 70 %; ее применение обеспечивает плотную изоляцию мест соединений и изгибов.

Лакоткань электроизоляционная (ГОСТ 2214-78) применяется для изоляции концов обмоток и отводов масляных трансформаторов.

В качестве вспомогательных материалов применяют: ленты хлопчатобумажные (ГОСТ 4514-78), электроизоляционные лаки и клеи, припой мягкие и твердые (для пайки емкостных колец, отводов обмоточных проводов), парафин (для обеспечения лучшего скольжения деталей и провода) и др.

27.3. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБМОТОК И ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Технология изготовления обмоток и изоляции силовых трансформаторов должна обеспечивать помимо заданных конструктором технических параметров этих изделий их эксплуатационную надежность при наиболее высоком уровне производительности труда и максимальном снижении трудоемкости. Эта задача ре-

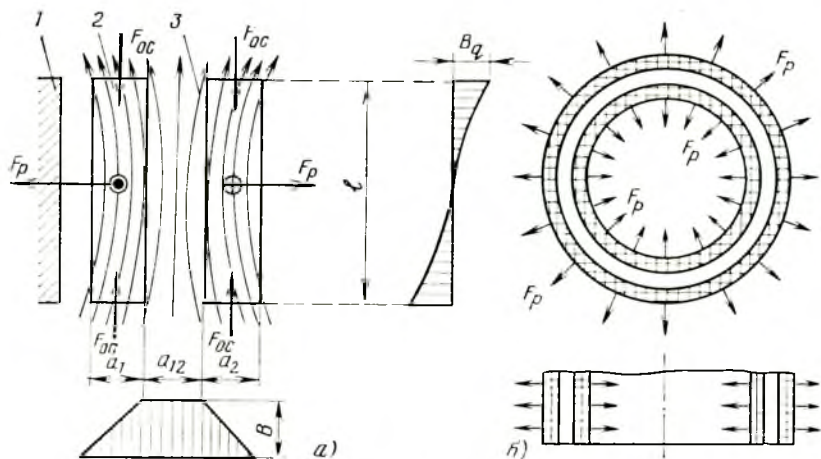


Рис. 27.4. Силы, возникающие в магнитном поле рассеяния концентрической обмотки.

a — магнитное поле рассеяния; b — направление радиальных сил; 1 — магнитопровод; 2 — обмотка НН; 3 — обмотка ВН.

шается на основе научно обоснованных требований к производству обмоток и изоляции с учетом знания процессов, происходящих в трансформаторе при его эксплуатации.

Обмотки в процессе эксплуатации испытывают большие механические нагрузки [17, 20] в результате взаимодействия электрического тока, проходящего по проводникам обмотки, с магнитным полем рассеяния (рис. 27.4, a , b). В концентрических обмотках взаимодействие продольного поля рассеяния с токами в проводах обмотки создает радиальные силы, которые стремятся растянуть наружную обмотку и сжать внутреннюю.

Сила, сжимающая обмотку в осевом направлении, зависит от формы и направления поперечного поля рассеяния.

Радиальные и осевые силы, действующие на обмотку, зависят как от геометрических параметров обмотки, так и от тока, протекающего в обмотке.

При коротких замыканиях или коммутационных воздействиях в обмотке протекают токи в 10—20 раз превышающие номинальные значения, вызывая резкое увеличение механических нагрузок

на обмотку. Особо надо учитывать кратковременный характер воздействия сил от короткого замыкания, при которых действуют законы динамики.

Радиальные силы воспринимаются проводниками обмотки, вызывая в них напряжения растяжения или сжатия. Если между витками в радиальном направлении нет зазора, тогда все витки воспринимают нагрузку равномерно. В противном случае нагрузка будет восприниматься отдельными витками неравномерно, что может привести к остаточной деформации проводников, т. е. к снижению механической прочности обмотки.

Сжимающая радиальная сила, действующая на виток, вызывает иногда потерю устойчивости обмотки в радиальном направлении, даже если в ней предельные напряжения сжатия не превысили допустимых для данного проводника.

Если условно рассматривать обмотку как кольцо, имеющее несколько опор и нагруженное равномерно сжимающей статической нагрузкой, то критическое напряжение, Па , при превышении которого произойдет потеря его устойчивости, определится как

$$\sigma_{\text{кр}} = \frac{Ea^2c^2}{12D^2} = \frac{\pi^2}{12} E \left(\frac{a}{l} \right)^2, \quad (27.1)$$

где E — модуль упругости проводника, Па ; a — радиальный размер обмотки, м ; c — число опор; D — средний диаметр обмотки, м ; l — длина пролета между опорами, м .

Эксперименты показывают [21, 24], что при динамическом режиме значение критического напряжения может быть больше, чем определяемое по (27.1). Особенно этому способствует наличие «начальных неправильностей», которые могут быть вызваны технологическими факторами: отступлением от концентрической формы внутреннего витка обмотки, разной толщины установленных реек, неравномерным и неплотным прилеганием витков в радиальном направлении, местными изгибами проводника и т. п. В то же время установлено, что чем плотнее витки обмотки в осевом направлении прилегают друг к другу, тем устойчивее обмотка в радиальном направлении. Еще не найден точный математический учет влияния технологических факторов на устойчивость обмоток, однако экспериментальная проверка показала их существенное влияние, поэтому весьма важно при изготовлении обмоток не допускать или свести к минимуму те явления которые могут привести к снижению устойчивости обмоток.

Осевые сжимающие усилия воспринимаются между катушечными прокладками и опорными элементами, вызывая в них напряжения сжатия. Напряжения сжатия при коротком замыкании могут достигнуть 35—40 МПа.

Так как механические прочностные характеристики изоляционного материала значительно ниже проводникового материала, то они подвергаются большим деформациям от осевой механической нагрузки и под действием этих усилий обмотки могут деформироваться, в результате чего трансформатор может быть выведен из

строю. Для уменьшения осевых сил при коротких замыканиях и повышения осевой устойчивости обмоток применяют целый ряд конструктивных и технологических решений. Так, все катушечные обмотки выполняются с наружными, так называемыми «прошивными», рейками. К конструктивным решениям следует также отнести предварительную запрессовку обмоток между ярмовыми балками магнитопровода с помощью специальных нажимных винтов или гидродомкратов, которые позволяют регулярно производить подпрессовку обмоток в процессе эксплуатации. Внедрены также специальные технологические процессы, направленные на стабилизацию осевого размера обмотки в процессе эксплуатации трансформатора. Главными из них являются плотная намотка обмотки вследствие осевой и радиальной подпрессовки в процессе намотки, применение уплотненного электроизоляционного картона и специальных режимов обработки, сводящих к минимуму изменение осевых размеров обмотки при ее прессовке и вакуумной сушке.

В основных типах обмоток (винтовых, непрерывных, переплетенных) применяемых в трансформаторах III—VIII габаритов, бумажная изоляция провода и картон прокладок составляют 40—50 % осевого размера обмотки. Несомненно, что стабильность размеров этих материалов в значительной мере определяет стабильность осевого размера обмотки. Электроизоляционный картон представляет собой неоднородный гетерогенный материал, состоящий из целлюлозного волокна и вещества, заполняющего поры (воздуха, влаги). По капиллярам влага проникает в волокна целлюлозы, которые, поглощая воду, разбухают, и картон увеличивает свою толщину. Поэтому изготовление изоляционных деталей из электроизоляционного картона необходимо вести в сухих помещениях. При уменьшении влажности картона толщина его практически не изменяется, но из-за удаления воды в нем образуются пустоты-поры, объем которых доходит до 40—50 %. Наличие пор обуславливает большую усадку картона по толщине под действием сил сжатия.

Усадка электроизоляционного картона по толщине характеризуется степенью остаточной деформации

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0} = \frac{h_0 - h_1}{h_0} \cdot 100\%, \quad (27.2)$$

где ε — степень остаточной деформации электроизоляционного картона под нагрузкой, %; h_0 — исходная толщина электроизоляционного картона, м; h_1 — конечная толщина картона при данной нагрузке, м.

Степень деформации зависит от многих факторов: нагрузки, времени приложения нагрузки, температуры, влажности картона и др.

Зависимость степени остаточной деформации от напряжения сжатия $\varepsilon = f(\sigma_{сж})$ показана на рис. 27.5, а.

При начальном нагружении с усилием 1,5—2,5 МПа кривая сжатия имеет значительную кривизну, что объясняется резким уплотнением картона за счет интенсивного выбора пустот. При дальнейшем увеличении давления кривая идет более полого и при нагрузках порядка 25—30 МПа приобретает вид прямой линии, слегка наклоненной к оси абсцисс, что свидетельствует о том, что процесс нарастания деформаций при таких нагрузках практически заканчивается.

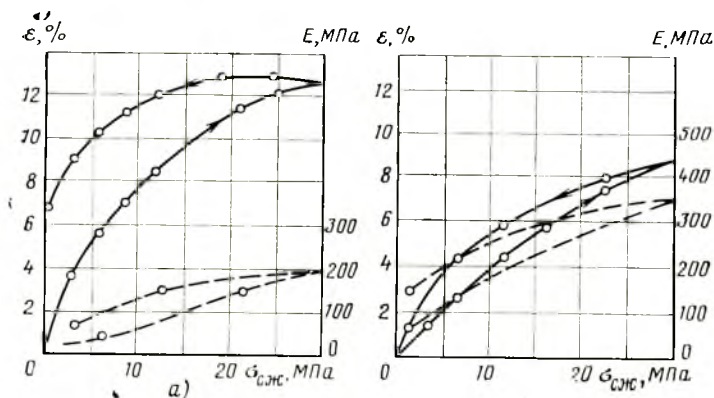


Рис. 27.5. Зависимость степени остаточной деформации электроизоляционного картона от напряжения сжатия и количества циклов нагружения.

a — первый цикл; *б* — восьмой цикл; — — — деформация; - - - модуль упругости.

Остаточная деформация зависит от числа циклов нагружения (рис. 27.5, б). При нагружении и снятии нагрузки деформация электроизоляционного картона связана с необратимыми процессами затраты энергии на остаточную деформацию. Наибольшая остаточная деформация наблюдается при первом цикле. При всех значениях давления она составляет 0,4—0,45 полной деформации. При последующих циклах остаточная деформация резко уменьшается и составляет 0,1 полной деформации.

Таким образом, если электроизоляционный картон подвергнуть циклической нагрузке (3—4 цикла) давлением около 30 МПа, то можно получить уплотненный картон с плотностью 1250—1300 кг/м³, который практически не будет иметь остаточной деформации при аналогичных нагрузках, возникающих в процессе эксплуатации трансформаторов. Из такого уплотненного картона следует изготавливать дистанционные прокладки. Уплотнение картона можно осуществить с помощью прокатных вальцов (см. гл. 30).

Для удаления влаги из картона (остаточная влажность электроизоляционного картона в трансформаторе допускается в пределах 0,3—0,5 %) его сушат. Термическую обработку деталей из электроизоляционного картона производят первый раз в процессе

сушки обмоток и второй раз — в процессе термовакuumной сушки активной части трансформатора, после которой изоляция пропитывается трансформаторным маслом.

В процессе технологической обработки обмотки электроизоляционный картон и бумажная изоляция проводников обмотки дают значительную усадку, поэтому для получения окончательного размера высоты обмотки конструктор еще при расчете обмотки должен учитывать ожидаемую усадку изоляции [16].

27.4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБМОТОК И ИЗОЛЯЦИИ

Несмотря на большое разнообразие типов и конструкций обмоток последовательность производства многих из них одинакова.

Витки обмотки наматывают из проводникового материала на специальных намоточных станках. В процессе намотки обмотки выполняются все необходимые радиальные и осевые охлаждающие каналы, которые образуются при установке дистанционных электроизоляционных прокладок и реек. Проводниковый материал, рейки и прокладки в нужном количестве подаются на рабочее место до начала намотки обмоток.

Для придания обмотке стабильных расчетных размеров по высоте после намотки ее подвергают прессовке и сушке. При этом обмотка уплотняется, и влага удаляется из изоляции.

Чтобы не повредить обмотку и изоляцию во время прессовки и равномерно распределить усилие сжатия, непосредственно после намотки вводится промежуточная технологическая операция по установке на обмотку специальных опорных плит, стягиваемых между собой шпильками. Эта операция получила название «стяжка обмоток». После прессовки и сушки обмотка подвергается отделке, в процессе которой доводятся и контролируются все геометрические размеры обмотки, устраняются замеченные отклонения от размеров, повреждения изоляции, особенно бандажей и др.

Подробное описание технологических операций изготовления обмоток и деталей изоляции, а также применяемого технологического оборудования приведено в гл. 28—30.

Глава двадцать восьмая

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРОВ

28.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Под операцией намотки обмоток понимают комплекс работ, выполняемых на одном рабочем месте рабочим-намотчиком и его подручным (при намотке обмоток трансформаторов III—VIII габаритов). Работы по намотке обмоток включают как непосредст-

венно намотку из проводникового материала витков обмотки на бакелитовый цилиндр или шаблон-оправку, так и выполнение переходов, транспозиций, петель регулировочных отводов, установку и присоединение емкостных колец, пайку или сварку концов катушек или проводников, изолировку мест пайки, установку деталей изоляции (реек, дистанционных прокладок, шайб, коробок), установку бандажей и ряд других работ.

Перед началом намотки обмоток должны быть заранее заготовлены в соответствии с чертежом и картой технологического процесса намотки необходимые материалы и детали для данного типа обмоток, подготовлен рабочий и мерительный инструмент, отрегулированы и установлены специальные приспособления. Рабочее место обмотчика должно хорошо освещаться, содержаться в чистоте и порядке, рабочий должен знать правила техники безопасности и выполнять их.

Рабочее место намотчика включает намоточный станок с горизонтальной или вертикальной осью вращения, каретки для барабанов с обмоточным проводом (либо отдающее устройство для рулонов с фольгой), натяжное устройство, устройство для подпрессовки обмоток, счетчик витков или программно-счетное устройство, устройство для пайки и фрезеровки проводов под пайку, назначение которых рассмотрено в гл. 29.

Процессу намотки обмотки трансформатора предшествуют подготовительные работы. К этим работам, в первую очередь, относятся выбор оборудования и приспособлений, с помощью которых будет осуществляться намотка обмотки, а также набор необходимых материалов и деталей для данной обмотки.

Благодаря сравнительно простой конструкции, надежности в эксплуатации, возможности намотки большинства типов обмоток (цилиндрических, винтовых, непрерывных, переплетенных) горизонтально-намоточные станки нашли самое широкое применение в производстве обмоток трансформаторов III—VIII габаритов.

Вертикально-намоточные станки используют для намотки непрерывных и переплетенных обмоток мощных высоковольтных трансформаторов. При этом достигается высокая плотность намотки как в радиальном, так и в осевом направлениях из-за намотки их без перекладки витков при одинаковом натяжении. Необходимая плотность намотки в осевом направлении обеспечивается промежуточной подпрессовкой. Вертикальная намотка применяется для намотки катушек с большими радиальными размерами (более 300 мм). Нет необходимости кантовать обмотку после съема со станка, а следовательно, исключаются возможные развалы отдельных катушек, ослабление или смещение витков и т. п. Совмещаются также операции стяжки и намотки, так как они выполняются на станке. Возможна намотка обмотки всей фазы (пофазная намотка). К обмотке имеется доступ со всех сторон; рабочий имеет возможность производить намотку и выполнять ручные операции в удобном положении. Производительность труда увеличивается на 25—30 %.

Намотку обмотки производят либо на бумажно-бакелитовом цилиндре, остающемся в виде каркаса в обмотке после ее изготовления, либо на оправке, которую вынимают по окончании работы.

На рис. 28.1 показаны оборудование и оснащение, расположенные в таком порядке, как это требуется для начала намотки непрерывных и винтовых обмоток на оправке — металлическом

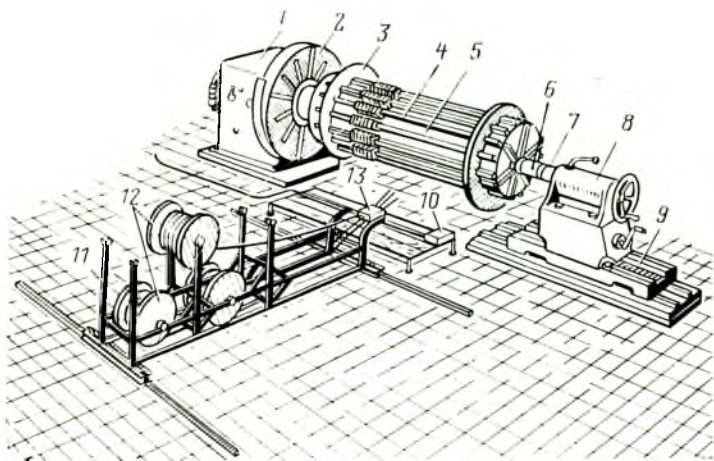


Рис. 28.1. Рабочее место намотчика.

1 — передняя бабка; 2 — планшайба с поводком; 3 — шаблон для установки реек; 4 — рейка; 5 — шаблон (цилиндр); 6 — центр; 7 — пиноль; 8 — задняя бабка; 9 — станина; 10 — педаль (пуск станка); 11 — стойка (каретка); 12 — барабаны с обмоточным проводом; 13 — натяжное приспособление.

цилиндре. Для намотки выбран горизонтально-намоточный станок, для установки барабанов с обмоточным проводом — пятиместная каретка с натяжным пневматическим устройством 13. Каретка перемещается по рельсам вдоль обмотки по мере смещения зоны намотки. Оправку 5 закрепляют с одной стороны в поводок планшайбы 6, установленным в пиноль 7 задней бабки станка. Для закрепления реек используют шаблон 3. В соответствии с чертежом подбирают требуемые размеры реек с набором дистанционных прокладок, устанавливают и укрепляют их на оправке, как показано на рис. 28.1.

Перед началом намотки обмотки следует проверить соответствие установленного наружного диаметра указанному в чертеже размеру внутреннего диаметра обмотки, а также измерить ширину провода и толщину его изоляции на каждом установленном барабане с проводом и установить необходимое натяжение провода, контролируемое пружинным динамометром.

Основными документами рабочего-намотчика является чертеж обмотки и технологическая карта намотки. В технологической карте указано основное оборудование, оснащение, рабочий и изме-

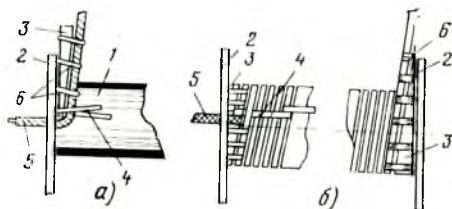
рительный инструменты, а также последовательность выполнения операций и режимы работ. Приведены технологические требования на выполнение элементов обмотки: переходов, транспозиций, изоляции и т. п.

В таблице обмоточных данных чертежа обмотки указаны марка провода, сечение, число витков, слоев, основные размеры катушки и обмотки. В развертке обмотки занумерованы каждая катушка и рейка, изображены все переходы, транспозиции, отводы, концы обмотки. В чертеже указаны все изоляционные детали обмотки, их месторасположение, а также тип обмотки и направление намотки. В зависимости от направления намотки (правая или левая) намотку начинают справа налево — при левой намотке, или слева направо — при правой намотке; при этом рабочий-намотчик находится с рабочей стороны передней приводной бабки станка. Намотку обмоток диаметром свыше 500 мм, как правило, выполняют обмотчик и подручный, который в процессе намотки обмотки находится с противоположной стороны обмотки и помогает основному рабочему в процессе работы.

28.2. ТЕХНОЛОГИЯ НАМОТКИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ОБМОТОК: ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ, ДИСКОВЫХ, НЕПРЕРЫВНЫХ, ПЕРЕПЛЕТЕННЫХ, ВИНТОВЫХ

Цилиндрическую обмотку выполняют одно-, двух- и многослойной (рис. 28.2, а, б) из обмоточного провода как круглого, так и прямоугольного сечения. Слой обмотки составляют витки, уложенные вплотную в осевом направлении. Витки состоят из одного или

Рис. 28.2. Намотка цилиндрических обмоток из прямоугольного провода.
а — укладка первого витка на шаблоне; б — укладка последнего витка перед переходом во второй слой; 1 — шаблон; 2 — опорная шайба; 3 — уравнивательный клин; 4 — затяжные петли; 5 — отвод; 6 — бандаж.



нескольких параллельных проводов, располагаемых обычно рядом в осевом направлении обмотки. Соединение между слоями осуществляется переходом без пайки.

Обмотки из прямоугольного провода выполняются в один или несколько параллельных проводов с укладкой плашмя или на ребро. Обмотки изготавливаются одно- и двухслойными. Намотка витков производится обычно на бумажно-бакелитовый цилиндр или гильзу, склеенную из картона. Концы проводов заданной длины изгибают под прямым углом, в местах изгиба между параллельными проводами прокладывают кабельную бумагу или лакоткань и изолируют киперной лентой в полуперекрытие начальный вывод обмотки. Затем вывод обмоток укладывают в прорези упор-

ной шайбы шаблона и закрепляют винтовым зажимом. Для выравнивания винтовой поверхности крайнего витка на шаблон надевают разрезное бакелитовое кольцо (или клин из электроизоляционного картона) и закрепляют его петлями из киперной ленты (в форме восьмерки), как показано на рис. 28,2, а.

Отрегулировав и установив требуемое натяжение провода, начинают намотку витков первого слоя с частотой вращения станка, равной 18—36 об/мин.

В процессе намотки витки скрепляют петлевыми стяжками из киперной ленты, последовательно пропуская ее поверх провода и под проводом. Каждый виток укладывают вплотную к предыдущему рядом с ним вдоль оси обмотки и, контролируя натяжение провода во время намотки, продолжают намотку заданного числа витков первого слоя, подбивая витки деревянным клином (при малых размерах обмоток) или используя приспособление для осевой и радиальной подпрессовки (при намотке крупных обмоток). Не домотав 4—5 витков до конца обмотки, закладывают 3—4 стяжные петли, которыми закрепляют последние витки слоя. При укладке последнего витка первого слоя обмотки намечают место перехода витка во второй слой и к нему прикрепляют бандажом уравнительное кольцо, которое затягивают петлей, как показано на рис. 28,2, б. Затем укладывается междуслойная изоляция из кабельной бумаги и наматывается следующий слой обмотки. При однослойной обмотке отрезают провод, изгибают и закрепляют бандажом выводной конец обмотки.

В обмотках, имеющих между слоями масляный канал, на междуслойную изоляцию устанавливается специальная гофрированная картонная прокладка или дистанционные рейки (из картона или дерева). Аналогично описанному выравнивают торцы обмотки кольцами или клиньями.

Закончив намотку всех витков обмотки, отмечают длину и место выводного конца обмотки и отрезают провод. Конец обмотки изгибают под углом 90°, изолируют и закрепляют в вырезе упорной шайбы шаблона. На готовую обмотку по концам или всей длине накладывают бандаж из отбортованной кабельной бумаги или киперной ленты в полуперекрывание. Сняв готовую обмотку с шаблона, ее связывают в осевом направлении четырьмя стяжками киперной ленты и подают на проверку числа витков, а затем на сушку или пропитку в лаке.

Если производится пропитка обмотки в лаке, то обмотки загружают в решетчатые (сетчатые) контейнеры, которые вначале вместе с обмотками погружают в бак с лаком, а затем ставят в печь для запекания.

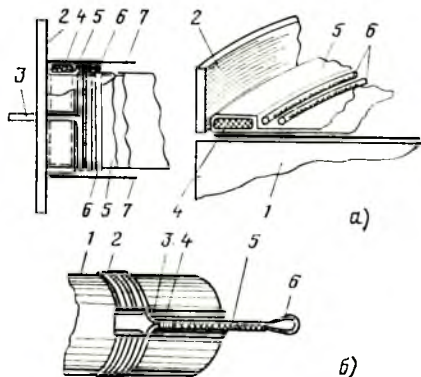
Обмотки из круглого провода выполняются многослойными, в один или несколько параллельных проводов в витке с укладкой их рядом в слое. Каждый виток в слое укладывается вплотную к предыдущему витку в осевом направлении намотки с переходами из слоя в слой на обоих торцах обмотки. Для защиты от механических повреждений под крайние витки каждого слоя укладывают

так называемый бортик — узкую полосу электроизоляционного картона, приклеенную к более широкой полосе кабельной бумаги. Намотку этих обмоток производится с большой частотой вращения — 100—163 об/мин. Плотную намотку и укладку витков осуществляют с помощью натяжного устройства и укладчика витков.

Изготовление многослойных обмоток из круглого провода начинают с изгиба и изолировки конца обмотки, который затем закрепляют на шаблоне. В зависимости от направления намотки на установленный бумажно-бакелитовый цилиндр слева или справа укладывают бортик и наматывают первый виток так, чтобы он прижимал телефонную бумагу и упирался в полосу из элект-

Рис. 28.3. Намотка многослойных обмоток из круглого провода.

а — закрепление опорной концевой изоляции (1 — шаблон; 2 — упорная шайба; 3 — отвод; 4 — концевая изоляция — «бортик» из электроизоляционного картона; 5 — телефонная бумага; 6 — витки обмотки; 7 — междуслойная изоляция); б — отвод петель и его изолирование (1 — шаблон; 2 — витки обмотки; 3 — электрокартонная коробочка; 4 — бандаж петли; 5 — трубка из лакоткани; 6 — конец петли).



роизоляционного картона. Следующие витки укладывают плотно один к другому, при этом бумажная лента зажимается крайними витками обмотки, а бортик надежно изолирует торец обмотки. За 5—6 витков до конца первого слоя устанавливают второй бортик вплотную к опорной шайбе шаблона и производят намотку витков так, чтобы последний виток первого слоя упирался в полосу из электроизоляционного картона. Место перехода во второй слой изолируют телефонной или кабельной бумагой. Аналогично производят намотку всех слоев обмотки. Междуслойная изоляция, как показано на рис. 28,3, а, укладывается по всей высоте обмотки.

Для образования осевого канала равномерно по окружности укладывают рейки из дерева или электроизоляционного картона и закрепляют их киперной лентой, после чего устанавливают концевую изоляцию и наматывают первые витки очередного слоя обмотки. Для образования канала применяют также прокладки из гофрированного картона. Регулировочные отводы обмотки выполняются в виде петли собственным проводом или из петли полос ленточной меди. Петля нужной длины скрепляется тафтяной лентой, изолируется лакотканью, укладывается в отбортованную коробочку из электроизоляционного картона и закрепляется бандажом, как показано на рис. 28.3, б. На готовую обмотку накладывают бандаж из тафтяной ленты или кабельной бумаги, и обмотка поступает в сушку (или пропитку).

Многослойные цилиндрические обмотки высоковольтных трансформаторов выполняют проводом круглого и прямоугольного сече-

ний, в последнем случае с расположением провода как на ребро, так и плашмя.

Наиболее распространенной конструкцией цилиндрической регулировочной обмотки (РО) является двухслойная обмотка, которая состоит из двух концентрв. Концентр грубой регулировки изготавливают как обычную цилиндрическую обмотку из прямоугольного провода, укладываемого плашмя или на ребро. Концентр тонкой регулировки наматывают как бы многозаходным (по числу ответвлений обычно равным 8). Такая обмотка состоит из 8 ходов (ветвей), наматываемых одновременно. Каждый такой ход может состоять из одного или нескольких проводников, расположенных рядом плашмя или на ребро. Намотку обмотки РО производят на раздвижных оправках как на горизонтальных, так и на вертикальных намоточных станках. В зависимости от расположения провода при намотке на ребро (или плашмя) его концы пропускают через соответствующее натяжное приспособление и начинают намотку первого слоя обмотки, укладывая витки непосредственно на бумажно-бакелитовый цилиндр. В процессе изготовления производят прессовку в осевом и радиальном направлениях с помощью приспособления, установленного на штанге намоточного станка. Отрегулировав пружины механизма прижима валика, создают стабильное радиальное давление на наматываемые витки обмотки. В процессе намотки механизм прижима, передвигаясь по винту, обеспечивает и осевую прессовку обмотки.

Особенностью намотки обмоток с укладкой в слое двух и более проводников является выполнение групповых транспозиций в начале каждого слоя, когда две группы проводов одного слоя меняются местами.

Намотка обмоток из фольги производится на станках с горизонтальной осью вращения. Сам процесс намотки обмоток из фольги значительно проще и менее трудоемок, чем процесс намотки из провода (рис. 28.4), однако требует наличия либо специальных намоточных станков, либо специальных отдающих устройств, пристраиваемых к горизонтально-намоточным станкам

для намотки обмоток из провода. Отдающее устройство должно обеспечить установку на него одного или нескольких рулонов из фольги, одного рулона изоляционной ленты или бумаги для подмотки с торцов, механизма отрезки фольги и бумаги, сварочного агрегата для приварки отводов к фольге или лент фольги между собой.

Технология намотки обмоток из фольги на витые магнитопроводы имеет свои специфические особенности. Главное из них это то, что намотка обмотки НН производится непосредственно на стержень магнитопровода, а намотку обмотки ВН производят непосредственно на обмотку НН на том

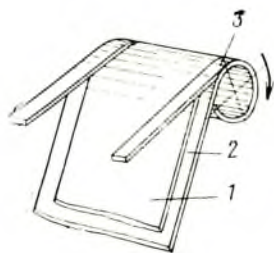


Рис. 28.4. Намотка обмотки из фольги.

1 — фольга; 2 — между-
слоевая изоляция; 3 — под-
моточная полоса

же станке. Это выполняется на специальных станках, обеспечивающих намотку как обмоток НН, так и обмоток ВН.

Намотка обмотки или, вернее, «вмотка» обмотки производится на специальную разборную оправку, размещаемую в изоляционном промежутке между магнитопроводом и обмоткой. После намотки всей обмотки оправка разбирается и вынимается из обмотки, а последняя закрепляется на магнитопроводе с помощью расклинивающих планок. Присоединение отводов к фальге может быть осуществлено с помощью холодной сварки, сварки ультразвуком или аргоно-дуговой.

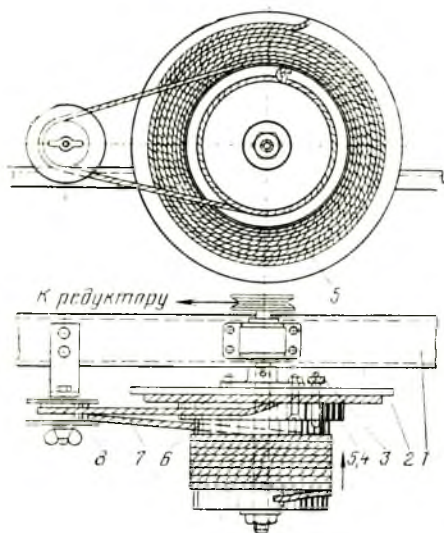
Дисковая катушечная обмотка состоит из ряда отдельно намотанных одинарных или двойных катушек, каждая из которых имеет несколько витков, намотанных один на другой по спирали в радиальном направлении. Намотку таких коротких частей обмотки производят на станках, имеющих только одну переднюю бабку, на которой устанавливают универсальный шаблон. Катушки дисковой обмотки могут отличаться размерами диаметров обмотки, количеством витков, размерами и изоляцией обмоточного провода, толщиной дополнительной изоляции катушек. Технологический процесс намотки катушек аналогичен для всех исполнений. Наиболее простой является намотка одинарных катушек. Так как отдельные катушки, выполненные в виде плоской спирали, не имеют направления, намотку всех одинарных катушек производят либо по часовой стрелке (левыми), либо против часовой стрелки (правыми), укладывая витки один на другой в радиальном направлении.

Двойные дисковые катушки считаются правыми, если провод от верхнего наружного конца идет по часовой стрелке, и левыми, если направление провода против часовой стрелки. Чтобы обеспечить заданное направление намотки дисковой обмотки при ее намотке двойными катушками, намотку первой из них начинают по часовой стрелке — при левой намотке и против часовой стрелки — при правой намотке. Намотку второй катушки следует производить в обратном направлении, поэтому, намотав все витки первой катушки, ее связывают в 4—6 местах кусками киперной ленты, отрезают провод, конец катушки выгибают и закрепляют бандажом, а к концу внутреннего витка (начало обмотки) припаивают конец провода со второго барабана. При намотке второй катушки изменяют направление вращения планшайбы, рабочий-намотчик меняет рабочее место и продолжает намотку второй катушки обмоточным проводом с другого барабана, установленного с противоположной стороны станка. Таким образом получают обе катушки с одинаковым направлением намотки.

Если виток состоит из нескольких параллельных проводов, то на внутренних переходах между двумя спаренными катушками выполняют перестановку (транспозицию) параллельных проводов.

Намотку катушек меньших размеров (диаметром до 1500 мм) производят без внутренней пайки, но с перемоткой витков одной катушки. Намотку осуществляют с одной стороны станка, изме-

няя только направление вращения планшайбы. Вначале производят временную намотку витков одной катушки на вспомогательный шаблон (рис. 28.5), закрепленный неподвижно на одном шпинделе с основным шаблоном. Витки укладывают рядом, как при намотке слоевой обмотки; длина провода, намотанного на вспомогательный шаблон, должна соответствовать длине всех витков одной катушки. Закончив временную намотку, выгибают и



изолируют переход в первую катушку и на основном шаблоне производят намотку первой катушки. После намотки последнего витка отмечают требуемую длину конца, закрепляют его струбциной, связывают катушку в 3—6 местах киперной лентой, обрезают конец обмоточного провода и отгибают конец катушки.

Рис. 28.5. Намотка катушек дисковой обмотки на вспомогательном шаблоне.

1 — швеллер намоточного станка; 2 — упорный диск; 3 — стопорный винт; 4 — шаблон для намотки с уложенной поверх полосой из электрокартона; 5 — полоса из электрокартона; 6 — оправка для временной намотки второго диска; 7 — обмоточный провод; 8 — направляющий ролик.

Для намотки второй катушки изменяют вращения станка и используют провод, ранее намотанный на вспомогательный шаблон. Освободив фиксацию вспомогательного шаблона (теперь он может вращаться на шпинделе), пропускают провод через натяжное приспособление, производят намотку второй катушки рядом с уже намотанной первой. Обе катушки имеют одинаковое направление намотки. Концы каждой катушки маркируют, выбивая клеймом номер катушки и фазу обмотки.

При проверке катушек измеряют сечение и толщину изоляции обмоточного провода, радиальный размер, число витков, внутренний и наружный диаметры, а также правильность выполнения переходов и их изоляции.

При необходимости на катушку накладывают дополнительную изоляцию бумажными лентами в полуперекрытие, выполняемую на специальном изолировочном станке [16].

Изготовление дисковых катушек — весьма трудоемкий технологический процесс. Он существенно упрощается при намотке их на вертикально-намоточных станках. Целесообразно также применять склейку витков в процессе намотки: на обмоточный провод специальным приспособлением наносится тонкий слой метилцеллюлозного клея. Катушка со склеенными витками получается

монолитной, жесткой, удобной для транспортировки и выполнения технологических операций изолирования и сборки.

Непрерывные обмотки трансформаторов различных мощностей и напряжений отличаются числом витков и катушек, сечением и изоляцией обмоточного провода, числом параллельных проводов, размерами каналов и числом реек, расположением регулировочных петель и ответвлений, осевыми размерами, внутренними и наружными диаметрами, расположением присоединяемых катушек, наличием или отсутствием емкостных колец и др. Поэтому наличие тех или иных конструктивных элементов существенно влияет на технологический процесс изготовления обмоток.

Непрерывная обмотка состоит из ряда катушек с каналами между ними. Число катушек в обмотке от 30 до 150. В каждой катушке витки наматываются плашмя один на другой по спирали, т. е. высота катушки равна ширине провода. Число витков в катушке от 2 до 40—50. Катушки непрерывной обмотки наматываются на рейках, образующих вертикальные каналы вдоль внутренней поверхности обмотки. На рейки надеваются прокладки, с помощью которых создаются горизонтальные каналы между катушками. Каждый виток обмотки может состоять из одного или нескольких параллельных проводов. Такое выполнение снижает потери на вихревые токи в обмотках и облегчает намотку катушек. Транспозиция параллельных проводов выполняется в процессе намотки на каждом переходе из катушки в катушку, этим достигается выравнивание их активного и реактивного сопротивлений. Непрерывность намотки обеспечивается в результате перекладывания витков в перекладных катушках. Перекладные катушки вначале наматываются как обычно, а затем витки этих катушек перекладывают в обратном порядке. Переходы из катушки в катушку (внутренний и наружный) осуществляются на уровне крайнего (соответственно внутреннего или наружного) витка изгибом провода на ребро.

Технологические процессы намотки непрерывных обмоток аналогичны для всех исполнений обмоток трансформаторов 10—330 кВ, но вследствие разнообразия конструкций применяются различные схемы их намотки (рис. 28.6, *а—з*).

Намотку обмоток можно производить как на горизонтальных, так и на вертикальных намоточных станках. Рассмотрим намотку непрерывных обмоток на горизонтально-намоточном станке. Вначале ознакомимся с простейшим случаем намотки непрерывной обмотки, когда катушки имеют целое число витков, сечение витка состоит из одного провода с нормальной изоляцией, концы обмотки расположены снаружи, намотка левая по прямой схеме (рис. 28.6, *а*). Выполнив подготовительные работы перед намоткой, закрепляя концы провода требуемой длины за деревянную планку (вырез в опорном диске или луч раздвижного шаблона), ослабляют натяжение провода и включают станок, направление вращения — по часовой стрелке.

Производят намотку первой перекладной катушки за несколько

приемов: вначале наматывают без натяжения витки временной катушки (рис. 28.7, а, б) и выполняют переход в следующую катушку (рис. 28.7, в), затем вручную выполняют перекладку витков временно намотанной катушки (рис. 28.7, г, д), передвигают всю катушку на ее прежнее место и затягивают витки до задан-

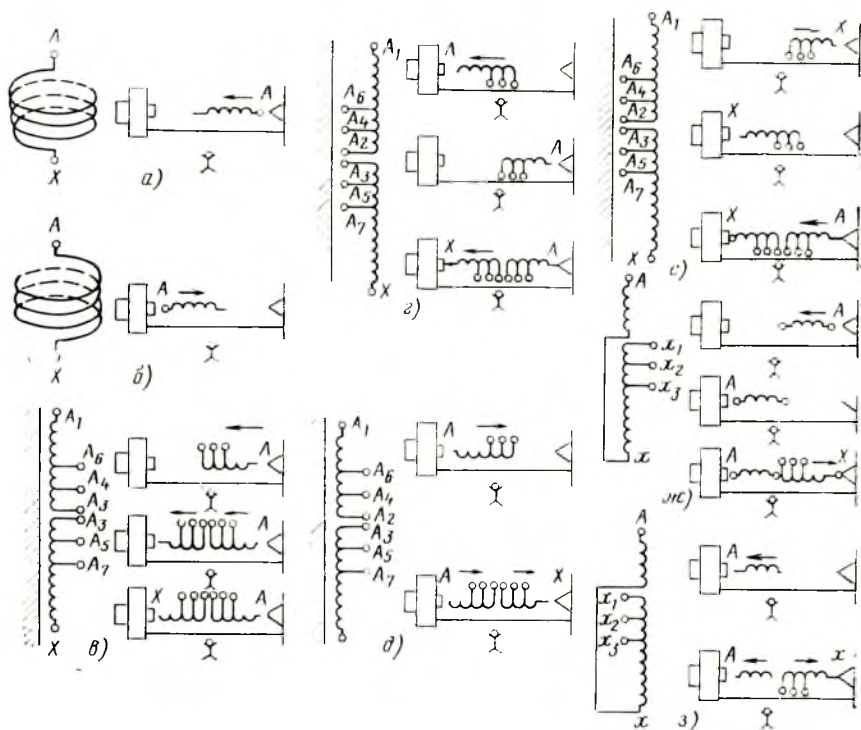


Рис. 28.6. Типовые схемы непрерывных обмоток.

а — левая прямая схема обмотки; *б* — правая прямая схема обмотки; *в* — левая прямая схема обмотки с наружными отводами; *г* — левая прямая схема обмотки с внутренними отводами; *д* — правая прямая схема обмотки с наружными отводами; *е* — правая прямая схема обмотки с внутренними отводами; *ж* — оборотная схема обмотки с наружными отводами; *з* — оборотная схема обмотки с внутренними отводами.

ного радиального размера (рис. 28.7, е). Перекладку витков временно намотанной катушки производят по одному витку в последовательности, обратной принятой при намотке; вначале снимают верхний виток и укладывают его на рейки из электроизоляционного картона, затем снимают следующий виток и укладывают на ранее снятый и т. д. Когда последний (нижний) виток временно намотанной катушки будет уложен поверх получившейся после перекладки катушки, на нее устанавливают 4—8 (в зависимости от диаметра обмотки) П-образных зажимов для устранения рассыпания витков катушки при затяжке.

Катушку с уже окончательно переложенными витками передвигают на ее постоянное место — вплотную к дистанционным прокладкам и выполняют затяжку витков с помощью натяжного

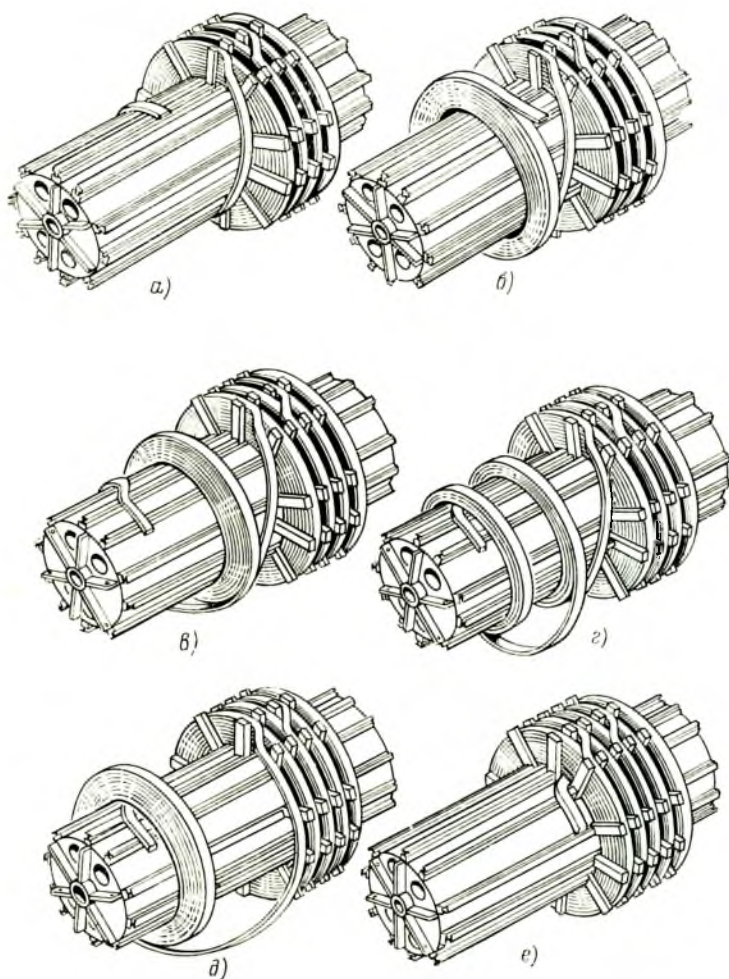


Рис. 28.7. Процесс намотки катушек непрерывной обмотки (виток из одного провода).

a — выполнение наружного перехода постоянной катушки и намотка первого витка перекладной катушки; *б* — намотка витков перекладной катушки; *в* — выполнение переходов перекладной катушки; *г* — перекладка витков временной катушки; *д* — закончена перекладка витков катушки; *е* — перекладная катушка с внутренним переходом для намотки постоянной катушки.

приспособления. В процессе затяжки уплотняют витки секции легкими ударами деревянного молотка в осевом и радиальном направлениях, а затем закрепляют конец обмотки бандажом из киперной ленты или специальной струбиной. Передвигают по

рейкам дистанционные прокладки (образующие канал между второй и первой катушками) и производят намотку постоянной катушки с необходимым натяжением провода и уплотнением витков катушки. Плотность намотки витков катушки и контроль натяжения обеспечивают специальные устройства (см. рис. 28.1). По окончании намотки постоянной катушки на нее устанавливают П-образный зажим-фиксатор, отмечают переход в следующую,

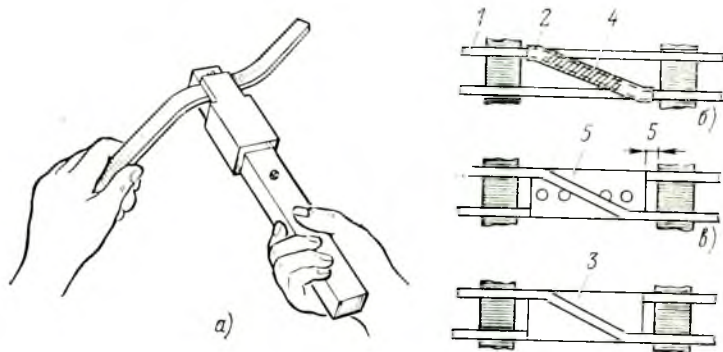


Рис. 28.8. Выполнение переходов.

а — изгиб провода для переходов; *б* — изолирование внутренних переходов формованными коробочками; *в* — изолирование внутренних и наружных переходов изолирующими прокладками; 1 — провод; 2 — коробочка формованная; 3 — прокладка фасонная; 4 — бандаж из ленты; 5 — прокладка простая с отверстиями.

третью (перекладную), катушку, выполняют наружный переход и продолжают намотку. На рис. 28.7*а—е* для большей наглядности изображен процесс намотки пятой, а не первой катушки. Все сказанное в тексте относится ко всем катушкам, начиная с первой.

Во всех обмотках переходы (рис. 28.8, *а—в*) являются одним из самых опасных мест, так как там наиболее вероятно повреждение изоляции, поэтому они должны быть выполнены очень надежно и аккуратно. В процессе намотки каждый переход выгибают гибочным приспособлением (рис. 28.8, *а*) таким образом, чтобы он не выступал в соседний канал, а центр изгиба располагался в середине промежутка между прокладками (по центру поля). После гибки переходы дополнительно изолируются. Внутренний переход всегда изолируется прокладкой или коробочкой, накладываемой на провод сверху, а наружный — снизу (рис. 28.8, *б*). Третью катушку выполняют так же, как и первую. Вначале передвигают необходимое число дистанционных прокладок вплотную ко второй катушке, укладывая один виток на другой; после укладки последнего витка выполняют внутренний переход в четвертую (постоянную) катушку, производят перекладку и затягивают витки, как описано выше. После установки прокладок между третьей и четвертой катушками производят намотку четвертой

(постоянной) катушки, выполняют наружный переход из четвертой в пятую катушку и продолжают намотку последующих катушек, повторяя технологические приемы намотки постоянных и перекладных катушек.

В нашем примере все нечетные катушки наматывают с перекладкой витков и выполнением внутренних переходов, а все четные постоянными, с наружными переходами. Если требуется выводные концы обмотки расположить внутри, то намотку нечетных

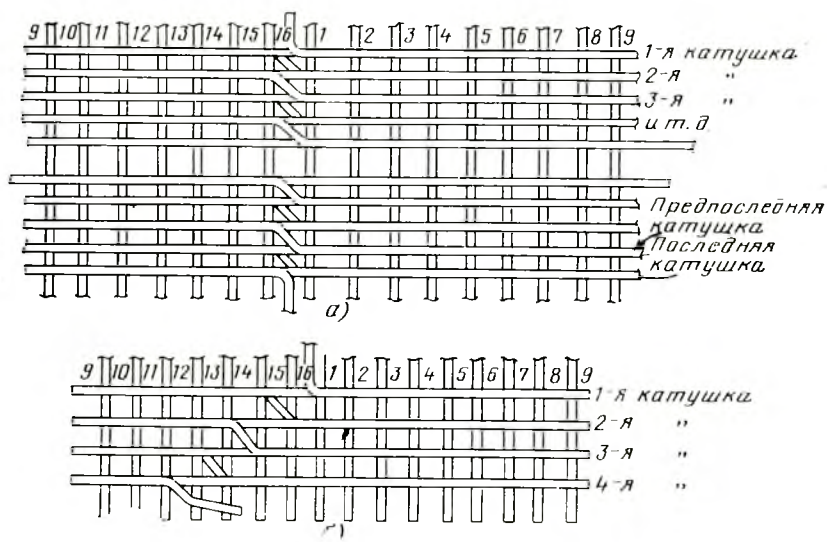


Рис. 28.9. Расположения начала обмотки и переходов из одной катушки в другую (непрерывная обмотка в развернутом виде).

а — целое число витков в каждой катушке; б — дробное число витков в каждой катушке.

катушек производят постоянными, а четных — перекладными. При целом числе витков в каждой катушке начало и конец, а также все переходы будут расположены в одном поле между первой и последней рейками, как показано на рис. 28.9, а. Цифрами на развертке указаны рейки. Всего их в изображенной обмотке 16. Начало обмотки и все переходы из катушки в катушку выполнены между рейками 1—16.

Но не всегда обмотка имеет целое число витков в каждой катушке. Иногда общее число витков в обмотке такое, что на каждую катушку приходится дробное число витков. В этом случае каждая катушка должна иметь целое число витков плюс какую-то долю одного витка. В результате начало обмотки и переходы из катушки в катушку будут взаимно смещены на какую-то часть окружности. Возьмем для примера случай, когда каждая катушка имеет $4\frac{15}{16}$ витка. Расположение начала обмотки и переходы из катушки в катушку получаются так, как показано на

третьим сверху, провод *в* первой катушке был третьим сверху, во второй катушке он стал вторым сверху и, наконец, провод *г* в первой катушке был нижним, а во второй катушке стал верхним. Указанное изменение расположения проводов (транспонирование) делается для того, чтобы все параллельные провода имели одинаковую длину и находились примерно в одинаковом положении в магнитном поле.

Рассмотрим транспонирование трех параллельных проводов (1—3) витка обмотки с помощью технологического клина

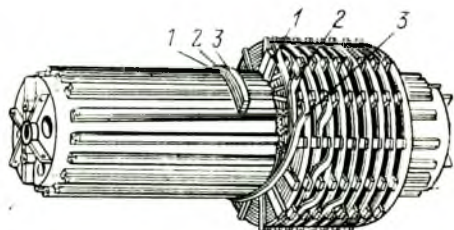


Рис. 28.11. Транспонирование параллельных проводов витка непрерывной обмотки (виток состоит из трех проводов).

(рис. 28.11). Наматывая заданное число витков постоянной катушки, все параллельные провода последнего витка скрепляют зажимом или связывают лентой (для удобства транспонирования), отмечают наружные переходы проводов в следующую переключную катушку и изолируют их. Вначале изгибают верхний провод, затем второй и последним выгибают третий провод, смещая изгибы каждого последующего провода на одно поле. Чтобы на рейки плавно опустить наружные переходы, расположенные сверху постоянной катушки, применяют технологический (ступенчатый по высоте) клин, который устанавливают на рейки под первый виток переключной катушки. Применение клина обеспечивает полное прилегание одной параллели витка к другой и правильное расположение всех переходов в заданных полях. На клине укладывают переходы в требуемой последовательности, располагая на каждой ступени по переходу. Первый нижний переход укладывают на первую ступень клина, следующий переход на вторую и так далее, последним на клин укладывают верхний переход первого витка. После укладки переходов на клин изменяется расположение всех параллелей первого витка, т. е. нижний проводник становится верхним, и наоборот, как это показано на рис. 28.11. Наматывая первый виток на клин, второй виток наматывают рядом с ним, а последующие витки укладывают на второй и продолжают намотку в обычном порядке. Взаимное смещение проводов в переходах усложняет счет витков, определение начала и конца катушки, что чрезвычайно важно при намотке.

Для того чтобы было единообразие в изготовлении обмоток, практикой выработано определенное правило: если виток состоит из нечетного числа параллельных проводников, счет витков и определение начала и конца катушки ведут по среднему проводу; при четном числе параллельных проводников счет витков и опре-

деление начала и конца катушки ведут по последнему проводу первой половины или по первому проводу второй половины (см. рис. 28.10, а, б).

Непрерывная обмотка может иметь регулировочные ответвления. При концентрическом расположении обмоток на стержне магнитопровода регулировочные и другие ответвления от внутренних обмоток выходят вверх и вниз вдоль внутренней и наружной поверхностей «своей» обмотки. При этом в одном поле (между столбами прокладок) помещают один или два отвода. Отводы выполняются из ленточной меди, когда они припаиваются к внутреннему витку, или из обмоточного провода — при присоединении отвода к наружному витку катушки. Заготовки отводов в виде отдельных полос ленточной меди или отдельных проводов вначале собирают в пакет заданного сечения, затем изолируют полосами кабельной бумаги и опрессовывают на прессе. Концы отводов выгибают так, чтобы обеспечить высококачественное выполнение паяк с последующим изолированием мест паяк и укладкой прокладок, изолирующих отводы от катушек обмотки. Пайку отводов выполняют вблизи переходов. Место пайки тщательно зачищают и изолируют лакотканью, строго выдерживая длину конуса не менее 10-кратной толщины накладываемой изоляции. Под припаянный регулировочный отвод укладывают и бандажируют электроизоляционные прокладки, привязывая их к катушкам обмотки киперной лентой.

Применяют обычно две схемы обмоток с регулировочными ответвлениями — прямую и обратную. При прямой схеме (рис. 28.12) обмотка имеет разрыв в середине (см. рис. 28.6, в, г). Регулировочные ответвления делают в месте разрыва. Обе половины обмотки являются продолжением одна другой. Поэтому после намотки и пайки отводов первой половины обмотки начинают намотку второй половины. При этом направление намотки витков остается тем же и процесс намотки второй половины точно такой же, как и первой.

Рассматривая рис. 28.12, мы все время имели в виду, что регулировочные ответвления делались от верхних витков катушек, и таким образом они получались на наружной поверхности обмотки (см. рис. 28.6, в, д). Между тем бывают случаи, когда ответвления делают от нижних витков катушек, и тогда они располагаются не на наружной, а на внутренней поверхности обмотки, т. е. между катушками и цилиндром. В этом случае процесс намотки обмоток производят иначе: намотку первой половины начинают с середины цилиндра и ведут в направлении к одному из его концов (см. рис. 28.6, г, е). Затем весь шаблон вместе с первой половиной намотанной на него обмотки переворачивают на 180° и намотку второй половины начинают с середины цилиндра в направлении другого его конца.

Рассмотрим теперь намотку обмотки по обратной схеме, когда обе половины обмотки имеют разное направление намотки. Намотка ее не отличается от описанной выше. Следует лишь точно

учитывать расположение отводов — внутри или снаружи обмотки. Если отводы должны быть расположены снаружи, то намотку надо начинать с конца цилиндра и вести ее по направлению к середине. После намотки первой половины весь шаблон вместе с намотанной на него первой половиной обмотки следует развернуть на 180° и, начиная от изготовленной половины, продолжить намотку дальше. В результате получим, что обе половины обмотки

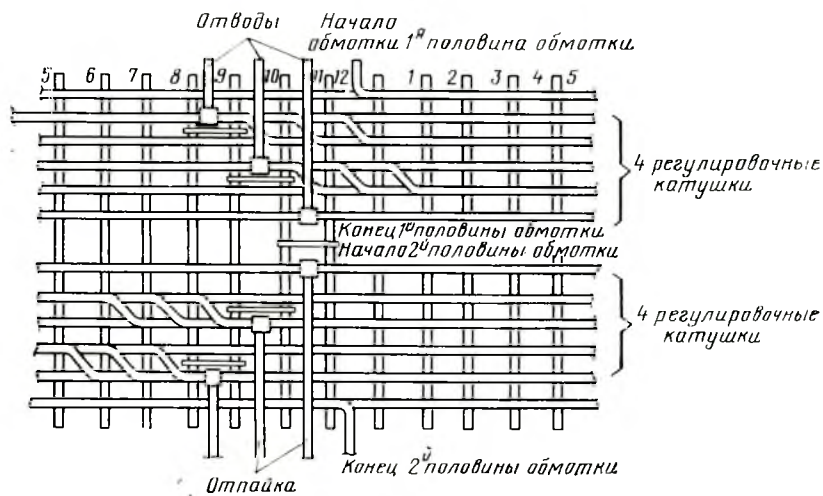


Рис. 28.12. Расположение отводов обмотки с прямой схемой (ответвления на наружном витке катушки).

будут иметь разное направление намотки витков (см. рис. 28.6, ж). В том случае, когда обмотку выполняют с внутренними отводами (см. рис. 28.6, з), процесс намотки начинают с середины шаблона. При этом как первая, так и вторая половина обмотки наматывается без переворачивания шаблона. В этом случае в обеих половинах обмотки также получается разное направление намотки витков.

При намотке непрерывных обмоток трансформаторов большой мощности с диаметром обмотки более 1500 мм или большим радиальном размере катушек (больше 140 мм) перекладывание витков временных катушек затруднено, поэтому намотку таких обмоток выполняют одинарными катушками, в ходе намотки соединяя их концы пайкой [16, 24]. На горизонтальном станке намотка производится поочередно с барабанов, установленных по обе стороны намоточного станка. Обмотчик также меняет свое рабочее место и находится со стороны намотки. При намотке каждой катушки изменяют направление вращения планшайбы. Для упрощения технологии намотку таких обмоток более целесообразно производить на станках с вертикальной осью вращения (рис. 28.13).

Применение двух- и трехжильных подразделенных проводов в обмотках ВН трансформаторов большой мощности обусловило некоторые особенности ее намотки. Это прежде всего относится к выполнению транспозиции при переходах между смежными катушками. Если виток обмотки состоит из двух и более подразделенных проводников, то для выравнивания омического и индук-

тивного сопротивлений выполняют в указанных на развертке обмотки местах групповые транспозиции и транспозиции элементарных проводников подразделенного провода.

При намотке обмоток на вертикально-намоточных станках вначале выполняют подготовительные работы для намотки и стяжки обмотки. Поднимают планшайбу станка в крайнее верхнее положение, закрепляют на ней нижнюю прессующую плиту с уложенной на ней концевой изоляцией обмотки (для последующей стяжки) и разжимную оправку, настроенную на требуемый диаметр наматываемой обмотки. На оправку устанавливают цилиндр и закрепляют на нем комплект реек с частью набора дистанционных прокладок. Остальную часть дистанционных прокладок, набранных на полосы из электроизоляционного картона, подают к станку.



Рис. 28.13. Намотка высоковольтной обмотки на вертикально-намоточном станке.

Если по краям обмотки должны быть емкостные и дисковые кольца, то нижние кольца устанавливают на разжимную оправку заранее, после чего начинают намотку непрерывной части обмотки.

Направление вращения станка изменяется при намотке каждой катушки. Разметив месторасположение внутренних переходов переходы, закрепляют концы проводов на цилиндре и начинают намотку витков первой катушки в соответствии с заданным направлением намотки. Наматыв первый виток, под внутренние переходы прокладывают электроизоляционные прокладки, после чего продолжают намотку оставшихся витков первой катушки. Намотанную катушку закрепляют струбциной, отрезают провода, изолируют и закрепляют наружный конец. Он является началом обмотки. Для продолжения намотки припаивают провода к ранее выполненным внутренним переходам намотанной катушки, изме-

няют направление вращения шпинделя станка, опускают по рейке дистанционные прокладки образующие каналы, и приступают к намотке витков второй катушки.

Намотанную катушку закрепляют струбциной, выполняют наружные переходы и отрезают концы проводов. Затем устанавливают дистанционные прокладки и подготавливают намотку третьей катушки. Вначале размечают и изгибают внутренние переходы в четвертую катушку, затем изменяют направление вращения и производят намотку витков третьей катушки. Закрепив верхний виток, обрезают провода, после чего соединяют пайкой концы проводников верхнего витка третьей катушки с концами второй катушки, заранее изогнутых в виде наружных переходов. В процессе намотки непрерывной части обмотки выполняют регулировочные ответвления и петли, как это было описано для намотки на горизонтальных станках. Для удобства работы регулируют высоту рабочей зоны, опуская ниже уровня пола шаблон с уже намотанной частью обмотки (рис. 28.13).

После намотки последней катушки обрезают концы обмоточного провода, устанавливают емкостные кольца и производят пайку и изолировку концов обмотки и емкостных колец. Затем выполняют предварительную осевую прессовку обмоток, выравнивают все столбы дистанционных и замковых прокладок по отвесу, «прошивают» дистанционные прокладки обмотки рейками или полосами, после чего сжимают лучи разжимной оправки и вынимают ее из обмотки. На верхнее емкостное кольцо устанавливают концевую изоляцию обмотки, технологические прокладки и подставки, опускают на них верхнюю прессующую плиту и стягивают обмотки с плитами стальными шпильками с помощью гайковерта. Отсоединив от планшайбы станка нижнюю прессующую плиту, поднимают мостовым краном стянутую обмотку и передают ее на технологическую обработку.

Способ намотки обмотки одинарными катушками с последующей их пайкой имеет существенный недостаток — большое число паек, что безусловно снижает надежность обмоток. В настоящее время существуют способы непрерывной намотки без пайки на горизонтальных и вертикальных станках [16].

Переплетенная обмотка отличается от непрерывной обмотки последовательностью расположения витков в катушках. Если в непрерывных обмотках последовательность витков — 1, 2, 3, ..., n , то для переплетенных обмоток последовательность иная — 1, $(n/2 + 1)$; 2, $(n/2 + 2)$; 3, $(n/2 + 3)$; ..., m , $(n/2 + m)$, где n — число витков в паре катушек; m — порядковый номер витка.

В переплетенной обмотке разность напряжения между соседними витками в $n/2$ раз больше, чем в непрерывной обмотке. Поэтому к изготовлению переплетенных обмоток предъявляются высокие технические требования (высококачественная пайка, высокая плотность намотки, постоянные размеры переходов и др.). Намотку переплетенных обмоток можно выполнять как на горизонтальных, так и на вертикальных намоточных станках. Как при

непрерывной, так и при переплетенной обмотке поочередно производят намотку переключных и постоянных катушек, транспонируя параллельные проводники витка при переходе из одной катушки в другую. В переплетенных обмотках (в отличие от непрерывных) число обмоточных проводов, используемых при намотке, равно удвоенному числу параллельных проводов витка обмотки.

Для переплетенных обмоток широко используют подразделенный провод марки ПВП. Намотку переплетенных обмоток производят преимущественно на вертикальных намоточных станках без пайки концов смежных катушек (аналогично намотке непрерывных обмоток с применением П-образных зажимов) [16].

Винтовые обмотки трансформаторов выполняют как одноходовыми, так и многоходовыми. Винтовая обмотка состоит из ряда витков, наматываемых по винтовой линии, с масляными каналами между ними. Каждый виток состоит из нескольких (от 7 до 140) одинаковых по сечению параллельных проводов, укладываемых плашмя в радиальном направлении. В зависимости от числа проводов в витке винтовая обмотка может выполняться одно-, двух- или многоходовой, т. е. вся обмотка состоит из двух и более отдельных винтовых обмоток, вмотанных в процессе намотки одна в другую. Параллельные провода винтовой обмотки расположены концентрически и находятся на разном расстоянии от ее оси. Если не принять специальных мер, то провода, расположенные ближе к оси, будут короче, а более удаленные от нее будут длиннее. Разница в длине и положении в магнитном поле параллельных проводов вызывает неравенство их активных и индуктивных сопротивлений и, следовательно, неравномерное распределение тока между ними. Для обеспечения равномерного распределения тока по проводникам и соответственно уменьшения добавочных потерь многоамперные обмотки выполняются с переключкой параллельных проводов витка (транспозицией) в процессе намотки.

Вертикальный канал вдоль внутренней поверхности винтовой обмотки и каналы между ее витками образуются такими же рейками и прокладками, как и у непрерывной обмотки. Намотка может быть правой и левой. Технологический процесс намотки винтовых обмоток одинаков для всех типов силовых трансформаторов. В зависимости от исполнения винтовые обмотки могут отличаться числом параллельных проводов в витке и количеством ходов, радиальными и осевыми размерами витков, внутренними и наружными диаметрами, длиной и массой обмотки, сечением и изоляцией обмоточного провода, числом витков и видом транспозиций. При намотке винтовых обмоток очень важно установить барабаны с намотанным на них проводом и скомплектовать начальный конец (вывод обмотки). Технологические барабаны устанавливают на каретку в несколько рядов и в 2—3 яруса так, чтобы все концы от барабана нижнего яруса подводились к зажиму, располагаясь сверху барабана, а верхнего яруса — снизу барабана. Первона-

чальная укладка проводов производится для каждого вида транспозиций по определенной схеме с тем, чтобы при выполнении транспозиций окручивание проводов было бы минимальным [16].

Намотку винтовых обмоток значительно упрощает применение транспонированных проводов. Намотка обмотки, виток которой состоит из одного транспонированного провода (как бы одноходовой), производится аналогично простой (однослойной) цилиндрической обмотке с той только разницей, что после намотки каждого витка устанавливаются дистанционные прокладки между витками.

При сборке активной части трансформаторов I, II габаритов на конвейере надо заранее комплектовать обмотки ВН и НН каждой фазы.

Сборка обмоток на фазу производится на специальной гидравлической установке [22]. В обойму установки вкладывается обмотка НН, а в направляющие пазы обоймы вставляются клинья, после чего в лоток укладывается обмотка ВН. При включении установки цилиндр своим штоком давит на обмотку НН и клинья, находящиеся в обойме, и запрессовывает их в обмотку ВН. Предварительная сборка обмоток сводит до минимума применение ручного труда и гарантирует высокое качество расклиновки обмоток.

В ряде случаев намотку обмотки ВН удобно выполнять непосредственно на уже намотанную обмотку НН. При этом на обмотку НН устанавливают дистанционные рейки и цилиндр (бумажно-бакелитовый или мягкий) обмотки ВН, после чего наматывают обмотку ВН, как описано выше. Это так называемое «пофазное» производство обмоток широко рекомендуется прежде всего для трансформаторов I, II габаритов.

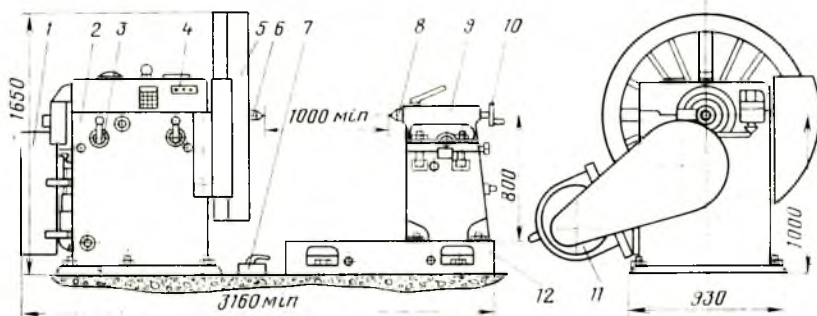
В процессе намотки обмоток силовых трансформаторов возникает необходимость в соединении концов обмоточного провода. Для надежной работы трансформатора необходимо, чтобы эти соединения были прочны и обеспечивали надежный контакт, поэтому все соединения проводов при изготовлении обмоток выполняют только неразъемными, применяя следующие способы соединения: пайку — для соединения отдельных кусков обмоточного провода, отводов, демпферов, емкостных колец и других; сварку угольными электродами — для соединения обмоток из круглого провода и аргоно-дуговую — для соединения отводов с концами обмотки из алюминиевого провода; холодную сварку — для соединения алюминия с алюминием и алюминия с медью.

28.3. МЕХАНИЗАЦИЯ НАМОТКИ ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРОВ

Для намотки обмоток из круглого и прямоугольного проводов широко используются горизонтально-намоточные станки типа ТТ. Все типоразмеры этих станков имеют идентичную конструкцию.

Принципиальное устройство станка с горизонтальной осью вращения рассмотрим на примере станка типа ТТ-23. Общий вид и основные узлы его показаны на рис. 28.14.

Передняя бабка 2 станка помещается непосредственно на фундаменте и крепится анкерными болтами. В чугунном корпусе передней бабки монтируется шпиндель станка и механизм перемены скоростей. На переднем конце шпинделя консольно закреплена планшайба 5 с центром 6. Вращение планшайбе сообщается от электродвигателя 11 через клиноременную передачу, закрытую кожухом 1. С помощью рукоятки переключения скоростей 3 мож-



Р и с. 28.14. Горизонтально-намоточный станок типа ТТ-23.

но последовательно ввести в зацепление разные пары шестерен, благодаря чему обеспечивается получение шести различных чисел оборотов планшайбы. Среднее положение рукоятки 3 является нейтральным, и планшайба отключается от привода. Это дает возможность при необходимости проворачивать планшайбу от руки. Управление станком производится от ножной педали 7. При нажатии на нее осуществляется пуск станка, при отпуске — остановка станка. Для торможения при остановке станка установлен ленточный тормоз. Задняя бабка 9 состоит из нижней литой чугунной тумбы и верхней корпусной части, несущей пиноль 8 с вращающимся центром. Пиноль перемещается путем вращения маховичка 10. Перемещение пиноли осуществляется с помощью винтовой пары. Тумба задней бабки может перемещаться вдоль станины и крепится к ней болтами. Станина 12 чугунная, коробчатой формы, устанавливается на фундаменте отдельно от передней бабки, благодаря чему при монтаже можно выбрать необходимое межцентровое расстояние между передней и задней бабками. Станина крепится к фундаменту анкерными болтами. Отсчет витков осуществляется счетчиком 4.

Станок снабжен трехфазным электроприводом переменного тока. Изменение направления вращения шпинделя станка достигают путем изменения направления вращения электродвигателя. Привод допускает многократный толчковый режим работы.

Тип станка и оптимальная скорость намотки выбираются в соответствии с типом и размерами наматываемой обмотки, формой и сечением обмоточного провода. Для намотки обмоток транс-

форматоров I, III габаритов используют преимущественно станки типов ТТ-20, ТТ-21, ТТ-22 с укладчиком витков; для намотки обмоток трансформаторов IV—VI габаритов применяются станки типа ТТ-23; станки типа ТТ-24 (без задней бабки) применяются для намотки катушек дисковой обмотки. Рязанским станкостроительным заводом были созданы станки типов РТ-28 и РТ-29, которые нашли широкое применение при намотке обмоток трансформаторов V—VIII габаритов.

В нашей стране впервые вертикально-намоточный станок был спроектирован и изготовлен на Запорожском трансформаторном заводе в 1961 г. В настоящее время в эксплуатации находятся станки двух типоразмеров, основные технические данные которых приведены в таблице. Конструкция станка (рис. 28.15) предусматривает размещение его траверсы 6 и приводного механизма 9

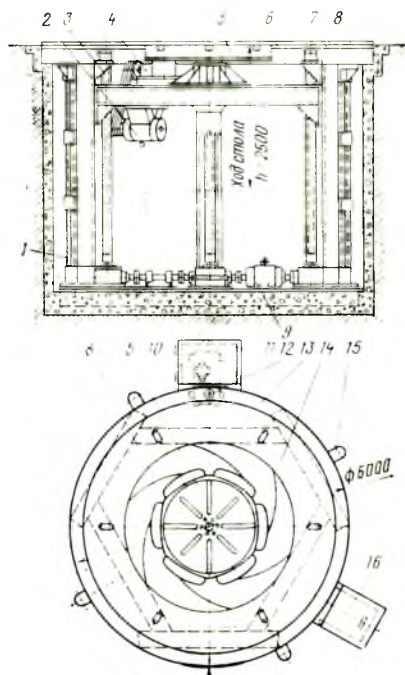


Рис. 28.15. Вертикально-намоточный станок.

1 — стойка; 2 — электропривод планшайбы; 3 — винт; 4 — редуктор; 5 — планшайба; 6 — траверса; 7 — верхняя рама; 8 — настил раздвижной; 9 — привод подъема траверсы; 10 — привод раздвижения настила; 11 — люк раздвижения настила; 12 — механизм раздвижения настила; 13 — кожух; 14 — настил; 15 — анкерное крепление кожуха; 16 — эксплуатационный люк.

ниже уровня пола в специальном котловане, и только планшайба 5 с укрепленной на ней оправкой для намотки обмотки может находиться над уровнем пола. Вращение планшайбы осуществляется электродвигателем постоянного тока 2 через клиноременную передачу и редуктор 4. Подвижная траверса перемещается тремя ходовыми винтами 3, закрепленными в нижней и верхней неподвижных рамах. Ходовые винты приводятся в движение приводом 9, укрепленным на нижней раме. Для вращения и вертикального перемещения планшайбы приводы имеют большой диапазон регулирования скорости. По мере намотки оправка с частью обмотки опускается вниз, благодаря чему рабочий может производить намотку на удобном для себя уровне. Для свободного доступа к механизмам, расположенным ниже уровня пола, предусмотрен специальный люк 16. Конструкция станка обеспечивает свободный доступ к наматываемой обмотке.

Параметр	Тип станка								
	ТТ-20	ТТ-21	ТТ-22	ТТ-23	ТТ-24	РТ-28	РТ-29	ВН-1	ВН-2
Максимальный крутящий момент, Н	2640	2640	2640	31200	31200	32000	32000	24000	24000
Частота вращения шпинделя, об/мин	1,5—16,3	1,5—16,3	1,5—16,3	2,6—25	2,6—25	0—18	0,8—28	10—30	10—30
Диаметр планшайбы, мм	600	800	1000	1300	1300	2000	2000	2000	2000
Высота центра над уровнем станины, мм	1000	1000	1000	1000	1000	1700	1700	—	—
Межцентровое расстояние, мм	—	800	—	1000	—	4000	—	—	—
Грузоподъемность, кг	—	1500	—	4000	—	15000	—	10000	20000
Максимальный диаметр наматываемой катушки, мм	620	1100	1600	1800	1800	2800	2800	3200	3200
Масса станка, кг	1440	1500	1130	3850	3000	15000	9600	22000	28000

На предприятиях имеется целый ряд средств технологического оснащения операций намотки. При намотке непрерывных обмоток необходимо производить переход из одной катушки в другую не после целого, а после дробного числа витков катушки. Выпускаемые промышленностью намоточные станки снабжены счетчиками только целого числа витков, поэтому рабочему в процессе намотки придется непрерывно вести счет витков и долей витка, чтобы в нужный момент остановить станок и выполнить переход в заданных полях. Это обстоятельство приводит к снижению

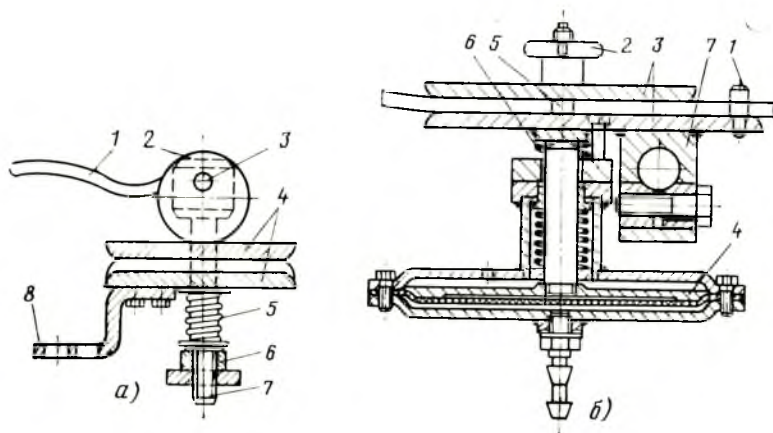


Рис. 28.16. Натяжные устройства.

а — натяжное эксцентриковое приспособление (1 — рукоятка; 2 — эксцентрик; 3 — ось; 4 — планки тормозные; 5 — пружина; 6 — гайки; 7 — винт; 8 — планки); *б* — натяжное пневматическое приспособление (1 — палец разделительный; 2 — гайка; 3 — планки тормозные; 4 — пневматическая камера; 5 — болт; 6 — пружина; 7 — крепление).

производительности труда и не гарантирует безошибочную намотку обмоток. Для устранения этого недостатка создано специальное программно-счетное устройство к намоточным станкам [16], которое обеспечивает отсчет не только целого и дробного числа витков в наматываемой катушке, но и подачу команд на торможение и остановку станка в нужном положении.

Одним из важнейших условий хорошего качества обмотки является высокая плотность намотки витков, которая обеспечивается натяжением провода. Для осуществления плотной намотки применяются специальные натяжные устройства (рис. 28.16, *а*, *б*), устанавливаемые обычно на каретке с проводом. Наиболее простым является эксцентриковый зажим (рис. 28.16, *а*). Он состоит из двух стальных планок 4, между которыми закладываются провода. Натяжение проводов регулируется с помощью гаек 6, давление на планки передается через пружины 5. При утолщении провода планки раздвигаются, что предохраняет изоляцию провода от неизбежного повреждения. Внутренние поверхности планок, по которым скользят провода во избежание порчи изоляции,

должны быть хорошо отполированы. Для того чтобы вся обмотка была намотана одинаково плотно, зажим должен быть отрегулирован в самом начале намотки на определенное усилие, которое должно оставаться постоянным. Между тем в процессе намотки обмоток периодически требуется поджимать провода. Для этой цели зажим имеет специальное устройство, состоящее из эксцентрика 2 и рукоятки 1. Эксцентрик устроен так, что если рукоятку повернуть вверх на 90° , планки дополнительно сжимаются и движение провода затормаживается. Если опустить рукоятку снова вниз, прежнее усилие зажима восстановится.

Натяжное пневматическое приспособление (рис. 28.16, б) имеет вместо эксцентрика пневматическую камеру. При подаче сжатого воздуха в камеру происходит зажим проводов, при выходе воздуха из камеры провода освобождаются. Пневматическая камера позволяет рабочему производить зажим и освобождение проводов, не сходя с рабочего места, с помощью воздушного крана, установленного на рабочем столике. Имеются более совершенные натяжные устройства с контролируемым усилием натяжения [16].

Устройства для подпрессовки винтовых и непрерывных обмоток в процессе намотки на горизонтально-намоточных станках обеспечивают усилия подпрессовки 1650—6000 Н. Они применяются при намотке обмоток диаметром 400—2800 мм и длиной до 3200 мм. Устройство для осевой подпрессовки является самостоятельным узлом, который монтируется сзади станка на двух стойках с верхней траверсой, по которой перемещается прессующая головка. Опорная плита прессующей головки, постоянно находясь в контакте с витком наматываемой обмотки, обеспечивает автоматическую подпрессовку его с заданным усилием. Усилие подпрессовки регулируется в зависимости от размера провода.

Обмоточные провода круглого или прямоугольного сечения устанавливают в специальные каретки (см. рис. 28.1). В настоящее время используется для этой цели большое разнообразие кареток, на которые может быть установлено различное число барабанов или бухт с обмоточным проводом. Каретки для транспонированного провода более массивные, имеют систему горизонтальных и вертикальных роликов для направления проводов. На них обычно не закрепляют тормозные устройства для создания натяжения проводов, так как плотность намотки обмоток обеспечивается механизмами осевой подпрессовки обмоток. В производстве обмоток мощных трансформаторов используются каретки, на которые можно устанавливать до 20 барабанов с транспонированными проводами, имеются и комбинированные каретки, предназначенные для барабанов с обычными или транспонированными проводами.

Для намотки обмоток используются различные конструкции шаблонов и оправок (рис. 28.17, а, б). Выбор той или иной конструкции обуславливается рядом соображений: типом обмотки, сечением и числом проводов, характером производства, оборудо-

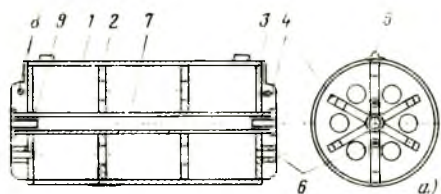
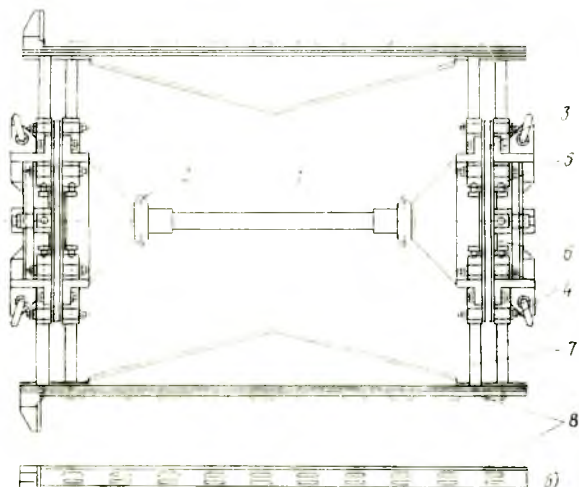


Рис. 28.17. Шаблоны и оправки для намотки обмоток.

а — шаблон сварной (цилиндр металлический); *б* — универсальная оправка.



ванием, используемым при намотке, и др. К шаблонам и оправкам предъявляются основные требования: они должны обеспечивать правильность геометрической формы и требуемую точность внутреннего диаметра обмотки, обеспечивать намотку обмоток с различным числом реек в определенном диапазоне диаметров и удерживать в исходном положении рейки как в процессе намотки обмоток, так и при транспортировке, кантовке, опрессовке и сушке. Шаблоны и оправки должны легко извлекаться из обмоток, не повреждая их, быстро и легко устанавливаться и сниматься со станка, быть безопасными в работе, по возможности универсальными или переналаживаемыми, обеспечивать кантовку и транспортировку совместно с обмоткой.

На рис. 27.17, *а* показана одна из конструкций сварного шаблона для намотки крупных винтовых и непрерывных обмоток. Основным элементом шаблона является цилиндр 1, в котором сварены четыре диска 2 и 3. Сквозь диски проходит труба 7 с запрессованными в нее втулками 9. По торцам шаблона приварены ребра жесткости 4 с отверстиями 8 для подъема и втулками для соединения с поводком. В ребра введены втулки 6 для ведущих пальцев поводка. Для правильного расположения деревянных реек параллельно оси шаблона приварены два упора 5 (иногда при-

варивают по две или три пары таких упоров). Такие шаблоны-цилиндры довольно просты в изготовлении и прочны, но мало универсальны, так как на каждом шаблоне можно наматывать обмотки только одного внутреннего диаметра и одной длины. Изменение диаметров в ограниченном диапазоне (100—150 см) можно осуществлять с помощью деревянных реек, изменяя их высоту, но для производства реек требуется значительное количество дерева, дополнительное оборудование и площади.

На ряде заводов применяется универсальная разжимная оправка, показанная на рис. 28.17, б. Такие оправки предназначены для намотки обмоток силовых трансформаторов на горизонтально- и вертикально-намоточных станках. Оправки дают возможность производить намотку обмоток всех типов, имеющих внутренний диаметр не менее 600 мм и массу не более 1250 кг. Восемь типовых размеров оправок охватывают диапазон диаметров 600—2800 мм; возможна намотка обмоток длиной 500—3200 мм. Преимущества этой оправки очевидны: широкий диапазон регулирования диаметров оправок каждого типа (до 500 мм) позволяет производить намотку большого числа разных по диаметру обмоток; настройка оправок на требуемый диаметр производится быстро и с большой точностью; оправка может сжиматься и ее легко можно вынуть из стянутой обмотки через отверстия в верхней прессующей плите; одна и та же оправка обеспечивает намотку обмоток различной длины с разным количеством реек.

Основным узлом оправки является вал 1 переменной длины; стопорение вала на определенный размер производится болтами 2. По концам вала насажены диски 3 с концевыми Т-образными пазами, в которых закрепляются лучи 5 с помощью болтов 4. Каждый луч состоит из корпуса, в котором помещены выдвижная пиноль 7 и винт, а снаружи укреплен шестерня, находящаяся в зацеплении с зубчатым колесом 6. На выдвижные пиноли 7 закрепляются с помощью болтов направляющие планки 8. При вращении центрального вала, на котором жестко закреплены зубчатые колеса 6, будут синхронно вращаться все шестерни лучей 5, находящиеся с ними в постоянном зацеплении, а следовательно, будут выдвигаться или втягиваться в корпуса пиноли 7, и диаметр оправки изменится. Для увеличения диапазонов диаметров оправок и длин применяются сменные комплекты пинолей и направляющих планок. Так, в оправке, предназначенной для намотки обмоток с внутренним диаметром 1300—1800 мм, при замене пинолей на более длинные (длиннее на 250 мм) можно использовать оправку для намотки обмоток диаметром 1800—2300 мм, а при удлинении пинолей на 500—диаметром 2300—2800 мм. Все лучи 5, выдвижные пиноли 7 и направляющие планки 8 должны быть выполнены с требуемой точностью, чтобы обеспечивалась их взаимозаменяемость.

Оправки и шаблоны, применяемые при намотке обмоток на горизонтальных станках, обычно закрепляется одной стороной в планшайбе передней бабки, а второй конец обычно поддержи-

вается вращающимся центром (рис. 28.18, *а*), установленным в пиноль 7 задней бабки 8 (рис. 28.1).

Назначение поводка — передавать крутящий момент, развиваемый станком, правильно центрировать шаблон с учетом массы обмотки с шаблоном. На рис. 28.18, *б* показана конструкция по-

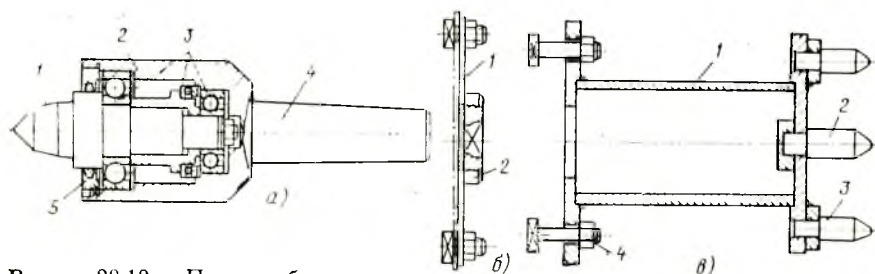


Рис. 28.18. Приспособление для крепления оправок и шаблонов на намоточном станке.

а — центр вращающийся (1 — центр; 2 — корпус; 3 — шарикоподшипник; 4 — хвостовик корпуса; 5 — крышка); *б* — поводок для разжимных оправок с квадратными хвостовиками (1 — пластина; 2 — втулка); *в* — поводок для сварных и сборочных оправок с тремя отверстиями в торцах (1 — корпус; 2 — центр; 3 — ведущие штыри; 4 — крепежные болты).

водка, применяемого для установки оправок, имеющих с обеих сторон четырехгранные хвостовики. К стальной пластинке 1 приварена втулка 2 с четырехгранным отверстием, по форме и размерам соответствующая хвостовику шаблона, что позволяет обеспечить центрирование и передачу крутящего момента. Для установки и закрепления более тяжелых оправок или шаблонов применяют другую конструкцию поводка, показанную на рис. 28.18, *в*.

Для выполнения переходов из катушки в катушку и транспозиций, а также оформления начальных и конечных отводов необходимо производить изгиб провода на ребро, как показано на рис. 28.8, *а*. Эти операции выполняют при помощи специальных гибочных приспособлений различной конструкции. Приспособления должны быть легкими и не требовать затраты больших усилий для выполнения изгиба, а также по возможности быть универсальными и не повреждать изоляции провода.

В процессе намотки обмоток необходимо в определен-

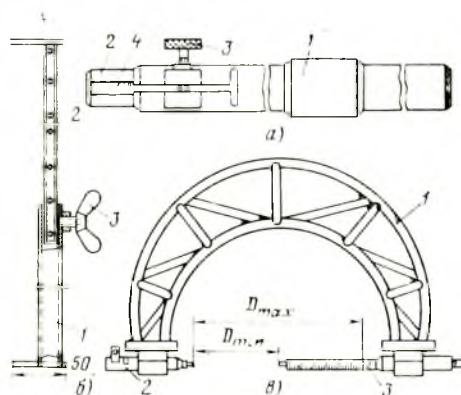


Рис. 28.19. Мерительный инструмент. *а* — приспособления для измерения внутренних диаметров обмотки; (1 — корпус; 2 — валик выдвигной; 3 — винт стопорный; 4 — линейка мерительная); *б* — приспособление для измерения высоты (1 — корпус; 2 — штанга с линейкой; 3 — стопор); *в* — приспособление для измерения наружных диаметров обмотки (1 — ферма; 2 — микрометр; 3 — упор регулируемый).

ные моменты закреплять витки катушек и концы обмоток для выполнения последующих операций. Широко применяется П-образный деревянный зажим (его обычно устанавливают на витки винтовой обмотки при выполнении транспозиции и в непрерывных обмотках перед затяжкой витков переключных секций), а также струбцины различных конструкций — для закрепления витков и концов обмотки.

Для резки обмоточных проводов, изоляции и лент применяют ножницы и ножи. Для подбивки катушек и отдельных витков в процессе намотки обмоток применяют гетинаксовые клинья и деревянные киянки. При пайке для нагревания проводов используют клещи с угольными электродами. Напряжение на клещи (24—36 В) подается со стороны НН от специального пачного трансформатора.

Помимо универсального нормального мерительного инструмента (линейка мерительная, метр, штангенциркуль, микрометр) применяют специальный мерительный инструмент, показанный на рис. 28.19, *а—в*.

Глава двадцать девятая

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ОБМОТОК

После выполнения на станке всех намоточных операций обмотке требуется дополнительная технологическая обработка, после чего она может быть окончательно принята ОТК и передана на сборочный участок или склад. Ниже более подробно рассмотрены операции технологической обработки обмоток.

29.1. СЯЗКА, ПРЕССОВКА И ОТДЕЛКА ОБМОТОК

Чтобы обеспечить механическую прочность обмоток при коротком замыкании трансформатора, их прессуют на гидравлическом прессе (или с помощью специальных устройств) заданным усилием. Предварительно обмотку стягивают в осевом направлении двумя металлическими плитами посредством шпилек, проходящих через отверстия в плитах.

Сязку обмоток производят на специальных рабочих местах участка, оборудованного специальными гидравлическими прессами различной мощности, кантователями, гайковертами. В специальных стеллажах хранятся прессующие плиты, шпильки, гайки, различные подставки.

Работы по сязке и прессовке обмоток начинают со сборки обмоток с концевой изоляцией, для чего с обоих концов обмотки устанавливают нужное число дистанционных прокладок, прессующих колец или шайб (рис. 29.1, *а—в*).

В соответствии с длиной и диаметром стягиваемой обмотки подбирают прессующие плиты 7 и стягивающие шпильки 4.

Диаметр плит должен быть примерно на 200 мм больше наружного диаметра обмотки, а длину шпилек выбирают в соответствии с длиной обмотки и подставок с обеих сторон. Поскольку оснастка,

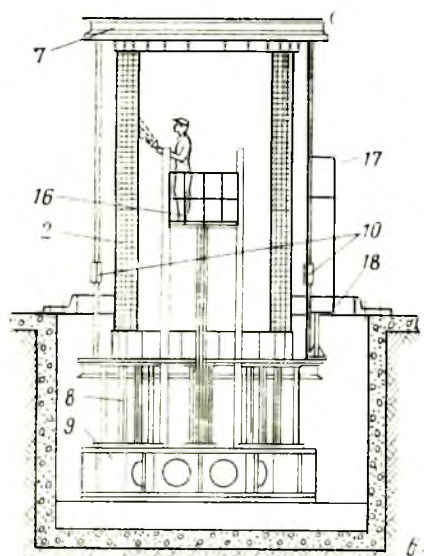
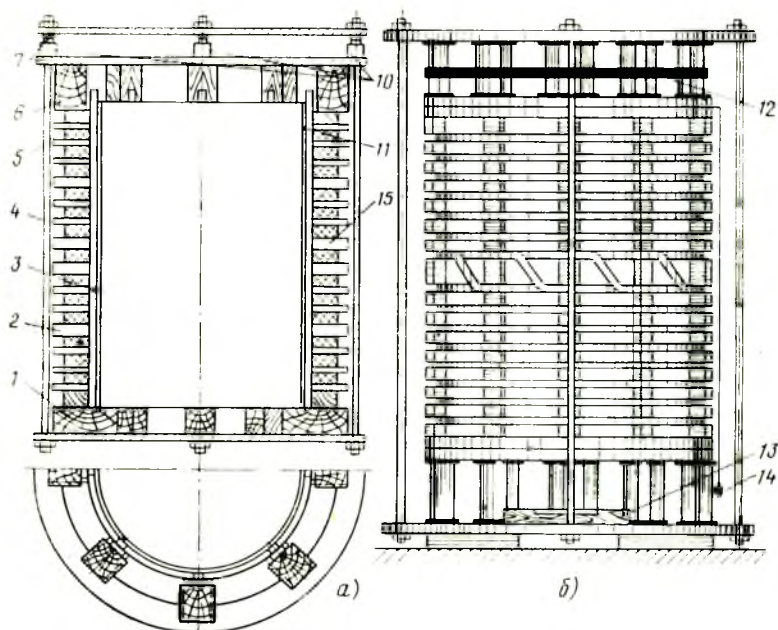


Рис. 29.1. Стяжка и отделка обмоток.

а — стяжка обмоток, намотанных на бумажно-бакелитовом цилиндре; *б* — отделка обмотки; *в* — рабочее место стяжки, отделки и контроля обмотки; 1 — нижняя подставка; 2 — обмотка; 3 — рейка с дистанционными прокладками; 4 — стяжные шпильки; 5 — кольца изолирующие; 6 — верхняя подставка; 7 — прессующие плиты; 8 — технологические подставки; 9 — механизм подъема обмоток; 10 — пружины; 11 — цилиндр бумажно-бакелитовый; 12 — ремень; 13 — уровень; 14 — отвес; 15 — дистанционные прокладки; 16 — площадка для подъема рабочего; 17 — приспособление для выравнивания столбов дистанционных прокладок; 18 — настил раздвижной.

используемая при опрессовке обмоток, является также и грузонесущей конструкцией, расчеты количества шпилек и размеров плит должны быть выполнены с учетом двух усилий: усилия запрессовки и массы обмотки с оснасткой.

Стяжку обмотки начинают с установкой стяжных шпилек с предварительно закрепленными снизу гайками в отверстия нижней плиты. На плите равномерно по окружности располагают деревянные или металлические подставки (плашки) одинакового размера и устанавливают обмотку так, чтобы столбы дистанционных прокладок совпадали с технологическими прокладками. При стяжке обмотки, выполненной на бакелитовом цилиндре, цилиндр 11 и рейки 3 нижним торцом должны опираться на подставку 1 (рис. 29.1, а). После этого на каждый столб дистанционных прокладок (или два смежных) устанавливают технологические подставки 6 так, чтобы они не упирались в рейки и цилиндр и во время прессовки могли свободно перемещаться вместе с обмоткой. Длину подставок 6 выбирают такой, чтобы верхняя кромка цилиндра, отводы или концы обмотки не упирались в прессующую плиту после усадки обмотки при сушке. Подставки закрепляют ремнем 12 (рис. 19.1, б) и на них укладывают верхнюю прессующую плиту 7 так, чтобы центр плиты совпадал с осью обмотки. Провед через отверстия в плитах шпильки 4, начинают равномерно затягивать гайки, производя таким образом стяжку обмотки.

Стяжку обмотки можно производить в горизонтальном положении, для чего с обеих сторон обмотки, уложенной на подставке, устанавливают (прислоняют) прессующие плиты, поддерживая их в процессе стяжки краном, вставляют в отверстия плит стяжные шпильки и равномерно затягивают ключом все гайки. Стянутую таким образом обмотку кантуют в вертикальное положение.

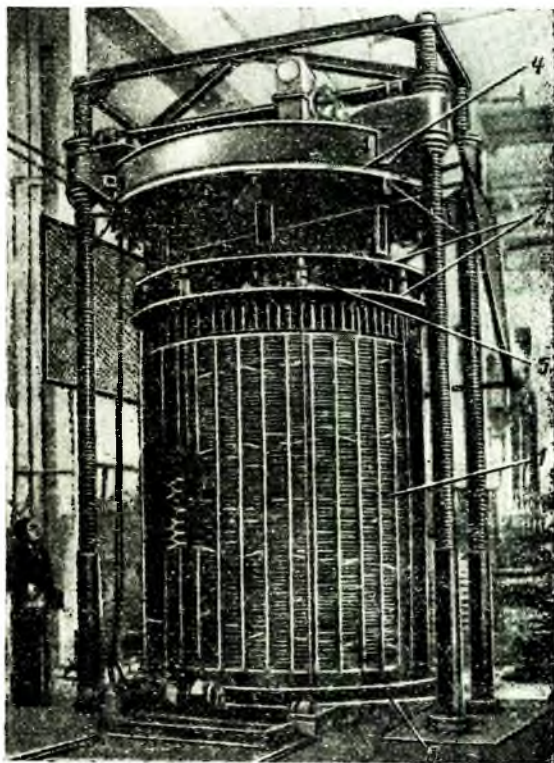
Кантование — перемещение из горизонтального положения в вертикальное и наоборот производят на кантователях консольного типа с помощью крана или других подъемных механизмов.

Перед прессовкой обмотка подвергается отделке. Операция отделки (рис. 29.1, в) представляет собой комплекс работ по обеспечению полного соответствия геометрических размеров обмотки требованиям чертежа. Столбы дистанционных прокладок выравнивают по отвесу или специальными приспособлениями. С помощью специальных клиньев устраняют наклон катушек, добиваясь их строго перпендикулярного расположения относительно вертикальной оси обмотки. При повреждении изоляции обмоточного провода поврежденные участки изолируют кабельной бумагой; если есть смещенные или изогнутые витки обмоточного провода, их выравнивают. Поправляют смещенные полосы изоляции под переходами, подтягивают бандажи на концах, регулировочных петлях и отводах, устраняют и другие обнаруженные дефекты.

Предварительно стянутую обмотку прессуют на специальных гидравлических прессах, позволяющих плавно создавать заданное усилие, равномерно распределяемое по всем столбам прокладок. Прессовку обмоток (рис. 29.2) в зависимости от требований тех-

нологин производят на гидравлических прессах различной мощности: 1000—350 000 Н.

Усилие начальной запрессовки обмоток F_n заранее рассчитывается исходя из ожидаемых усилий при коротких замыканиях на общую опорную площадь прокладок обмотки и указывается в чертеже.



Р и с. 29.2. Прессовка переплетенной обмотки ВН 500 кВ на гидравлическом прессе.

Технологический процесс механической прессовки обмоток заключается в следующем: обмотку 1, стянутую прессующими плитами 2 с пружинами 5, устанавливают на специальную тележку 3, подложив под нижнюю прессующую плиту деревянные бруски (чтобы стяжные шпильки и гайки не касались пола тележки). Тележку с обмоткой закатывают на стол пресса, включают электропривод и опускают верхнюю плиту 4 пресса только до соприкосновения нажимных подставок с верхней прессующей плитой обмотки. Давление в гидравлической системе пресса, необходимое для прессовки данной обмотки, указано в чертеже, и его значение устанавливают на шкале электроконтактного манометра.

Включая двигатель гидравлического насоса, создают давление в гидравлическом цилиндре — происходит подъем нижнего стола и прессовка зажатой в плитах обмотки. Постепенно доводят давление до заданного для данной обмотки, после чего автоматически прекращается подача масла в гидросистему пресса. Не снимая давления, закручивают гайки на верхней плите, затем снимают давление и выкатывают тележку с обмоткой из-под пресса.

При первой прессовке обмотки происходит ее основная усадка, составляющая 6—8 % осевого размера. При изготовлении изоляционных прокладок из жесткого электроизоляционного картона плотностью более 1250 кг/м³ со стабильными характеристиками осевой размер обмотки после прессовки обычно соответствует указанному в чертеже, поэтому можно ограничиться только одно-разовым сжатием обмотки (без тренировочных циклов). Однако иногда не удается получить заданный чертежом осевой размер обмотки. Тогда ее распрессовывают, добавляют или убавляют некоторое число прокладок, после чего снова обмотку прессуют.

После прессовки осевой размер обмотки должен обязательно соответствовать размеру по чертежу, кроме того, расстояния между столбами дистанционных прокладок должны быть одинаковыми, столбы прокладок параллельными, а дистанционные прокладки перпендикулярны оси обмотки. Оформив на обмотку карту пооперационного обмера, ее отправляют на дальнейшую технологическую операцию — сушку.

29.2. СУШКА, ПРОПИТКА, ЗАПЕЧКА ОБМОТОК

Технологические процессы сушки существенно влияют на качество, надежность и долговечность обмоток, так как содержание нескольких процентов влаги в бумажной изоляции резко снижает электрическую прочность и значительно сокращает срок ее службы. Кроме того, наличие влаги в изоляции способствует разбуханию и размягчению бумаги и картона. Обмотки с увлажненной изоляцией, будучи стянуты и опрессованы с большим усилием, после удаления из них влаги в процессе сушки значительно уменьшаются в размерах, в основном в осевом направлении. Несмотря на то что активные части (в том числе и обмотки всех масляных трансформаторов) проходят длительную вакуумную сушку (см. гл. 32), сушка обмоток необходима для придания им стабильного осевого размера.

Обмотки на напряжение до 35 кВ включительно могут проходить сушку без вакуума в сушильных камерах с различным типом обогрева (паровым, электрокалориферным или аэродинамическим). Камеры должны быть оборудованы вытяжной вентиляцией для удаления паров влаги. Температура в камере не должна превышать 105—110 °С. Время сушки устанавливается по наибольшей обмотке в данной партии и в зависимости от температуры в камере.

Сушка обмоток на напряжение выше 35 кВ производится в вакуум-сушильных шкафах горизонтального или вертикального типа. Вакуум, создаваемый в шкафу, способствует улучшению процесса и сокращает время сушки. Паровоздушная среда, образующаяся в вакуум-сушильном шкафу, откачивается вакуумными насосами. На пути от шкафа к вакуум-насосу обязательно должна быть установлена конденсационная колонка, где проходящие пары влаги конденсируются и стекают в виде конденсата (воды). Колонка защищает вакуумные насосы от попадания в них воды и позволяет учитывать влагу, вышедшую из обмотки.

Обмотки в вакуум-сушильный шкаф загружают с помощью тележки (в шкаф горизонтального типа), на которую ставят обмотки, как показано на рис. 29.3, либо опускают с помощью мосто-



Рис. 29.3. Сушка обмоток в горизонтальном шкафу.

1 — обмотка; 2 — тележка; 3 — горизонтальный вакуум-сушильный шкаф; 4 — радиаторы парового обогрева; 5 — пневмоприжимы для уплотнения откидной двери шкафа.

вого крана в вертикальный шкаф. Крышку шкафа герметически закрывают. Объем шкафа соединен с атмосферой посредством вентиля для снятия вакуума. Включают паровой обогрев и начинают прогрев обмоток. Для равномерного прогрева обмотки ставят не ближе 300 мм от нагревателей. Температуру в шкафу поднимают до 110°C, и в зависимости от параметров загруженных обмоток прогрев длится 3—5 ч, после чего закрывают вентиль для снятия

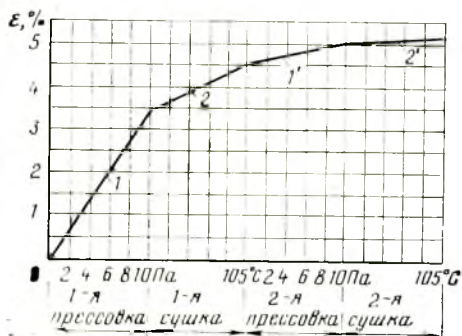


Рис. 29.4. Изменение осевых размеров обмотки в процессе ее технологической обработки (прессовки и сушки).

1 и 1' — усадка при первом и втором цикле прессовки; 2 и 2' — усадка при первой и второй вакуумной сушке.

вакуума и включают вакуумный насос. Вакуум создают ступенями по 2—2,5 кПа (20—25 мм рт. ст.) в течение 1 ч. При наливании в обмотках бумажно-бакелитовых цилиндров вакуум создают более плавно во избежание расслаивания цилиндров.

Остаточное давление в шкафу понижают до минимально возможного, например до 0,5—1,6 кПа (5—10 мм рт. ст.), при этом из обмоток начинает удаляться влага. Каждый час в журнале фиксируется давление пара в сети, температура и остаточное давление в шкафу, а также количество конденсата, выделившегося в течение 1 ч. Продолжение сушки зависит от состояния и па-

раметров обмотки, режима работы шкафа и составляет обычно 12—30 ч. Сушку прекращают в случае прекращения выделения влаги в течение 3 ч. Рекомендуется проводить два цикла технологической обработки обмоток мощных высоковольтных трансформаторов, так как при повторной сушке кроме уменьшения высоты обмотки (повторная усадка изоляции) уменьшаются также упругие свойства электроизоляционного картона (рис. 29.4), вследствие чего замедляется «рост» обмоток.

Обмотки, изготовленные по такой технологии, не дают такого ощутимого увеличения осевого размера после их распрессовки и незначительно уменьшают свой осевой размер после сушки активной части трансформатора. На трансформаторных заводах существует несколько технологических процессов обработки обмоток. В каждом отдельном случае для обмотки указывается конкретно технология ее обработки. Обмотки, подвергающиеся пропитке, должны пройти следующие операции: стяжка, отделка, прессовка, сушка, повторная отделка, пропитка, запекание.

В связи с тем что пропитка лаком и запекание обмоток приводят к снижению их электрической прочности при незначительном повышении механической прочности изоляции, а также расходу дополнительных материалов, увеличению трудоемкости и удлинению производственного цикла, принят в основном вариант

технологии изготовления обмоток силовых масляных трансформаторов без пропитки лаком. При этом в процессе их изготовления особое внимание уделяется плотной намотке витков, а также стабилизации осевого размера обмотки и каналов. Технология пропитки и запекания обмоток приведена в [21].

После сушки и прессовки обмоток производят демонтаж оснастки, так как технологическая оснастка в виде шаблонов, деревянных реек и стяжных плит со шпильками не должна попадать на участок сборки трансформаторов, куда доставляют комплекты обмоток после окончания их изготовления. Поэтому приходится обмотку распрессовывать, снимать верхнюю прессующую плиту и с помощью крана удалять шаблоны (а иногда сначала удаляют все деревянные планки, а затем шаблон), после чего обмотку снова стягивают. Удаление шаблона иногда производят через отверстия в верхней плите, не снимая ее.

Для осмотра внутренней поверхности обмотку, стянутую в плитах, ставят на вращающийся стол, как показано на рис. 29.1, в. На специально оборудованном месте можно производить осмотр обмотки по всей высоте, находясь внутри ее. После проверки и оформления карты пооперационного обмера на обмотку надевают защитный чехол и отправляют на сборку.

29.3. МЕХАНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Для отделки, прессовки и сушки обмоток используются как стандартные, так и нестандартные средства технологического оснащения. Для стяжки обмоток применяют различные плиты. Их конструкция определяется габаритами и массой обмоток, а также прилагаемыми усилиями при прессовке. На рис. 29.1 показаны плоские стальные плиты для сравнительно небольших обмоток. В плите имеется центральное отверстие, через которое можно удалить намоточный шаблон. По периферии расположены отверстия под стяжные шпильки. Для стяжки больших обмоток жесткость плит увеличивают, устанавливая ребра жесткости. Применяют также составные прессующие плиты с телескопическими пружинами, с помощью которых производится подпрессовка обмоток в процессе сушки внутри сушильных шкафов. Для создания усилий прессовки в процессе сушки используются также наборы тарельчатых пружин 10 (см. рис. 29.1), которые устанавливаются между верхней и промежуточной прессующими плитами.

На рис. 29.2 показан гидравлический пресс для опрессовки мощных силовых трансформаторов. Рабочее усилие пресса 1500 Н.

Прессовка обмоток может быть также выполнена без применения внешних силовых (пружинных и гидравлических) механизмов, а за счет использования собственной массы обмотки и оснастки для ее стяжки с помощью рычажных устройств. Использование этих устройств особенно эффективно при опрессовке обмоток в процессе сушки [16].

На трансформаторных заводах для сушки обмоток наибольш-

шее распространение получили горизонтальные вакуум-сушильные шкафы, одна из конструкций которых показана на рис. 29.3.

Вакуум-сушильный шкаф представляет собой прямоугольный сварной бак с ребрами жесткости и с тепловой изоляцией внешних поверхностей. Одна стенка бака выполнена как откидная дверь, подвешенная на поворотном кронштейне, оборудованном электроприводом. Герметичность закрытой двери обеспечивается специальными пневмоприжимами и резиновым жгутом, уложен-

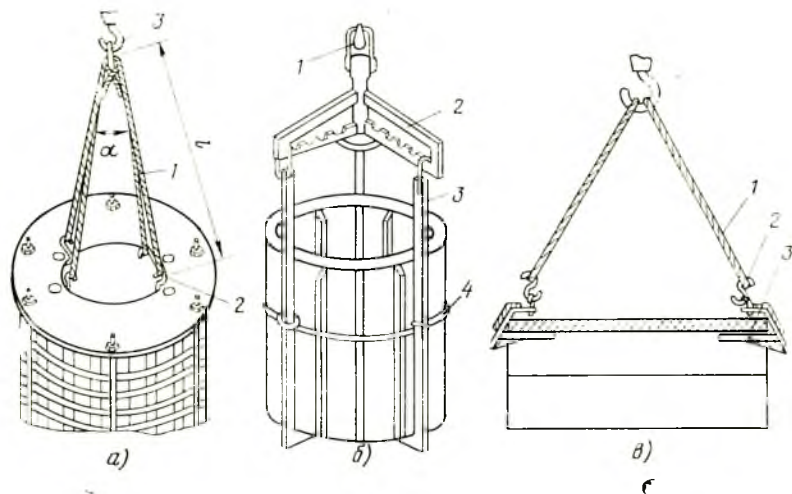


Рис. 29. 5. Грузоподъемные приспособления.

а — стропы с крюками для подъема стянутой обмотки (*1* — стальные стропы; *2* — крюки; *3* — кольцо); *б* — тройная траверса с лапами для подъема обмоток (*1* — кольцо; *2* — траверса; *3* — грузовые лапы; *4* — канат); *в* — стропы со специальными лапами для подъема обмоток, намотанных на бумажно-бакелитовых цилиндрах (*1* — стропы; *2* — грузовой крюк; *3* — лапа).

ным по всему периметру рамы шкафа, к которой прилегает дверь. Рама и уплотняющая поверхность двери должны быть механически обработаны. По всем стенкам шкафа (снаружи или внутри) расположены радиаторы парового обогрева. Прочность корпуса рассчитана на полный вакуум внутри шкафа (остаточное давление может быть равно нулю). Все сварные швы выполняются прочными и тщательно проверяются на герметичность.

Для получения остаточного давления 0,5—1,6 кПа последовательно включаются вакуумные насосы: водокольцевые (типа ВВН или РНК) и механические масляные (типа ВН).

Для отбора влаги, содержащейся в откачиваемой паровоздушной смеси, а также для защиты насосов от влаги между вакуум-сушильным шкафом и насосами устанавливают конденсационную колонку.

Для подъема, транспортировки и кантовки обмоток применяют специальные подъемные приспособления (рис. 29.5), которые должны обеспечивать безопасность работ, не допускать повреждения обмоток и быть удобными в работе.

29.4. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И ИСПЫТАНИЕ ОБМОТОК

В процессе изготовления каждой обмотки контролируют технологические операции ее изготовления, о чем делают запись в пооперационной карте обмера. До начала намотки проверяют соответствие размеров обмоточного провода, оснастки, указанных в технологической карте и в чертеже. Для этого измеряют наружный диаметр шаблона, установленного на намоточном станке, размер сечения и изоляции провода, соответствие номера заказа, написанного на каждой электроизоляционной рейке с набором дистанционных прокладок номеру заводского заказа трансформатора, для которого будет изготовлена эта обмотка.

В процессе намотки контролируют натяжение провода, радиальный размер катушки и плотность намотки витков, размеры установленных каналов, расположение и правильность выполнения переходов из катушки в катушку, отводов, отпаяк, петель, направление намотки (правая, левая). Систематически проверяют качество пайки обмоточного провода и изоляции места пайки. Выборочно пайки, выполненные обмотчиком, вырезают и после визуального осмотра передают в лабораторию для измерения сопротивления мест пайки.

Ограничивают число паяк, выполненных в каждой катушке. Проверяют правильность выполнения переходов, раскладку параллельных проводников витка в концах обмотки, изолировку и крепление концов. Каждую многоходовую и многопараллельную обмотку перед снятием ее со станка проверяют на отсутствие замыканий между параллельными проводами или ходами и правильность выполнения транспозиций. Проверка электрической прочности изоляции осуществляется с помощью мегаомметра или контрольной лампы. Проверку правильности выполнения транспозиции проводят, сверяя схему намотки обмотки, заданную чертежом с выполненной, «прозванивая» параллели мегаомметром или проверяя контрольной лампой.

При контроле технологической операции стяжки проверяют расположение и размеры концевой изоляции, геометрию и размеры обмотки, вертикальность и равномерность расположения столбов прокладок, отсутствие нарушений изоляции, состояние переходов и транспозиций. Контролируют также соответствие оснастки, выбранной для стяжки, правильность выбора и расположения технологических прокладок и подставок. Контролируют соответствие усилия пресовки обмотки, указанного в технологической карте, усилию, установленному для этой обмотки, а также полученный осевой размер (высоту обмотки).

Большое значение для качества обмотки имеет режим сушки, который должен проводиться в строгом соответствии с утвержденной технологией сушки и производственными инструкциями. Режимы сушки, пропитки, запечки контролируются как проверкой записанных в журнале режимов, так и периодическими измерениями режимов работниками ОТК.

После демонтажа оснастки обмотка проходит окончательный контроль качества выполнения технологических операций на обмоточно-изоляционном участке цеха. Здесь дается заключение о пригодности ее к сборке.

Место контрольного осмотра и измерения специально оборудовано, как показано на рис. 29.1, а. Обычно осматривают не только наружную, но и внутреннюю поверхность обмотки. Осмотр производят с помощью контрольной лампы напряжением 36 В. Внимательно проверяют расположение изоляционных полос под переходами, состояние бандажей, отсутствие повреждений изоляции провода и других дефектов обмотки. Обмотки в запрессованном состоянии повторно проверяют с помощью мегаомметра на 1000 В на отсутствие замыканий между параллельными проводниками и ходами.

Обмотки трансформаторов до установки на магнитопровод обычно подвергаются операционным испытаниям по следующей программе: проверка числа витков и направления намотки; испытание электрической прочности изоляции витков — проверка на отсутствие замыканий между витками и параллельными проводами обмотки; измерение сопротивления обмотки постоянному току.

В зависимости от габаритов, числа витков и сечения провода обмотки указанная программа выполняется полностью или частично. Проверку числа витков проходят обмотки всех трансформаторов любой мощности. Методика проверки и средства контроля применяются различные, в зависимости от числа витков и

сечения провода. Проверка числа витков в готовой обмотке проводится методом сравнения ее с образцовой, имеющей необходимое число отпаяк. Установка представляет магнитопровод с двумя стержнями и съемным верхним ярмом. На одном из стержней имеется обмотка возбуждения, а на другом обмотка образцовая. На него же помещается проверяемая обмотка и включается так, чтобы ЭДС в ней и образцовой обмотке были направлены навстречу друг другу. После того как на стержни установлено ярмо, установка представляет собой трансформатор, в котором обмотка возбуждения является первичной, а проверяемая и образцовая обмотки являются вторичными. Так как они включены встречно, то при отклонении числа витков в проверяемой обмотке от расчетного появляется разность напряжений, под воздействием которой в цепи появляется ток, фиксируемый миллиамперметром. При расчетном числе витков в первичной обмотке стрелка прибора будет в нулевом положении.

Проверка на отсутствие короткозамкнутых витков без насадки обмотки на магнитопровод производится с помощью специального прибора индукционным способом. Способ основан на определении наличия магнитного поля вокруг короткозамкнутого витка, которое создается в нем индуктированным током короткого замыкания.

Испытание электрической прочности витковой изоляции для обмоток трансформаторов мощностью до 630 кВ·А проводят индуктированным напряжением на установках повышенной частоты. Это испытание исключается для обмоток, стянутых металлическими плитами, кроме того, наведение высоких напряжений в обмотках ВН и СН трансформаторов большой мощности было бы недопустимым при испытании на воздухе.

Практика приемо-сдаточных испытаний показывает, что в большинстве случаев можно обнаружить только «глухие» металлические замыкания витков. Если имеется только частичное нарушение изоляции, то после процесса пропитки и сушки обмоток это нарушение изоляции часто исчезает и не обнаруживается даже двойным индуктивным напряжением во время приемо-сдаточных испытаний собранного трансформатора.

При массовом производстве обмоток специальная установка для испытания изоляции витков автоматически контролирует междувитковую изоляцию катушек при их транспортировке на конвейере [22]. Подробнее с испытанием обмоток и испытательными установками можно ознакомиться в [18].

При испытании обмоток всегда следует помнить о правилах техники безопасности и выполнять их. Воздействие электрического тока на организм человека может вызвать серьезные последствия для здоровья и даже привести к несчастному случаю со смертельным исходом.

Поражение электрическим током чаще всего происходит в результате прикосновения к неизолированным токопроводящим частям электрической цепи, находящейся под напряжением.

Глава тридцатая

ПРОИЗВОДСТВО ИЗОЛЯЦИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ

30.1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРОИЗВОДСТВА ИЗОЛЯЦИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ

а) Общие сведения

Качество изоляции трансформаторов зависит не только от применяемых материалов, но и от правильного технологического процесса изготовления деталей. Большинство изоляционных деталей трансформаторов изготавливают из стандартных листов электроизоляционного маслястойкого картона марок А, Б. Картон подвергается выборочному контролю на соответствие стандарту или

техническим условиям. Методы испытания механической и электрической прочности установлены ГОСТ 4194-78, 7629-77 и 13525.19-71.

Одной из особенностей картона является гигроскопичность, приводящая к изменению его линейных размеров в зависимости от изменения влажности. При нормальных условиях хранения листы картона содержат 8—10 % влаги. После ее удаления линейные размеры листа уменьшаются по длине примерно на 0,5 %, по ширине — до 1,5 %, поэтому очень важно производить раскрой электроизоляционных деталей из сухого стабилизированного картона с учетом различных его усадок вдоль и поперек направления волокон. Раскрой проводят по картам раскроя, предусматривающим минимальные отходы.

Картон раскраивают на дисковых, многодисковых и гильотинных ножницах. Если раскраивают на гильотинных ножницах листы маломерного картона на квадратные заготовки, то вдоль каждого листа по переднему упору обрезают вначале избыточную (по ширине квадрата) полосу — деловой отход, а затем, переставив упор на размер квадрата, разрезают двойную заготовку на квадраты. При раскрое на дисковых ножницах заготовок для «мягких» цилиндров (имеющих обычно большие габариты) отрезают заготовку таким образом, чтобы последующая вальцовка цилиндров производилась по направлению волокон картона. Раскрой листов картона на полосы шириной более 40 мм производят на многодисковых ножницах. При раскрое заготовок шайб и полшайб следует вначале скомплектовать всю изготавливаемую партию колец таким образом, чтобы размеры заготовок квадрата или прямоугольника были выбраны по самому большому размеру кольца раскраиваемой партии. Раскрой заготовок для шайб и полшайб производят на вибрационных, дисковых или гильотинных ножницах.

6) Технологические процессы механической обработки электроизоляционного картона

Технологические процессы механической обработки картона включают: обработку без снятия стружки — операции резки, вырубки, уплотнения (усадки) и гибки; обработку со снятием стружки — операции резки пилами, фрезерования, сверления, шлифования и т. п.

Операция резки широко используется при раскрое картона на заготовки. Различают два вида резки — поперечный, он осуществляется поперек подачи листа или заготовки, и продольный вдоль направления подачи листа.

Поперечный рез осуществляется на ножницах с плоскими и наклонными ножами (рис. 30.1). Усилие резания при резке определяется по формуле

$$P = K\sigma_{\text{ср}}F_p, \quad (30.1)$$

где P — усилие резания при резке, Н; K — коэффициент, учитывающий притупление ножей и зазор между ними (принимают обычно 1,2—1,3); $\sigma_{\text{ср}}$ — сопротивление резу (для электроизоляционного картона 0,7—0,8 МПа); F_p — площадь среза, м².

Как видно из рис. 30. 1, площадь среза равна при параллельных плоских ножах

$$F_p = bh; \quad (30.2)$$

при наклонных плоских ножах

$$F_p = h^2/2 \operatorname{tg} \alpha; \quad (30.3)$$

при дисковых ножах

$$F_p = h^2/4 \operatorname{tg} \alpha_1, \quad (30.4)$$

где h — толщина раскраиваемого листа, мм; b — ширина раскраиваемого листа, мм; α — угол наклона верхнего ножа; α_1 — угол захвата (определяется из соотношения $\cos \alpha_1 = 1 - h/D$); D — диаметр ножей.

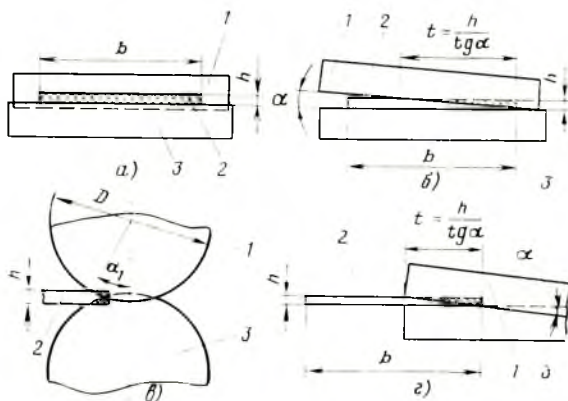


Рис. 30.1. Схема резки электроизоляционного картона.

a — плоскопараллельными ножами; b — с наклонным верхним ножом; $в$ — дисковыми ножами; $г$ — вибрационными ножами; 1 — верхний нож; 2 — разрезаемый лист картона; 3 — нижний нож (штриховкой указана максимальная площадь среза).

При поперечной резке параллельными ножами усилие реза прямо зависит не только от толщины раскраиваемого листа, но и от его ширины h . При больших толщинах и особенно ширинах листа усилие резания может достигать больших значений. Для уменьшения силы резания верхний нож ножниц устанавливают под углом (обычно $3-6^\circ$) к нижнему ножу, в связи с чем уменьшается площадь среза.

Для продольного реза широко используются дисковые ножницы. Процесс резания дисковыми ножами непрерывный, благодаря чему обеспечивается его высокая производительность. Производительность резки возрастает при применении многодисковых ножниц, так как при этом лист картона одновременно разрезается на полосы несколькими парами дисковых ножей.

Благодаря тому что при резке на вибрационных ножницах линия контакта режущих ножей с раскраиваемым материалом весьма мала, они применяются для вырезки фасонных заготовок из листового материала. Вырезка круговых и кольцевых заготовок осуществляется на круговых ножницах.

Большое количество плоских деталей (прокладки, шайбы, диски и др.) получают вырубкой из листового картона с помощью специальных вырубных штампов. Усилие вырубки определяется так же, как и усилие реза по (30. 1), так как вырубка является

разновидностью резки — плоскопараллельными ножами. Площадь среза при вырубке находят по формуле

$$F_B = bh, \quad (30.5)$$

где F_B — площадь среза при вырубке, м^2 ; b — периметр вырубаемой детали, м ; h — толщина картона, м .

Для вырубки используются простроходные эксцентриковые прессы. Как известно, для изготовления дистанционных прокладок яровой и уравнильной изоляции применяют уплотненный картон с плотностью $\gamma = 1250 \div 1350 \text{ кг/м}^3$, который получают обычно методом прокатки (обжатия) валками (рис. 30.2). Так как при линейной деформации картона уменьшается его объем, то, следовательно, увеличивается его плотность. Если пренебречь массой влаги, удаляемой при линейной деформации, то зависимость между плотностью исходного картона и плотностью уплотненного картона

$$\gamma_0/\gamma_2 = h_2/h_0 \quad \text{или} \quad h_2 = h_0\gamma_0/\gamma_2, \quad (30.6)$$

где γ — плотность исходного картона; h_0 — толщина исходного картона; γ_2 — плотность уплотненного картона; h_2 — толщина уплотненного картона. Таким образом, если знать требуемую объемную массу уплотненного картона, то по (30.6) легко можно определить, на какую конечную толщину он должен быть осажён.

Многие изоляционные детали типа коробочек, щитов, хомутов и других выполняются путем гибки заготовок на кромкогибочных станках. При изгибе наружные волокна картона растягиваются, внутренние — сжимаются. При этом не должно быть разрывов волокон картона, так как они могут привести к снижению его электрической прочности. Разрыв волокон может произойти, если растяжение (или сжатие) превысит допустимые значения для данной марки электронизоляционного картона. Как известно, степень растяжения характеризуется относительным растяжением ϵ_p :

$$\epsilon_p = \Delta l/l_0,$$

где Δl — абсолютное удлинение; l_0 — первоначальная длина.

При изгибе

$$\epsilon_p = \Delta l/l_0 = h/2r + h, \quad (30.7)$$

где h — толщина картона; r — внутренний радиус изгиба.

Зная предельно допустимое значение относительного удлинения $\epsilon_{p,д}$, можно определить и минимальный радиус изгиба картона

$$r_{\min} = (1 - \epsilon_{p,д}) h/2\epsilon. \quad (30.8)$$

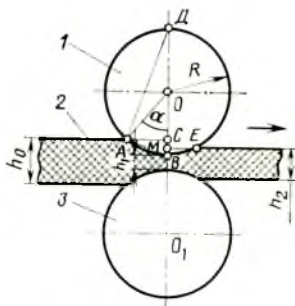


Рис. 30.2. Схема прессы для уплотнения электрокартона методом прокатки.

1 — верхний прокатный валок; 2 — обжимаемая полоса картона; 3 — нижний валок.

толщину он должен

Из практики известно, что увлажненный электронизоляционный картон легче поддается изгибу. В случае простого изгиба можно увлажнять картон до 20 %, при этом $r_{min}=2,5h$, а в более сложных случаях изгиба — увлажнять до 14 %, при этом $r_{min}=(4-4,5)h$.

Изоляционные детали особенно большой толщины подвергают механической обработке со снятием стружки: в них сверлят отверстия, фрезеруют пазы, зачищают полученные заусенцы. Для сверления и фрезерования используют стандартный металлорежущий инструмент. Для сверления отверстий в картоне применяют спиральные сверла, имеющие специальную заточку. При сверлении в прокладках отверстий с уступом применяют сверла-цековки с направляющими. При необходимости иметь отверстия диаметром до 90 мм в клееной изоляции (кольцах или прокладках) пользуются пустотелыми зенкерами. Фрезы целесообразно применять цилиндрические с крупным спиральным зубом, у которого задний угол равен 10—25°. Для вырезки внутренних пазов в деталях применяют пальцевые фрезы. При разрезке деталей толщиной свыше 6 мм применяют дисковые пилы. Заусенцы, получаемые во время механической обработки, удаляются на ленточно-шлифовальном станке. Оборудование для механической обработки картона должно быть снабжено эффективной вытяжной вентиляцией, удаляющей из зоны резания пыль и стружку.

При необходимости изготовления изоляционных деталей толщиной более 6 мм их изготавливают из нескольких более тонких листов (или заготовок) толщиной 2—3 мм путем склейки бакелитовым лаком марки ЛБС-2 (ГОСТ 901-78). Этот лак при большой клеящей способности обладает достаточной механической прочностью и не растворяется в горячем трансформаторном масле.

Процесс склейки осуществляется в три этапа: нанесение и подсушка лакового покрытия; расплавление лака и склейка листов (заготовок) между собой; тепловая обработка заготовки с отверждением (полимеризацией) связующего. Нанесение лакового покрытия осуществляется при движении листов или заготовок между вальками лакировальной машины. Лакированный картон сушится на воздухе в течение 8—10 ч до полного исчезновения отлипа. Из высушенных листов нарезают заготовки. После этого производят набор пакета из лакированных заготовок. Пакеты собирают толщиной $S+K$, где S — толщина детали, K — технологический припуск на усадку при прессовке. Значение K равно примерно 10—12 % толщины детали.

Во избежание смещения отдельных пластин во время прессования собранные пакеты бандажируют по всей длине лентой из кабельной бумаги, которую после прессовки удаляют. Склейка и прессовка пакетов (или деталей) производится на гидравлическом прессе этажерочного типа (рис. 30.3) [16]. Время выдержки деталей под давлением зависит от их толщины и составляет 1 ч — при толщине до 25 мм и 3 ч — при более 80 мм. По окончании прессовки снимают давление, производят плиты и разгружают детали.

В последние годы при изготовлении сборной изоляции стали применять склейку в процессе сборки. Так, для соединения прокладок с шайбами или фасонными листами электроизоляционного картона при сборке ярмовой и уравнительной изоляции вместо картонных заклепок все шире применяют клей марки КМЦ (водный раствор натривой соли карбоксиметилцеллюлозы). Этот клей полимеризуется при нормальной цеховой температуре (18—20 °С). Для надежного соединения склеиваемые детали обжимаются давлением 0,2—0,5 МПа в течение не менее 20 мин с последующей выдержкой на воздухе без давления в течение 1 сут. Склеивание клеем марки КМЦ не требует сложного прессового оборудования с подогревом и может быть обеспечено простыми средствами механизации непосредственно на рабочих местах сборки изоляции [22].

Чтобы выполнить сборную изоляцию с достаточной точностью, сборку необходимо производить в специальных шаблонах. Скрепление отдельных элементов изоляции в одну сборную деталь может производиться различными способами: с помощью заклепок или клея, как это делают при сборке ярмовой и уравнительной изоляции, «мягкую» угловую шайбу скрепляют шнуром, сборка рейки с пужным количеством дистанционных прокладок осуществляется нанизыванием прокладок на верхнюю более широкую полосу рейки, обеспечивающую зацепление на ней дистанционных прокладок.

Изоляционные детали сложной формы получают методом литья или прессовки.

Метод литья основан на способности мелких волокон целлюлозы, выходя в осадок, образовать на поверхности модели оболочку той же формы. В качестве сырья используются отходы электроизоляционного картона, из которых приготавливается специальная бумажная масса. Отходы картона в необходимом количестве, выбранном из расчета получения в ролле концентрации 5 %, размачиваются в специальном баке в течение 8—10 ч, после чего куски картона загружают в ролл и заполняют его водой. Для придания деталям механической прочности вводят в массу пудербакелит в виде эмульсии. Процесс размола длится 4—4,5 ч, после чего масса спускается в бак, где ее разбавляют водой до концентрации, равной 2 %. Формообразование деталей методом литья производится в рабочей ванне (рис. 30. 4, а, б.), куда масса из бака перекачивается с помощью насоса и разбавляется водой до concentra-

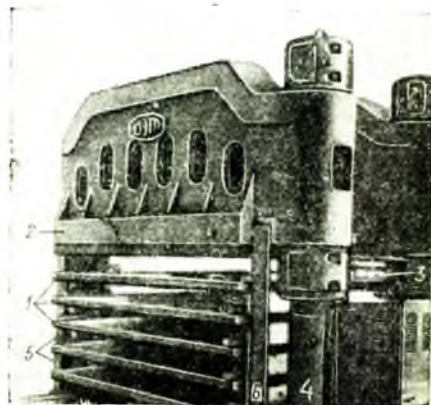


Рис. 30.3. Гидравлический этажерочный пресс (усилием 0,35 МН).

1 — передвижные прессующие плиты (с паровым обогревом); 2 — верхняя траверса; 3 — паропровод; 4 — колонны; 5 — упоры для плит; 6 — стойка.

ции 0,6—1 %. На подъемник рабочей ванны устанавливают модель — форму заданного размера, подключают к ней вакуум-провод и опускают подъемник с формой в массу. Выдерживают форму в ванне в течение времени, необходимого для формообразования детали заданной толщины, после чего поднимают форму из ванны. Формообразование производится при остаточном давлении 6,5—13,5 кПа. После уплотнения и сушки образовавшейся детали ее

снимают с формы. Новая технология производства литых изоляционных деталей позволяет получать детали самых сложных форм и больших размеров (до 3000 мм).

Способ прессовки является наиболее перспективным для получения фасонных деталей из листовых заготовок электроизоляционного картона в специальных формообразующих штампах. Этот принципиально новый метод прессования основан на способности электроизоляционного картона к пластической деформации. Фасонные детали типа угловых шайб получают двумя способами прессовки: осевой и радиальной отбортовкой. Осевая отбортовка характеризуется тем, что с помощью

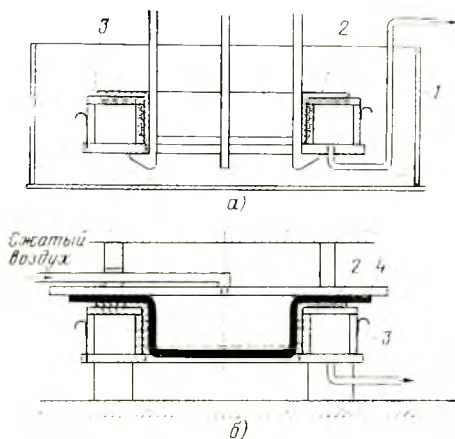


Рис. 30.4. Схема формирования и опрессовки угловой шайбы.

а — формирование прямой угловой шайбы; б — схема прессовки на гидропрессе; 1 — рабочая ванна с массой; 2 — шайба; 3 — сетчатая форма с вакуум-проводом; 4 — резиновый пуансон.

пуансона (или матрицы) часть плоской поверхности заготовки отбортовывается в цилиндрическую. Радиальная отбортовка характеризуется тем, что полосовая заготовка с помощью пуансона и матрицы постепенно изгибается по заданному радиусу с одновременным отгибом полки шайбы в радиальном направлении.

При опрессовке угловых шайб способом радиальной отбортовки из-за несовпадения направления силы прессования с осью симметрии поперечного сечения возникают значительные скручивающие усилия, вызывающие искажение формы детали, поэтому целесообразно этим способом прессовать так называемые «спаренные шайбы», т. е. шайбы с швеллерообразным поперечным сечением, из которых затем путем механической резки получают две угловые шайбы.

30.2. ПРОИЗВОДСТВО ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННОГО КАРТОНА

Изоляционные детали (рис. 30. 5, а—г) изготавливают в основном механической обработкой листового или клееного картона. Детали сложной формы могут быть получены из увлажненного картона или целлюлозной массы способом литья или формовки.

Детали простой конфигурации получают резкой из листа. Полосы шириной до 40 мм, где требуется высокая точность резания (допуск по ширине 0,3 мм), режут на гильотинных ножницах. Все другие полосы режут из листа на многодисковых ножницах. Шайбы вырезают за одну установку (по наружному и внутреннему диаметрам) из заготовок-квадратов на специальных круговых ножницах. Для лучшего использования материала вырезают вначале

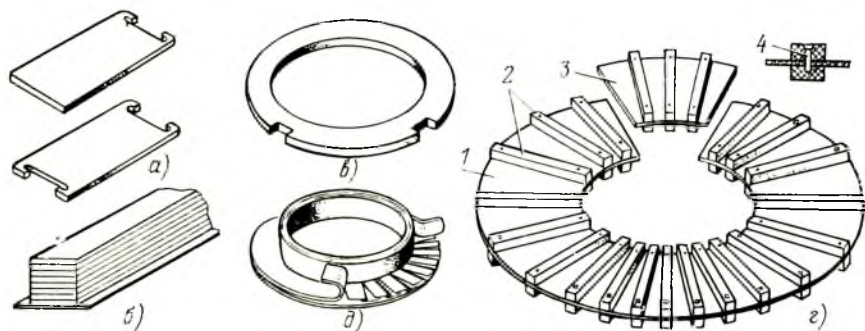


Рис. 30.5. Детали изоляции силовых трансформаторов.

а — дистанционные прокладки; *б* — рейка; *в* — кольцо; *г* — ярмовая изоляция трансформатора на 35 кВ с вынимающимся сектором; *д* — угловая шайба («мягкая»); *1* — шайба (лист); *2* — прокладка; *3* — сектор; *4* — заклепка.

шайбы наибольшего диаметра. Из оставшегося диска, являющегося заготовкой для следующей шайбы, вырезают шайбу меньшего диаметра и т. д.

Вырезку деталей сложной конфигурации производят на вибрационных ножницах по предварительно выполненной разметке цветным карандашом. Разметка графитовым карандашом недопустима. Острые кромки и заусенцы тщательно зачищают стеклянной бумагой.

Пластины, изолирующие ярмовые балки от магнитопровода, нарезают на гильотинных ножницах, а затем штампом пробивают в них отверстия и пазы.

Гофрированные прокладки из картона изготавливают на специальном станке, состоящем из разматывающего устройства, рабочих формирующих гофры валков, нажимного и приемного устройств. Из гофрированного рулона на гильотинных ножницах нарезают заготовки требуемой длины.

Дистанционные прокладки (рис. 30. 5, *а*) штампуют на эксцентриковом прессе (рис. 30. 6) из листового электроизоляционного картона толщиной 1—3 мм. В производстве трансформаторов применяется более 500 типоразмеров прокладок. Наиболее массовые прокладки штампуют на специальных мерных прорубных штампах (рис. 30.7), а прокладки, изготавливаемые в сравнительно небольших количествах, — на универсальных штампах. Отштампованные прокладки при движении пуансона вниз нанизываются

своим пазом на технологическую металлическую ленту, установленную снизу каждого штампа. С ленты прокладки снимают столбиками, что облегчает труд.

Рейки, прокладки ярмовой изоляции и кольца изготавливают по единой технологии. В качестве заготовок используют полосы или шайбы, нарезанные из предварительно лакированного картона.



Рис. 30.6. Штамповка дистанционных прокладок на эксцентриковом прессе.

1 — маховик; 2 — эксцентрик; 3 — фрикционная муфта; 4 — кривошипный вал; 5 — болт регулирования хода; 6 — ползун; 7 — кнопки управления; 8 — штамп; 9 — плита; 10 — лист электроизоляционного картона; 11 — готовые прокладки.

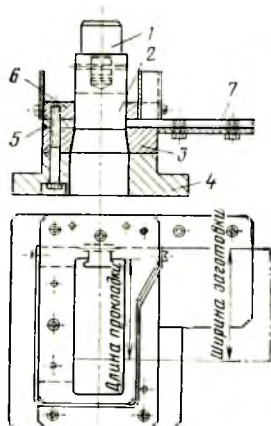


Рис. 30.7. Штамп универсальный для вырубki дистанционных прокладок.

1 — хвостовик; 2 — пуансон; 3 — матрица; 4 — подушка; 5 — упор; 6 — съёмник; 7 — направляющая планка.

на. Заготовки собирают в пакеты в специальных приспособлениях. При этом наружные поверхности пакетов должны быть не лакированными. У Т-образной рейки верхняя полоса должна быть большей ширины, чем остальные. Это необходимо для обеспечения зацепления на ней дистанционных прокладок. Пакет собирают толщиной $H + C$, где H — толщина готовой изолирующей прокладки; C — технологический припуск на усадку при последующем пресовании; в зависимости от толщины пакета он составляет 0,5—3 мм. Склеивку собранных и скрепленных бандажом пакетов реек и прокладок осуществляют на этажерочном гидрпрессе. Отрезку деталей на необходимую длину производят на циркульной пиле. Все

заусенцы и наплывы лака на изолирующих прокладках зачищают на шлифовальном станке. Готовые детали должны быть гладкими, без наплыва лака, монолитными, не иметь расслоений.

После запекания торцы колец получаются неровными за счет некоторого несовпадения отдельных шайб и наплывов лака. Поэтому на специальном фрезерном станке кольцо фрезеруют по наружному и внутреннему контурам. Если по чертежу требуется дополнительная обработка (вырез или скос), производят разметку кольца цветным карандашом и на ленточной пиле делают срез или обрезают наружный контур. Наружные и внутренние пазы фрезеруют на специальном фрезерном станке.

Ярмовая, уравнительная изоляция и изоляция между ярмом и ярмовыми балками состоит из отдельных элементов (прокладок разной формы, шайб, фасонных листов, пластин), склеенных между собою либо соединенных картонными заклепками. В зависимости от принятой технологии на рабочем месте сборщика изоляции устанавливают соответствующее оборудование и шаблоны, обеспечивающие требуемую точность и производительность. Вначале укладывают в имеющиеся на шаблоне гнезда нижний ряд прокладок, выравнивая по упору торцы прокладок. Затем на них укладывают шайбу, вырезанную из электроизоляционного картона с необходимыми вырезами (для прохода концов обмотки) или разрезную шайбу с вынимающимся сектором в зоне концов обмоток. На шайбу накладывают верхний ряд прокладок, располагая их в полном соответствии с чертежом, и подравнивают их торцы по внутреннему и наружному диаметру.

На радиально-сверлильном станке (рис. 30. 8) сверлят обычно по два отверстия в каждой прокладке и скрепляют прокладку заклепками из электроизоляционного картона, предварительно смазанными бакелитовым лаком. Для исключения возможности получения при сверлении сквозного отверстия, что снизит электрическую прочность изоляционной конструкции, на шпиндель станка (или хвостовик сверла) устанавливают ограничитель хода, который ограничивает глубину сверления до размера, указанного в чертеже (3—6 мм). Для увеличения механической прочности ярмовой изоляции между шайбой и прокладками укладывают бакелизованные с двух сторон полосы кабельной бумаги, одинаковые по размерам с прокладками. После сборки ярмовую изоляцию прессуют и склеивают на этажерочном гидрокпрессе, чтобы окончательно уплотнить заклепки и запечь бакелитовый лак, имеющийся на заклепках и бумажных полосах. Давление прессы 4 МПа, время выдержки под прессом 15—20 мин. После прессовки все прокладки прочно приклеиваются, и на поверхности не остается неровностей от заклепок.

Уравнительная изоляция из электроизоляционного картона образуется пластинами, к которым с двух сторон приклепаны прокладки неодинаковой толщины (нижние прокладки имеют большую толщину). Технология изготовления уравнительной изоляции совершенно такая же, как и ярмовой.

Изоляция между ярмом и ярмовыми балками выполняется также клепаной. Прокладки могут быть деревянными (трансформаторы I, II габаритов) или из картона и расположены с одной или двух сторон пластины. Технологический процесс сборки аналогичен изготовлению ярмовой и уравнильной изоляции. Значительно упрощается технология изготовления сборной изоляции при приклейке прокладок клеем марок КМЦ воздушной сушки. На соприкасающиеся с шайбами поверхности прокладок наносится слой



Рис. 30. 8. Сборка клепаной изоляции.

1 — основание шаблона; 2 — деревянная прокладка; 3 — фиксатор положения прокладок; 4 — нижний ряд прокладок; 5 — электрокартонные шайбы ярмовой изоляции; 6 — шпindelь радиально-сверлильного станка (с ограничителем хода сверла); 7 — traversa сверлильного станка; 8 — рукоятка подачи шпинделя; 9 — рукоятка передвижения суппорта.

клея непосредственно на сборочном столе. Здесь же собранная изоляция опрессовывается резиновой пневмокамерой (давление 0,2—0,5 МПа) и выдерживается в опрессованном состоянии 20—25 мин.

Сборные «мягкие» угловые шайбы (рис. 30.5, г) собирают из отдельных заготовок — полос с надрезами электроизоляционного картона толщиной 0,5 мм на универсальном приспособлении. Для образования цилиндрической части шайбы наматывают на наружную поверхность шаблона полосы, располагая надрезы со смещением в каждом слое («шихтуя», чтобы не было сквозных отверстий). Намотав все полосы и образовав таким образом цилиндрическую часть угловой шайбы заданной толщины, устанавливают сверху временную полосу из электроизоляционного картона толщиной 2—3 мм и надевают нижнюю картонную шайбу. С помощью деревянного молотка отгибают надрезанные края полос и на них кладут верхнюю картонную шайбу. Для скрепления всех элементов в отбортованной части шайбы просверливают несколько отверстий и связывают отворот шайбы шнуром. Приспособление переворачивают, снимают угловую шайбу и связывают цилиндрическую часть шайбы так же, как и отворот. На ленточной пиле обрезают выступающие за шайбу уголки картона и зачищают торцы от заусенцев наждачной бумагой.

«Жесткие» угловые шайбы, имеющие стабильные геометрические размеры, изготавливают методом литья, как описано выше. Индивидуальные и мелкосерийные шайбы изготавливаются разрезными. Их формуют на форме большего, чем требуется, диаметра, а затем отформованную и обкатанную шайбу разрезают, снимают с формы и сушат. Шайбу уплотняют на форме либо с помощью приспособления для обжатия шайб, либо резиновым пуансоном еще во влажном состоянии, влажность до 55 %), после чего ее сушат в вакуум-сушильной печи на разжимной оправке. Сушку производят в течение 10 ч при температуре до 120 °С, после чего выгружают оправку из печи и снимают с нее шайбу.

Прессовая установка (рис. 30.9) для изготовления спаренных прямых и обратных шайб из полосы методом прессования состоит из гидравлического горизонтального пресса, смесных штампов, гидрооборудования и системы автоматизации. Формообразующая поверхность пуансона и матрицы определяется кривизной и геометрией поперечного сечения спаренной шайбы и имеет две зоны: прямолинейную и криволинейную. В прямолинейной зоне плоская заготовка электроизоляционного картона формируется в швеллерообразную, а в криволинейной — швеллерообразная заготовка формируется в спаренную угловую шайбу. В процессе прессования заготовка электроизоляционного картона подвергается сложному изгибу в продольном и поперечном направлениях. В процессе формообразования заготовка подсушивается от соприкосновения с нагретым до 100 °С штампом. Полученная спаренная угловая шайба на вибрационных ножницах разрезается посередине на две равные угловые шайбы.

На каждом трансформаторном заводе имеется цех или участок механической обработки деталей из дерева, слоистых пластинок, бакелитовых изделий, а также участки изготовления деталей из пресс-порошка. Технологические процессы производства деталей из указанных материалов освещены в специальной литературе. Прокладки из пластмассы для трансформаторов I, II габаритов изготавливают методом горячего прессования аналогично деталям для электрических машин.

Широкое применение пластмасс в производстве масляных трансформаторах сдерживается, так как существующие марки недостаточно надежны при длительной работе в разогретом трансформаторном масле. В существующих конструкциях трансформато-

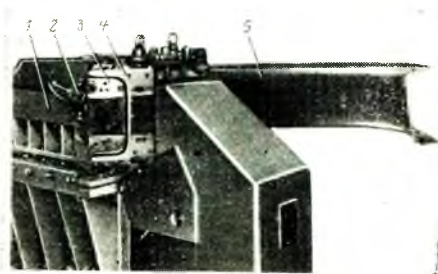


Рис. 30.9. Прессовая установка получения спаренных угловых шайб методом прессования.

1 — пресс; 2 — нагреватели; 3 — пуансон; 4 — матрица; 5 — спаренная угловая шайба.

ров большое количество деталей изготавливается из бука и до настоящего времени нет еще материалов, которые бы заменили дерево в конструкции крепления отводов трансформатора. В ближайшие годы ожидается выпуск профильного материала достаточно прочного и маслостойкого, применение которого упростит производство изоляционных деталей и сохранит огромное количество дерева для других целей.

30.3. КОМПЛЕКСНАЯ МЕХАНИЗАЦИЯ ИЗОЛЯЦИОННОГО ПРОИЗВОДСТВА

В настоящее время изоляционное производство трансформаторов III габарита и выше является одним из наиболее трудоемких, с большим объемом тяжелого физического труда. Большинство операций выполняется с помощью ручного механизированного инструмента с использованием универсального малопроизводительного оборудования. Подача заготовок в зону выполнения рабочих операций и сьем готовых деталей выполняются практически везде вручную. При решении задач по ликвидации тяжелых ручных работ необходим комплексный подход к решению всех проблем изоляционного производства, начиная от раскроя исходного листа электроизоляционного картона до получения готовой детали или узла. В настоящее время на ряде трансформаторных заводов создается производство изоляционных деталей из электроизоляционного кар-

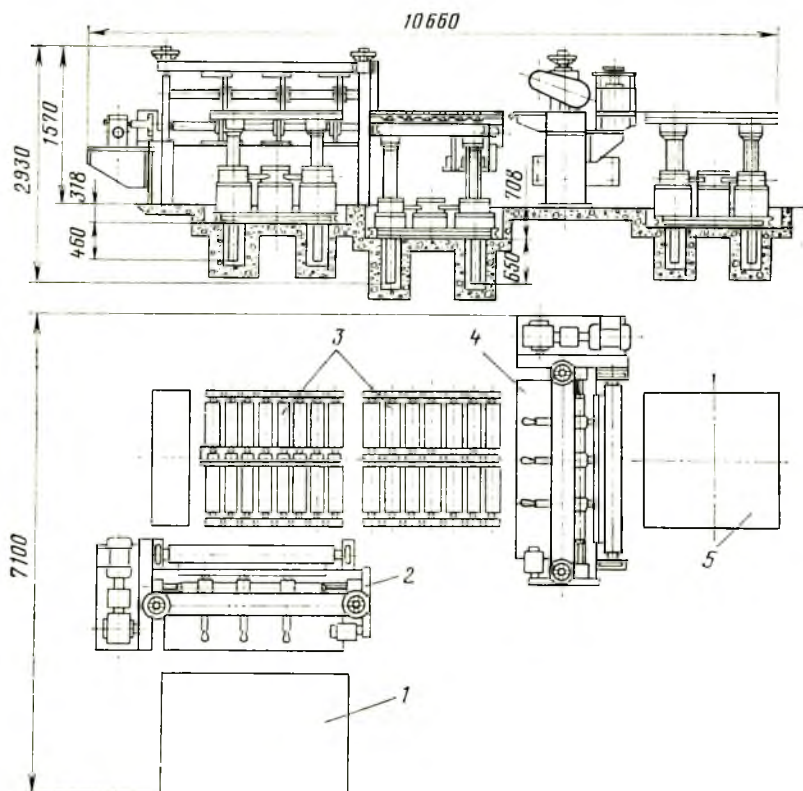


Рис. 30.10. Линия продольно-поперечного раскроя листов электрокартона.

тона на базе комплексной механизации и автоматизации производства. Основным направлением при осуществлении комплексной механизации является принцип сосредоточения на отдельных участках изготовления деталей с однотипной по форме исходной заготовкой (прямоугольная или фасонная), централизованный раскрой листов электроизоляционного картона, модернизация имеющегося и создание нового высокопроизводительного оборудования и механизированных линий. На участке централизованного раскроя листов электроизоляционного картона устанавливают три типа механизированных линий: линия продольно-поперечного раскроя; линия изготовления полосовых заготовок и линия изготовления круговых заготовок.

Сосредоточение на одном участке раскроя листов картона с изготовлением заготовок для всех технологических цепочек позволяет рационально использовать электроизоляционный картон, группировать заказы по раскрою с привлечением ЭВМ, обеспечить надлежащие условия хранения электроизоляционного картона.

Линии продольно-поперечного раскроя (рис. 30.10) обеспечивают раскрой стандартных листов картона на крупногабаритные карты, которые используются в качестве заготовок для линий изготовления полосовых и фасонных заготовок. Кроме того, на линии изготавливаются непосредственно заготовки для «мягких» цилиндров.

Многодисковые ножницы 2 и 4 установлены под прямым углом друг к другу. Требуемая для раскроя пачка листов электроизоляционного картона устанавливается на стол 1, откуда листы по одному подаются рабочими в ножницы 2 для продольного раскроя. Настройка ножей ножниц на резку полос определенной ширины осуществляется с помощью маховичка посредством реечной передачи. Разрезанные на дисковых ножницах 2 заготовки по роллангу 3 подаются в дисковые ножницы 4, где они разрезаются на нужные форматы и укладываются на приемном столе 5. Данная механизированная линия полностью исключает ручную операцию разметки листов и, кроме того, ликвидирует тяжелый ручной труд по раскрою листов на вибрационных ножницах. Производительность линии 5000 т/год.

Линия раскроя электроизоляционного картона на полосовые заготовки (рис. 30.11) аналогична линии раскроя на крупноформатные заготовки с той лишь разницей, что вместо вторых дисковых ножниц установлены гильотинные ножницы. Гильотинные ножницы стандартные, с длиной режущих ножей 3 м. Линия обеспечивает прямоугольными заготовками требуемых размеров следующие технологические цепочки: изготовление прокладок для ярмовой и уравнильной изоляции, изготовление твердых угловых шайб. Крупноформатные заготовки устанавливаются на подъемный стол 1, откуда они подаются в многодисковые ножницы 2 для резки на полосы. Если же нужно получить узкие полосы (меньше 100 мм) с большой точностью по ширине, то заготовки устанавливаются на приемный стол 3, откуда они подаются посредством механизмов подачи 4 валкового типа в гильотинные ножницы 5. Точность по ширине нарезаемых полос достигается за счет соответствующей установки упоров.

Механизированная линия изготовления круговых заготовок (рис. 30.12) выполнена на базе имеющихся на заводах круговых дисковых ножниц с двумя парами ножей. Линия обеспечивает заготовками технологическую цепочку изготовления опорных и емкостных колец, а также опорной и ярмовой изоляции. В линию входит приемный наклонный стол 1, механизм подачи 2, круговые ножницы 8, гильотинные ножницы 7, механизм разделения и стапелирующие механизмы 4 и 5. Раскрой на линии осуществляется следующим образом: пачка прямоугольных заготовок вместе с контейнером, в котором они лежат, устанавливается на стол 1. Благодаря возможности наклона стола облегчается труд по подаче вручную заготовки в механизм подачи 2. С помощью упоров 9 заготовка автоматически центрируется относительно оси центра прижима, и затем происходит врезание дисковых ножей в заготовку, благодаря чему обеспечивается вращение последней относительно центра прижима. При повороте заготовки на 90° автоматически включаются гильотинные ножницы 7 и на ходу расрезают наружный отход на отдельные куски, которые падают в контейнер 6. За полный оборот заготовки вырезается кольцо по наружному и внутреннему диаметрам. Дисковые ножи автоматически выводятся из зацепления с картоном, и вырезанное кольцо вместе с внутренним диском подаются в механизм разделения 3, который направляет кольцевую заготовку в верхний ярус 5.

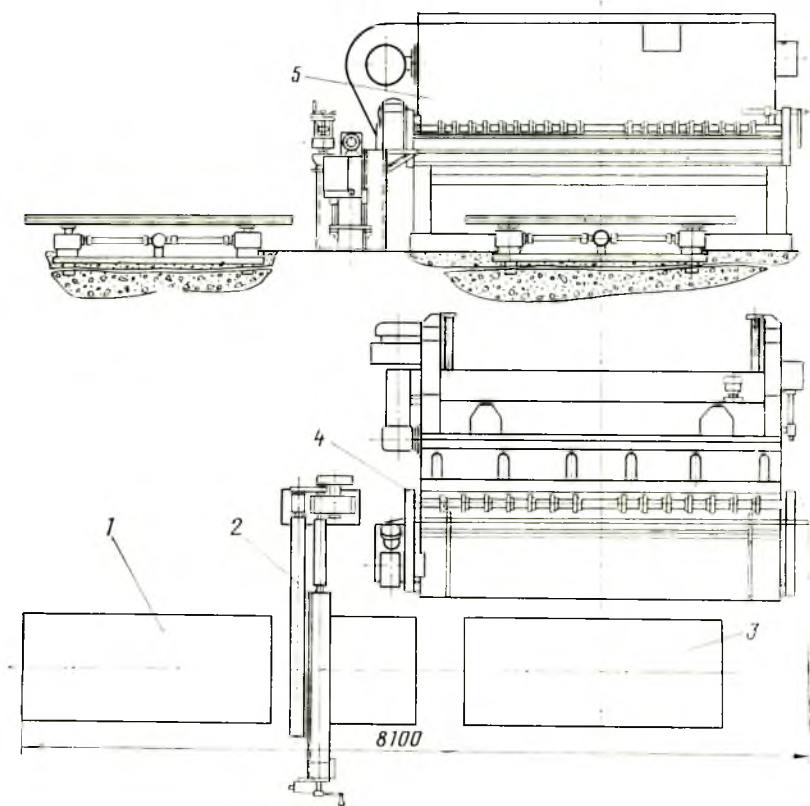


Рис. 30.11. Линия раскроя картона на полосовые заготовки.

Все заготовки с участка централизованного раскроя подаются в контейнерах к началу технологических цепочек изготовления деталей. Нанесение лаковой пленки для осуществления последующей склейки вырезанных фасонных заготовок в многослойные кольца осуществляется на лакировальной машине. На этой же машине лакируются заготовки картона, из которых затем режутся полосы на линии полосовых заготовок для реек и прокладок опорной и уравнивательной изоляции. Существенно изменена технология изготовления дистанционных прокладок из уплотненного электроизоляционного картона. По новой технологии дистанционные прокладки изготавливаются на двух автоматических линиях: линии уплотнения электроизоляционного картона и линии штамповки прокладок.

Линия уплотнения электроизоляционного картона состоит из загрузочного устройства, прокатных вальцов, дисковых ножниц и приемного устройства. С помощью присосок отдельные заготовки картона отрываются от стопы и поочередно подаются в прокатные вальцы. Дисковые ножницы используются для разрезки на полосы заданной ширины уплотненной заготовки непосредственно после выхода ее из вальцов. Полосы, уложенные в контейнеры, подаются к линии штамповки прокладок, где они оператором укладываются в приемные устройства линии штамповки. Производительность линии 290 кг/ч.

Автоматическая линия штамповки прокладок (рис. 30.13) состоит из эксцентрикового пресса 1, механизма выдачи и досылания полос 2, механизма подачи 3, вырубного штампа 4, приемного устройства 5 и пульта управления 6. Эксцентриковый пресс стандартный, выпускаемый отечественной промышлен-

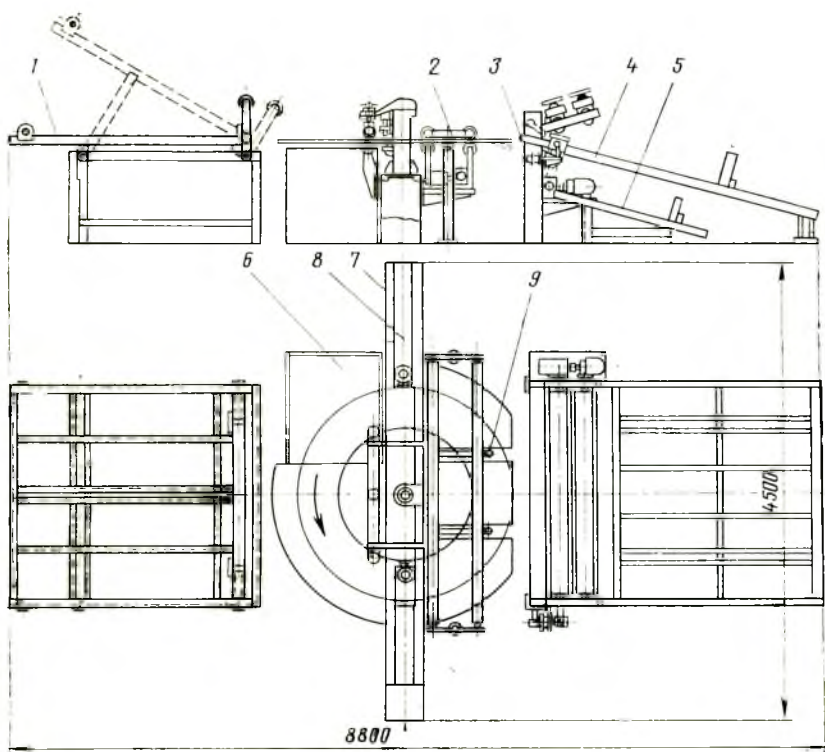


Рис. 30.12. Линия раскроя картона на круговые заготовки.

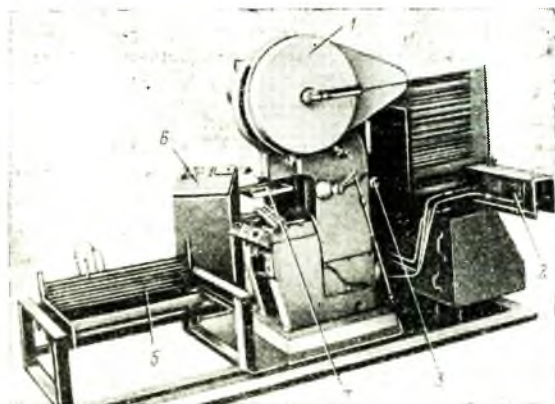


Рис. 30.13. Линия штамповки дистанционных прокладок.

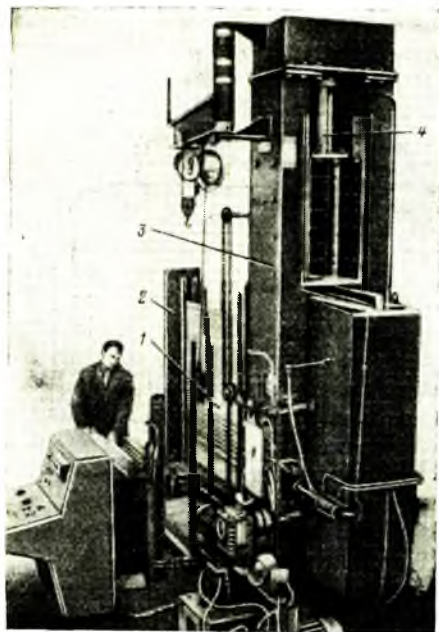


Рис. 30.14. Установка для изготовления многослойных прокладок.

автоматически закрывая ее торцы и образуя замкнутую камеру. В печи установлены электрические нагреватели, которые с помощью контролирующих приборов поддерживают внутри печи заданную температуру, изменяющуюся по времени в зависимости от условий полимеризации клея. Встроенная в печь гидравлическая прессовая установка 4 опрессовывает столб заготовок при прогреве. После окончания полимеризации лака автоматически поднимается плунжер прессовой установки, раскрывается печь и тележку с контейнером выкатывают на место разгрузки. Контейнер со склеенными брусками спускается с тележки, а на его место ставится другой контейнер, в который уже уложены стопы пластин. Цикл повторяется. Производительность линии 100 кг/ч. Полученные бруски разрезаются пилой на прокладки мерной длины для ярмовой изоляции. Аналогично выполнена установка для изготовления реек.

Полное освоение разработанной технологии и оборудования комплексно-механизированного участка позволит существенно поднять производительность труда при изготовлении изоляционных деталей из электроизоляционного картона.

Глава тридцать первая

СБОРКА ТРАНСФОРМАТОРОВ

31.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Производственный цикл изготовления трансформаторов завершается процессом сборки. В сборочный цех (или участок) поступают заранее изготовленные узлы трансформаторов: полностью

ностью. Механизм выдачи и досылания полос обеспечивает их выдачу из стопы таким образом, что они располагаются по своей длине последовательно одна за другой без промежутков, образуя как бы непрерывную ленту, которая механизмом подачи подается в штамп в момент его раскрытия. Отштампованные прокладки нанизываются на технологические рейки приемного механизма, который обеспечивает непрерывный прием и уборку отштампованных прокладок без остановки линии. Производительность линии 7000 шт./ч.

Значительно отличается от общепринятой технология изготовления многослойных (клеенных) деталей — реек и прокладок ярмовой и уравнительной изоляции. Установка для изготовления многослойных прокладок (рис. 30.14) состоит из сборочного контейнера 1, загрузочной тележки 2, камерной печи 3, прессовой установки 4 и пульта управления. В сборочный контейнер 1 укладываются стопы полос в один ряд по высоте, образуя общий столб. Контейнер со стопами устанавливается с помощью крана на загрузочную тележку 2, которую затем закатывают в камерную печь 3, ав-

собранный магнитопровод (остов), обмотки (в комплекте на трансформатор), детали и узлы изоляции и отводов, переключающие устройства и приводы, вводы и трансформаторы тока, бак с крышкой, расширитель и другие комплектующие изделия. Процесс сборки трансформаторов включает большое количество самых разнообразных производственных операций, включая сушку, заливку трансформаторным маслом и испытания трансформатора. Учитывая многообразие производственных операций, составляющих технологический цикл сборки трансформаторов, весь процесс сборки принято подразделять на ряд основных этапов: первая сборка, вторая сборка, сушка, третья сборка, испытания.

В зависимости от характера производства, определяемого размером выпуска, в трансформаторостроении применяются различные организационно-технические формы сборки. При индивидуальном и мелкосерийном — стационарная сборка по принципу концентрации процесса или по принципу частичной дифференциации процесса. При массовом и серийном — подвижная поточная сборка на поточных линиях [22, 24].

31.2. ПЕРВАЯ СБОРКА — МОНТАЖ ОБМОТОК И ИЗОЛЯЦИИ

Рассмотрим вначале сборку трансформаторов III—VIII габаритов при мелкосерийном производстве. Сборка трансформаторов производится на специально оборудованных для выполнения определенных сборочных операций рабочих местах (рис. 31. 1). Для удобства сборки магнитопроводы трансформаторов небольшой мощности устанавливают на подставки; большой — на специальные стендовые плиты. Сборочные площадки оборудованы передвижными механизированными стеллажами.

Первая сборка трансформатора заключается в монтаже обмоток и изоляции на магнитопроводе. Она включает снятие верхних ярмовых балок и расшихтовку верхнего ярма магнитопровода, укладку нижней изоляции, насадку на стержни всех обмоток и установку изоляционных деталей между обмотками, укладку верхней изоляции, зашихтовку и прессовку верхнего ярма, осевую прессовку обмоток и первое предварительное испытание. Эти технологические операции для всех типов силовых и многих типов специальных трансформаторов аналогичны и различаются в основном трудоемкостью и длительностью технологического процесса в зависимости от габаритов и сложности тех или иных узлов и деталей. Рассмотрим подробнее эти типовые технологические процессы сборки.

В зависимости от габарита сборку трансформаторов выполняет бригадой 3—6 человек. Вначале производят настройку стеллажей в соответствии с размерами собираемого трансформатора, после чего распрессовывают верхнее ярмо магнитопровода в следующей последовательности: с помощью крана и строп стропят верхние ярмовые балки, ослабляют гайки полубандажей и горизонтальных прессующих шпилек 3 (рис. 31. 2). Для предохранения

от «завалов» верхней части стержня и выпадения крайних позиций сверху ярма устанавливают скобы 8, располагая их в шахматном порядке между пластинами ярма. С полубандажей и шпилек отворачивают и снимают гайки, шайбы, втулки. Снимают детали замкового устройства 4. В торцевые отверстия верхних ярмовых

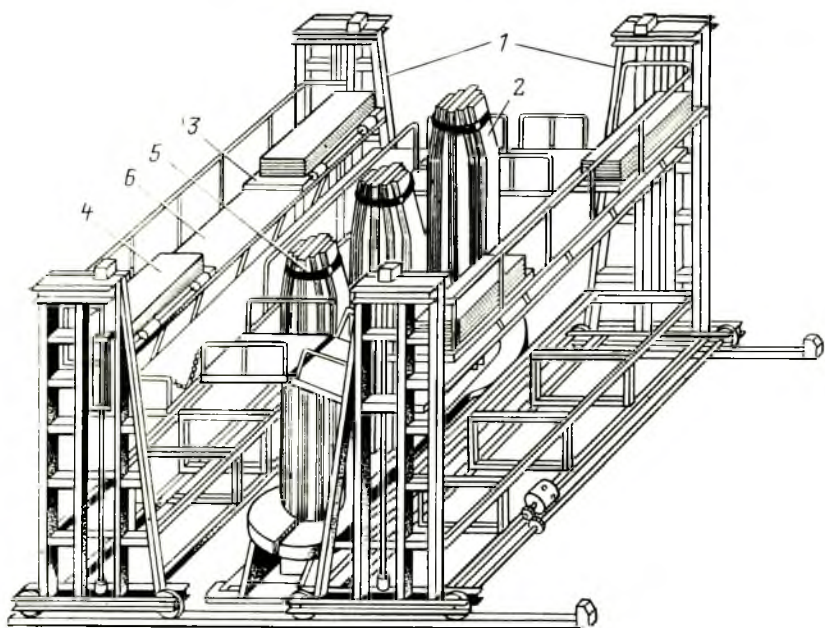


Рис. 31.1. Рабочее место первой сборки трансформаторов.

1 — механизированные стеллажи; 2 — магнитопровод после расшихтовки; 3 — мереносной стеллаж; 4 — сталь верхнего ярма; 5 — ремни для стягивания стержня; 6 — подъемная площадка.

балок 2 устанавливают распорные технологические шпильки. Верхние ярмовые балки разводят на расстояние, при котором замковые пластины ярмовых балок выйдут из зацепления с вертикальными пластинами 6 стержней, удаляют распорные ступенчатые (деревянные) брусья, изоляцию 5 ярмовых балок от активной стали и затем снимают ярмовые балки. Все снятые узлы и детали комплектуют и укладывают на стеллажи.

При расшихтовке очень важно сохранить тот порядок чередования пластин, в котором они были заложены в ярмо при сборке магнитопровода, и не повредить изоляцию пластин. Расшихтовку производят вручную, с двух сторон магнитопровода, постепенно снимая П- и Г-образные скобы, стягивающие ярмо. Начиная с крайних пакетов, одновременно вынимают по 2—3 пластины из ярма (в зависимости от того, как был собран магнитопровод) и укладывают на стеллажи. Укладка пластин на стеллажи должна

производиться строго в том порядке, в котором они находились в ядре, так как шихтовка ядра начинается именно с тех пластин, которые были вынуты последними и находятся на стеллажах сверху. Поскольку скорость разборки ядра с каждой стороны может быть неодинакова, расшихтовка может закончиться не обязательно на середине ядра. Чтобы не ошибиться при начале заших-

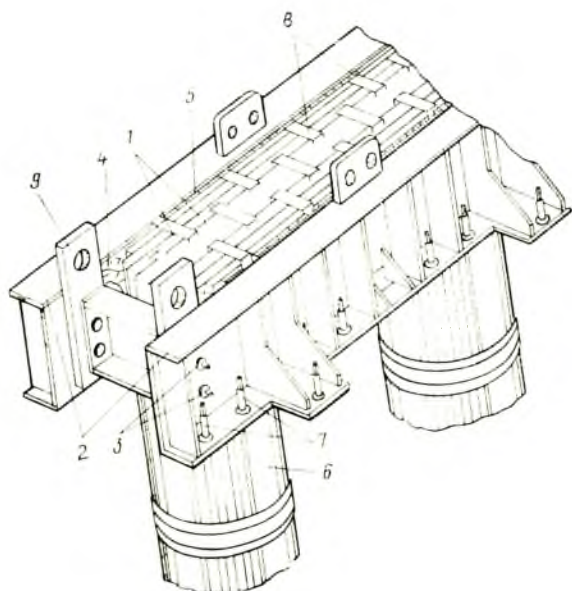


Рис. 31.2. Распрессовка верхнего ядра магнитопровода.

1 — лист магнитопровода; 2 — ярмовые балки; 3 — горизонтальные шпильки; 4 — замковое устройство; 5 — изоляционная прокладка («мост»); 6 — вертикальная пластина; 7 — устройство для осевой прессовки; 8 — технологические скобы; 9 — подъемное устройство.

товки, место, откуда вынимается последняя пластина, отмечается обычно киперной лентой, прокладываемой между пластинами стержня.

Распушенные пластины стержней магнитопровода не дают возможности правильно без повреждения насадить обмотки, поэтому специальными приспособлениями или брезентовым ремнем, лентой стержни магнитопровода стягивают, как показано на рис. 31. 1. По окончании расшихтовки магнитопровод осматривают, обнаруженные повреждения устраняют, продувают сжатым воздухом, после чего он готов к установке и насадке обмоток. Количество обмоток и их расположение как на стержне, так и по фазам определяются конструкцией трансформатора, обмотки монтируются в соответствии с требованиями чертежа.

Рассмотрим установку обмоток трехобмоточного трансформатора класса напряжения 110 кВ с расположением обмоток НН—СП—ВН, считая от стержня. Укладка нижней изоляции начинает-

ся с установки деталей уравнильной изоляции 1 (рис. 31. 3). Нижние плоскости изоляционных прокладок должны плотно прилегать к полкам ярмовых балок, поэтому при сборке разрешается подгонять толщину этих прокладок по месту, чтобы обеспечить опорную плоскость для обмоток на уровне выступа ярма. На уравнильную изоляцию сверху накладывают ярмовую изоляцию 2. Прокладки ярмовой и уравнильной изоляции должны точно совпадать (разрешается отклонения до 5 мм). После укладки нижней изоляции на стержни магнитопровода устанавливают деревянные планки с вырезами под бандажи и шпильки, придавая его сечению форму, близкую к кругу, обеспечивая этим надежную опору для обмотки в радиальном направлении, а также благоприятные условия для охлаждения стержней магнитопровода.

Обмотки, насаживаемые первыми на магнитопровод, изолируются от него, кроме масляного промежутка, цилиндром. Так называемый «мягкий» цилиндр

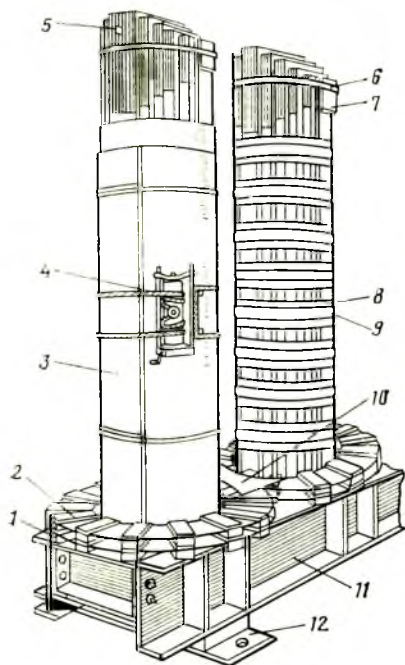


Рис. 31.3. Монтаж изоляции.

1 — уравнильная изоляция; 2 — ярмовая изоляция; 3 — мягкий цилиндр; 4 — приспособление для затяжки мягкого цилиндра; 5 — отметка места окончания расшивки; 6 — ремень для стяжки верхней части стержня; 7 — пластина; 8 — полоса электрокартона; 9 — стеклобандаж; 10 — изоляция; 11 — ярмовые балки; 12 — опорная пластина.

наматывают послойно из вальцованных листов, электроизоляционного картона марки А или Б толщиной 1,5—2 мм так, чтобы нахлест листов в месте стыка составлял не менее 100 мм, что обеспечивает достаточную электрическую прочность слоя электроизоляционного картона. Для затяжки листов картона используют приспособление, располагая его на цилиндре, как показано на рис. 31.3.

Комплект обмоток трансформатора доставляют на участок первой сборки стянутыми в плиты (см. рис. 29. 1). Обмотки должны поступать на сборку не позже чем через 12 ч после окончания сушки, в противном случае они подлежат повторной сушке. Перед насадкой обмоток на магнитопровод каждую из них проверяют и подготавливают к сборке. Обмотку осматривают снаружи, проверяют осевой размер, правильность вывода концов, отсутствие механических повреждений, обрывов проводов и замыканий, после чего распрессовывают. Последовательно ослабляют затяжку гаек на

стяжных шпильках, снимают с обмотки верхнюю прессующую плиту, производят обрубку реек на 20—25 мм ниже опорного кольца, чтобы после окончательной сушки активной части рейки не упирались в электроизоляционные детали. Осматривают обмотку внутри, проверяют размеры внутреннего (по рейкам) и наружного диаметров обмотки, отсутствие механических повреждений изоляции, правильность выполнения переходов. Концы обмоток изгибают в соответствии с чертежом и изолируют, чтобы не было замыканий между отдельными параллельными проводниками, изоляция которых могла быть нарушена при изгибе концов, между ними прокладывают полосы лакоткани или крепированной бумаги. Изогнутый конец плотно изолируют полосами лакоткани в полуперекрестие до получения толщины, указанной в чертеже. Недостаточно плотное наложение изоляции неизбежно приведет к появлению в ней пустот, резко ухудшающих ее электрическую прочность. Толщину уложенной изоляции проверяют штангенциркулем или шаблоном. Закрепляют изоляцию биндом из киперной ленты. Перед насадкой обмотку продувают сжатым воздухом и для облегчения насадки внешнюю поверхность электрокартонных реек натирают парафином.

Насадку обмоток на стержень магнитопровода или на цилиндр производят с помощью крана и специального приспособления, которое состоит из двух- или трехлучевой траверсы и подъемных лап (рис. 31.4, а). При насадке обмотку медленно опускают, все время проверяя отвесом, и в случае необходимости регулируют ее положение относительно стержня магнитопровода и прокладок нижней ярмовой изоляции. Для направления обмотки при насадке и предохранения изоляции ее витков применяют электрокартонные полосы, которые затем удаляют. Электрокартонные рейки обмотки должны располагаться строго посередине прокладок ярмовой изоляции, а нижние концы обмоток — между прокладками ярмовой и уравнильной изоляции. Запрещается осажать обмотку грузом. Она должна опускаться плавно под действием собственной массы с плотной посадкой на цилиндр.

Насадка на стержень последующих обмоток (обмоток СН или обмотки ВН) выполняется после установки изоляции между обмотками. Если последующей обмоткой является обмотка СН класса напряжения 35 кВ, как это показано на рис. 31.4, б, она насаживается на мягкий цилиндр, предварительно установленный на рейки предыдущей обмотки. Намотка мягкого цилиндра под обмотку СН производится так же, как и под обмотку НН. При насадке обмотки СН нужно тщательно следить за расположением выводных концов, а также за тем, чтобы столбы прокладок не были смещены и опирались на соответствующие прокладки ярмовой изоляции.

Насадка третьей обмотки, в данном случае обмотки ВН напряжением 110 кВ, выполняется после установки нижней ярмовой шайбы и изоляции между обмотками. Установку мягких цилиндров 7 под обмотку ВН производят так же, как под обмотки НН и

СН. На опорные кольца 14 обмотки ВН устанавливают общий для всех обмоток ВН изоляционный барьер 15, при этом барьерные прокладки следует располагать по оси прокладок ярмовой изоляции. Нижние угловые шайбы 17 надевают на цилиндр, установленный на стержне. При насадке шайбу осаждают, равномерно

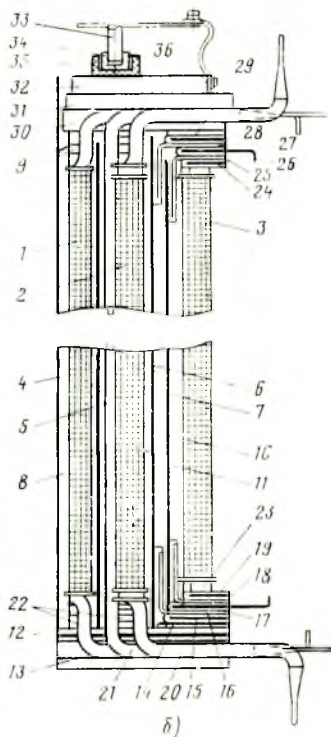


Рис. 31.4. Монтаж обмоток.

а — насадка обмотки вручную на магнитопровод трансформатора 100 кВ·А; б — расположение обмоток и изоляционных деталей на стержне трансформатора 110 кВ (в разрезе): (1 — обмотка НН; 2 — обмотка СН; 3 — обмотка ВН; 4—7 — цилиндры; 8 — рейка обмотки НН; 9 — верхнее опорное кольцо обмотки НН; 10 — дистанционная планка; 11 — рейка обмотки ВН; 12 — ярмовая изоляция; 13 — уравнивательная изоляция; 14 — кольцо опорное ВН; 15 — барьер с прокладками нижний; 16 — нижняя часть междуфазной перегородки; 17, 18 — угловые шайбы нижние; 19 — концевая изоляция; 20 — основной отвод обмотки СН; 21 — регулировочный отвод (обмотка СН); 22 — нижнее опорное кольцо обмотки; 23 — емкостное кольцо; 24 — верхняя концевая изоляция; 25, 27 — угловые шайбы верхние; 26 — верхняя междуфазная перегородка; 28 — барьер с прокладками верхний; 29 — верхнее опорное кольцо ВН; 30 — верхняя ярмовая изоляция; 31 — кольцо электрокартонное; 32 — кольцо стальное прессующее; 33 — нажимной винт; 34 — стальной башмак; 35 — текстолитовый башмак; 36 — ярмовая балка.

вращая ее на цилиндре. Для лучшего скольжения угловой шайбы по цилиндру поверхность цилиндрической части шайбы натирают парафином. Нижнюю часть междуфазной перегородки опускают между цилиндрами и располагают, как показано на рисунке. На цилиндр устанавливают вертикальные планки 10, располагая их посредине прокладок ярмовой изоляции. Они являются промежуточной опорой для вертикальных реск обмоток 1 в радиальном

направлении. В вырезах реек размещается цилиндрическая часть угловой шайбы.

Намотку последующих цилиндров и намотку вторых угловых шайб 18 под обмотку ВН производят аналогично описанному выше. На горизонтальный отворот шайбы укладывают концевую изоляцию 19 так, чтобы ее прокладки совпадали с прокладками ярмовой изоляции. Подготовленную обмотку ВН насаживают на стержень так же, как обмотки НН и СН, после чего устанавливают верхнюю изоляцию. Сверху на обмотки укладывают такие же изоляционные детали, как и внизу под обмотками, но в обратной последовательности. На обмотку ВН устанавливают верхнюю угловую шайбу 25, затем междуфазную перегородку 26 и укладывают вторую угловую шайбу 27. Обмотки со стороны выхода концов укрывают специальным чехлом и производят изолирование концов обмоток лентами лакоткани или крепированной бумаги. После изгиба и изолирования верхних концов обмоток укладывают верхнюю ярмовую изоляцию, общую для всех трех фаз. Перед ее установкой необходимо проверить, на одном ли уровне располагаются верхние опорные кольца всех обмоток. Если при этом какая-нибудь из обмоток окажется выше, ее подпрессовывают.

При укладке верхней изоляции следят за совпадением всех прокладок, которые должны быть расположены на одной оси. На верхнюю ярмовую изоляцию устанавливают опорное и прессующее кольца 31 и 32. Прессующие кольца должны быть ниже стыка пластин магнитопровода в стержнях на всех трех фазах на величину указанного в чертеже так называемого «шихтовального» зазора. Прессующие кольца из стали заземляют. Предпочтительно выполнять прессующие кольца из изоляционного материала.

Шихтовку верхнего ярма начинают производить с того места, откуда были вынуты последние листы при расшихтовке. Шихтовка ведется одновременно с двух сторон магнитопровода согласно схеме шихтовки, указанной в чертеже магнитопровода. Во время шихтовки необходимо следить, чтобы торцы крайних пластин ярма не выступали за края пластин стержня. Совершенно недопустимо при шихтовке перекрытие пластин (нахлест). Основным правилом шихтовки всех магнитопроводов является чередование слоев стали стержня и ярма, т. е. такая их установка, при которой один слой пластин ярма становится между двумя соответствующими слоями пластин стержня, а следующий — встык с этим слоем. Для того чтобы пластины центрального пакета, устанавливаемые встык со стержнями, не опускались, между стальными прессующими кольцами и ярмом прокладывают технологические подставки, толщину которых подбирают так, чтобы пластины ярма были на уровне стыков пластин стержней. После зашихтовки центрального пакета его стягивают П-образными стяжными скобами, располагая их вдоль ярма в шахматном порядке. В дальнейшем каждый зашихтованный пакет стягивают с предыдущим такими же или Г-образными скобами. Пластину, установленные в ярмо, осаждают с помощью молотка и фибровой планки до стыка в стержне. Однове-

менно пластины, выступающие с торцов, также подбивают, чтобы не было зазоров.

После окончания шихтовки ярма магнитопровода производят установку снятых узлов и деталей, ярмовых балок и опрессовку верхнего ярма.

Ярмовые балки с помощью крана или других грузоподъемных устройств устанавливают на временные технологические деревянные подставки, располагаемые на прессующих кольцах. Балки устанавливают таким образом, чтобы замковые выступы ярмовых балок точно стали под выступами на вертикальных стяжных пластинах стержней магнитопровода.

Предварительную подпрессовку верхнего ярма выполняют ярмовыми балками с помощью технологических шпилек, устанавливаемых по их торцам. По мере стягивания балок снимают П- и Г-образные скобы, устанавливают и закрепляют заземляющую ленту и через фибровую прокладку легкими ударами молотка производят осадку пластин ярма до тех пор, пока пластины, вставленные при шихтовке ярма, станут на одном уровне с соответствующими пластинами стержня. Слегка подпрессовав ярмо, устанавливают детали замкового клинового устройства, деревянные и изоляционные прокладки, полубандажи и верхние стяжные шпильки, после чего производят окончательную опрессовку ярма полубандажами и прессующими шпильками.

Прессовка верхнего ярма трансформатора является одной из наиболее трудоемких операций первой сборки. Усилия, которые прикладываются при запрессовке ярма, очень большие. Обычные торцевые ключи с короткой (500—700 мм) рукояткой без удлинителя не пригодны для трансформаторов IV—VIII габаритов, так как для получения необходимого усилия приходится прикладывать большую силу, поэтому для прессовки верхнего ярма с заданным усилием в пределах до $60 \cdot 10^4$ Н широко применяют гидробалки. Мостовым краном гидробалку устанавливают на средней части магнитопровода и производят прессовку этого участка ярма с установкой полубандажей и верхних горизонтальных прессующих шпилек с изолирующими трубками. Затем гидробалку переставляют и производят прессовку на крайних участках ярма магнитопровода. В процессе прессовки замену технологических шпилек горизонтальными прессующими шпильками производят по мере запрессовки верхнего ярма. Прессовку ярма можно считать законченной, когда ярмовые балки на каждом стержне магнитопровода затянуты и плотно прилегают к ярму с обеих сторон.

Для обеспечения устойчивой работы трансформатора в режиме короткого замыкания необходимо получить стабильные осевые размеры при опрессовке обмоток. Допустимый минимум недопрессовки до заданного размера, который определяется возможностью некоторого смещения верхних ярмовых балок относительно ярма, при подъеме активной части может быть в пределах 7—10 мм.

Заключительной операцией первой сборки трансформаторов является подготовка концов обмоток и регулировочных ответвле-

ний к их соединению с отводами, для чего концы обмоточных проводов зачищают от изоляции.

После первой сборки на испытательную станцию подают зашихтованный остов с насаженными на него обмотками—активную часть трансформатора. В целях проверки качества сборки проводится наружный осмотр; испытание электрической прочности изоляции прессующих (стяжных) шпилек или полубандажей верхнего и нижнего ярм и ярмовых балок относительно активной стали магнитопровода; измерение потерь и тока холостого хода; определение коэффициента трансформации между всеми катушками каждой пары обмоток; проверка равенства числа витков всех катушек, соединяемых параллельно на второй сборке; измерение сопротивления постоянному току межлистовой изоляции пакетов и всего магнитопровода.

31.3. ВТОРАЯ СБОРКА — УСТАНОВКА ОТВОДОВ И ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЯ

Вторая сборка включает все операции, необходимые для подготовки активной части трансформатора к сушке и последующей установке ее в бак. В процессе второй сборки производят подготовку отводов к установке на трансформатор, монтаж схемы, пайку и изолировку отводов, установку переключающих устройств. Операции на второй сборке трансформаторов (особенно мощных) можно разбить на две группы работ, выполняемых на разных участках цеха. К первой группе относятся операции по заготовке отводов, комплектованию переключателей, сборке отводов в «раму» и др. Эти работы выполняются вне сборочной площадки на специально оборудованном заготовительном участке. Ко второй группе относятся работы по сборке, пайке, изолированию схемы отводов и закреплению отводов и переключателей на активной части трансформатора. Эти работы производятся только на активной части трансформатора.

Несмотря на большое разнообразие конструктивных исполнений отводов трансформаторов, в каждом из них можно выделить главную часть — собственно отводы от обмотки и контактную часть — детали связи отводов с токоведущей шпилькой ввода, контактным стержнем переключателя или отвода с отводом. Главную часть отвода делают из кабеля, шин или круглого медного (алюминиевого) провода; контактная выполняется либо гибкой связью — компенсаторами из ленточной или круглой меди, либо медными пластинами и наконечниками.

Изготовление отводов из медного круглого провода начинается с заготовки отводов. Если провод изолирован кабельной бумагой, то после отрезки требуемой длины вначале снимают изоляцию с обоих концов, затем контактную часть отвода, подлежащую присоединению к шпилькам вводов или переключателя, загибают в кольцо и лудят. Затем конец отвода изгибают в упругую петлю, называемую компенсатором. Чаше компенсаторы изготавливают

отдельно из полос ленточной меди толщиной 0,3, шириной 30—80 мм. Такая конструкция позволяет компенсировать отклонения по высоте бака и предохраняет отводы от обрыва во время их транспортировки, а конец отвода является его контактной частью. Контактную часть компенсатора пропаивают припоем ПОС-30 (при большой толщине — МФ-3), штампуют отверстия под шпильку и лудят. У некоторых отводов контактная часть выполняется медными пластинами различной формы, угольниками, латунными наконечниками, медными башмаками с лужеными контактными поверхностями. Соединение главных и контактных частей отводов выполняется неразъемным, чаще всего — электропайкой медно-фосфорным или оловянистым припоем, реже — прессовкой.

При выполнении обмоток из алюминия соединенные части медного отвода (с демпфером) и основной части отвода из алюминия выполняют холодной сваркой, а соединение алюминиевых прутков и шин отводов — аргоно-дуговой сваркой. Для удобства и увеличения площади пайки концы отводов из круглого провода расплющивают. Для придания отводам необходимой формы их изгибают по шаблону. При больших сечениях и сложной форме отводы выполняют из нескольких частей, соединяемых пайкой. При изготовлении таких отводов прежде всего размечают места изгиба. Разметка мест изгиба шин выполняется в определенной последовательности. Для отводов, к одному концу которых присоединяют провода обмотки, а к другому — компенсатор, важно выдержать размеры от крышки бака до отвода, поэтому их размечают «сверху вниз», т. е. разметку начинают с верхнего конца каждой шины. В этом случае все неточности изготовления окажут влияние на длину последнего участка шины, а это можно компенсировать за счет длины припаиваемых концов обмотки.

Разметив шину, делают необходимые разрезы концов шин (чтобы отделить места соседних паек), а также обеспечить удобный доступ к соединению при пайке) и изгибают на гибочном станке. Контактную часть шины обязательно лудят. Изготовление отводов заканчивается их изолированием. Отводы из шин или труб обязательно обезжиривают и красят. На отводы, выполненные из изолированного провода, надевают бакелитовые трубки. По всей длине изолируют только отводы из круглого провода; такие заготовки отводов и все места паек изолируют в полуперекрытые полосами крепированной бумаги или лакоткани (шириной не более 30 мм), укладывая их плотно слой к слою, без изгибов и пустот между слоями. После изолирования заготовки отводы передают на пайку к обмоткам или на сборку в «раму».

До закрепления отводов необходимо выполнить ряд подготовительных операций: перед установкой и закреплением переключателя на активной части в каждый контактный стержень ввинчивают соответствующий отвод с припаянным к нему наконечником и плотно затягивают ключом для получения надежного контакта. Для крепления переключателя к деревянным планкам переключатель с присоединенными к нему регулировочными отводами ком-

плектуют бумажно-бакелитовыми цилиндрами, в которых предварительно сверлят отверстия.

Предварительную сборку отводов, т. е. комплектовку планок и отводов, выполненных медным проводом, комплектовку изоляционных деталей производят на специальных столах. Сборку отводов в «раму» всегда начинают с установки и закрепления переключателя к стойкам будущей рамы, после чего производят сборку отводов в заданной последовательности.

Для подготовки концов обмоток к пайке с них срезают бумажную изоляцию на конус таким образом, чтобы длина конуса была не менее 10-кратной толщины изоляции провода. Затем изгибают концы обмоток, как указано в чертеже.

На верхние и нижние ярмовые балки устанавливают детали и узлы, предназначенные для крепления отводов.

Отводы обмоток располагают на соответствующих сторонах трансформатора: обмоток НН и СН на одной стороне, ВН — на другой. Сборка схемы на каждой стороне производится отдельно и в большинстве случаев независимо. Наиболее проста сборка отводов НН трансформаторов небольшой мощности (до 100 кВ), когда схему соединения выполняют «своими» концами. Для этого концы обмоток по выходе из-под верхней ярмовой балки выгибают под прямым углом и разводят таким образом, чтобы они не мешали производить подпрессовку верхнего яра и были на заданном чертежом расстоянии от прессующих устройств и торца обмоток ВН. Положение отвода фиксируют в буковых планках, закрепленных на верхней ярмовой балке. Каждый отвод изолируют от планок полосой кабельной бумаги. Концы обмоточных проводов выгибают и соединяют в схему, а к линейным концам А, В, С и О припаивают компенсаторы.

Для крепления отводов на активной части трансформаторов большой мощности применяют деревянные планки или бумажно-бакелитовые трубки с утолщенными стенками (рис. 31.5). Система крепления отводов («рама») обычно состоит из вертикальных планок (стоек), скрепленных сверху и снизу горизонтальными планками. К вертикальным стойкам крепятся планки, в которых непосредственно закрепляют отводы. Отводы зажимают

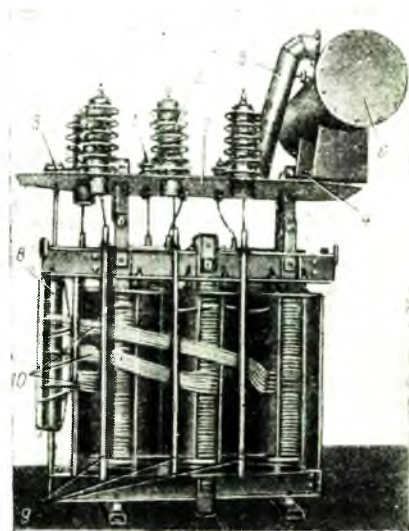


Рис. 31.5. Трансформатор 1600 кВА, 35 кВ после второй сборки

1 — ввод НН; 2 — ввод ВН; 3 — привод переключателя; 4 — кран; 5 — предохранительная труба; 6 — расширитель; 7 — крышка; 8 — переключатель; 9 — крепление отводов; 10 — регулировочные ответвления.

ся между двумя планками, из которых одна является основной, закрепляемой в стойках, а другая прижимной, стягивающей отвод. В местах закрепления в планках отвод обматывают электрокартоном, обе планки скрепляют шпильками и гайками из текстолита или пластмассы. К ярмовым балкам планки крепят стальными болтами с гайками. Отводы устанавливают так, чтобы размер для подсоединения к вводам трансформатора был выдержан в соответствии с расстояниями, указанными в чертеже сборки отводов. За базу для отсчета берут обычно ближайшую боковую планку, закрепляющую отводы на верхних ярмовых балках или вертикальных стойках.

После установки отводов отрезают лишнюю длину концов обмоток и производят соединение отводов с обмоткой пайкой или

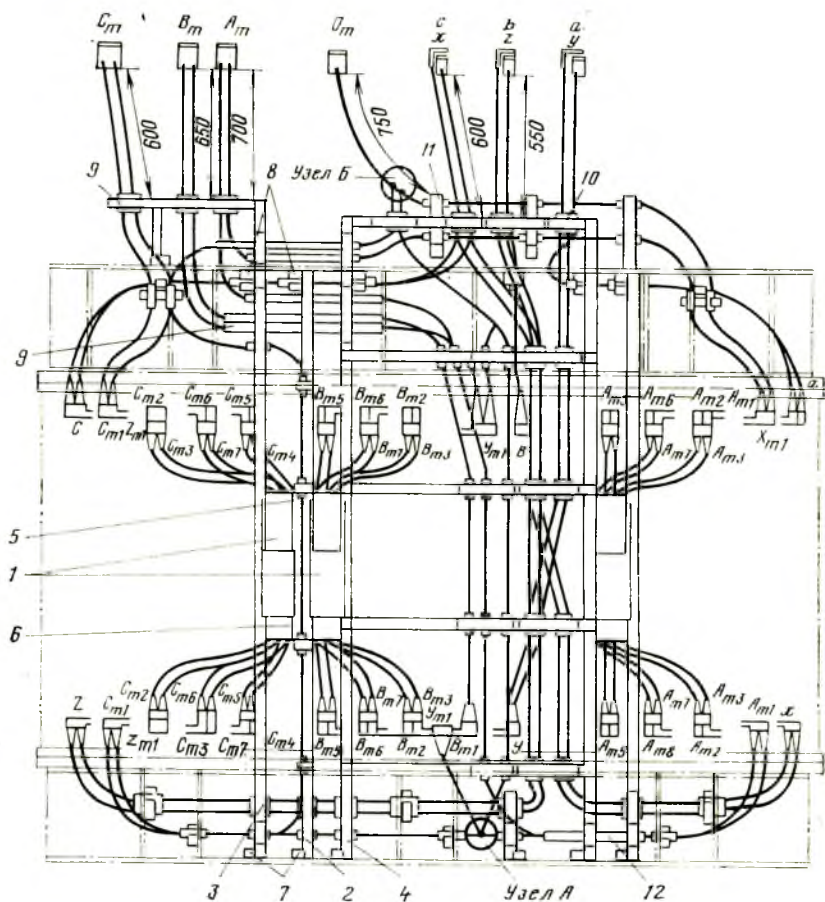


Рис. 31.6. Монтаж переключателя вводов СН и НН трансформатора 110 кВ. 1 — переключатели СН; 2—4 — вертикальные планки; 5, 6 — дистанционные планки; 7, 8 — горизонтальные планки связи с ярмовыми балками; 9—11 — базовые планки; 12 — бумажно-бакелитовая трубка.

сваркой. При этом тщательно закрывают обмотки и изоляцию от попадания кусочков припоя и металлической пыли. Места паяк тщательно зачищают и изолируют.

Более сложна сборка и крепление отводов трехобмоточных трансформаторов IV—VIII габаритов, когда отводы НН и СН располагаются с одной стороны (рис. 31. 6.). Сборка отводов и закрепление их в раме, а также крепление переключателей производят вне сборочной площадки. Вследствие большой массы установку рамы с отводами и переключателями производят с помощью мостового крана. Краном продвигают скомплектованные с токоведущими деталями деревянные рамы и закрепляют их на яровых балках. Концы обмоток закрепляют в деревянных планках и производят подгонку их к пайке с отводами. Обрезают лишнюю длину проводов, замеряют изоляционные расстояния и производят пайку отводов с концами обмоток и схему соединения обмоток трансформатора. Пайку производят медно-фосфорным припоем специальными клещами с угольными электродами. Места пайки тщательно зачищают и изолируют лакотканью или крепированной бумагой.

31.4. ОСОБЕННОСТИ ВТОРОЙ СБОРКИ ТРАНСФОРМАТОРОВ, РЕГУЛИРУЕМЫХ ПОД НАГРУЗКОЙ

Трансформаторы, регулируемые под нагрузкой (РПН) с токоограничивающими сопротивлениями, имеют обмотку ВН с расположенными снаружи контактами регулировочной обмотки [17], каждая ветвь которой является ступенью регулирования. В зависимости от типа устройства РПН (погружного или приставного) подгонка и присоединение регулировочных отводов к нему выполняются по-разному.

При установке на трансформатор переключающего устройства погружного типа SAV, показанного на рис. 31. 7, регулировочные отводы подгоняются обычно по макету (имитирующего РПН) после предварительной примерки «колокола» бака и переключающего устройства, поэтому вначале на активной части устанавливают и закрепляют нижнюю и верхнюю рамы и кронштейны для крепления устройства РПН.

Устройство РПН на сборку поступает в собственной емкости с маслом. Вынув из емкости и дав стечь маслу, его устанавливают на активную часть трансформатора так, чтобы винты, расположенные на фланце устройства, вошли в «гнезда» на кронштейнах. Устройство РПН устанавливают на все три фазы. На сборочную площадку между стеллажами устанавливают краном дно (нижнюю часть) бака, а на него опускают активную часть трансформатора и раскрепляют ее. На раму дна бака и фланцы устройства РПН укладывают резиновые полосы, после чего на дно устанавливают верхнюю часть бака — «колокол» и затягивают болтовые соединения по периметру рамы бака. Производят регулирование

расположения переключающего устройства, для чего устройство РПН установочными винтами подтягивают к баку так, чтобы резиновая прокладка на фланце устройства РПН равномерно касалась крышки колокола, а отверстия крышки бака по периметру совпадали с отверстиями фланца. Крепят устройство болтами к крышке колокола, затем измеряют высоту установочных винтов над фланцами устройства. Этот размер выбивают на торцах соответствующих установочных винтов и используют при установке макета. Затем опускают устройство РПН на 10—15 см от крышки колокола, разбалчивают и снимают колокол. Заворачивают установочные винты до размеров, выбитых на их торцах, и измеряют расстояние от неподвижных деталей крепления устройства или изоляционных деталей до верхней плоскости его фланца. Эти данные нужны для установки макета. После этого снимают устройство РПН и опускают их в емкость с маслом. Активную часть краном переставляют в стеллажи, «дно» отвозят на участок третьей сборки. На активную часть устанавливают макет устройства РПН так, чтобы его винты вошли в гнезда, используя размеры, выбитые на торцах,

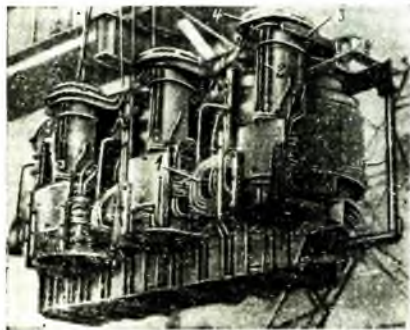


Рис. 31.7. Опускание в бак активной части автотрансформатора типа АТДШН-125000/220 с РПН типа SAV 35/1600.

1 — отводы; 2 — переключающее устройство однофазное; 3 — кронштейн; 4 — фланец.

затем производят подгонку и пайку отводов. Трансформатор на сушку отправляют с макетом РПН.

При установке на трансформатор регулятора напряжения типа SAV-35/1600 или РНОА-110/1000 приставного типа регулировочные отводы подгоняют по технологическому приспособлению — плите, имитирующей панель, на которой будут закреплены отводы на третьей сборке. Это приспособление устанавливают и закрепляют на нижних ярмовых балках. Через имеющиеся в плите отверстия продевают токоведущие шпильки, припаянные к регулировочным отводам, и закрепляют их гайками. Затем подгоняют отводы к концам обмоток, производят пайку отводов с концами обмоток с последующей изолировкой мест пайки. Трансформатор в сушку отправляют с плитой.

После выполнения всех работ по второй сборке активную часть продувают сжатым воздухом, проверяют все изоляционные расстояния и передают на станцию предварительных испытаний для проведения операционных испытаний — проверки правильности выполнения схемы соединения обмоток и качества паек.

После проведенных испытаний активную часть передают на сушку (термовакuumную обработку).

31.5. ТРЕТЬЯ СБОРКА — УСТАНОВКА АКТИВНОЙ ЧАСТИ В БАК И ПОЛНАЯ СБОРКА ТРАНСФОРМАТОРА

После сушки активной части ее устанавливают в бак и заливают маслом, выполняя комплекс сборочных работ по так называемой третьей сборке, обеспечивающей заключительные операции сборки трансформатора. Третья сборка включает следующие работы: комплектование и монтаж бака и крышки; отделку активной части; подготовку и установку переключающих устройств и проводов; установку в баке активной части трансформатора и его уплотнение; ревизию и монтаж вводов; заливку маслом; подготовку трансформатора к испытаниям и отправку его заказчику.

Крышки поступают на участок сборки из сварочного цеха без установленных на них крупных деталей, таких, как предохранительная труба, расширитель и др. Эти узлы не крепятся на крышке из-за трудностей, связанных с перевозкой укомплектованной крышки. Комплектование крышки производят на специальных подставках. Комплектация плоской крышки трансформаторов I—III габаритов заключается в установке на предварительно протертой крышке вводов ВН и НН привода переключателя, кранов (плоского и пробкового), предохранительной трубы, расширителя и маслоуказателя. Главным при комплектации крышки и бака является качественное уплотнение узлов и деталей, устанавливаемых на крышке или баке. Для этого на предварительно очищенную поверхность сопрягаемых узлов наносят кистью тонкий слой резинового клея, дают выдержку 15—20 мин, затем укладывают резиновые прокладки, предварительно намазанные клеем, комплектация крышки колокола мощных трансформаторов с нижним разъемом бака выполняется на подставках, установленных между стеллажами. Работа усложняется за счет дополнительной кантовки колокола для установки шунтов и других деталей внутри колокола, а также установки большого числа узлов в неудобном положении на наклонной и цилиндрической поверхностях. Для комплектации бака (или дна — нижней части бака) его устанавливают на маслосливную решетку между стеллажами так, чтобы опорные поверхности были на балках. Протерев бак (дно), поверхность рамы бака и фланцы под уплотнение, устанавливают задвижку «Лудло» и пробку для слива масла, заглушку на патрубки системы охлаждения и краны, затем производят уплотнение резиновыми прокладками сопрягаемых поверхностей узлов и разъема дна бака. Комплектацию крышки бака и дна необходимо закончить к моменту выгрузки активной части из вакуум-сушильного шкафа.

Отделка активной части после сушки является одной из главных операций третьей сборки. Так как во время сушки происходит усадка изоляции обмотки, деревянных и электрокартонных деталей, вследствие чего ослабевает прессовка обмоток, магнитопровода и ярм, а также крепление отводов, то необходимо восстановить затяжку крепления. Активную часть устанавливают на специальную площадку со сливной решеткой, оборудованной стеллажами.

Операцию отделки начинают с восстановления прессовки ярм магнитопровода вначале нижнего, а затем верхнего.

Для правильной затяжки ярм с большим количеством полубандажей и во избежание деформации ярмовых балок затяжку гаек до окончательного размера производят в заданной технологической последовательности. Болтовые соединения крепления отводов и ответвления переключателя также подтягивают. Возможность самоотвинчивания гаек, шпилек и болтов устраняют кернением или стопорными пластинами. Для обеспечения динамической устойчивости трансформатора в процессе сборки следует обеспечить постоянное усилие сжатия обмотки, значение которого указано в чертеже [21].

Осевую прессовку обмоток трансформаторов мощностью до 1 МВ·А производят вручную трещеточными ключами, контролируя усилия прессовки по динамометру. Опрессовку трансформаторов большой мощности производят специальным приспособлением, состоящим из гидравлического насоса и гидроцилиндров плунжерного типа, соединенных с насосом шлангами высокого давления. Опрессовку обмоток на всех фазах производят одновременно, начиная с внутренней обмотки. В соответствии с заданным усилием на прессующие кольца (под ярмовые балки) устанавливают в требуемом количестве гидроцилиндры. Включают насос и при достижении нужного давления в цилиндрах (давление определяют по манометру) работу насоса прекращают, выдерживают давление 1—2 мин и фиксируют это усилие, завернув прессующие винты до упора в прессующее кольцо. Откачав масло из гидроцилиндров, их убирают на стеллажи. Если перепад обмоток по высоте на одной фазе более указанного в чертеже, их выравнивают электрокартонными прокладками.

После осевой прессовки повторно проверяют надежность крепления и измеряют изоляционные расстояния, а также проверяют состояние изоляции между узлами заземления.

Для сохранения характеристик изоляции все работы по отделке должны производиться с минимальным временем пребывания активной части на воздухе — не более 12—20 ч при относительной влажности воздуха 75—55 %.

В новых сериях трансформаторов РПН широкое применение нашли переключающие устройства с активными токоограничивающими сопротивлениями погружного и приставного типов; реже применяют устройства с токоограничивающими реакторами.

Рассмотрим особенности технологии третьей сборки трансформаторов с РПН, связанные с установкой на активную часть быстродействующих устройств типа SAV (рис. 31. 7). Трансформаторы с переключающими устройствами данного типа в первую сушку поступают с макетами, а на вторую — с собственными устройствами РПН; замена происходит в процессе отделки активной части после первой сушки. Переключающее устройство до монтажа на трансформатор хранят в емкости с маслом. Ввиду ограниченного срока пребывания переключающего устройства на воздухе

без масла) работы по установке его на активную часть необходимо проводить параллельно с его отделкой. Устройство РПН 2 раном опускают и устанавливают таким образом, чтобы винты а переходном фланце 4 устройства попали в овальное отверстие ронштейнов 3, закрепленных на верхних ярмовых балках, при том соблюдают маркировку по фазам, выполненную на второй борке. Нижнюю часть устройства предварительно крепят к цилиндру и скобе, установленным на нижней ярмовой балке. Окончательное крепление нижней части устройства РПН производят после подтяжки его к колоколу (баку). К установленному устройству подсоединяют регулировочные отводы 1, укладывают резиновую полосу на фланец 4 и опускают колокол. После установки колокола на нижнюю часть бака подтягивают с помощью троса переключательное устройство к колоколу. При этом крепление нижней части устройства (к нижним ярмовым балкам) должно быть ослаблено во избежание поломки цилиндра. Затем устройство закрепляют на колоколе и только после этого производят окончательное крепление нижней части устройства РПН.



Рис. 31.8. Монтаж РПН типа SAV 35/1600 на третьей сборке автотрансформатора 125 мВ · А, 220 кВ.

Через люки производят контроль и осмотр состояния регулировочных отводов и их крепления, после чего производят «прокрутку» устройства: номинальное положение — крайнее правое — крайнее левое — номинальное положение. При этом проверяют входимость подвижных контактов в неподвижные и измеряют крутящий момент на валу переключательного устройства. Затем производят установку привода переключателя.

Правильность установки устройства РПН 1, привода 2, редуктора 3 (рис. 31. 8) определяют с помощью защитных труб. Собирают защитные трубы горизонтального и вертикального валов. Трубы должны телескопически войти одна в другую, отверстия в трубах горизонтального вала должны быть обращены вниз. На колоколе крепят редуктор и проверяют положение привода и устройства РПН (в окне указателя положения привода должна быть цифра, соответствующая положению устройства). Вместо горизонтального и вертикального валов устанавливают защитные трубы и регулируют установку привода и устройства, а после окончательной установки привода снимают защитные трубы и измеряют расстояния между торцами муфт редуктора и привода. Длина вала 4 должна быть равна измеренному расстоянию плюс 50 мм. Отдельно смонтированные валы привода устанавливают вместо защитных труб и производят окончательное крепление

редуктора на колоколе. После того как переключющее устройство собрано окончательно, производят измерение крутящего момента на рукоятке привода и проверяют правильность сочленения устройства и привода.

Одновременно со сборкой активной части трансформатора производят подготовку вводов и комплектацию трансформатора тока.

В трансформаторах применяют составные вводы с механическим креплением фарфоровой крышки к крышке бака. Установку на бак (или крышку) составного ввода начинают с укомплектования нижней части изолятора токоведущей шпилькой и резиновой шайбой, после чего сборщик вводит в отверстие бака (или крышки) скомплектрованную нижнюю часть изолятора, а на выступающую наружную нижнюю часть надевают верхнюю часть изолятора вместе с электрокартонной шайбой. В такой же последовательности устанавливают остальные вводы. К вводам припаивают отводы ВН и НН и тщательно затягивают их двумя контргайками.

Особое место в процессе третьей сборки занимает установка вводов ВН. Обычно для сборки и испытания трансформаторов на заводе применяются маслonaполненные вводы, которые регулярно подвергают профилактическому осмотру и испытаниям. Перед установкой необходимо внимательно осмотреть ввод, проверить его соответствие чертежу, проверить целостность фарфора, отсутствие течи и наличие масла во вводе. В последнее время стали применять герметичные вводы с бачками давления, для которых необходимо проверить и отрегулировать давление масла в бачке.

Для подъема вводов применяют специальные приспособления, позволяющие перевозить и устанавливать вводы в вертикальном положении, а также обеспечивать наклон ввода на заданный угол. На вводе 110 кВ предварительно устанавливают бумажно-бакелитовые цилиндры, изолирующие нижнюю часть ввода от стенок бака. Ввод подводят краном к соответствующему переходному фланцу, установленному на крышке, и осторожно опускают, а находящийся на крышке рабочий направляет его движение. Кабель отвода, прикрепленный к тросу, опущенному во внутрь трансформатора через токоведущую трубу ввода, рабочий, находящийся на крышке бака, постепенно вытягивает наружу. Ввод осторожно опускают до резинового уплотняющего кольца, уложенного на переходном фланце, при этом конусными стальными оправками направляют фланец ввода на фланец, установленный на крышке. После закрепления кабеля отвода на наконечнике ввода закрепляют болтами ввод на крышке бака. Аналогично устанавливают все другие вводы 110—750 кВ. При установке вводов на наклонные фланцы необходимо внимательно проверять изоляционные расстояния от наконечника ввода до ближайшей заземленной детали или соседнего ввода.

Трансформаторы тока устанавливают в переходный фланец 5 ввода (рис. 31. 9). После установки трансформаторов тока и за-

крепления их внутри кожуха часть концов обмоток заглушают, а к остальным припаивают контактные пластины, которые подсоединяют к соответствующим выводам, установленным на переходном фланце. Все выводы концов вторичных обмоток трансформаторов тока соединяют (замыкают накоротко), так как во время испытаний трансформатора на разомкнутых концах вторичной обмотки появляется высокое напряжение, опасное как для работающих, так и для изоляции самой обмотки.

Установка активной части в бак — ответственная операция. От правильного положения активной части по отношению к стенкам бака во многом зависят результаты высоковольтных испытаний трансформатора.

Укомплектованный бак устанавливают на маслянистую площадку (для трансформаторов мощностью до 10 МВ·А) или в стеллажи (для трансформаторов мощностью до 10 МВ·А). Внутреннюю поверхность бака, уста-

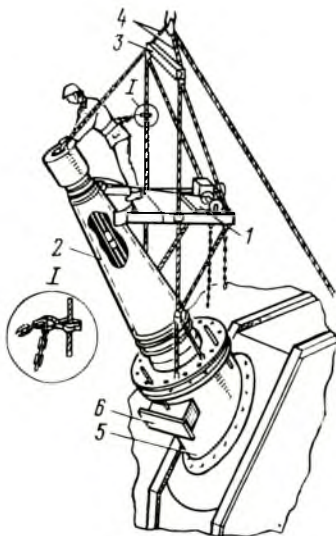


Рис. 31.9. Установка вводов ВН с наклоном.

1 — приспособление для установки вводов; 2 — ввод 220 кВ; 3 — траверса; 4 — канат для протягивания наконечника ввода; 5 — переходной фланец ввода; 6 — коробка выводов трансформаторов тока.

новленного в стеллажи, тщательно осматривают, поверхность рамы бака протирают, затем наносят кистью тонкий ровный слой резинового клея и после выдержки в течение 10—15 мин на раму укладывают полосы уплотняющей резины.

Активную часть после окончания отделки внимательно осматривают перед опусканием в бак. Подъем активной части осуществляется мостовым краном за крюки, приваренные к верхней ярмовой балке, стальными тросами, выбранными в соответствии с массой активной части трансформатора. Перед опусканием активной части в бак вначале определяют стороны НН и ВН бака и активной части, после чего опускают активную часть в бак. Положение активной части в баке фиксируется снизу приваренными ко дну бака шипами, которые входят в отверстия нижних ярмовых балок, а сверху — специальными стальными распорками. Установив активную часть в баке, производят ее раскрепление специальными болтами, после чего измеряют изоляционные расстояния между отдельными узлами активной части и стенками бака. Проверкой изоляционных расстояний и заземлением активной части заканчиваются работы по установке активной части в баке трансформатора.

Крышку бака зачаливают за подъемные кольца и осторожно опускают на раму бака, стараясь «поймать» на предварительно

установленные в ней конусные оправки. При этом необходимо следить, чтоб совпали отверстия в крышке и в раме бака. Затем затягивают болтовые соединения по периметру бака. Гайки затягивают равномерно с противоположных сторон крышки, последовательно переходя от одного болта к другому. Если бак с нижним разъемом, то активную часть устанавливают на дно бака, а колокол опускают на нее, затягивают гайки по всему периметру дна, обеспечивая надежное уплотнение места разъема бака.

Для заливки маслом трансформатор должен быть установлен на маслосливную решетку с подъемом $1,5-2^\circ$ со стороны расширителя. Заливку трансформаторов до 150 кВ производят без вакуума снизу бака при установленной и присоединенной к баку предохранительной трубе и снятой пробке расширителя. Для более полного удаления воздуха из бака трансформатора заливку масла производят медленной струей со скоростью не более 4—6 т/ч. Уровень масла в баке определяют по маслоуказателю на расширителе. Проверку уплотнений полностью собранного трансформатора производят столбом масла, создающим давление, равное 50 кПа. Если в уплотнениях после соответствующей выдержки времени не обнаружено течи, задвижку маслопровода закрывают, шланги от бака отсоединяют и лишнее масло сливают под сливную решетку.

Перед высоковольтными испытаниями трансформатора необходимо выпустить воздух через пробки и уплотнить их, поэтому до предъявления на испытания трансформатор выдерживают в течение 1—12 ч (в зависимости от класса напряжения). Признаком окончания выхода воздуха служит появление масла через отверстие в люке; во избежание попадания масла на бак трансформатора пробку вывинчивают не полностью, достаточно отвернуть ее так, чтобы открыть путь по резьбе для выхода воздуха, который под давлением масла будет стремиться выйти из бака. Тщательным осмотром трансформатора, проверкой уплотнения и уровня масла в расширителе заканчиваются работы по третьей сборке трансформаторов класса напряжения до 150 кВ.

Трансформаторы класса напряжения более 150 кВ заливают под вакуумом. Процесс вакуумной заливки трансформатора маслом состоит из трех этапов: предварительное вакуумирование бака и активной части; заливка масла под вакуумом; вакуумирование «зеркала» масла и активной части. Цель предварительного вакуумирования заключается в удалении воздуха из бака. Для этого необходимо собрать схему вакуумирования трансформатора (рис. 31. 10). К крану, расположенному в наивысшей точке бака, подсоединяют вакуум-провод 4; для вакуумирования вводов его соединяют шлангами 1 с баком. К пробковому крану, установленному на фланце маслопровода 2, соединяющего расширитель с баком трансформатора, подсоединяют маслосистему 3 цеха; устанавливают и подсоединяют технологический маслоуказатель и расходомер. Перед вакуумированием проверяют герметичность бака, для чего в течение одного часа создают в баке вакуум не ниже 1000 ГПа, выдерживают бак под вакуумом в течение 1 ч и изме-

ряют остаточное давление. Если разница в показаниях двух измерений более 13,3 кПа, герметичность бака считается недостаточной. После устранения неплотностей бака включают вакуум-насос и вакуумируют при остаточном давлении 6,2 ГПа в течение 2 ч; затем открывают кран маслопровода и начинают сверху заливать трансформатор маслом, продолжая вакуумирование. При заливке остаточное давление не должно уменьшаться более чем на 6,2 ГПа. Скорость заливки масла в бак не должна превышать 4 т/ч. Скорость поступления масла в бак и уровень масла в баке контролируются по технологическому маслоуказателю. При достижении уровня масла в баке 150 ± 30 мм от крышки подачу масла прекращают, а вакуумирование «зеркала» масла продолжают в течение установленного для данного трансформатора времени от 8 до 14 ч (220—750 кВ соответственно).

По окончании вакуумирования через кран на крышке бака производят доливку трансформатора маслом. Выпускают воздух через пробки, проверяют уплотнения и записывают время начала отстоя. Время отстоя трансформатора перед испытанием от 6 до 12 ч (для трансформаторов 220—750 кВ соответственно).

Каждый изготовленный на заводе трансформатор должен пройти испытания, как описано в гл. 33.

Пройдя испытания и получив от испытательной станции техническую документацию, приступают к окончательной отделке трансформатора, которая состоит из ряда операций: на заводском щитке выбивают данные согласно сдаточной записке испытательной станции и устанавливают его на баке со стороны НН. На крышке или стенке бака устанавливают пластины с буквенными обозначениями вводов ВН, НН, СН; в стенку бака ввертывают болт заземления, устанавливают переключатель на среднее положение, заворачивают стопорные винты на крышке привода переключателя и прикрепляют щиток; «Внимание! При пользовании переключателем смотри инструкцию»; на стенке расширителя (со стороны маслоуказателя) наносят уровни масла при разных температурах; приводной механизм переключателя закрывают защитным кожухом. Около крюков выполняют краской надпись на баке: «Крюк для подъема»; все места бака, где повреждена краска бака (торцы, крышки, болты), подкрашивают эмалью; наружные токоведущие части трансформатора покрывают техническим вазелином. Пробку для спуска масла, пробку для взятия пробы масла и кран для спуска масла пломбируют.

В зависимости от габаритных размеров и массы трансформа-



Р и с 31.10. Вакуумирование трансформатора 40 МВА, 330 кВ.

тора их отправляют к месту установки либо полностью собранные и залитые маслом, либо частично демонтированные в собственном баке, залитые маслом или без масла, но заполненные сухим воздухом или азотом с избыточным давлением [24]. В зависимости от мощности трансформатора могут демонтироваться: радиаторы или охладители, расширители, предохранительная труба, каретки, вводы (110 кВ и выше).

При транспортировке трансформатора без масла для защиты изоляции от увлажнения бак трансформатора не только герметизируют, но и заполняют азотом с избыточным давлением $25 \cdot 10^3$ Па. Кроме того, внутри герметизированного бака устанавливают транспортный воздухоосушитель, заполненный силикагелем.

31.6. СБОРКА ТРАНСФОРМАТОРОВ НА КОНВЕЙЕРЕ

При серийном производстве трансформаторов наиболее рациональным является конвейерная сборка. Такая сборка требует своевременной подачи необходимых узлов и деталей на конвейер и четкой организации труда во всем сборочном цехе. Заготовку деталей и узлов целесообразно организовать в непосредственной близости от сборочного конвейера для того, чтобы упростить их доставку. Создать единый конвейер, на котором можно было бы собирать трансформатор от начала до конца, чрезвычайно сложно, так как активная часть трансформатора после сборки должна быть подвергнута сушке и только затем может быть продолжена сборка трансформатора.

На Минском электротехническом заводе им. В. И. Козлова трансформаторы I, II габаритов собирают на трех последовательно расположенных напольных конвейерах [22]. На первом конвейере собирают остов с обмотками (при шихтовке магнитопровода непосредственно в обмотку), на втором производят пайку отводов ВН и НН и изолировку мест пайки, после чего готовая активная часть трансформатора идет в сушку. На третьем конвейере выполняют окончательную сборку трансформатора, т. е. опускают активную часть трансформатора в бак, заливают маслом, испытывают и упаковывают готовый трансформатор. Этот же конвейер подает трансформатор на склад готовой продукции. Вне конвейера производят заготовку отводов ВН и НН, сборку переключателя и подгонку резиновых уплотнительных прокладок. Сборку активной части трансформатора производят на пластинчатом конвейере, состоящем из двух втулочно-роликовых цепей, на которых закрепляются специальные приспособления. В них укладывают заранее скомплектованные обмотки всех трех фаз трансформатора.

Конвейер выполнен так, что позволяет удобно работать стоя. Ритм движения конвейера — пульсирующий, принудительный. Технологический процесс сборки осуществляют следующим образом: приспособление настраивают на определенный тип трансформатора (рис. 31. 11) и каждая каретка, в которую укладывают обмотки, стопорится в заданном положении. Скомплектованные

обмотки всех трех фаз трансформатора укладывают в приспособление, шаблоном проверяют межцентровые расстояния между фазами, укладывают ярмовые балки, устанавливают прессующие прокладки и ярмовую изоляцию одной стороны активной части. На площадку, находящуюся рядом с приспособлением, укладывают необходимое количество скомполектованных по типоразмерам пластин магнитопровода и все необходимые для сборки детали. После того как истечет заданная выдержка времени, включается привод и конвейер подает обмотки и пластины магнитопровода на следующее рабочее место, на котором в соответствии со схемой шихтовки прямо в обмотки укладываются пластины первого пакета магнитопровода. Пластины укладывают двое рабочих, стоящих с двух сторон конвейера. В это время на первом рабочем месте настраивают новое приспособление и в него укладывают обмотки для следующего трансформатора, а на площадку выгружают пластины магнитопровода и детали. Конвейер делает еще один шаг — обмотки с уложенным в них первым пакетом магнитопровода подаются на следующее рабочее место, где в обмотки зашихтовывается следующий пакет магнитопровода. В только что уложенные обмотки укладывают первый пакет магнитопровода, а на свободное приспособление в начале конвейера укладывают обмотки следующего трансформатора и т. д. Конвейер делает очередной шаг, и все операции повторяются, и так до полной зашихтовки магнитопровода в обмотки. Так как центральный пакет магнитопровода имеет пластин больше, шихтовка его выполняется на нескольких рабочих местах. Шихтовку магнитопровода производят в две пластины.

После того как магнитопровод зашихтован, устанавливают прессующие прокладки, ярмовую изоляцию и ярмовые балки другой стороны активной части и производят затяжку всех шпилек. На первом конвейере операции заканчивают сборкой остова с обмотками, который затем поднимают и ставят на следующий конвейер для пайки схемы.

Конвейер для пайки схемы имеет тот же шаг и тот же ритм, что и конвейер сборки остова с обмотками. На нем последователь-

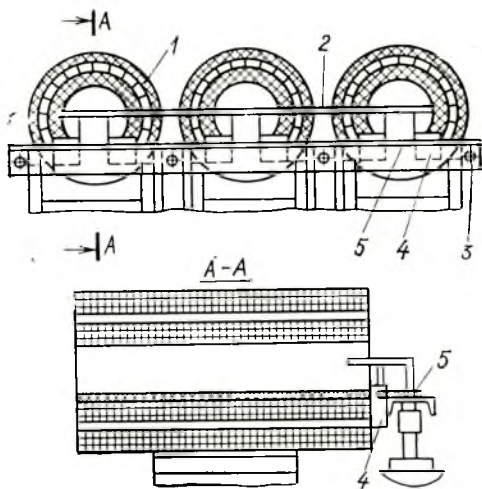


Рис. 31.11. Наладка сборочного приспособления.

1 — скомполектованная обмотка; 2 — шаблон для проверки межцентрового расстояния; 3 — ярмовая балка; 4 — прессующие прокладки; 5 — ярмовая изоляция.

но выполняются следующие операции: приварка низковольтных отводов; пайка высоковольтных отводов; изолировка отводов; закрепление отводов НН и ВН. К остоу с обмотками подводят сварочный стол, на него укладывают отводы, собирают всю схему фазных и нулевых отводов с перемычкой и производят сварку. Конвейер подается еще на один шаг — на следующем рабочем месте места сварки изолируют тафтяной лентой, промазывают лаком, зажимают отводы в буковые планки и закрепляют к уголкам ярмовых балок. Конвейер подает остоу с обмотками на следующее рабочее место, где угольным электродом производят припайку

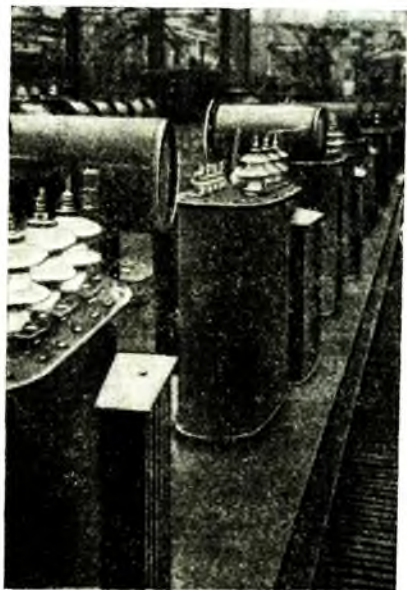


Рис. 31.12. Конвейер окончательной сборки трансформаторов.

выводов ВН к обмотке. Место пайки изолируют тафтяной лентой и промазывают лаком, который при сушке полимеризуется, создавая надежную изоляцию места пайки. После этого готовую активную часть трансформатора снимают с конвейера и отправляют в сушку. Сушка активной части трансформатора может выполняться в проходных печах на подвесных или напольных транспортерах с заданным ритмом. Это позволяет создать единый технологический поток.

Окончательная сборка трансформаторов производится также на пластинчатом напольном замкнутом конвейере с принудительным ритмом движения. Сборка разбита на операции примерно равной трудоемкости. Для лучшей организации работы на конвейере сборка отдельных узлов и подготовка деталей производится вне его. Все собранные узлы

и детали, необходимые при окончательной сборке трансформаторов, подают краном на специально отведенные места вдоль конвейера. Для механизации работ над конвейером закреплены пневматические гайковерты. Общий вид конвейера окончательной сборки показан на рис. 31. 12. Активную часть трансформатора, прошедшего сушку, устанавливают на первое рабочее место конвейера, где проверяют сопротивление изоляции обмоток НН и ВН, производят проверку и подтяжку всех резьбовых соединений, которые ослабли в связи с усадкой изоляционных деталей в процессе сушки. Рядом с активной частью устанавливают заранее подготовленный и окрашенный чистый бак. На конвейере окончательной сборки последовательно выполняют следующие операции: на активной части устанавливают переключатель и к

нему подключают регулировочные отводы обмотки. ВН; активную часть опускают в бак и специальными скобами закрепляют в нем; на раму бака укладывают резиновую прокладку, устанавливают крышку с расширителем и закрепляют на баке болтами; устанавливают вводы и в них закрепляют выводные шпильки; бак заливают сухим трансформаторным маслом; в собранном трансформаторе проверяют все уплотнения избыточным давлением 50 кПа; производят измерение электрических параметров и испытания на соответствие стандартам; проводят необходимые слесарные доделки, консервацию и упаковку.

Трансформатор подается конвейером на склад или на участок хранения, где находится до отгрузки.

Глава тридцать вторая

СУШКА АКТИВНОЙ ЧАСТИ ТРАНСФОРМАТОРА

32.1. ТЕРМОВАКУУМНАЯ ОБРАБОТКА

Сушка является одним из важнейших технологических процессов производства трансформаторов. Цель сушки — удаление влаги из твердой изоляции трансформаторов для обеспечения ее более высокой электрической прочности [23]. Пробивная электрическая прочность хорошо высушенного и пропитанного трансформаторным маслом электроизоляционного картона примерно в 20—25 раз выше, чем у картона, не прошедшего сушку и пропитку.

Сушка основана на использовании явлений влагонепроводимости и диффузии пара с нагретой поверхности изоляции. Процесс сушки включает нагрев изоляции конвекцией и излучением, парообразование и диффузию пара с поверхности изоляции в окружающее пространство, а также перемещение влаги из внутренних слоев изоляции наружу.

Внутри изоляции влага перемещается в виде пара из мест с большим содержанием влаги в места с меньшим ее содержанием (влагонепроводимость) и из мест с более высокой температурой в места с низшей температурой (тепловлагонепроводность). Поэтому для ускорения перемещения влаги на поверхность материалов необходимо обеспечить быстрый и хороший прогрев всей активной части трансформатора. Для ускорения сушки применяется максимально допустимая для бумаговолоконистой изоляции температура 100—110 °С. В процессе сушки влага, содержащаяся в материале, перемещается из его толщины к поверхности и затем с поверхности в окружающую среду. Вакуум служит для снижения температуры парообразования и удаления водяных паров из шкафа для поддержания на низком уровне относительной влажности воздуха в сушильном шкафу. Следовательно, для ускорения сушки необходимо снижать давление паров в сушильном шкафу — сушить под вакуумом и повышать давление на поверхности материала нагревом.

Существуют три основных метода нагрева изоляции активной части трансформатора в процессе термовакуумной обработки: горячим маслом, горячим воздухом, в паровой фазе [23, 24].

На рис. 32. 1 показана схема сушки изоляции трансформатора горячим маслом в собственном баке, применяемая для трансформаторов большой мощности. Для окончательной сушки и пропитки маслом изоляции активной части в баке трансформатора создают вакуум, проверяют всю систему на отсутствие течи и заливают небольшое количество масла, которое циркулирует внутри бака.

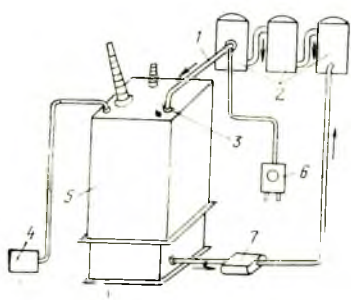


Рис. 32.1. Схема сушки трансформатора циркуляцией нагретого масла под вакуумом.

1 — гибкий шланг; 2 — нагреватели масла; 3 — пульверизатор; 4 — вакуумный насос; 5 — трансформатор, подвергающийся сушке; 6 — регулирующее устройство; 7 — масляный насос.

Масло удаляют из нижней части бака, прогоняют через систему подогрева и направляют обратно в верхнюю часть. Интенсивный поток масла, равномерно распределенный пульверизаторами под каждой фазой, очень быстро нагревает изоляцию, не подвергая ее опасности чрезмерного перегрева. По мере того как нагретое масло пульверизируется в бак с выкаченным воздухом, всякая влага, подхваченная маслом при протекании его через изоляцию, немедленно испаряется и удаляется из системы. Когда изоляция трансформатора высушена, масло выпускают и производят заливку масла в бак под вакуумом.

При сушке изоляции трансформатора горячим воздухом применяют принудительную циркуляцию в сушильных шкафах нагретого воздуха. На отечественных трансформаторных заводах преобладает метод нагрева изоляции активной части трансформатора горячим воздухом по специальным режимам. Сушка активной части трансформатора напряжением 35 кВ и выше производится в вакуум-сушильных печах. Для трансформаторов I и II габаритов с высшим напряжением 6—10 кВ вакуум не обязателен; для них вполне удовлетворительные результаты дает сушка активных частей в конвекционных печах при 105—110 °С в течение 12—14 ч. Режим сушки должен предусматривать температуру и время, необходимые для достижения устойчивого значения сопротивления изоляции. Нельзя повышать температуру, сокращая время сушки, так как это вызывает ускоренное старение бумажной изоляции трансформатора. Об окончании процесса сушки судят по стабилизации сопротивления изоляции активной части трансформатора в процессе сушки. В первый период сушки сопротивление изоляции активной части трансформатора понижается. Это вызвано тем, что влага, имеющаяся в порах материала, выступая на поверхность, создает на ней проводящий слой. По мере того как в процессе сушки влага удаляется, сопротивление изоляции растет. Измеряя

В то же время давление паров должно быть достаточно высоко, чтобы при сушке теплоноситель испарился из изоляции по возможности без осадка.

Нагрев в паровой фазе позволяет за короткое время (вдвое меньше, чем время прогрева горячим воздухом) прогреть изоляцию до температуры, близкой к температуре паров (не ниже, чем на 5°C), поэтому выделение влаги из изоляции происходит непрерывно — начиная уже с прогрева (рис. 32. 4). В паровой фазе

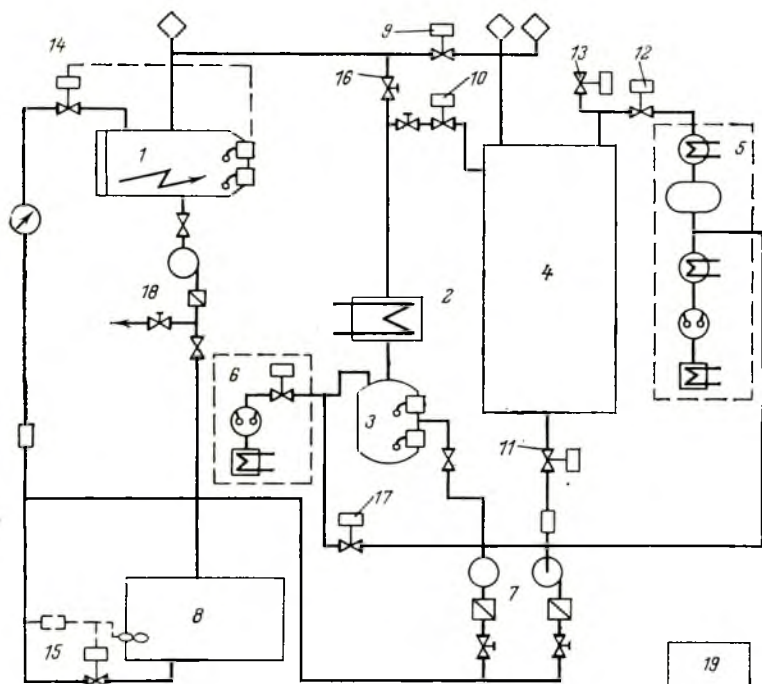


Рис. 32.5. Принципиальная схема установки для сушки трансформаторов в паровой фазе.

1 — испаритель; 2 — конденсатор; 3 — сборник конденсата; 4 — ВСШ; 5 — главная вакуумная установка; 6 — дренажный вакуумный насос; 7 — конденсатный насос; 8 — резервный бак; 9 — вентиль подвода пара; 10 — вентиль отвода пара; 11 — вентиль конденсата; 12 — вакуумный вентиль; 13 — вентиль для выпуска воздуха; 14 — вентиль наполнения; 15 — вентиль обратного наполнения; 16 — паровой вентиль; 17 — обходной вентиль; 18 — насос для перекачки керосина; 19 — шкаф управления сольвентной установкой.

быстрее происходит отдача тепла, быстрее и полнее удаляется влага, более равномерно происходит прогрев изоляции, уменьшается опасность оставления влаги в толщине изоляции. Сушка изоляции происходит быстрее в 1,5—3 раза, чем при вакуумной сушке. Сушку в парах нефтепродуктов производят в вакуум-сушильных печах, используя специальную установку, как показано на рис. 32. 5.

Сольвентная установка может применяться как для горизонтальных, так и для вертикальных вакуум-сушильных шкафов (ВСШ), установленных в общем технологическом потоке изготовления трансформаторов. Главная вакуумная установка 5 монтируется в непосредственной близости ВСШ (возле или на ВСШ). Бесперебойная подача насосами сольвентного конденсата в испарительную установку 1 требует установки конденсатора 2 и испарительной установки в одной яме, при этом точка всасывания насоса должна находиться на глубине 1,5—2 м над самой низкой точкой ВСШ. Шкаф управления паровой сольвентной установкой 19 следует разместить в центре участка сушки. Так как при сушке трансформаторов испарительная и конденсационная установки находятся в работе только лишь половину времени общей продолжительности сушки, то они могут применяться для двух или трех ВСШ.

Технологический процесс сушки состоит из четырех фаз: подготовка установки и предварительное вакуумирование; нагревание парами теплоносителя под вакуумом; фаза понижения давления; сушка под глубоким вакуумом [23].

32.2. ПРОПИТКА ИЗОЛЯЦИИ ТРАНСФОРМАТОРНЫМ МАСЛОМ

Для обеспечения высокой электрической прочности изоляционных материалов недостаточно извлечь из них влагу. Вслед за сушкой необходимо тщательно пропитать их трансформаторным маслом с тем, чтобы оно проникло во все поры и капилляры между волокнами, вытеснив из них оставшийся воздух. Пропитка маслом изоляции трансформаторов напряжением до 35 кВ включительно производится после полной сборки заливкой масла в бак при атмосферном давлении. Для трансформаторов 110 кВ и выше для более полного удаления воздуха из изоляции применяют пропитку их маслом под вакуумом, для чего по окончании сушки, не снимая вакуума, снижают температуру в шкафу до 80—85 °С, заливают шкаф маслом, электрическая прочность которого должна быть не ниже 50 кВ (измеренная в стандартном пробойнике), и выдерживают в шкафу под вакуумом в течение 3—5 ч. После этого вакуум снижают и вновь измеряют сопротивление изоляции и ее $\tan \delta$. Затем сливают масло из шкафа, выдерживают активную часть трансформатора в шкафу в течение 2—4 ч, снимают вакуум и выгружают активную часть из шкафа.

Для того чтобы степень увлажнения активной части, находившейся в цехе на последующих технологических операциях, не превысила допустимых пределов, время ее пребывания на воздухе ограничено и составляет 16 ч.

Сушка и пропитка маслом трансформаторов имеет решающее значение для обеспечения необходимой электрической прочности изоляции [23].

Технологический метод двойной сушки обеспечивает высокое качество сушки изоляции трансформаторов большой мощности.

По этому методу изоляция активной части сушится в вакуум-сушильном шкафу по ранее описанным режимам до установившихся значений характеристик при минимальных остаточных давлениях. Затем активная часть трансформатора (сухая, не пропитанная маслом) выгружается из сушильного шкафа и на ней производятся операции третьей сборки и отделки. Собранный в собственном баке трансформатор без вводов с открытыми заглушками вновь загружается в вакуум-сушильный шкаф и досушивается при минимальном остаточном давлении до нормированных характеристик изоляции. После термовакуумной обработки в бак трансформатора заливается масло, активная часть может подсушиваться и вне шкафа в собственном баке с последующей доливкой масла. Технология двойной сушки при «сухой» сборке сокращает пребывание активной части трансформатора на воздухе в 3—4 раза и тем самым значительно снижает степень увлажнения изоляции, способствует сохранению уровня качества изоляции, полученного в процессе сушки. Кроме того, при пропитке в собственном баке экономнее расходуется трансформаторное масло, уменьшается загрязнение изоляции. Отделка сухой активной части делает сборку более чистой, улучшает условия труда. Недостатком описанного процесса является удлинение общего цикла сушки в 1,5—1,8 раза, в результате чего снижается производственная мощность сушильного хозяйства.

32.3. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

Трансформаторное масло является продуктом переработки нефти. Практикой отмечено, что эксплуатационные качества масел, различающихся технологией получения, неодинаковы. Основными показателями, характеризующими эксплуатационные свойства трансформаторных масел, являются диэлектрическая проницаемость ϵ , проводимость σ , $\operatorname{tg}\delta$, пробивное напряжение U и газостойкость в электрическом поле. Электроизоляционные свойства масел ухудшаются при наличии в них влаги, газовых включений и примесей. Масло перед заливкой в бак трансформатора должно иметь значения основных показателей не ниже установленных нормами; пробивное напряжение в стандартном маслоробойнике при температуре 20 °С должно быть не менее 40 кВ — для трансформаторов класса напряжения 35 кВ и не менее 55 кВ для класса напряжения 110—330 кВ. Поэтому свежее трансформаторное масло перед заливкой в бак трансформатора обычно вначале подготавливают на маслоочистительной станции завода, откуда очищенное масло поступает в баки для хранения, а затем насосами подается в расходную емкость, из которой производят заливку в трансформатор. Для трансформаторов выше 330 кВ требуется дополнительная очистка масла.

Основным оборудованием маслоочистительной станции трансформаторного завода являются центрифуги, фильтр-прессы и вакуум-сушильные колонны. Предварительно очищенное центрифугой масло поступает в одну из вакуум-сушильных колонн, где нагревается до температуры 45—60 °С и сушится при вакууме. В другой вакуум-сушильной колонне создается вакуум до 1 Па и с помощью нагревателей температура поднимается до 65—75 °С. Масло из первой вакуум-сушильной колонны перекачивается через фильтр-пресс во вторую. Проходя по трубчатым кольцам, масло истекает из имеющихся в них узких щелей на конусные воронки, затем тонкой пленкой масло стекает на сетки, а с них, образуя завесы, стекает в колонну. Такое стекание масла в колонну позволяет получить непрерывное двухстороннее удаление влаги и газов из тонких движущихся завес. Процесс дегазации и сушки происходит при оптимальном режиме работы колонны — вакууме, равном 1 Па, и температуре, равной 70 °С. Масло

с высокой электрической прочностью для пропитки изоляции трансформаторов напряжением выше 330 кВ специально готовят непосредственно на участке заливки трансформаторов, применяя стационарные установки. Установка состоит из нагревателя, в котором масло нагревается до температуры 50—60 °С; блока суперфильтров щелевого типа, дегазационной камеры с насосами, создающими требуемый вакуум.

Глава тридцать третья

ИСПЫТАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ

33.1. НАЗНАЧЕНИЕ И ВИДЫ ИСПЫТАНИЙ

Программа и методы испытаний силовых трансформаторов и их наиболее важных узлов указываются и нормируются в следующих стандартах: ГОСТ 11677-75, ГОСТ 17500-72, ГОСТ 3484-77, ГОСТ 1516.1-76, ГОСТ 1516.2-76, ГОСТ 8008-75. Правила приемки электротехнических изделий, в том числе и трансформаторов, регламентируются отраслевым стандартом, согласно которому для проверки соответствия трансформаторов требованиям соответствующих стандартов устанавливаются следующие категории испытаний: квалификационные — для изделий, осваиваемых в производстве, приемо-сдаточные, периодические и типовые — для изделий установившегося производства. Кроме этих испытаний в процессе производства трансформаторов производят операционные испытания. Операционным испытаниям подвергают: обмотку, магнитопровод (остов), трансформатор после первой и второй сборок (см. гл. 30).

Приемо-сдаточным испытаниям подвергается каждый трансформатор. Эти испытания проводит служба технического контроля завода в целях определения возможности приемки и поставки трансформатора потребителю. Приемосдаточные испытания включают: наружный осмотр трансформатора и его проверку на соответствие чертежу и отсутствие заметных повреждений и неисправностей; проверку коэффициента трансформации и группы соединения обмоток; испытание пробы масла из бака трансформатора с определением пробивного напряжения, $\text{tg}\delta$ и газосодержания; испытание электрической прочности изоляции; испытание электрической прочности изоляции напряжением промышленной частоты 50 Гц с измерением частичных разрядов (для трансформаторов 150 кВ и выше); проверку потерь и тока холостого хода (опыт холостого хода); испытание бака трансформатора на герметичность; испытание на трансформаторе устройств переключения ответвлений обмоток, включая приводной механизм (для трансформаторов с ПБВ и РПН).

В процессе приемо-сдаточных испытаний производят измерения не оговоренных в стандарте величин, которые необходимы для сравнения с результатами измерений в эксплуатации, а именно: определение электрического сопротивления обмоток постоянному току; определение параметров изоляции; сопротивление изоляции, тангенса угла диэлектрических потерь и емкости; определение потерь холостого хода трансформатора при малом напряжении.

Все указанные испытания выполняют по технической документации — программе испытаний, выдаваемой технической службой завода на каждый тип или ряд типов трансформаторов. Эта документация содержит указания на соответствующие стандарты, технические условия, расчетные записки и методы испытания.

Квалификационным испытаниям подвергают первые (головные) образцы новых типов трансформаторов. Цель их — установить готовность завода к производству трансформаторов данного типа согласно требованиям стандартов. В начале квалификационных испытаний трансформаторы проверяют в объеме приемо-сдаточных испытаний. Кроме того, в объем квалификационных испытаний входят: испытание внутренней изоляции грозовыми импульсами напряжения; испытание электрической прочности воздушных промежутков; испытание на нагрев; испытание на стойкость при коротких замыканиях; испытание бака на

механическую прочность; испытание активной части на механическую прочность при ее подъеме и при запрессовке обмоток; проверка уровня шума.

Перечисленные испытания позволяют установить правильность принятых конструкторских и технологических решений при создании данного типа или серии трансформаторов.

Периодическим испытаниям подвергают трансформаторы установившегося производства в целях подтверждения стабильности технологического процесса изготовления и их качества за контролируемый период. Стандарт устанавливает срок проведения периодических испытаний не реже 1 раза в 8 лет для трансформаторов мощностью 10 МВ·А и более. Для крупных уникальных изделий периодичность проведения испытаний может составлять 3,5 и 10 лет. В программу испытаний входят, если это необходимо, приемо-сдаточные испытания, а также испытания, входящие в объем квалификационных, за исключением испытаний на стойкость короткому замыканию.

Типовые испытания трансформаторов проводят в тех случаях, когда в конструкцию или технологию вносят изменения, которые могут оказать влияние на качество трансформатора. Типовые испытания необходимы также для оценки эффективности и целесообразности внесенных изменений. Объем испытаний устанавливается особо.

Подробное описание методов проведения операционных, приемо-сдаточ-

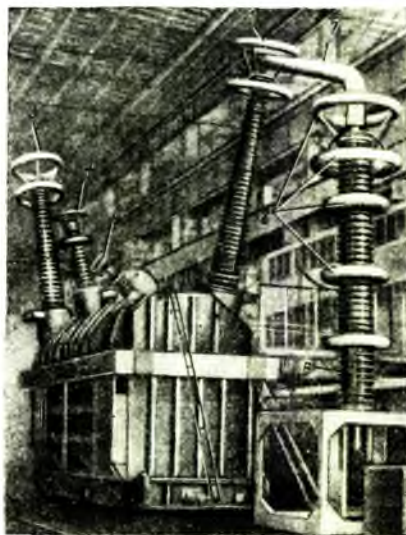


Рис. 33.1. Автотрансформатор мощностью 417 МВ·А напряжением 750 кВ на высоковольтных испытаниях.

1 — экран ввода 750 кВ; 2 — экранировка делителя; 3 — экран вводов 500 кВ; 4 — экран ввода 132 кВ; 5 — экран ввода 35 кВ; 6 — делитель напряжения ДН-1000; 7 — экранировка ввода 750 кВ и делителя.

ных, квалификационных испытаний, а также применяемого при этом оборудования дано в [18, 19].

На рис. 33.1 показан автотрансформатор мощностью 417 МВ·А, 750 кВ на высоковольтных испытаниях.

33.2. ИСПЫТАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА КОНВЕЙЕРЕ

При сборке трансформаторов на конвейере испытания их целесообразно производить также на конвейере с разбивкой на отдельные операции. Конвейер окончательной сборки трансформаторов продолжается на испытательной станции [22]. Испытания трансформаторов на конвейере имеют свои особенности, главной из которых является точно определенное время на производство каждой операции, диктуемое темпом сборки трансформаторов, и четкое взаимодействие схем каждого испытательного пульта со схемой управления движением конвейера. Команда на движение конвейера может быть подана только после окончания полного цикла испытаний во всех ячейках, так как схемы включения испытательных пультов и схемы управления движением конвейера имеют общую блокировку, исключающую неправильные действия персонала при производстве работ.

Как только трансформатор поступает в испытательную ячейку, испытатель, включая двигатель, закрывает дверь ячейки. При закрывании дверей двухпо-

зиционные конечные выключатели размыкают свои контакты в цепи управления двигателем привода конвейера, исключая тем самым случайное передвижение конвейера во время испытаний. Вторые свои контакты, которые находятся в схеме подключения испытательного пульта к источнику тока, конечные выключатели замыкают и тем самым подготавливают схему пульта к работе. Включение привода передвижения конвейера может быть произведено только после того, как окончены испытания во всех ячейках, трансформаторы отключены от пультов и все двери ячеек открыты. Продолжительность работ на каждом рабочем месте равна 5 мин. В это же время должен уложиться и испытатель, в противном случае конвейер будет простаивать. Для того чтобы сохранить единый темп конвейера на сборочных операциях и при проведении испытаний, а также для равномерной загрузки всех испытателей, целесообразно объединить испытания по некоторым параметрам в одну испытательную ячейку, а некоторые виды испытаний, наоборот, расчленить. На конвейере испытательной станции Минского электротехнического завода принят следующий порядок испытания трансформаторов: определение коэффициента трансформации и проверка группы соединения трансформатора; измерение сопротивления обмоток постоянному току; испытание обмоток НН приложенным напряжением частотой 50 Гц; испытание изоляции обмоток ВН приложенным напряжением 50 Гц; испытание изоляции обмоток НН и ВН двойным индуктированным напряжением частотой 100 Гц; измерение потерь и тока холостого хода; измерение потерь и напряжения короткого замыкания.

33.3. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ

Безопасность работы при проведении испытаний трансформаторов обеспечивается как организационными, так и техническими мероприятиями. Электротехническое оборудование и устройства испытательной станции должны удовлетворять требованиям «Правил устройства электроустановок» (ПУЭ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Виноградов Н. В.** Производство электрических машин. — М.: Энергия, 1970.—288 с.
2. **Технология** конструкционных материалов/А. М. Дальский, И. А. Арутюнова, Т. М. Барсукова и др. — М.: Машиностроение, 1977.—664 с.
3. **Романовский В. П.** Справочник по холодной штамповке. — Л.: Машиностроение. 1979.—520 с.
4. **Осьмаков А. А.** Технология и оборудование производства электрических машин. — М.: Высшая школа, 1980.—312 с.
5. **Магнитопроводы** силовых трансформаторов/А. И. Майорец, Г. И. Пшеничный, Я. З. Чечелюк и др. — М.: Энергия, 1973. — 272 с.
6. **Цукерман С. А.** Порошковые и композиционные материалы. — М.: Наука, 1976.—125 с.
7. **Бернштейн Л. М.** Изоляция электрических машин общепромышленного применения. — М.: Энергия, 1965.—352 с.
8. **Скороходов Е. А., Билибин К. И.** Механизация и автоматизация производства обмоток электроэлементов. — М.: Энергия, 1978. — 192 с.
9. **Фомин Б. П., Циханович Б. Г., Виро Г. М.** Технология крупного электромашиностроения. Т. 1. Турбогенераторы. — Л.: Энергия, 1981.—392 с.
10. **Зунделевич М. И., Прутковский С. А.** Технология крупного электромашиностроения. Т. 2. Гидрогенераторы. — Л.: Энергия, 1981.
11. **Блюменкранц Д. М.** Технология крупного электромашиностроения. Т. 3. Крупные машины. — Л.: Энергия, 1981.
12. **Савченко П. А., Табачников И. Л.** Конструкция и методы расчета размеров корпусной изоляции обмоток статоров электродвигателей мощностью до 10 кВт. — Тр. ВНИИТЭлектромаш, 1975, вып. 12, с. 22—38.
13. **Обмотки** электрических машин/В. И. Зимин, М. Я. Каплан, М. М. Палей и др. — М.: Энергия, 1975.—488 с.
14. **Исакович М. М., Клейман Л. И., Перчанок Б. Х.** Устранение вибраций электрических машин. — М.: Энергия, 1979. — 200 с.
15. **Любецкий Д. Г., Макаров Л. С., Урецкий И. З.** Литые обмотки роторов асинхронных электродвигателей. — М.: Энергия, 1969.—169 с.
16. **Технология** и механизация производства обмоток и изоляции силовых трансформаторов/Л. С. Герасимова, И. А. Дайнега, Г. И. Пшеничный, Я. З. Чечелюк. — М.: Энергия, 1979. — 836 с.
17. **Тихомиров П. М.** Расчет трансформаторов. — М.: Энергия, 1976.—544 с.
18. **Испытания** мощных трансформаторов и реакторов/Г. В. Алексеенко, А. К. Ашрятов, Е. В. Еремей, Е. С. Фрид. — М.: Энергия, 1978.—520 с.
19. **Каганович Е. А.** Испытание трансформаторов средней и малой мощности на напряжение до 35 кВ включительно. — М.: Энергия, 1969.—296 с.
20. **Справочник** по электротехническим материалам/Под ред. Ю. В. Коричного, В. В. Пасынкова, Б. М. Тареева. — М.: Энергия, 1974.—584 с.

21. Герасимова Л. С., Майорец А. И. Обмотки и изоляция силовых масляных трансформаторов. — М.: Энергия, 1969.—360 с.
22. Дубатов Б. П. Производство трансформаторов мощностью до 630 кВт. (I и II габаритов). — М.: Энергия, 1976. — 412 с.
23. Лизунов С. Я. Сушка и дегазация изоляции трансформаторов высокого напряжения. — М.: Энергия, 1971.—128 с.
24. Герасимова Л. С., Дайнега И. А. Технология и оборудование производства трансформаторов. — М.: Энергия, 1972. — 264 с.
25. Технология производства асинхронных двигателей (специальные процессы)/Под ред. В. Г. Костромина. — М.: Энергия, 1981.
26. Яковлев А. Д., Здор В. Ф., Каплан В. И. Порошковые полимерные материалы и покрытия на их основе. — Л.: Химия, 1979.—254 с.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Автоклав 328
Автоматическая линия для балансировки 371
— — — обработки валов 114
— — — — роторов 114
Автоматический станок для резки и оконцевания проводов 218
Агрегат обезжиривания 123
Агрегатный станок для обработки корпусов 90
— — — — щитов 102
- Бандажная проволока 305
— стеклянная лента 306
Бандажные кольца 263
Бак трансформатора 78
Балансировка 365
Базы при обработке 90
Безопасная формовка 36
Бескаркасные катушки 310
Битум нефтяной 337
Броневой магнитопровод 381
- Вакуум-сушильный шкаф 446, 491
Вал с сердечником 91
Ведомость деталей к типовому технологическому процессу 22
— материалов 23
— оснастки 23
— расщеповки 23
Верр зубцов 181
Вертикально-намоточные станки 409, 431
Виды испытаний 376
— технологических документов 22
— — процессов 21
Винтовая обмотка 428
Вискозиметр 327
Витой пространственный магнитопровод 396
Вытяжной штамп 175
Внутренняя изоляция трансформатора 398
Вращающийся резец 108
Вспомогательный переход 7
— ход 7
Вторая сборка трансформатора 473
Втулка контактных колец 291
- Гидравлический этажерочный процесс 453
Гидростатическая прессовка 336
Гидрофицированные шаблоны 269
Горизонтально-намоточный станок 409, 429
Грузоподъемные приспособления 446
- Двойная головка катушки 296
Двухрядные катушки из шинной меди 312
Двухслойная концентрическая обмотка 224
Динамическая формовка 287
— балансировка 368
Дисковая обмотка 415
- Единая система технологической документации 21
— — — подготовки производства 21
Единичное производство 8
- Закладные ролики 278
Заливка роторов вибрационным способом 348
— — под высоким давлением 344
— — — низким давлением 346
— — статическим способом 348
— — центробежным способом 348
Запрессовочное кольцо 286
Заусенцы 385
- Изолировочная головка 272
Изолировочный станок 259, 271
Изоляционные коробки 276
Изоляция ВЭС 270
— монолит-2 275
— монолит-3 251
— слюдотерм 270
Индукционная плавка чугуна 38
Индукционный способ нагрева 333
Испытание обмоток якорей 340
Испытательная станция 379
- Кабельная бумага 403
Кантователь статоров 260, 264
— эскизов 23
Карта технологического процесса 22
Каркасные катушки 311

Катушка главного полюса со смешанной обмоткой 319
 — из прямоугольного провода 252
 — с корпусной изоляцией 257
 — якоря из круглого провода 295
 Качество 133
 Квалификационные испытания 496
 Кислородная резка металлов 53
 Классы точности неуравновешенности 365
 Ключи для гибки стержней 279
 Коллектор арочного типа 281
 — на пластмассе 281
 — с бандажными кольцами 281
 — щелевого типа 281
 Коллекторная изоляционная прокладка 283
 — манжета 284
 — медь 282
 — пластина 283
 Компаундирование 326
 Комплексная система управления качеством продукции 133
 Комплексно-механизированная испытательная станция 379
 Комплектовочная карта 23
 — установка испытания обмоток 340
 Конвейер для испытания трансформаторов 497
 — сборки трансформаторов 486
 Кондуктор для сверления 114
 Конические шаблоны 230
 Консольная оправка 286
 Контактные кольца консольного типа 291
 — на втулке 291
 Контроль штампованных листов 155
 Контрольный калибр 200
 Концентрическая обмотка 223
 — — вразвалку 223
 Копировальная линейка 112
 Корпус крупной электрической машины 71
 — статора гидрогенератора 71
 — турбогенератора 75
 — электрической машины постоянного тока 70
 Косоугольные пластины 387
 Коэффициент закрепления операций 8
 — унификации 25
 Крайний лист сердечника 188, 194
 Крючья 232

Лавсановая лента 254
 Ленточный магнитопровод 283
 Линия изготовления корпусов электрических машин и баков трансформаторов из рулонной стали 82
 — отжига и лакировка пластин 388

— поперечной резки электротехнической стали 60
 — продольной резки электротехнической стали 58
 — продольно-поперечного раскроя электрокартона 460
 — раскроя картона на круглые заготовки 463
 — — — полосовые заготовки 462
 — сборки статоров 374
 — электродвигателей 375
 — штамповки дистанционных прокладок 463
 Листогибочные вальцы 62
 — прессы 62
 Листоправильная машина 53
 Листоштамповочная установка 157
 Литейный чертеж отливки 35
 Литье изоляционных деталей 453
 — по выплавляемым моделям 41
 — под давлением цветных сплавов 39
 Лисовые части катушки 316

Магнитопровод 381
 Малостойкий картон 488
 Маршрутная карта 22
 Массовое производство 7
 Маятниковый улавливатель 178
 Медерезательный станок 268
 Мерительный инструмент 437
 Механизированная колонка 202
 Механизированный склад 131
 Милалента 269
 Многовитковая катушка якоря 296
 Многопозиционный последовательный штамп 152
 Многорядная штамповка 168
 Многошпindelный болтoверт 363
 Монтаж подшипников 358

Нажимные пальцы 194
 Наконечники для стержней 267
 Намоточный станок 247, 252, 321
 Натяжное устройство 433
 Непрерывная обмотка 417
 Ножевой штамп (просечка) 176
 Норма остаточной неуравновешенности 365

Обмоткодержатель 302
 Одновитковая катушка якоря 298
 Одно-двухслойная концентрическая обмотка 224
 Оправка для намотки обмотки 435
 — — сборки ротора 188
 — — статора 188
 Организационные формы сборки 353
 Основной технологический параметр унификации электрических машин 26

Остов ротора гидрогенератора 73
Отливка в металлический кокиль 37
— оболочковую форму 37
— облицованный кокиль 38
Оценка способов заливки роторов 349

Пазовые клинья 194
Пазовый короб 226, 241
— пресс 163
— пресс-автомат 164
— штамп 154
Первая сборка трансформатора 465
Переключающее устройство 477
Переносное приспособление 235
Переплетенная обмотка 427
Переточка штампа 155
Периодические испытания 496, 376
Печь для термообработки листов 186
Плазменно-дуговая резка металлов 53
Пластина магнитопровода 381
Плоскость исправления 366
Пневматический процесс для сборки якоря (ротора) 196
Подающее устройство при штамповке 158
Подготовка производства 27
Подшипниковый щит 101
Позиция 7
Полуавтомат для сборки сердечников ротора 193
— — — статора 193
Полуавтоматическая установка для заливки роторов 345
Поперечная резка 386
Поперечно-клиновья прокатка 45
Поточная линия сварки узлов трансформаторов 77
Пресс-автомат для штамповки накопечников 174
— с приводом от центральной шестерни 174
Пресс двойного действия 175
— типа «Бакинец» 160
— для заклиновки пазов 324
— — запрессовки сердечника 361
— — напрессовки подшипников 361
— — прессовки лодочки 254
Прессование горячего алюминия 47
— металлических порошков 48
— термопластичных пресс-материалов 51
— терморезистивных пресс-материалов 50
Прессовка изоляционных деталей 453
— обмотки 445
Прессовочные плашки 286

Пресс-форма для прессовки коллекторов 288
— — — корофов 323
— опрессования манжет 284
Прием 7
Приемные испытания 376
Приемо-сдаточные испытания 496, 376
Припой 215
— ПМФ 273
Припуск на механическую обработку 35
— — — обработку 89
Приспособление для гибки стержней 273
— — — заведения ротора в статор 362
— — — намотки стеклобандажа 394
— — — обкатки изоляции 301
— — — ориентирования листов статора и ротора 187
— — — прессовки и запечки катушек 317
— — — рихтовки катушек 317
— — — укладки обмотки турбогенератора 323
— — — формовки одновитковых катушек 299
Продольная резка 386
Продраживание коллектора 308
Производственный процесс 6
Пропитка в вакууме и под давлением 328
— — — погружением 327
— струйная 325
— трансформаторов 494
Проточка коллектора 308
Протяжка 197
Профиль меди 316

Рабочий ход 7
Равнокатушечная обмотка 223
Радиально-ковочная машина 44
Раздельная намотка 223
Разжимная оправка 111
Растяжной станок 255, 297
Робот 178, 117, 40
Ротор с глубоким пазом 356
— — — двойной клеткой 350

Сборка подшипниковых щитов 362
— соединений с натягом 356
Сборочное кольцо 285
Сборочный калибр 199
Свободная ковка 42
Серийное производство 8
Система покрытия 118
Слюдинитовая лента 270
Слюдопластовая лента 270
Совмещенный штамп для вырубки листов ротора 150
— — — — — статора 148

Способы сборки 352
— устранения неуравновешенности 370
Срок службы штампа 155
Станки для изолировки пазов 288
Станок для бандажирования лобовых частей 246
— — динамической балансировки 368
— — намотки катушек из меди на ребро 313
— — — обмоток якоря 294
— — — шинных катушек 313
— — продоразивания коллектора 308
— — резки рулонного изоляционного материала 221
— — совмещенной намотки 223
— — формования лобовых частей 243
— с числовым программным управлением 88, 117
Статическая балансировка 367
Стационарная машина для газовой и плазменной резки металла 57
Стенд-кантователь 391
Стержень ротора 273
— турбогенератора 266
Стрежневой магнитопровод 381
Ступенчатая гребенка 268
Стык пластин магнитопровода 383
Стяжка и отделка обмотки 438
Сушка обмотки 442
— трансформатора 489
Схема грузозахватов предприятия 127
— производства асинхронного двигателя 13
— — двигателя постоянного тока 15
— — трансформатора 18
Такт выпуска 7
Тара 128
Твердосплавный штамп 156
Тепловая сборка 357
Термопластичная изоляция 251
Технический уровень изделий 30
Технологическая инструкция 23
— операция 6
Технологические припуски и отливки 35
Технологический переход 6
— процесс 6
Технологичность конструкции 24
Типовые испытания 497, 376
Типы обмоток трансформатора 397
— роторных обмоток турбогенераторов 320
Транспонирование проводов 401, 423
Трансформаторное масло 495
Третья сборка трансформатора 479

Удельная материалоемкость 25
— технологическая себестоимость 25
— трудоемкость 25
Универсальная технологическая головка 319
Упрочение поверхностей 109
Уравнительная секция 302
Уровень механизированного труда 31
— производства предприятия 30
Установ 7
Установка для автоматического нанесения порошковой краски 123
— — автоматической сварки обечайки взрывобезопасного двигателя 69
— — пайки твердым припоем 216
— — пропитки в вакууме и под давлением 328
— — — роторов струйным методом 333
— — — в эпоксидных компаундах 335
— — полуавтоматической сварки роторов 351
— — прессовки лобовых частей 324
— — сварки круглых проводов 219
— — снятия заусенцев и изолировки листов 184
— — сушки трансформаторов 493
— — укладки стержней турбогенератора 277

Фигурный раскрой 172
Формовочный макет 255

Циклограмма работы автоклава 329
Цилиндрическая обмотка 411

Шаблон 252
— для намотки катушек полюсов 310
— — — с двойной головкой 297
— — — обмотки 435
— — опрессовки катушек 315
— — разгонки клиньев 203
Штамп для выгибания лобовых частей катушек 298
— — вырубки дистанционных прокладок 456
Штамповка по системе «Тандем» 162
— с отрицательными перемычками 169
Штыревая оправка 237

Эпоксидный компаунд 326
Электронизационный картон 403
Электронно-вычислительная машина 117, 131

Ярмовая балка 381
Ярмовые балки трансформаторов 81

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Раздел первый. ОРГАНИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА	
Глава первая. Понятие о технологическом процессе	6
1.1. Производственный и технологический процессы	6
1.2. Характеристика видов производства и методов работы	7
1.3. Характеристика и особенности технологии электромашиностроения	10
1.4. Технологическая последовательность операций при изготовлении электрических машин и трансформаторов	12
а) Технологическая последовательность операций при изготовлении асинхронных электродвигателей	12
б) Технологическая последовательность операций при изготовлении машин постоянного тока	15
в) Технологическая последовательность операций при изготовлении трансформаторов	18
Глава вторая. Технологическая документация и технологическая подготовка производства	21
2.1. Технологическая документация	21
2.2. Общие понятия о технологичности конструкции	23
2.3. Стандартизация, нормализация и унификация	25
2.4. Порядок разработки технологических процессов и подготовки производства	26
Глава третья. Перспективы совершенствования технологии и организации производства электрических машин и трансформаторов	29
3.1. Аттестация уровня производства на предприятиях	29
3.2. Перспективы совершенствования технологии и организации производства электрических машин и трансформаторов	31
Раздел второй. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И ТРАНСФОРМАТОРОВ	33
Глава четвертая. Литейное производство	33
4.1. Общие сведения	33
4.2. Технологические требования к отливке	34
4.3. Способы получения отливок	36
а) Технология изготовления отливок из черных металлов	36
б) Технология изготовления отливок из цветных сплавов	39
Глава пятая. Кузнечное производство и получение деталей прессовкой	41
5.1. Общие сведения	41
5.2. Свободная ковка	42
5.3. Ковка на радиально-ковочных машинах	43

5.4. Поперечно-клиновья прокатка	45
5.5. Горячая прессовка алюминиевых сплавов	47
5.6. Прессовка металлических порошков	48
5.7. Прессовка деталей из пресс-материалов	49
а) Виды деталей из пресс-материалов	49
б) Технология производства деталей из термореактивных пресс-материалов	50
в) Технология производства деталей из термопластичных пресс-материалов	51
Глава шестая. Раскройно-заготовительное производство	52
6.1. Технологические процессы раскроя листового и профильного проката	52
6.2. Автоматизация раскроя рулонной электротехнической стали	58
6.3. Гибка заготовок	62
Глава седьмая. Сварочное производство	64
7.1. Общие сведения	64
7.2. Сварные соединения	66
7.3. Сварка узлов машин постоянного и переменного тока	68
7.4. Сборка и сварка корпуса статора крупной электрической машины	71
7.5. Сборка и сварка основных узлов гидро- и турбогенераторов	71
а) Сборка и сварка узлов гидрогенератора	71
б) Сборка и сварка узлов турбогенератора	75
7.6. Сборка и сварка металлоконструкций трансформаторов	77
7.7. Изготовление корпусов электрических машин и баков трансформаторов из листовой стали	82
7.8. Техника безопасности при сварке	86
Глава восьмая. Механическая обработка деталей и узлов	87
8.1. Общие сведения	87
8.2. Припуск на обработку	89
8.3. Базы, их классификация и выбор	90
8.4. Обобщенные технологические схемы обработки корпуса машины с сердечником	92
8.5. Обобщенные технологические схемы обработки вала и вала с сердечником (ротора)	97
8.6. Обобщенные технологические схемы обработки подшипниковых щитов	101
8.7. Технологическая схема обработки деталей типа тел вращения	103
8.8. Механическая обработка деталей и узлов турбо- и гидрогенераторов	105
8.9. Обработка наружной поверхности ротора вращающимися резцами	107
8.10. Упрочняющая обработка валов и щитов подшипников	109
8.11. Оборудование и оснастка, применяемые при механической обработке	110
8.12. Техника безопасности	117
Глава девятая. Защитно-декоративные покрытия	118
9.1. Общие сведения	118
9.2. Подготовка поверхности к нанесению покрытий	118
9.3. Способы нанесения лакокрасочных покрытий	119
9.4. Сушка лакокрасочных покрытий	122
9.5. Покрытия из порошкообразных полимеров	122
9.6. Механизация и автоматизация окрасочных работ	123
9.7. Гальванические покрытия	125
9.8. Техника безопасности при окрасочных и гальванических работах	126
Глава десятая. Внутризаводские транспортные и складские работы	126
10.1. Задачи транспортных и складских работ	126

18.5. Технология изготовления коллекторов на пластмассе	288
18.6. Технология изготовления контактных колец	291
Глава девятнадцатая. Изготовление и укладка обмоток якорей	292
19.1. Общие сведения	292
19.2. Намотка якорей машинным способом	293
19.3. Изготовление обмоток якорей	295
а) Намотка катушки из круглого провода	295
б) Намотка катушки из прямоугольного провода	296
в) Изготовление одновитковых катушек	298
г) Изготовление стержней	300
19.4. Изолировка обмоток якоря	300
19.5. Изготовление уравнительных соединений	302
19.6. Укладка обмоток якоря	302
19.7. Бандажирование обмоток якорей и роторов	305
19.8. Отделка якоря	307
Глава двадцатая. Изготовление обмоток полюсов синхронных машин и машин постоянного тока. Изготовление и сборка обмоток возбуждения турбогенераторов	309
20.1. Общие сведения	309
20.2. Технология изготовления катушек полюсов из круглого провода	310
20.3. Изготовление катушек полюсов из шинной меди	312
а) Намотка катушек из шинной меди плашмя	312
б) Намотка катушек из шинной меди на ребро	313
20.4. Изготовление катушек полюсов гидрогенераторов	316
20.5. Изолировка катушек полюсов машин постоянного тока	318
20.6. Изготовление и укладка обмотки возбуждения турбогенераторов	320
Глава двадцать первая. Технология пропитки и компаундирования обмоток	325
21.1. Общие сведения	325
21.2. Пропитка обмоток способом погружения	327
21.3. Пропитка обмоток в вакууме и под давлением	328
21.4. Пропитка обмоток струйным способом	330
21.5. Пропитка обмоток в эпоксидных компаундах	333
21.6. Гидростатическая прессовка и запечка изоляции обмоток в автоклавах	336
21.7. Компаундирование обмоток в битумных компаундах	337
Глава двадцать вторая. Контроль и испытание обмоток	337
22.1. Общие сведения	337
22.2. Испытание обмоток с корпусной изоляцией	338
22.3. Испытания обмоток без корпусной изоляции	339
22.4. Испытания статорных обмоток из круглого провода в поточно-массовом и крупносерийном производстве	340
22.5. Испытание обмоток якорей и полюсов	340
22.6. Контроль технологических процессов пропитки и компаундирования	342
Глава двадцать третья. Изготовление короткозамкнутых обмоток роторов	343
23.1. Типы короткозамкнутых обмоток и характеристика технологического процесса их изготовления	343
23.2. Технология заливки роторов под высоким давлением	344
23.3. Технология заливки роторов под низким давлением	346
23.4. Технология заливки роторов статическим, вибрационным и центробежным способами	347
23.5. Оценка способов заливки роторов	349
23.6. Технология изготовления короткозамкнутых роторов с обмоткой из медных или латунных стержней	350
Глава двадцать четвертая. Технология сборки электрических машин	352

24.1.	Общие положения технологии сборки	352
24.2.	Сборка типовых соединений в электрических машинах	356
а)	Сборка соединений с натягом	356
б)	Сборка узла подшипника	358
в)	Запрессовка сердечника статора	361
г)	Заведение ротора в статор	362
д)	Сборка подшипниковых щитов и крышек подшипников	362
24.3.	Технология балансировки	365
а)	Нормы остаточных неуравновешенностей роторов	365
б)	Технология статической балансировки	367
в)	Технология динамической балансировки	368
г)	Способы устранения неуравновешенности	370
д)	Механизация балансировочных работ	371
24.4.	Технология сборки электрических машин в мелкосерийном производстве	371
24.5.	Технология сборки электрических машин при поточно-массовом производстве	374
Глава двадцать пятая.	Испытания электрических машин	376
25.1.	Общие вопросы	376
25.2.	Программа приемо-сдаточных испытаний электрических машин	376
25.3.	Общие методы испытаний	377
25.4.	Проверка установочно-присоединительных размеров	378
25.5.	Станции для испытания электрических машин и автоматизация процесса испытания	379
25.6.	Техника безопасности при испытаниях электрических машин	380
Раздел четвертый.	ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ТРАНСФОРМАТОРОВ	381
Глава двадцать шестая.	Производство магнитопроводов	381
26.1.	Устройство и конструкция магнитопроводов	381
26.2.	Технологические процессы производства магнитных систем	384
26.3.	Изготовление пластин магнитопроводов	385
26.4.	Сборка магнитопроводов	390
а)	Сборка плоских стержневых магнитопроводов	390
б)	Сборка пространственных магнитопроводов	396
Глава двадцать седьмая.	Обмоточно-изоляционное производство трансформаторов	397
27.1.	Обмотки и изоляция силовых трансформаторов	397
27.2.	Материалы, применяемые в изоляционно-обмоточном производстве и предъявляемые к ним требования	401
27.3.	Особенности технологии изготовления обмоток и изоляции силовых трансформаторов	404
27.4.	Технологические операции изготовления обмоток и изоляции	408
Глава двадцать восьмая.	Технология изготовления обмоток трансформаторов	408
28.1.	Общие сведения	408
28.2.	Технология намотки различных типов обмоток: цилиндрических, дисковых, непрерывных, переплетенных, винтовых	411
28.3.	Механизация намотки обмоток трансформатора	429
Глава двадцать девятая.	Технологическая обработка обмоток	438
29.1.	Стяжка, прессовка и отделка обмоток	438
29.2.	Сушка, пропитка, запечка обмоток	442
29.3.	Механизация технологических процессов	445
29.4.	Контроль качества и испытание обмоток	447
Глава тридцатая.	Производство изоляционных деталей трансформаторов	448
30.1.	Технологические процессы производства изоляционных деталей	448
а)	Общие сведения	448