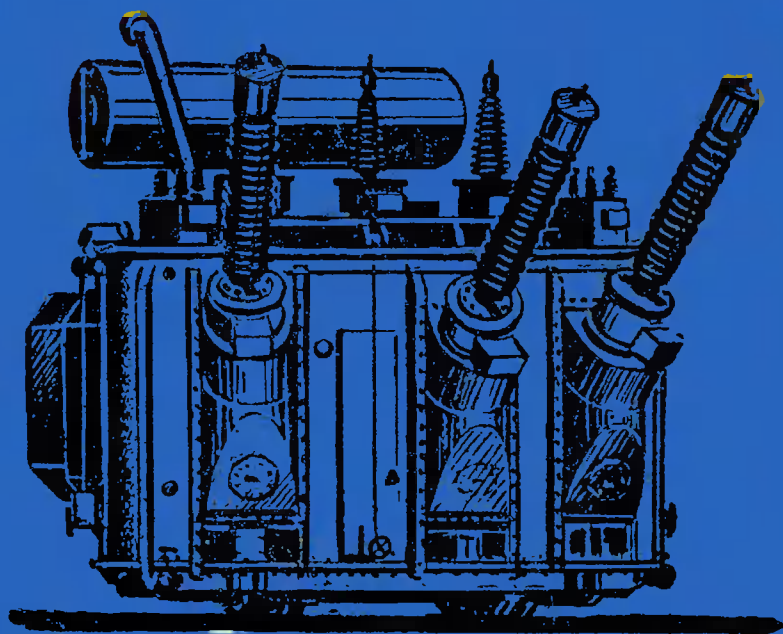


# ТРАНСФОРМАТОРЫ



П. Г. БУРМАН и А. Г. КРАЙЗ

## Производство МАГНИТОПРОВОДОВ ТРАНСФОРМАТОРОВ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

ТРАНСФОРМАТОРЫ

---

Выпуск 3

П. Г. БУРМАН и А. Г. КРАЙЗ

ПРОИЗВОДСТВО  
МАГНИТОПРОВОДОВ  
ТРАНСФОРМАТОРОВ

П36390



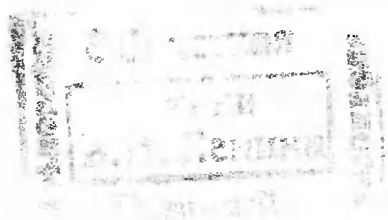
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МОСКВА 1959 ЛЕНИНГРАД

Серия «Трансформаторы»  
Под общей редакцией Б. Б. Гельперина  
и П. П. Скворцова

В книге дано описание устройства и конструкции магнитопроводов трансформаторов малой, средней и большой мощности, рассмотрены основные материалы, применяемые для их изготовления. Описана технология изготовления производства магнитопроводов трансформаторов по процессам: изолирование листов электротехнической стали (оклеивание бумагой и лакировка листов, покрытие стали массой на основе жидкого стекла); механическая обработка электротехнической стали (оборудование, инструмент, изготовление пластин трансформаторов 1—4-го габаритов); сборка магнитопроводов однофазных и трехфазных, мощных и сверхмощных трансформаторов.

Дано описание поточного метода производства пластин на Московском трансформаторном заводе имени В. В. Куйбышева и прогрессивной оснастки в цехе магнитопроводов.

Книга рассчитана на рабочих и инженерно-технических работников, занимающихся производством, ремонтом и эксплуатацией трансформаторов. Она может быть использована также учащимися техникумов и вузов при ознакомлении с производством трансформаторов.



Авторы: *Петр Георгиевич Бурман и Александр Григорьевич Крайз*

ПРОИЗВОДСТВО МАГНИТОПРОВОДОВ ТРАНСФОРМАТОРОВ

\* \* \*

Редактор В. И. Тимохина

Техн. редактор К. П. Воронин

Сдано в набор 21/VIII 1959  
Бумага 84 × 108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>  
Тираж 10 500 экз.

Подписано к печати 29/X 1959  
7,79 печ. л. + 1 вклейка  
цена 5 р. 55 к.

Т-12129  
9,1 уч.-изд. л.  
Заказ 433

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., д. 10

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая книга, посвященная производству магнитопроводов трансформаторов, входит в серию книг по трансформаторостроению, выпускаемую Госэнергоиздатом. Аналогичная серия была издана в 1933 г. За прошедшее с тех пор время советское трансформаторостроение шагнуло далеко вперед. В те годы Московский трансформаторный завод имени В. В. Куйбышева был единственным в стране специализированным предприятием по выпуску силовых трансформаторов. Теперь для нужд отечественной энергетики трансформаторы выпускает ряд заводов; в ближайшие годы их число увеличится.

В соответствии с общим развитием советского трансформаторостроения значительные изменения претерпели также конструкция и технология производства магнитопроводов трансформаторов.

Магнитопровод — один из основных узлов трансформатора. Проектирование трансформатора обычно начинают с выбора размеров магнитопровода, так как именно они в конечном итоге определяют расход активных материалов, характеристики, габариты трансформатора, его полный и транспортный веса, возможность перевозки по железной дороге и т. п.

От качества изготовления магнитопровода в значительной мере зависит надежность работы трансформатора в эксплуатации. Дефекты собранного магнитопровода не всегда могут быть обнаружены при нормальных заводских контрольных испытаниях. Природа этих дефектов такова, что они часто выявляются лишь после того, как трансформатор некоторое время находился в эксплуатации.

В связи с этим высокое качество изготовления магнитопроводов требует знания их конструкции, устройства, назначения и взаимодействия отдельных элементов, а также всех этапов технологического процесса.

В книге, написанной работниками Московского трансформаторного завода, кратко излагаются устройство маг-

нитопроводов и назначение отдельных элементов, а также описывается конструкция магнитопроводов отечественных силовых трансформаторов малой, средней и большой мощности, различных типов мелких трансформаторов, измерительных трансформаторов напряжения и реакторов на высокие напряжения.

Отдельная глава посвящена основным материалам, применяемым при изготовлении магнитопроводов.

Подробно рассмотрены технологический процесс изготовления магнитопроводов и его отдельные этапы — изолирование электротехнической стали, ее механическая обработка и сборка магнитопроводов. При этом авторы стремились к тому, чтобы учесть опыт всех отечественных трансформаторных заводов.

При изложении материала авторы ориентировались на наиболее прогрессивные методы производства, обеспечивающие высокую производительность труда при надлежащем качестве изделий.

Авторы приносят глубокую благодарность всем товарищам по работе, поделившимся своим опытом и тем самым способствовавшим написанию настоящей книги.

*Авторы*

## СО Д Е Р Ж А Н И Е

|                                                                                    |           |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Предисловие . . . . .                                                              | 3         |
| <b>Глава первая. Устройство магнитопровода . . . . .</b>                           | <b>7</b>  |
| 1. Назначение магнитопровода . . . . .                                             | 7         |
| 2. Устройство активной части магнитопровода . . . . .                              | 8         |
| 3. Типы магнитопроводов . . . . .                                                  | 13        |
| 4. Форма поперечного сечения стержней и ярм . . . . .                              | 27        |
| 5. Нагрев и охлаждение магнитопроводов . . . . .                                   | 29        |
| 6. Прессовка стержней . . . . .                                                    | 32        |
| 7. Прессовка ярм . . . . .                                                         | 36        |
| 8. Заземление магнитопровода . . . . .                                             | 42        |
| <b>Глава вторая. Конструкции магнитопроводов . . . . .</b>                         | <b>44</b> |
| 9. Общие сведения . . . . .                                                        | 44        |
| 10. Силовые трансформаторы малой и средней мощности . . . . .                      | 45        |
| 11. Мощные трансформаторы на высокие напряжения . . . . .                          | 47        |
| 12. Специальные силовые трансформаторы . . . . .                                   | 49        |
| 13. Реакторы . . . . .                                                             | 49        |
| 14. Измерительные трансформаторы напряжения и испытательные . . . . .              | 51        |
| 15. Сухие (безмасляные) силовые трансформаторы . . . . .                           | 52        |
| 16. Мелкие трансформаторы . . . . .                                                | 53        |
| <b>Глава третья. Основные материалы . . . . .</b>                                  | <b>53</b> |
| 17. Электротехническая сталь . . . . .                                             | 53        |
| 18. Оклеечная бумага . . . . .                                                     | 55        |
| 19. Лак для изоляции пластин стали . . . . .                                       | 56        |
| 20. Жидкое стекло . . . . .                                                        | 57        |
| 21. Прочие материалы . . . . .                                                     | 57        |
| <b>Глава четвертая . . . . .</b>                                                   | <b>58</b> |
| 22. Технологический процесс изготовления магнитопроводов. Общие сведения . . . . . | 58        |
| <b>Глава пятая. Изолирование электротехнической стали . . . . .</b>                | <b>61</b> |
| 23. Оклеивание стали бумагой . . . . .                                             | 62        |
| 24. Лакирование стали . . . . .                                                    | 65        |
| 25. Изолирование стали жидким стеклом . . . . .                                    | 70        |
| 26. Химические методы изолирования стали . . . . .                                 | 71        |

|                                                                                                    |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Глава шестая. Механическая обработка электротехнической стали . . . . .</b>                     | <b>74</b>  |
| 27. Особенности обработки электротехнической стали . . .                                           | 74         |
| 28. Оборудование для механической обработки стали . . .                                            | 75         |
| 29. Инструмент для механической обработки стали . . . .                                            | 77         |
| 30. Резка заготовок и пластин . . . . .                                                            | 87         |
| 31. Технологический процесс изготовления пластин мелких трансформаторов . . . . .                  | 89         |
| 32. Изготовление пластин магнитопроводов трансформаторов мощностью до 560 <i>кВа</i> . . . . .     | 89         |
| 33. Изготовление пластин магнитопроводов трансформаторов мощностью выше 1 000 <i>кВа</i> . . . . . | 98         |
| 34. Требования к пластинам магнитопровода . . . . .                                                | 107        |
| 35. Изготовление вспомогательных деталей (прессующих и изоляционных) . . . . .                     | 109        |
| 36. Отжиг пластин . . . . .                                                                        | 111        |
| <b>Глава седьмая. Сборка магнитопроводов . . . . .</b>                                             | <b>115</b> |
| 37. Сборка магнитопроводов малых трансформаторов мощностью до 5 <i>кВа</i> . . . . .               | 115        |
| 38. Изготовление намотанных магнитопроводов . . . . .                                              | 118        |
| 39. Сборка магнитопроводов силовых трансформаторов мощностью до 10 000 <i>кВа</i> . . . . .        | 122        |
| 40. Сборка магнитопроводов трансформаторов мощностью выше 10 000 <i>кВа</i> . . . . .              | 128        |
| 41. Сборка двухрамных (разрезных) магнитопроводов . . .                                            | 139        |
| 42. Сборка магнитопроводов для реакторов . . . . .                                                 | 142        |
| 43. Сборка магнитопроводов с радиальным расположением пластин . . . . .                            | 143        |
| 44. Вибрация и гудение магнитопроводов . . . . .                                                   | 147        |
| Приложение 1. Допуски на линейные размеры пластин . . .                                            | 149        |
| Приложение 2. Допускаемое отклонение продольных кромок от прямой линии . . . . .                   | 150        |
| Приложение 3. Допускаемое отклонение от прямого угла пластин <i>С</i> . . . . .                    | 150        |
| Приложение 4. Допуски на расположение пазов . . . . .                                              | 149        |
| Приложение 5. Допуски на толщины пакетов стержней . . .                                            | 150        |
| Приложение 6. Допуски на расположение отверстий для шпилек . . . . .                               | 151        |

## УСТРОЙСТВО МАГНИТОПРОВОДА

### 1. Назначение магнитопровода

Магнитопровод и обмотки являются основными элементами трансформатора, без которых невозможна его нормальная работа.

Каждая из обмоток представляет собой электрическую цепь, по которой протекает электрический ток. Магнитопровод<sup>1</sup> служит магнитной цепью, по которой замыкается переменный магнитный поток трансформатора, пронизывающий его обмотки. Магнитный поток можно представить в виде ряда магнитных силовых линий, заполняющих все поперечное сечение магнитопровода (рис. 1). В соответствии с этим магнитопровод является замкнутым контуром из магнитного материала, собираемым из отдельных пластин. Магнитопровод вместе с укрепленными на нем обмотками называют

выемной (активной) частью трансформатора.

Магнитопровод состоит из активной части, выполняющей основное назначение — проведение магнитного потока,

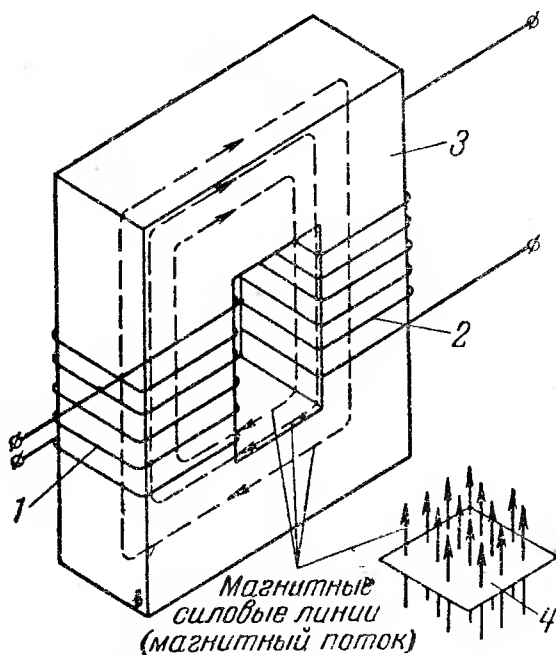


Рис. 1. Принципиальное устройство трансформатора.

1 и 2 — обмотки (электрические цепи); 3 — магнитопровод (магнитная цепь); 4 — поперечное сечение магнитопровода.

<sup>1</sup> Иногда его называют сердечником.

и вспомогательных неактивных частей — ярмовых балок (консолей), шпилек, изоляционных деталей и пр. В свою очередь у активной части магнитопровода различают *стержни*<sup>1</sup> — элементы контура, на которых устанавливаются и укрепляются обмотки, и *ярма* — элементы, служащие для образования замкнутого магнитного контура, на которых, как правило, обмотки не устанавливаются.

## 2. Устройство активной части магнитопровода

Одной из основных характеристик всякой электрической цепи, например обмотки, является ее *электрическое сопротивление*, т. е. сопротивление, оказываемое этой цепью протеканию по ней электрического тока. Аналогично этому существует понятие о *магнитном сопротивлении*, которым обладает магнитная цепь (магнитопровод), т. е. о сопротивлении, которое она оказывает замыкающемуся по ней магнитному потоку.

Магнитное сопротивление зависит от *длины цепи*, ее *поперечного сечения* и свойств материала, из которого она состоит, — его *магнитной проницаемости*<sup>2</sup>. Оно тем меньше, чем меньше длина и больше поперечное сечение цепи и чем выше магнитная проницаемость материала.

Магнитный поток создается *намагничивающим током*, протекающим по первичной обмотке трансформатора. Этот ток, хотя он и является неактивным, вызывает потери энергии в обмотке и линии электропередачи, от которой питается трансформатор. Такие потери имеют место не только при нагрузке трансформатора, но и в течение всего времени, когда он находится под напряжением. Для того чтобы при данном магнитном потоке и, следовательно, заданной плотности потока на единицу поперечного сечения (*магнитной индукции*)<sup>3</sup> уменьшить намагничивающий ток, необходимо сделать возможно меньшим магнитное сопротивление активной части магнитопровода. Для этого ее изготовляют из материала, обладающего высокой проницаемостью. Таким материалом является специальная *листровая электротехническая сталь*. Ее магнитная проницаемость в 1000 и более раз превышает проницаемость воздуха. Поэтому при одинаковых сечениях магнитное сопро-

---

<sup>1</sup> В некоторых случаях их неправильно называют «сердечниками».

<sup>2</sup> Эта величина аналогична удельной проводимости для проводников.

<sup>3</sup> Магнитная индукция измеряется в гауссах (гс).

тивление воздушного зазора шириной всего 1 мм такое же, как участка со сталью длиной в несколько тысяч миллиметров. Таким образом, тщательная сборка магнитопровода, обеспечивающая малые воздушные зазоры между листами стали, способствует уменьшению магнитного сопротивления и, следовательно, намагничивающего тока.

Намагничивающий ток, протекающий по первичной обмотке трансформатора, — переменный, обычно имеющий частоту 50 гц.

Поэтому создаваемый им магнитный поток также переменный: он изменяет направление 100 раз в секунду и непрерывно меняется по величине.

Изменения по величине и направлению магнитного потока, замыкающегося через магнитопровод, приводят к потерям энергии в самом магнитопроводе, выделяющейся в виде тепла и вызывающей нагревание магнитопровода. Природа этих потерь двояка: они складываются из *потерь от перемагничивания* и *потерь от вихревых токов*.

При периодическом возрастании магнитного потока сталь магнитопровода намагничивается. На это затрачивается некоторое количество потребляемой из сети энергии. При последующем уменьшении потока сталь размагничивается и затраченная энергия возвращается в сеть, но не полностью: часть энергии переходит в тепло. Затем магнитный поток изменяет направление, снова возрастает до максимума и вновь уменьшается до нуля. При этом сталь намагничивается в противоположном направлении и вновь размагничивается, в результате чего снова расходуется часть энергии, преобразующейся в тепло. Этот процесс повторяется 50 раз в секунду. Энергия, которая за этот промежуток времени «теряется» (переходит в тепло) в 1 кг стали, называется удельными потерями от перемагничивания. Она зависит от сорта (марки) стали.

Одновременно с этим в магнитопроводе происходит и другой процесс, также связанный с потерей энергии. При изменении магнитного потока в магнитопроводе по закону электромагнитной индукции наводятся вихревые токи, протекающие в плоскостях, перпендикулярных направлению потока. Протекание в теле магнитопровода вихревых токов связано с его нагреванием, т. е. с потерями энергии. Эти потери называют потерями от вихревых токов. Они зависят от удельного электрического сопротивления и толщины листов стали. Чем больше электрическое сопротивление, тем меньше потери от вихревых токов. Для увеличения

электрического сопротивления электротехнической стали при изготовлении в нее добавляют кремний, содержащийся в песке. Кроме того, для уменьшения этих потерь магнитопровод делают не массивным (рис. 2,а), а набирают из отдельных листов стали, изолированных друг от друга (рис. 2,б).

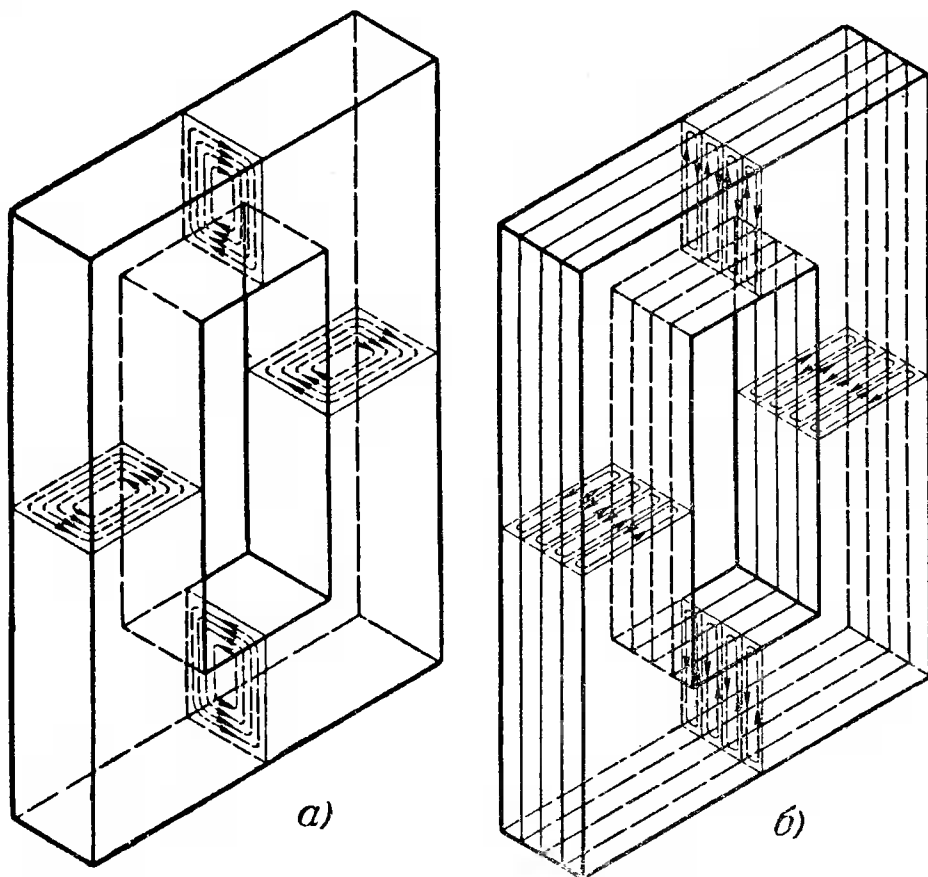


Рис. 2. Вихревые токи в магнитопроводе.  
а — магнитопровод сплошной; б — магнитопровод, собранный из листов.

В трансформаторостроении обычно применяют листы стали толщиной 0,5 и 0,35 мм. Большие толщины привели бы к чрезмерно большим потерям от вихревых токов. Так, если вместо листов толщиной 0,5 мм взять листы вдвое более толстые, т. е. толщиной 1 мм, то потери от вихревых токов возрастут в 4 раза; если толщину листов увеличить в 10 раз, т. е. применить листы толщиной 5 мм, то эти потери стали бы в 100 раз больше и т. д. В массивном же магнитопроводе (рис. 2,а) потери от вихревых токов оказались бы настолько большими, что магнитопровод расплавился бы от чрезмерного выделения тепла. Если же

изготовить магнитопровод из листов толщиной меньше 0,5 или 0,35 мм, то это хотя и уменьшит потери от вихревых токов, но приведет к увеличению числа листов, т. е. увеличит трудоемкость изготовления магнитопровода.

Если суммарные потери в магнитопроводе принять за 100%, то потери от перемагничивания при частоте 50 гц составляют примерно 80%, а потери от вихревых токов — около 20%.

Таким образом, основные требования к свойствам электротехнической стали сводятся к тому, чтобы она имела возможно *большую магнитную проницаемость* и возможно *меньшие удельные потери*<sup>1</sup>.

Свойства электротехнической стали зависят от ее химического состава и способа обработки на заводе-изготовителе. В трансформаторах применяют сталь, полученную горячей прокаткой — *горячекатаную* и холодной прокаткой, чередующейся с отжигом, — *холоднокатаную*. По сравнению с горячекатаной она имеет меньшие удельные потери, *большую магнитную проницаемость*, меньшие волнистость и хрупкость. Поэтому магнитопроводы из холоднокатаной стали имеют более высокий *коэффициент заполнения* сечения магнитопровода активной сталью, т. е. при том же геометрическом сечении стержня или ярма их активное сечение получается *большим*, чем при горячекатаной стали.

Лучшие электромагнитные характеристики холоднокатаной стали по сравнению с горячекатаной дают возможность применять более высокие магнитные индукции. Если в стержнях магнитопроводов из стали горячей прокатки допускают индукции порядка 14500 гс, то в магнитопроводах из холоднокатаной стали применяют индукции до 17000 гс.

Магнитные свойства как горячекатаной, так и холоднокатаной стали неодинаковы в разных направлениях. Если магнитный поток направлен вдоль прокатки, т. е. параллельно длинной стороне листа, то удельные потери ниже, а магнитная проницаемость выше, чем при направлении магнитного потока поперек листа или под каким-либо другим углом к его большой оси. Поэтому при резке пластин для магнитопроводов их всегда кроют так, чтобы направление магнитного потока в трансформаторе совпадало с направлением прокатки листа.

---

<sup>1</sup> Подробнее о свойствах и марках электротехнической стали см. гл. 3.

Разница в магнитных свойствах вдоль и поперек прокатки у холоднокатаной стали выражена значительно сильнее, чем у горячекатаной: поперек прокатки магнитная проницаемость при данной индукции в 10 и более раз ниже, а удельные потери в несколько раз больше, чем вдоль прокатки. Это заставляет в некоторых случаях применять для магнитопроводов, изготавливаемых из стали холодной прокатки, специальные схемы шихтовки и формы пластин (см. § 3).

При резке листов электротехнической стали на пластины заданных размеров, штамповке в них отверстий и т. п. магнитные свойства стали ухудшаются: растут удельные потери от перемагничивания и уменьшается магнитная проницаемость. Кроме того, сталь чувствительна к механическим сотрясениям и ударам. Поэтому с листами и пластинами электротехнической стали необходимо бережно обращаться: не бросать их, не ударять по ним сильно молотком, не перегибать и т. д.

Восстановить магнитные свойства стали после механической обработки можно *отжигом* ее при высокой температуре, обычно в атмосфере защитного газа.

Во избежание электрического замыкания соседних пластин магнитопровода, что равносильно увеличению толщины стали, их *покрывают изоляцией*: оклеивают одну сторону бумагой или с двух сторон покрывают лаком. Известны также другие способы изолирования листов: покрытие пленкой, изготовленной на основе жидкого стекла, или химическая обработка, в результате которой на поверхности листов образуется тонкий изолирующий слой из соединений железа с фосфором (фосфатирование) или кислородом (оксидирование). В мелких трансформаторах изоляцией может служить тонкий слой окалины на пластинах.

Наиболее распространенными способами изолирования пластин являются *оклейка бумагой* и *лакировка*. Второй способ дороже, но совершеннее, так как толщина лаковой пленки меньше толщины бумаги, благодаря чему большая доля сечения магнитопровода оказывается заполненной активной сталью, а доля, приходящаяся на изоляцию, получается меньшей. Лаковая изоляция лучше проводит тепло и выдерживает более высокую температуру, чем бумажная; она также механически прочнее, не сдирается и не отклеивается, как бумага. Кроме того, бумага впитывает влагу из воздуха, что также является ее недостатком.

Всякое нарушение изоляции или замыкание между пластинами магнитопровода как бы увеличивает их толщину и поэтому ведет к повышению потерь от вихревых токов.

Замыкание между пластинами может произойти также от заусенцев, остающихся после резки и штамповки стали. Поэтому технологический процесс должен предусматривать устранение тем или иным способом заусенцев перед сборкой магнитопровода.

Уменьшение активного сечения магнитопровода по отношению к расчетному влечет за собой увеличение потерь в стали. Это необходимо учитывать при сборке магнитопровода, обеспечивая количество пластин в пакетах и толщину пакетов в соответствии с чертежом. Переход от лаковой изоляции к бумажной также влечет за собой уменьшение активного сечения, и поэтому такой переход в каждом случае требует проверки расчетом.

Потери в стали возрастают при переходе для данного магнитопровода от стали толщиной 0,35 мм к стали толщиной 0,5 мм, так как в последней больше потери от вихревых токов. Поэтому всякое изменение толщины стали требует предварительной расчетной проверки.

Правильная и доброкачественная сборка магнитопровода и, в частности, его активной части имеет первостепенное значение для надежной, безаварийной работы трансформатора в эксплуатации.

### 3. Типы магнитопроводов

В трансформаторостроении существует большое разнообразие типов магнитопроводов в зависимости от назначения, характеристик, мощности, номинального напряжения и других данных трансформатора.

По конструкции все магнитопроводы делятся на два основных типа: *стержневой* и *броневой*.

Стержневой тип характеризуется тем, что ярма магнитопровода расположены только с торцов обмоток, стержни расположены вертикально, обмотки имеют цилиндрическую форму (рис. 3 и 4).

В броневой конструкции стержни и обмотки имеют прямоугольную форму, стержни обычно расположены горизонтально, ярма охватывают не только торцовые части обмоток, но и боковые, как бы «бронируя» их; отсюда название «броневой магнитопровод» (рис. 5 и 6).

Промежуточной конструкцией между стержневой и бро-

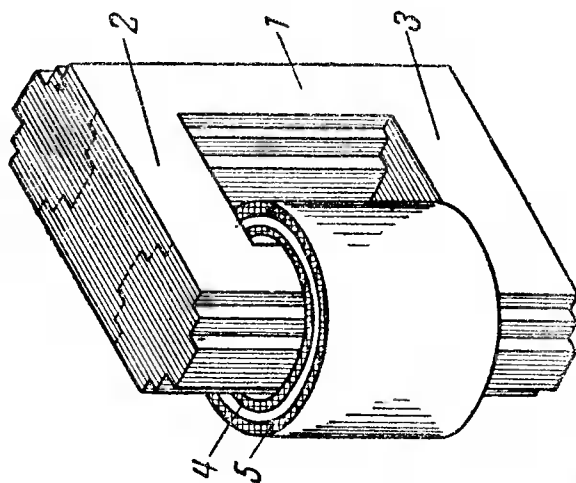


Рис. 3. Однофазный двух-  
стержневой трансформатор.  
Обмотки показаны только на  
одном стержне.

1 — стержень; 2 — верхнее  
ядро; 3 — нижнее ядро; 4 — обмотка НН;  
5 — обмотка ВН.

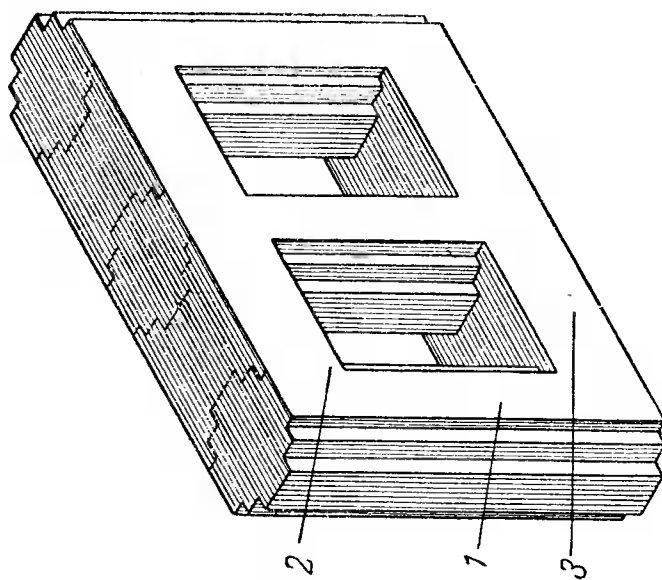


Рис. 4. Трехфазный трехстержневой  
магнитопровод.

1 — стержень; 2 — верхнее ядро; 3 — нижнее  
ядро.

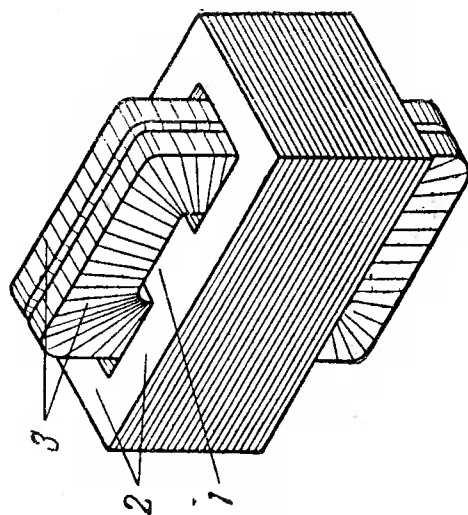


Рис. 5. Однофазный броневой  
трансформатор.

1 — стержень; 2 — ядро; 3 — обмотки.

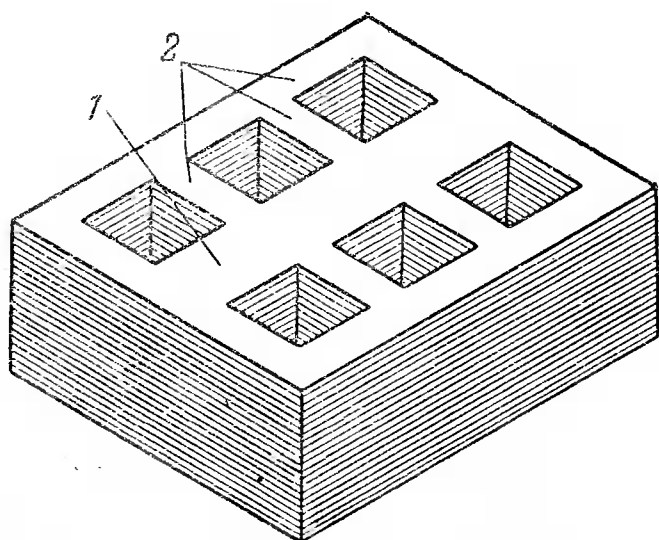


Рис. 6. Трехфазный броневой магнитопровод.  
1 — стержень; 2 — ярма.

невой является *бронь-стержневой* тип<sup>1</sup> (рис. 7 и 8). Он имеет вертикально расположенные стержни, на которых устанавливаются обмотки цилиндрической формы, так же как в стержневом трансформаторе; в то же время его ярма (верхние, нижние и боковые) образуют разветвленную магнитную цепь и охватывают обмотки не только с торцов, но и с боковых сторон, как в броневом трансформаторе.

Каждая из этих конструкций имеет свои достоинства и недостатки.

Броневой магнитопровод можно стягивать без шпилек, проходящих через отверстия в активной стали. Конструкция обмоток броневых трансформаторов благоприятна с точки зрения достижения большей грозоупорности; она облегчает вывод концов обмоток; броневой магнитопровод можно одновременно использовать для придания жесткости баку трансформатора. Бро-

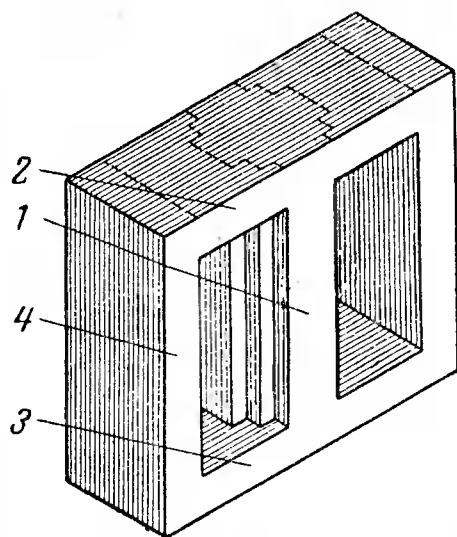


Рис. 7. Однофазный бронь-стержневой магнитопровод.  
1 — стержень; 2 — верхнее ярма; 3 — нижнее ярма; 4 — боковое ярма.

<sup>1</sup> Иногда его называют стержневым типом с разветвленной магнитной цепью.

невая конструкция позволяет в мощных трансформаторах обеспечить достаточно низкие потери в стали от магнитных потоков рассеяния.

Вместе с тем броневая конструкция более трудоемка, чем стержневая, особенно в отношении обмоток и их изоляции; кроме того, прямоугольные катушки обладают меньшей механической прочностью при коротких замыканиях, чем цилиндрические.

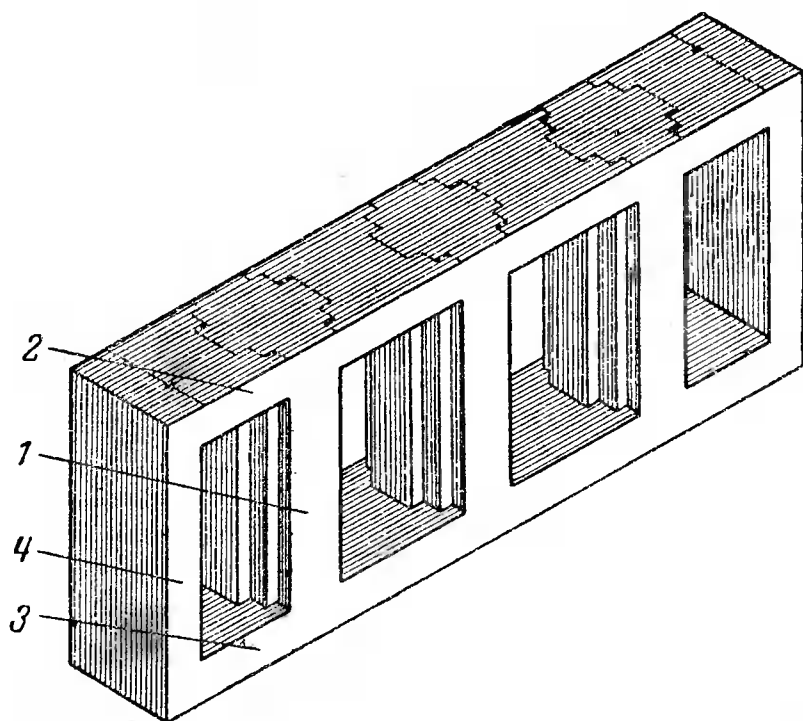


Рис. 8. Трехфазный броне-стержневой магнитопровод.  
1 — стержень; 2 — верхнее ярмо; 3 — нижнее ярмо; 4 — боковое ярмо.

Поэтому броневые трансформаторы средних и больших мощностей строят лишь отдельные зарубежные фирмы. В Советском Союзе броневая конструкция иногда применяется только для мелких трансформаторов: для местного освещения, освещения шахт, питания цепей автоблокировки и т. п. Основным же типом магнитопровода в нашем трансформаторостроении является стержневой.

Для того чтобы на стержни собранного магнитопровода насадить обмотки, необходимо предварительно удалить с него часть ярм. Конструктивно это может быть выполнено по-разному. В зависимости от способа сочленения стержней с ярмами магнитопроводы бывают *стыковыми* и *шихтованными*.

В стыковой конструкции (рис. 9 и 10) ярма собирают отдельно от стержней, затем приставляют их к последним (стыкуют) и стягивают шпильками.

В шихтованной конструкции ярма и стержни не являются самостоятельными элементами. Отдельные пластины стержней служат частями ярма. Пластины стержней и ярма «переплетаются», как это видно из *схем шихтовки* (рис. 11 и 12).

В некоторых случаях применяют «смешанную» *шихтованно-стыковую* конструкцию: нижнее ярмо шихтуют со стержнями, а верхнее может сниматься для насадки обмоток — стыкуется.

Преимущество стыковой конструкции магнитопровода перед шихтованной заключается в более простой насадке обмоток при сборке трансформатора на заводе, а также более простой смене обмоток при ремонте трансформатора.

Однако стыковая конструкция страдает рядом серьезных недостатков. При установке ярма его пластины, естественно, не могут точно совпадать с пластинами стержня, а будут смещены относительно них (рис. 13,а). При этом пластины ярма и стержня будут замыкаться, вследствие чего возникнут вихревые токи, которые могут привести к недопустимо высокому нагреву стали в местах стыка и увеличению потерь в трансформаторе.

Нагрев может быть настолько большим, что стальные пластины в этом месте сплавятся в сплошной кусок (так называемый «пожар» в стали) и трансформатор выйдет из строя.

Во избежание этого в стыке между ярмом и стержнем закладывают прокладку из изолирующего материала (рис. 13,б). Однако прокладка увеличивает магнитное сопротивление магнитопровода, что ведет к увеличению намагничивающего тока (см. § 2). В случае повреждения изоляционной прокладки замыкание пластин стержня и ярма может привести к аварии трансформатора.

В шихтованной конструкции также имеются зазоры

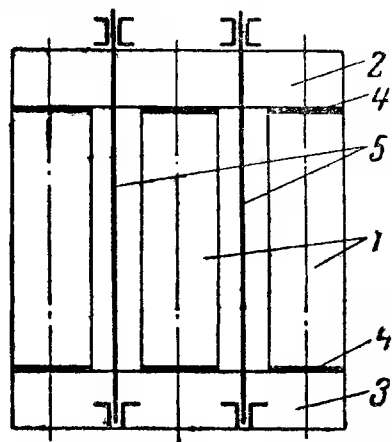


Рис. 9. Схема устройства стыкового магнитопровода.

1 — стержни; 2 — верхнее ярмо; 3 — нижнее ярмо; 4 — изолирующие прокладки в местах стыков; 5 — стяжные шпильки.

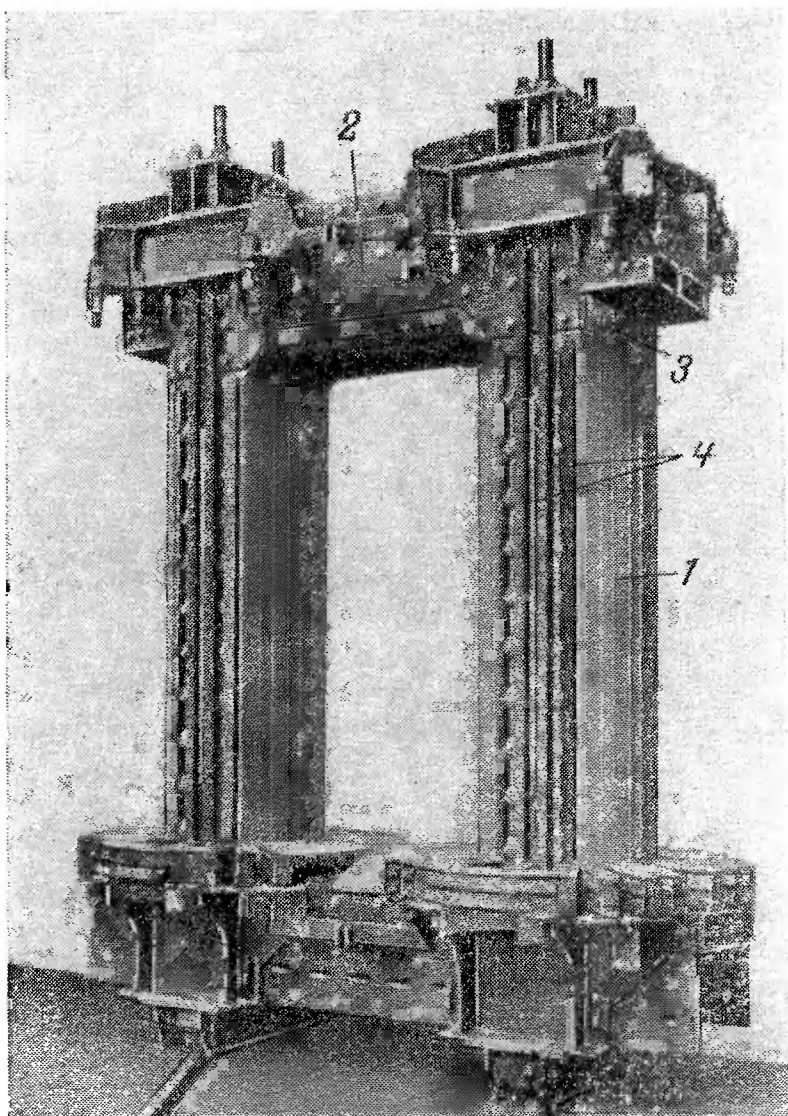


Рис. 10. Стыковой магнитопровод автотрансформатора 220 кВ мощностью 125 тыс. кВа.

1 — стержень; 2 — верхнее ядро; 3 — место стыка; 4 — стяжные шпильки.

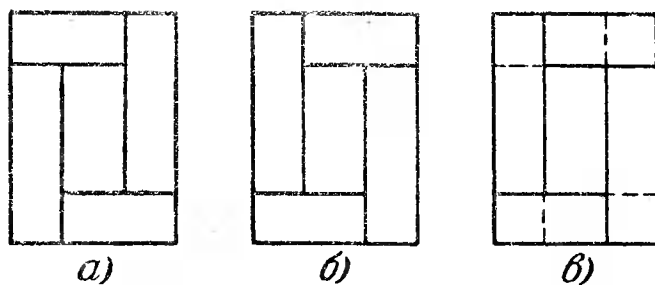


Рис. 11. Схема шихтовки однофазных двухстержневых магнитопроводов.

а — 1, 3, 5-й и т. д. слоев; б — 2, 4, 6-й и т. д. слоев; в — перекрытие стыков.

между пластинами стержня и ярма (рис. 14). Однако при тщательной сборке эти зазоры можно сделать очень малыми (десятые доли миллиметра); кроме того, часть силовых линий обходит зазоры, замыкаясь через расположенные рядом целые листы.

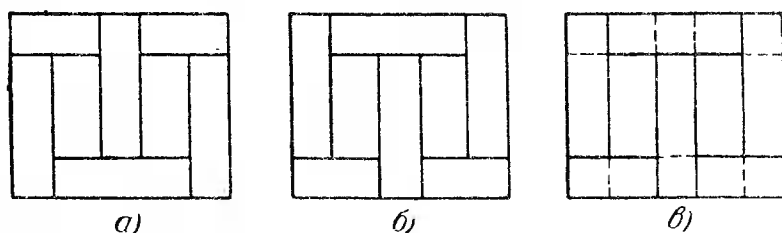


Рис. 12. Схема шихтовки трехфазных трехстержневых магнитопроводов.

*a* — 1, 3, 5-й п т. д. слои; *б* — 2, 4, 6-й п т. д. слои; *в* — покрытие стыков.

При изготовлении стыковых магнитопроводов необходимо специальное оборудование, например магнитные плиты для обеспечения ровных стыкуемых поверхностей ярм и стержней. Взамен него применяют иногда механическую

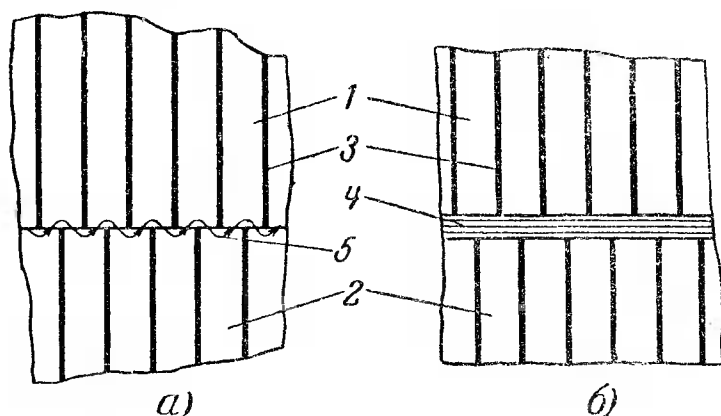


Рис. 13. Стыковое соединение ярма и стержня.

*a* — без изолирующей прокладки; *б* — с изолирующей прокладкой; 1 — пластины ярма; 2 — пластины стержня; 3 — изоляция пластин; 4 — изолирующая прокладка в стыке между ярмом и стержнем; 5 — путь замыкания вихревых токов.

обработку стыкуемых поверхностей заранее собранных стержней и ярм.

Из-за указанных недостатков стыковая конструкция применяется весьма редко. В отечественном transforma-

торостроении принята шихтованная конструкция магнитопроводов для трансформаторов всех мощностей. Она обеспечивает большую жесткость магнитопровода, требует меньшего количества крепежных деталей, более надежна в эксплуатации, менее трудоемка и в общем дешевле стыковой.

Магнитопровод шихтованной конструкции собирают из отдельных «слоев», каждый из которых состоит из ряда пластин, сочлененных определенным образом. Все нечетные слои имеют одно сочленение пластин, все четные — другое с таким расчетом, чтобы перекрывались стыки в соседних слоях (см. рис. 11 и 12).

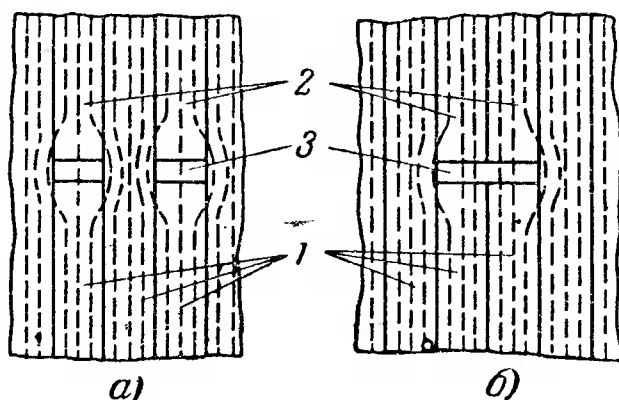


Рис. 14. Магнитные силовые линии вблизи мест сочленения пластин стержня и ярма шихтованного магнитопровода.

а — шихтовка в 1 лист; б — шихтовка в 2 листа;  
1 — пластины стержня; 2 — пластины ярма; 3 — зазор между пластинами.

Пунктиром показаны магнитные силовые линии.

При этом ярма и стержни образуют как бы одно целое. После изготовления магнитопровода необходимо для насадки обмоток на стержни «расшихтовать» верхнее ярмо, т. е. вынуть все листы ярма, а после насадки обмоток, т. е. после окончания первой сборки трансформатора<sup>1</sup>, вновь его зашихтовать.

Для ускорения сборки магнитопроводов, расшихтовки верхнего ярма перед насадкой обмоток и его повторной

<sup>1</sup> Более подробно этот вопрос будет освещен (в этой же серии) в книге В. Ш. Аншина и А. Г. Крайза «Сборка мощных трансформаторов» (готовится к печати).

зашихтовки применяют шихтовку слоями не в один, а в два, три или четыре изолированных листа. При этом схемы шихтовки остаются без изменения, но толщина каждого слоя возрастает до толщины соответственно двух, трех или четырех пластин. Однако необходимо иметь в виду, что увеличение толщины слоя приводит к возрастанию потерь и тока холостого хода трансформатора, так как увеличивается магнитное сопротивление силовым линиям, обходящим места стыков пластин, и, следовательно, большее число силовых линий замыкается через воздушные зазоры между пластинами стержня и ярма. Это видно из сравнения рис. 14,а и б.

В мощных трансформаторах размеры магнитопроводов становятся настолько большими, что отдельные позиции пластин, определяемые схемами шихтовки на рис. 11 и 12, имеют длину, большую длины стандартного листа стали; каждую позицию приходится составлять из двух или трех пластин. При этом схема шихтовки не изменяется, но возрастает общее количество шихтованных стыков в слое, а значит, и магнитное сопротивление цепи и намагничивающий ток трансформатора.

Дополнительные шихтованные стыки при конструировании магнитопровода располагают так, чтобы по возможности использовалась полная длина листов стали (например, 1500 мм) и в соседних слоях эти стыки в достаточной степени перекрывали друг друга.

Обоим этим требованиям удовлетворяет расположение дополнительных шихтованных стыков в стержнях по рис. 15,а и б. Однако особенности технологии сборки мощных магнитопроводов (подробнее см. гл. 7) дополнительно требуют, чтобы более длинная пластина данной позиции «заходила» в ярмо. Таким образом, из двух вариантов расположения дополнительных шихтованных стыков, показанных на рис. 15, правильным является изо-

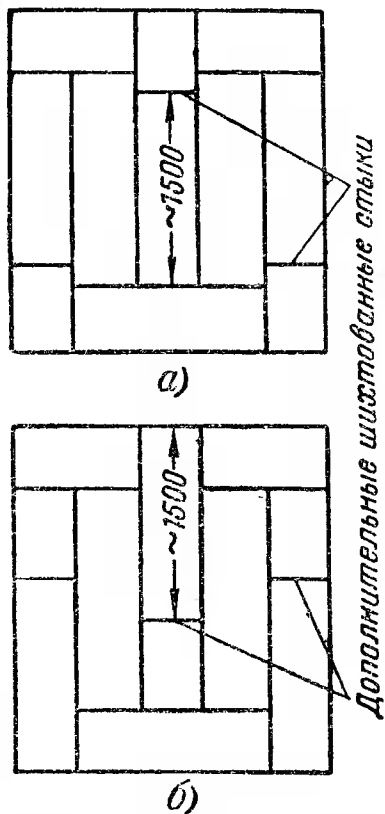


Рис. 15. Расположение дополнительных стыков в стержнях трехфазного магнитопровода.

а — неправильное; б — правильное.

браженный на рис. 15,б. Расположения дополнительных шихтованных стыков согласно рис. 15,а следует избегать, так как оно затрудняет сборку магнитопроводов.

По числу рам различают *одно-* и *многорамные* магнитопроводы. В многорамных конструкциях отдельные рамы

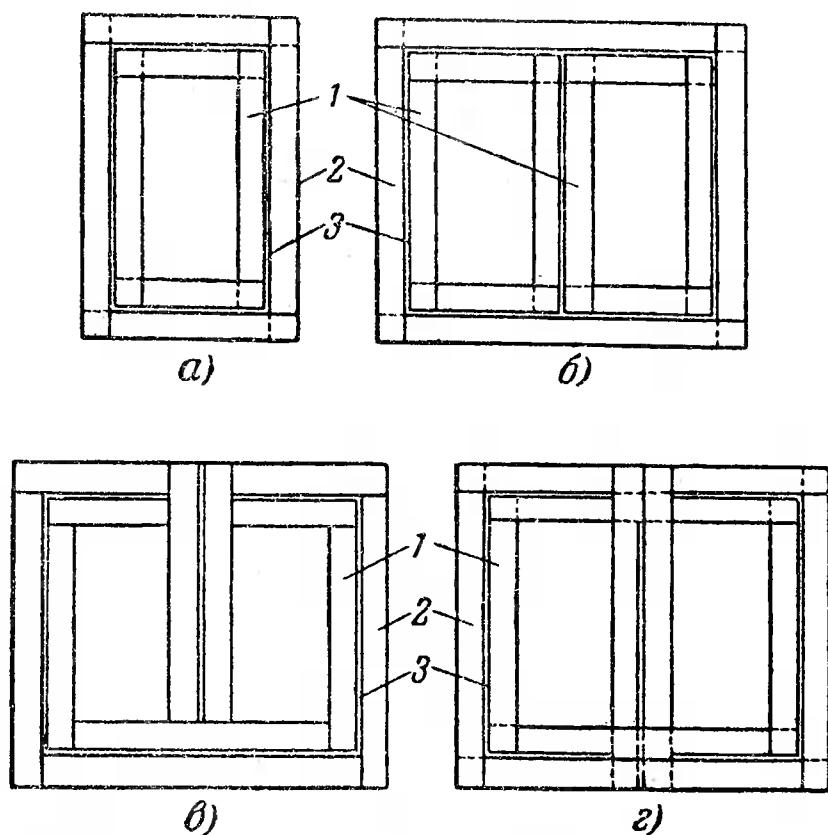


Рис. 16. Многорамные магнитопроводы (рамы расположены одна в другой).

*а* — однофазный двухрамный; *б* — трехфазный трехрамный без магнитной связи между рамами; *в* — трехфазный трехрамный с половинной магнитной связью между рамами; *г* — трехфазный трехрамный с полной магнитной связью между рамами; 1 — внутренняя рама; 2 — наружная рама; 3 — канал между рамами.

могут быть расположены одна внутри другой (рис. 16) или же рядом (рис. 17).

Необходимость разделения магнитопроводов на отдельные рамы объясняется следующим образом. В магнитопроводах мощных трансформаторов ширина пластин получается настолько большой, что расшихтовка и особенно зашихтовка верхнего ярма в процессе сборки трансфор-

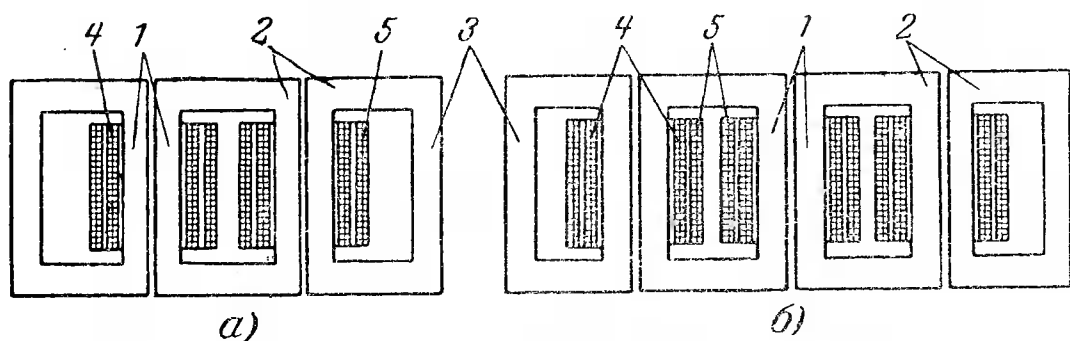


Рис. 17. Многорамные магнитопроводы (рамы расположены рядом). *а* — однофазный трехрамный; *б*. — однофазный четырехрамный; 1 — стержень; 2 — горизонтальное ярмо; 3 — вертикальное (боковое) ярмо; 4 — обмотка НН; 5 — обмотка ВН.

матора становятся трудными. Вследствие этого снижается качество сборки: получаются увеличенные зазоры между пластинами ярма и стержня, образуется «гребенка» из пластин ярма и может быть повреждена изоляция пластин. Если же магнитопровод сделать многорамным, как показано на рис. 16, *а*—*г*, то ширина пластин ярма уменьшается вдвое.

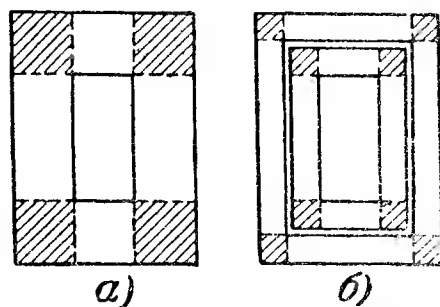


Рис. 18. «Углы» в магнитопроводе (заштрихованы), где направление магнитных силовых линий не совпадает с направлением прокатки листов стали.

*а* — однорамный магнитопровод;  
*б* — двухрамный.

Разделение магнитопровода на отдельные рамы имеет еще одно преимущество, связанное с неодинаковыми свойствами электротехнической стали вдоль и поперек прокатки. На рис. 18 показаны схемы однофазного однорамного (рис. 18, *а*) и двухрамного (рис. 18, *б*) магнитопроводов. На этом рисунке заштрихованы «углы», в пределах которых

магнитные силовые линии отклоняются от направления прокатки листов. Из сравнения рис. 18,а и б видно, что при одних и тех же размерах магнитопровода выполнение его двухрамным позволяет в 2 раза уменьшить площадь этих «углов» и тем самым снизить потери и ток холостого хода трансформатора.

Влияние «углов» приобретает особенно большое значение у магнитопроводов из холоднокатаной стали, так как у последней разница в магнитных свойствах вдоль и попе-

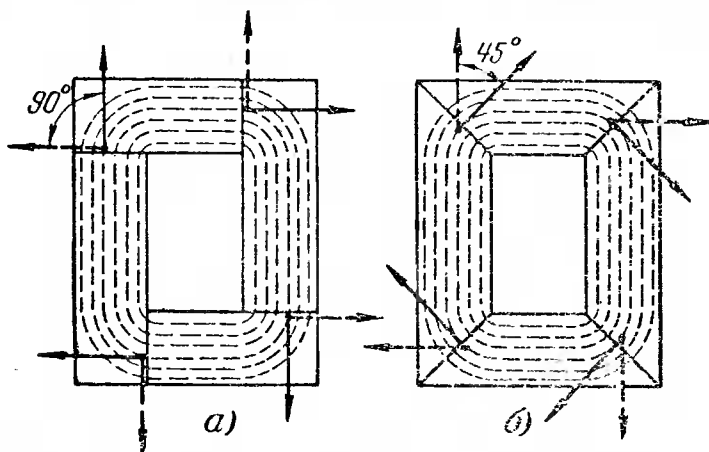


Рис. 19. Наибольший угол между направлением прокатки листов стали (пунктирные стрелки) и направлением магнитного поля (сплошные стрелки).

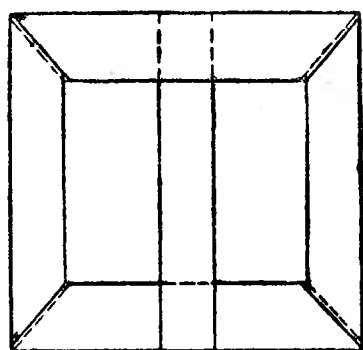
а — конструкция с прямыми стыками пластин; б — конструкция с «косыми» стыками пластин.

рек прокатки особенно велика. На рис. 19,а видно, что при «*прямых*» стыках между пластинами ярма и стержня угол между направлениями магнитного поля (магнитных силовых линий) и прокатки в некоторых местах «углов» достигает 60 и 90°. Это означает, что здесь магнитное поле направлено под углом 60° или поперек прокатки, что неблагоприятно сказывается на характеристиках холостого хода трансформатора. В других местах «углов», хотя этот угол и отличается от указанных значений, все же нет совпадения между направлениями магнитного поля и прокатки.

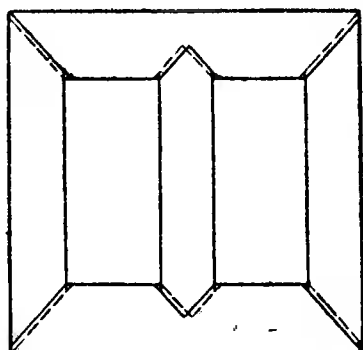
Положение значительно улучшается, если магнитопровод выполнить не с прямыми, а с «*косыми*» стыками (рис. 19,б); тогда наибольший угол между направлениями магнитных силовых линий и прокатки нигде не превышает 45°, благодаря чему существенно снижаются потери и ток холостого хода трансформатора по сравнению с конструкцией с прямыми стыками.

На рис. 20, *а* и *б* показаны разные исполнения трех-  
стержневых магнитопроводов с «косыми» стыками.

Вместе с тем «косые» стыки усложняют и удорожают  
резку и штамповку пластин, а также сборку магнитопро-  
вода, делая эти операции более трудоемкими в производ-  
стве. Поэтому в отечественном трансформаторостроении



*а)*



*б)*

Рис. 20. Применение «косых» сты-  
ков в трехфазных магнитопрово-  
дах.

*а*—комбинированная конструкция с «пря-  
мыми» и «косыми» стыками; *б* — кон-  
струкция со всеми «косыми» стыками.

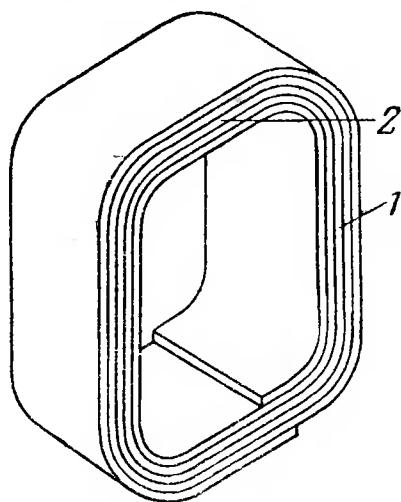


Рис. 21. Устройство «намотанно-  
го» магнитопровода.  
1 — стержень; 2 — ярмо.

магнитопроводы с «косыми»  
стыками пока не получили  
широкого распространения.  
Их целесообразнее приме-  
нять для силовых трансфор-  
маторов малых и средних  
мощностей, у которых вред-  
ное влияние «углов» в маг-  
нитопроводах сказывается  
сильнее, чем у мощных.

Применение косых стыков все же не обеспечивает пол-  
ного совпадения силовых линий по всей длине с направле-  
нием прокатки стали, как это видно на рис. 19, *б*. Эта за-  
дача практически полностью решается только применением  
«намотанных» магнитопроводов (рис. 21). Такие магнито-  
проводы собирают не из пластин, а наматывают из непре-  
рывной ленты электротехнической стали до получения не-  
обходимого поперечного сечения. Однако особенности этой  
конструкции магнитопроводов делают ее пригодной лишь  
для малых трансформаторов с обмотками сравнительно

небольших размеров. Некоторые заграничные фирмы выпускают с такими магнитопроводами трансформаторы мощностью в несколько тысяч киловольт-ампер.

Из числа специальных необходимо упомянуть и конструкцию магнитопровода с *радиальной сборкой пластин*. На рис. 22 показан однофазный одностержневой магнитопровод такой конструкции. Стержни 1 образуют пластины

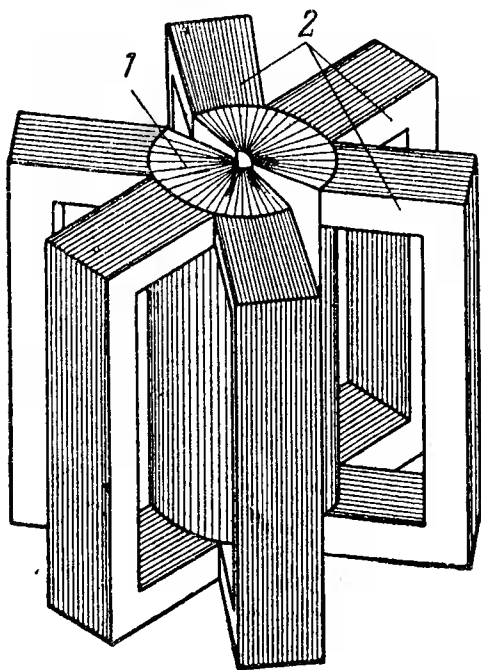


Рис. 22. Устройство магнитопровода с радиальной сборкой пластин.

1 — стержень; 2 — П-образные ярма.

стали, расположенные не параллельно, как обычно, а радиально. По окружности стержня к нему приставлены и укреплены П-образные ярма 2 (на рис. 22—шесть) с параллельным расположением пластин. В середине стержня находится вертикальный канал круглого поперечного сечения для охлаждения магнитопровода. В двух местах по окружности расстояния между ярмами увеличены за счет не заполненных сталью секторов в стержне. Благодаря этому освобождается место для размещения вводов высокого напряжения и вывода концов внутренних обмоток.

Основное достоинство такой конструкции—уменьшение общей высоты магнитопровода благодаря большому количеству ярм, что особенно существенно для сверхмощных трансформаторов. Кроме того, эта конструкция приводит к уменьшению добавочных потерь от вихревых токов. Однако эти преимущества достигаются ценой значительного усложнения конструкции по сравнению с обычной.

Магнитопроводы с радиальным расположением пластин употребляются также в отечественных конструкциях мощных реакторов на сверхвысокие напряжения.

Для большинства типов мелких трансформаторов применяют магнитопроводы с обычным (параллельным) расположением пластин, которые, однако, по своей форме от-

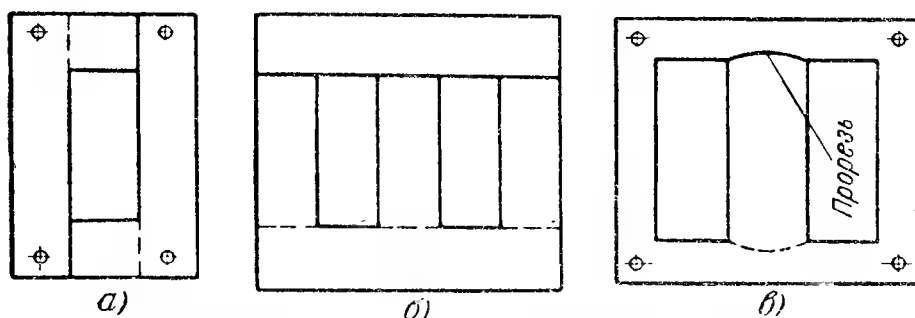


Рис. 23. Магнитопроводы мелких трансформаторов.

а — Г-образные пластины; б — Ш- и I-образные пластины; в — пластина с прорезью.

личаются от магнитопроводов силовых трансформаторов, показанных на рис. 11 и 12. Магнитопровод набирают из Г-образных пластин (рис. 23,а), из Ш-образных в сочетании с I-образными (рис. 23,б) или пластин с прорезью (рис. 23,в), позволяющей отогнуть среднюю пластину для насадки на обмотку.

#### 4. Форма поперечного сечения стержней и ярм

Конструкция магнитопровода определяет и форму поперечного сечения его стержней. В броневом трансформаторе сечение стержня прямоугольное; в соответствии с этим и обмотки имеют прямоугольную форму. В стержневых трансформаторах обмотки цилиндрической формы, и поэтому форма поперечного сечения стержней должна приближаться к кругу.

Однако выполнение стержня с круглым сечением потребовало бы очень большого количества различных размеров пластин, что сильно усложнило бы их резку и штамповку отверстий, а также сборку магнитопровода. В связи с этим магнитопроводы с круглым сечением стержней выпускают сравнительно редко (см. рис. 10).

В отечественном трансформаторостроении принята *ступенчатая форма* сечения стержней, причем число ступеней растет с 4 при диаметре стержня менее 100 мм до 10 при диаметре 1 000 мм. На рис. 24 показаны примеры сечений стержней с большим и малым числом ступеней. Количество ступеней стержня определяет число его «*пакетов*», т. е. набора пластин одинаковой ширины.

Отношение площади ступенчатой фигуры (иначе геометрического сечения стержня) к площади круга, описанного вокруг этой фигуры, называют *коэффициентом ис-*

пользования площади круга. Этот коэффициент растет с увеличением числа ступеней, но одновременно увеличивается и трудоемкость изготовления магнитопровода.

При данном диаметре стержня, т. е. диаметре окружности, описанной вокруг ступенчатой фигуры поперечного сечения стержня, повышение коэффициента использования (числа ступеней) позволяет увеличить сечение стержня. С другой стороны, при данном сечении более высокий коэффициент использования позволяет уменьшить диаметр стержня и обмоток и, таким образом, вес обмоточной меди.

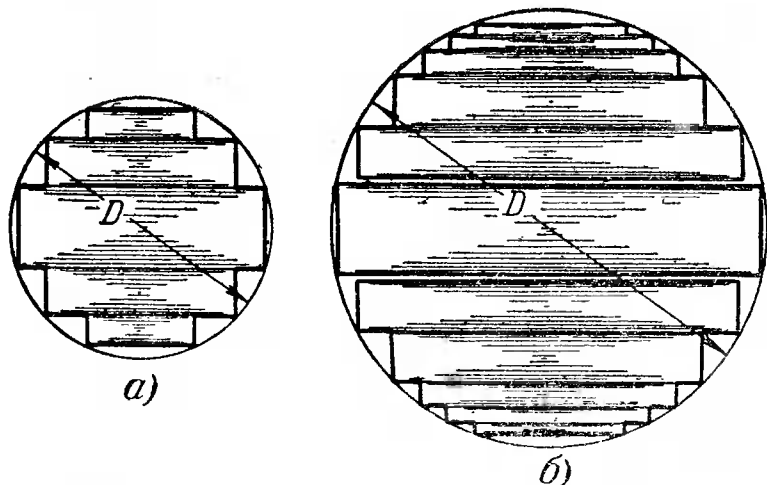


Рис. 2. Поперечное сечение стержня.

*a* — трансформатор малой мощности; *б* — трансформатор большой мощности; *D* — диаметр стержня.

Кроме этих соображений, на выбор числа ступеней влияют: необходимость размещения крепежных деталей для прессовки стержня и крепления обмоток, нормализованные ширины пластин, укладываемые целое число раз в стандартной ширине листа, отгибание краев пластин («веер»), наличие охлаждающих каналов (см. § 5) и др.

Необходимо иметь в виду, что *активное сечение* стержня, т. е. сечение стали, меньше площади ступенчатой фигуры (меньше геометрического сечения), так как часть площади занимает межлистовая изоляция. Отношение сечения стали к площади ступенчатой фигуры называют *коэффициентом заполнения стали*. При толщине пластин 0,5 мм этот коэффициент равен 0,93 при лаковой и 0,875 при бумажной изоляции.

Форма поперечного сечения ярма не связана с формой обмоток, и поэтому нет необходимости по этой причине приближать сечение ярма к кругу.

Для того чтобы магнитный поток распределялся по сечению ярма так же, как в стержне, ярмо должно было бы иметь столько же ступеней, сколько стержень. Однако это значительно усложняло бы производство и затрудняло бы прессовку ярма.

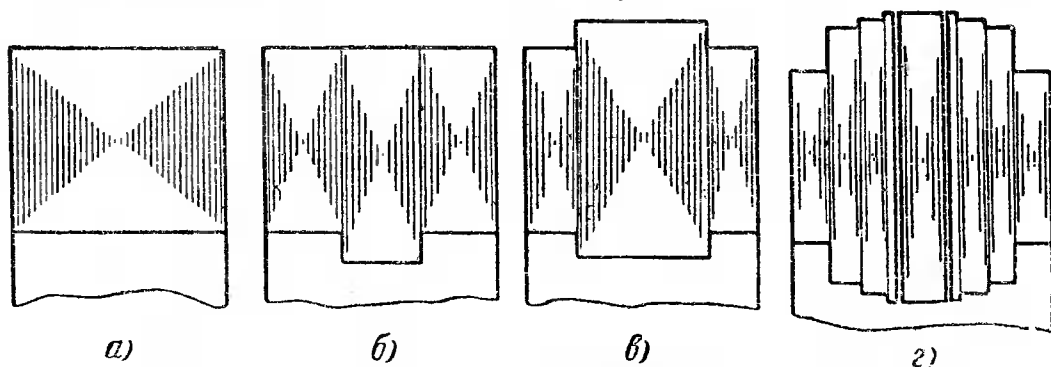


Рис. 25. Поперечное сечение ярма.

*а* — прямоугольное; *б* — Т-образное; *в* — крестообразное; *г* — многоступенчатое.

Поэтому ярма обычно делают либо без ступеней, т. е. прямоугольного сечения (рис. 25,*а*), либо малоступенчатыми — Т-образными и крестообразными (рис. 25,*б* и *в*). Лишь в трансформаторах больших мощностей, в особенности при применении холоднокатаной стали, ярма выполняют многоступенчатыми (рис. 25,*г*).

## 5. Нагрев и охлаждение магнитопроводов

В § 2 говорилось о том, что при работе трансформатора в стальных пластинах магнитопровода имеют место потери энергии от перемагничивания и вихревых токов. Однако это, конечно, не означает, что она вообще «теряется». В действительности происходит следующее: часть электрической энергии, подводимой к трансформатору, преобразуется в магнитопроводе в тепло, которое обычно не используется; эту энергию и называют «потерями».

Тепло, выделяющееся во всем объеме активной части магнитопровода, вызывает его нагрев. Для того чтобы не допустить превышения нагрева сверх установленных норм, магнитопровод необходимо охлаждать. В масляных трансформаторах магнитопровод и другие части охлаждаются циркулирующим маслом: тепло от магнитопровода передается маслу, а от масла через стенку и крышку бака, охлаждающие трубы и радиаторы — окружающему воздуху.

Чрезмерный нагрев магнитопровода опасен не для самих листов стали, а для их изоляции, которая при слишком высокой температуре может потерять изолирующие свойства, что было бы равносильно замыканию листов. Высокая температура магнитопровода опасна также для соприкасающегося с ним трансформаторного масла, так как оно может окисляться и разлагаться с выделением твердых веществ (шлама), осаждающихся на внутренних частях трансформатора, например обмотках, и ухудшающих их охлаждение. Исходя из этого, на поверхности магнитопровода допускается температура не выше  $110^{\circ}\text{C}$ . При этом во внутренних его частях температура будет, конечно, выше. Лаковая изоляция пластин может длительно выдерживать более высокую температуру, чем бумажная.

Охлаждение магнитопровода трансформатора небольшой мощности достигается через наружную поверхность его ярм и стержней. Однако с увеличением размеров магнитопровода условия охлаждения ухудшаются. В самом деле, если все размеры магнитопровода (высоту, длину, ширину) увеличить, например, в 2 раза, то его объем, а следовательно, и потери увеличатся в 8 раз, в то время как поверхность охлаждения возрастет всего лишь в 4 раза, т. е. соотношение между объемом и охлаждающей поверхностью стало в 2 раза меньше.

Поэтому в магнитопроводах мощных трансформаторов приходится для увеличения поверхности охлаждения предусматривать специальные каналы, по которым циркулирует масло. Каналы могут быть *продольными*, т. е. совпадающими с плоскостью пластин, и *поперечными* — перпендикулярными листам стали (рис. 26).

С точки зрения охлаждения продольные каналы менее эффективны, чем поперечные, так как тепло на пути от внутренних частей сечения к стенкам продольного канала должно пройти через ряд слоев межлистовой изоляции, теплопроводность которой значительно ниже, чем стали. В то же время к поперечному каналу тепло направляется вдоль листов стали, обладающей высокой теплопроводностью.

Здесь необходимо отметить еще одно существенное преимущество лаковой изоляции перед бумажной, заключающееся в большей теплопроводности. Поэтому число продольных масляных каналов в магнитопроводе с лаковой изоляцией можно сделать меньшим, чем в магнитопроводах с бумажной изоляцией, и, таким образом, получить боль-

шее поперечное сечение при том же диаметре стержня.

В отечественных конструкциях магнитопроводов мощных трансформаторов широко применяют продольные масляные каналы 1 (рис. 26), более простые в конструктивном отношении. Эти каналы обычно образуют пластинами стали, к которым приварены точечной сваркой стальные прутки круглого или квадратного сечения. При этом ширина канала получается равной толщине прутка. Известны так-

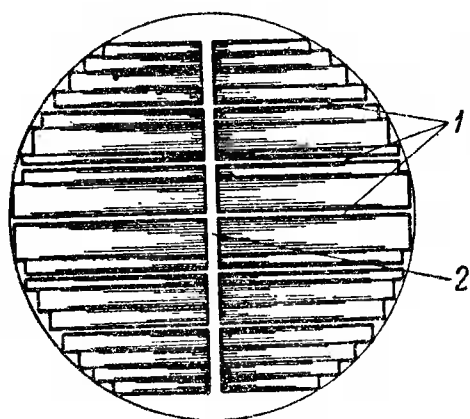


Рис. 26. Продольные и поперечные масляные каналы в стержне магнитопровода.

1 — продольные каналы; 2 — поперечный канал.

же конструкции с прутками из изоляционного материала, а также с выдавками в стальных пластинах вместо прутков.

На рис. 27 показано расположение прокладок, образующих продольные каналы в однофазных и трехфазных трехстержневых магнитопроводах. В ярмах прутки приварены вертикально, а в стержнях—с наклоном  $45^\circ$ . Вертикальное расположение прутков в стержнях менее целесообразно, так как при этом маслу приходилось бы проходить в канале большой путь снизу до самого верха магнитопровода, что снизило бы эффективность охлаждения.

В многорамных магнитопроводах между рамами образуется поперечный масляный канал 2 (рис. 26). Как продольные, так и поперечные каналы в ярмах и стержнях делают в одних и тех же местах по сечению с тем, чтобы каналы в ярме являлись продолжением их в стержне.

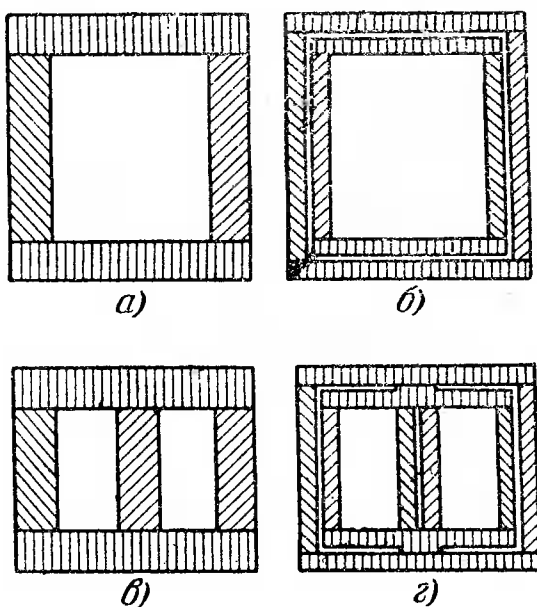


Рис. 27. Раскрой пластин и расположение прутков, образующие охлаждающие каналы в магнитопроводах: а — в однофазном однорамном; б — в однофазном двухрамном; в — в трехфазном однорамном; г — в трехфазном многорамном.

Для увеличения поверхности охлаждения в мощных трансформаторах между ярмовыми балками<sup>1</sup> и ярмом предусматривают масляный канал, образуемый вертикально расположенными прокладками из электрокартона (см. § 7).

При работе трансформатора нагревается не только активная часть магнитопровода (активная сталь), но и все остальные металлические детали от магнитных потоков рассеяния. Поэтому конструкция магнитопровода должна обеспечивать и их достаточное охлаждение.

## 6. Прессовка стержней

Готовый магнитопровод должен обладать достаточной жесткостью для того, чтобы его можно было после сборки поднять из горизонтального положения в вертикальное, чтобы он выдерживал усилия при подъеме выемной части трансформатора и коротких замыканиях. Кроме того, должна быть обеспечена удобная насадка обмоток в процессе сборки трансформатора. При работе трансформатора не должно быть чрезмерного гудения или дребезжания из-за вибрации отдельных пластин.

Поэтому при сборке магнитопровода или трансформатора пластины стержней должны быть спрессованы и скреплены как бы в одно целое.

Это может быть осуществлено различными способами. В трансформаторах небольших мощностей при диаметрах примерно до 250 мм стержни прессуют деревянными планками, вбиваемыми при сборке выемной части трансформатора между цилиндром внутренней обмотки и стержнем магнитопровода. Эти планки расклинивают стержни относительно обмоток и спрессовывают их. Для того чтобы после расшихтовки верхнего ярма пластины стержней не распушились, что сделало бы невозможной насадку обмоток, пластины каждого стержня временно связывают, используя отверстия в пластинах для ярмовых шпилек.

Для магнитопроводов более мощных трансформаторов с диаметром стержней более 250 мм применяют прессовку стержней *прессующими шпильками*.

В однорамных магнитопроводах шпильки располагают в один или два ряда, в двухрамных в два или четыре ряда в зависимости от диаметра магнитопровода (рис. 28).

В многорамных магнитопроводах отдельные рамы прессуют и крепят расположенными с обеих сторон стержня

---

<sup>1</sup> По заводской терминологии — консолями.

стальными накладками (рис. 29). Основные накладки выполняют с четырьмя отверстиями под четыре шпильки (рис. 30), вспомогательные — под две. Для увеличения жесткости накладки в ней выдавливаются ребра жесткости (рис. 30).

В однорамных магнитопроводах с двумя рядами шпилек их также располагают попарно на одном уровне (рис. 28,б).

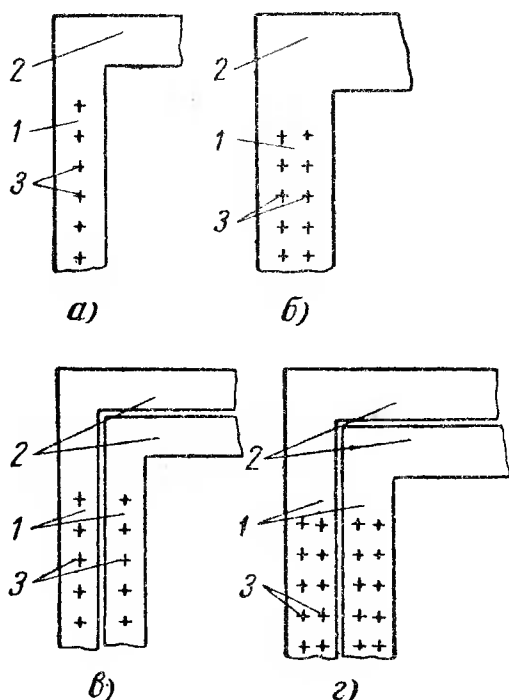


Рис. 28. Расположение прессующих шпилек в стержнях магнитопроводов.

Магнитопровод: а — однорамный с одним рядом шпилек; б — однорамный с двумя рядами шпилек; в — двухрамный с двумя рядами шпилек; г — двухрамный с четырьмя рядами шпилек.

1 — стержень; 2 — ярмо; 3 — прессующие шпильки.

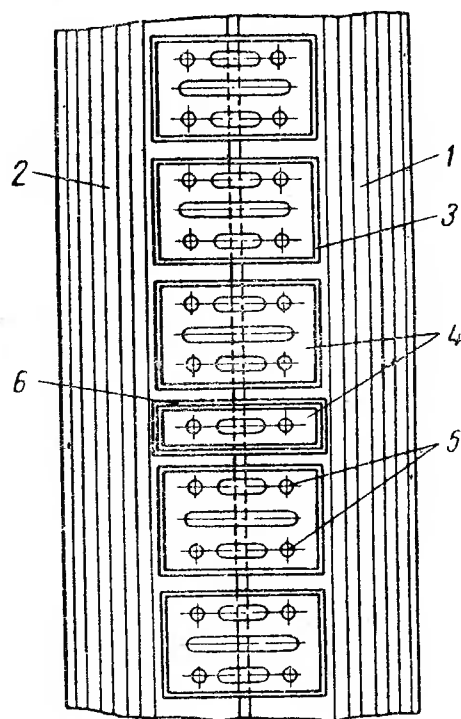


Рис. 29. Прессовка стержня двухрамного магнитопровода.

1 — стержень 1-й рамы; 2 — стержень 2-й рамы; 3 — пластины из электрокартона; 4 — стальные пластины (накладки), связывающие рамы; 5 — прессующие шпильки; 6 — пластина из электротехнической стали, соединяющая рамы 1 и 2.

От ранее применявшегося шахматного расположения теперь отказались, так как оно усложняет штамповку отверстий в пластинах (см. гл. 6). Шпильки вставляют в отверстия, выштампованные в пластинах; затем пластины стягивают гайками, по одной с каждой стороны шпильки (рис. 31). Во избежание отвертывания гаек концы шпилек закернивают. Для более равномерной передачи давления от гаек на пластины под каждую гайку подкладывают стальную шайбу 3 (рис. 32,а), которую изолируют от крайней пластины маг-

нигтопровода шайбой 5 из электрокартона большого диаметра. Изолирующая шайба 4, внутренний диаметр которой меньше диаметра шайбы 5, служит для предотвращения случайных замыканий между стальной шайбой 3 и

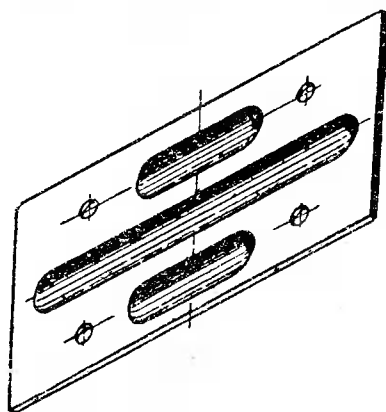


Рис. 30. Стальная накладка для связи рам двухрамных магнитопроводов.

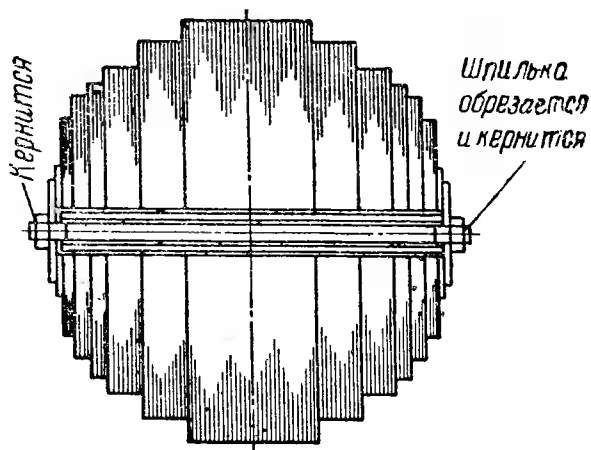


Рис. 31. Прессовка стержня шпильками.

крайней пластиной активной стали 7. Изоляция стальных шайб от стали магнитопровода необходима во избежание чрезмерного нагрева током деталей прессовки стержня, которые могут образовать короткозамкнутый виток, сцеплен-

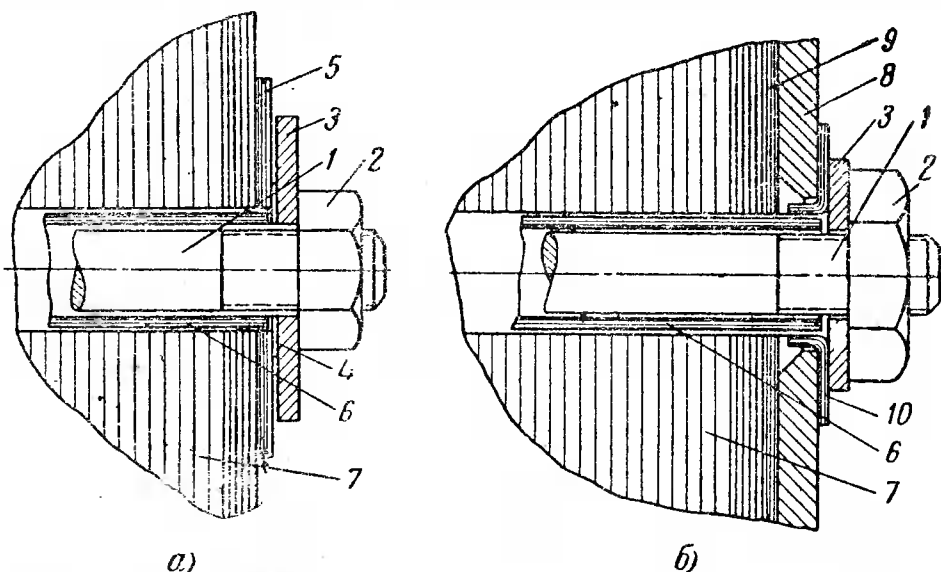


Рис. 32. Детали прессовки стержня.

а — без угловой шайбы (однорамный магнитопровод); б — с угловой шайбой (двухрамный магнитопровод); 1 — стальная прессующая шпилька; 2 — гайка; 3 — стальная шайба; 4 — тонкая шайба из электрокартона; 5 — шайба из электрокартона; 6 — бумажно-бакелитовая трубка; 7 — активная сталь стержня; 8 — стальная накладка (см. рис. 29, 4 и рис. 30); 9 — пластина из электрокартона (см. рис. 29, 3); 10 — изолирующая угловая шайба (см. рис. 33).

ный с магнитным потоком. Особенно опасным может оказаться нарушение этой изоляции при двух- и четырехрядном расположении прессующих шпилек.

При наличии стальных накладок (в двухрамных магнитопроводах) их изолируют от магнитопровода прямоугольными пластинами из электрокартона (рис. 29, 3).

Большое значение имеет надежная изоляция самой прессующей шпильки от пластин магнитопровода. При отсутствии такой изоляции шпилька может замкнуть ряд пластин и привести в этом месте к резкому увеличению потерь от вихревых токов, а следовательно, к большому нагреву и даже «пожару» в стали. Известны случаи, когда отсутствие изоляции на отдельных прессующих шпильках вызывало аварии мощных трансформаторов в эксплуатации.

Шпильки изолируют, обертывая их электрокартоном или бакелизированной бумагой (с последующим запеканием) или же надевая на шпильку бумажно-бакелитовую трубку (рис. 32). Конструкция, показанная на рис. 32,а, не исключает возможности касания шпилькой крайних пластин магнитопровода, например если толщина магнитопровода окажется несколько больше расчетной. Более совершенной является конструкция на рис. 32,б: угловая шайба 10 обеспечивает надежную изоляцию шпильки даже в тех случаях, когда по какой-либо причине толщина магнитопровода оказалась бы больше длины трубки 6. На рис. 33 показана угловая шайба из бакелизированной бумаги, служащая для изоляции прессующих шпилек стержня.

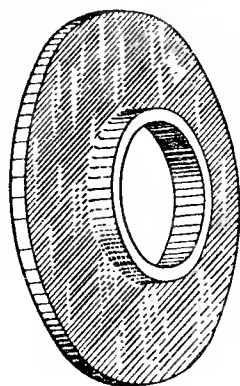


Рис. 33. Угловая шайба (бакелизированная бумага) для изоляции прессующих шпилек (см. рис. 32,10).

Недостаток прессовки стержней шпильками заключается в том, что из-за отверстий в пластинах магнитопровода в этих местах уменьшается сечение стали, т. е. увеличивается магнитная индукция, а следовательно, ток и потери холостого хода.

Во избежание этого некоторые заграничные фирмы вместо прессовки шпильками применяют склеивание пластин магнитопровода. При этом собранный магнитопровод, кроме верхнего ярма, окунают в ванну с клеящим лаком

малой вязкости. Лак проникает в зазоры между пластинами и при последующем запекании прочно склеивает их.

Ввиду того что этот метод значительно усложняет технологический процесс, он на отечественных трансформаторных заводах не применяется.

## 7. Прессовка ярм

На стержни магнитопровода насаживают обмотки, ввиду чего к конструкции прессовки стержней предъявляется требование возможно меньших размеров в радиальном направлении с тем, чтобы наиболее полно использовать площадь внутри обмоток для активной стали; поэтому выступ гаек берут меньшим, чем обычно.

Ярма магнитопровода, как правило, свободны от обмоток, и поэтому к их прессующей конструкции обычно не предъявляют столь жестких требований в отношении уменьшения размеров.

Ярма прессуют *ярмовыми балками*, располагаемыми с обеих сторон верхнего и нижнего ярм и стягиваемыми тем или иным способом.

Однако роль ярмовых балок этим не ограничивается. Кроме прессовки пластин ярма, они одновременно используются в качестве опор для обмоток, для крепления на них отводов и подъема активной части трансформатора.

При протекании тока по обмоткам трансформатора на них действуют *механические усилия*, радиальные и осевые. Радиальные усилия стремятся сжать внутреннюю обмотку и разорвать наружную. Эти усилия воспринимаются самим обмоточным проводом. Осевые усилия сжимают в осевом направлении одну из обмоток; они воспринимаются обмоточным проводом и прокладками, расположенными по окружности между катушками или витками. В другой обмотке они направлены от середины к краям, т. е. стремятся сместить верхнюю половину обмотки вверх, а нижнюю — вниз. Через концевую изоляцию эти усилия передаются на ярмовые балки (рис. 34).

При номинальных токах механические усилия в обмотках сравнительно невелики, но при коротких замыканиях

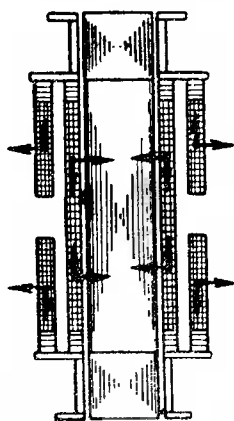


Рис. 34. Механические усилия в обмотках трансформатора — радиальные и осевые.

они возрастают в 100 и более раз. В мощных и особенно трехобмоточных трансформаторах осевые усилия могут достигать значений 100 т и более.

Конструкция магнитопровода должна предусматривать возможность его подъема, а также выемной части, т. е. магнитопровода вместе с насаженными на него обмотками, установленными отводами, переключателями и другими деталями. Для этого также используются ярмовые балки.

В трансформаторах малых и средних мощностей (примерно до 1 800 ква) ярмовые балки обычно выполняют из швеллерной стали (рис. 35,а), при больших мощностях — сварными из листовой стали (рис. 35, б и в).

В полках ярмовых балок, обращенных к обмоткам, делают уширения, чтобы создать площади опоры для обмоток (рис. 35,а и в). В конструкции трансформаторов без прессующих колец формы полок верхних и нижних ярмовых балок, обращенных к обмоткам, одинаковы. В этом случае верхняя ярмовая балка выглядит примерно так же, как нижняя (рис. 35,в). Если же применяется конструкция с прессующими кольцами, то нет необходимости уширять нижнюю полку верхней балки, так как опора для обмоток создается стальными кольцами, и тогда в нижней полке верхней ярмовой балки делают отверстия 5 (рис. 35,б) для размещения *нажимных шпилек*. В эти отверстия вставляют стальные втулки, в которые ввертывают нажимные шпильки (рис. 36).

На верхних ярмовых балках делают устройство для зачаливания магнитопровода при его подъеме краном, например в виде *подъемной планки* (7 на рис. 35) с отверстием.

По концам ярмовых балок делают «технологические» отверстия 6 (рис. 35,б), используемые при сборке трансформатора для временной стяжки ярмовых балок после зашихтовки верхнего ярма<sup>1</sup>.

Ярмовые балки стягивают шпильками, проходящими через отверстия в пластинах ярма, или *брусьями*, вставляемыми в вырезы по краям ярм. На рис. 37 схематично показаны различные случаи расположения ярмовых шпилек и брусьев в однофазных и трехфазных, однорамных и многорамных магнитопроводах. Увеличение количества ярмовых шпилек в новых конструкциях мощных трансформато-

---

<sup>1</sup> Более подробно см. (в этой же серии) книгу В. Ш. Аншина и А. Г. Крайза, Сборка мощных трансформаторов, Госэнергоиздат (готовится к печати).

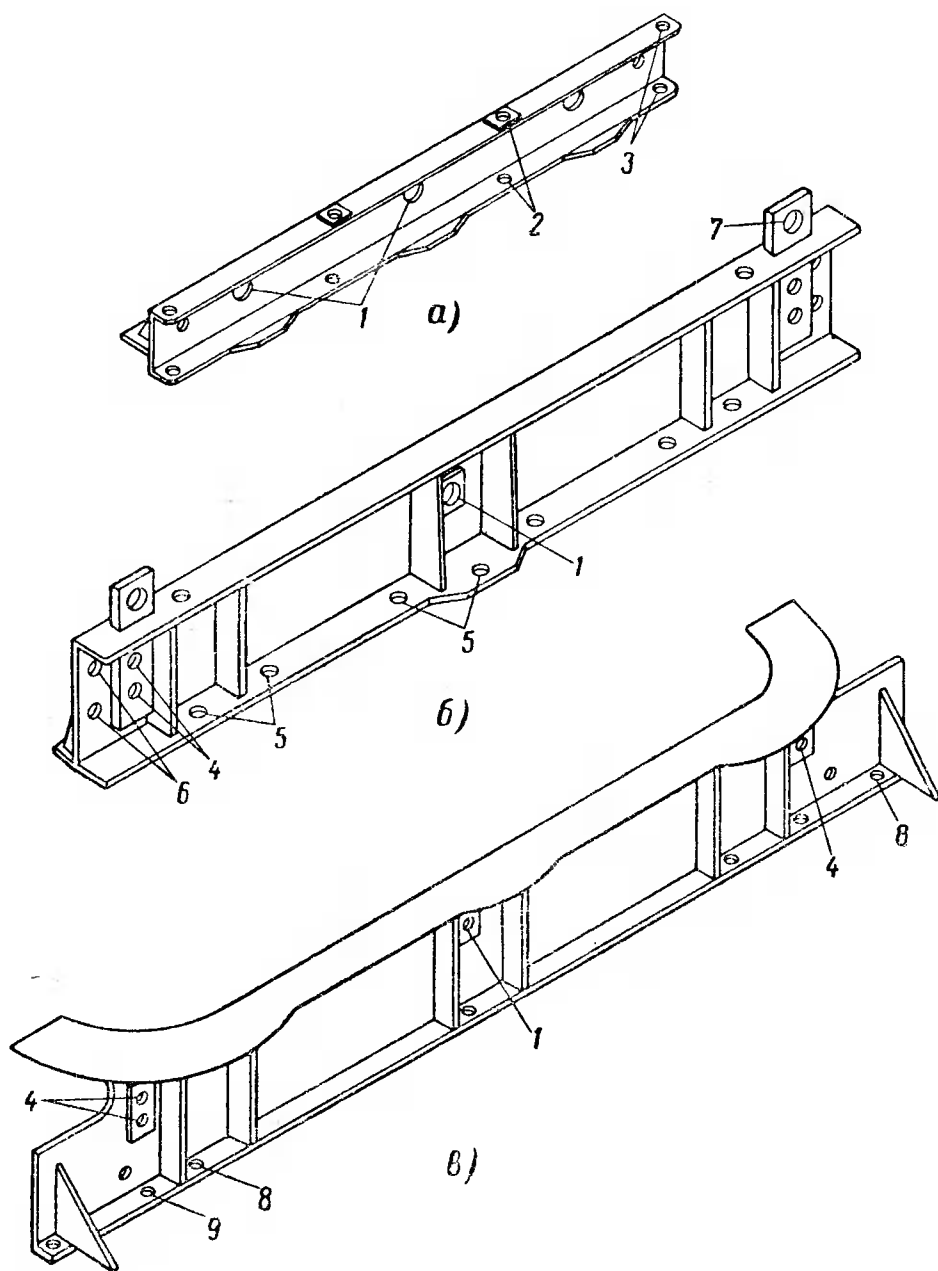


Рис. 35. Яровые балки.

*а* — из швеллерной стали; *б* — сварная верхняя (конструкция с нажимными шпильками); *в* — сварная нижняя; 1 — отверстия для яровых прессующих шпилек (рис. 38); 2 — отверстия для вертикальных стяжных шпилек (см. рис. 46,13); 3 — отверстия для вертикальных шпилек, связывающих магнитопровод с крышкой бака (рис. 46,2); 4 — отверстия для болтов, крепящих прямоугольный брус (рис. 39,4); 5 — отверстия для втулок нажимных шпилек (рис. 36,2); 6 — „технологические“ отверстия для стяжки яровых балок после зашихтовки верхнего ярма; 7 — подъемная планка с отверстием для подъема магнитопровода и выемной части трансформатора; 8 — отверстия для крепления опорных планок; 9 — отверстие для шипа, приваренного ко дну бака.

ров (рис. 37, в, д и е) вызывается тем, что при малом количестве шпилек стяжка пластин получается неравномерной по длине ярма, имеют место коробление и волнистость пластин после стяжки ярма при сборке трансформатора.

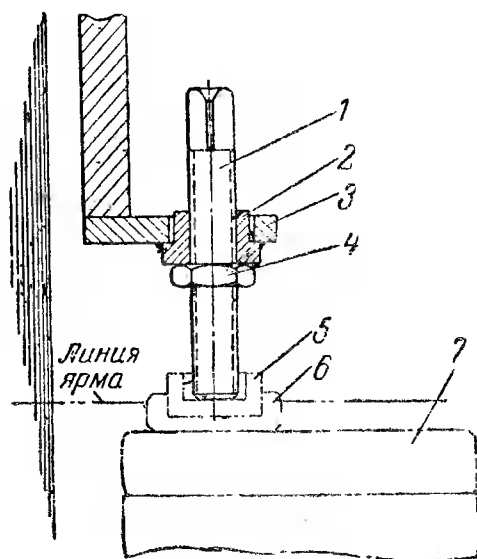


Рис. 36. Детали прессовки обмоток.

1 — нажимная шпилька; 2 — стальная втулка с внутренней резьбой; 3 — нижняя полка верхней ярмовой балки; 4 — гайка; 5 — стальной башмак; 6 — текстильный башмак; 7 — прессующее кольцо.

Ярмовые прессующие шпильки (рис. 38) изолируют от пластин активной стали так же, как прессующие шпильки стержней, для того чтобы стальная шпилька не замыкала пластин ярма. Шпильки необходимо также изолировать от ярмовых балок, так как без такой изоляции две шпильки вместе с двумя ярмовыми балками могут образовать «виток», через который будет проходить часть магнитного потока трансформатора, что недопустимо. Во избежание смятия изоляции шпильки под действием ме-

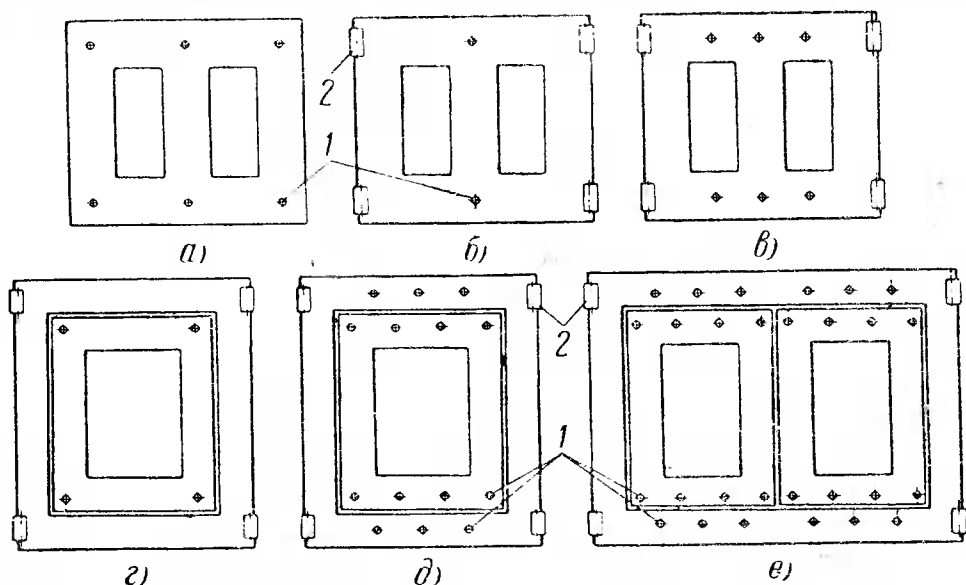


Рис. 37. Расположение ярмовых прессующих шпилек и брусьев. а — трехфазный однорамный магнитопровод трансформаторов малой и средней мощности; б — трехфазный однорамный магнитопровод мощного трансформатора; в — то же, что б, но с увеличенным числом ярмовых шпилек; г — однофазный двухрамный магнитопровод; д — то же, что г, но с увеличенным числом ярмовых шпилек; е — трехфазный многорамный магнитопровод; 1 — ярмовые шпильки; 2 — ярмовые брусья.

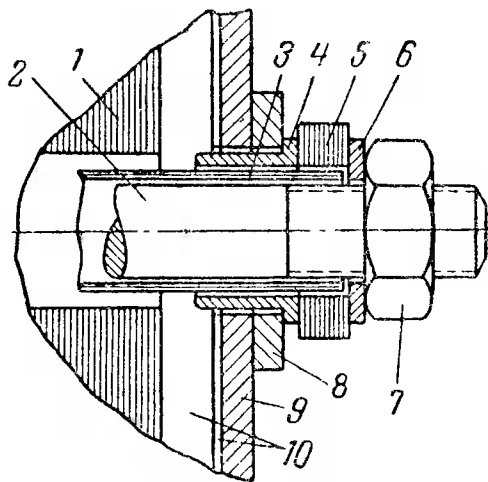


Рис. 38. Детали прессовки ярма шпильками (усиленная конструкция).

1 — активная сталь ярма; 2 — прессующая шпилька; 3 — бумажно-бакелитовая трубка; 4 — стальная втулка; 5 — шайба увеличенной толщины (гетинакс или электрокартон); 6 — стальная шайба; 7 — гайка; 8 — усиливающая пластина, приваренная к полке ярмовой балки; 9 — вертикальная полка ярмовой балки; 10 — изоляционная прокладка.

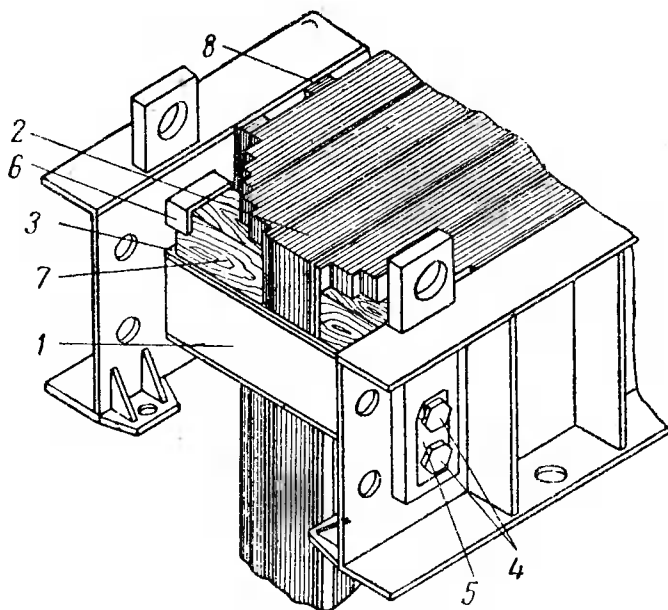


Рис. 39. Стяжка ярмовых балок стальным брусом.

1 — ярмовой брус; 2 — активная сталь ярма; 3 — изолирующая коробочка; 4 — болты для крепления бруса; 5 — замковая пластина; 6 — скоба; 7 — деревянная планка; 8 — изоляционная прокладка между ярмом и ярмовой балкой („мост“).

ханических усилий при коротких замыканиях или при подъеме выемной (активной) части в мощных трансформаторах устанавливают стальные втулки 4 (рис. 38), увеличивающие опорную поверхность изоляции шпильки.

Конструкция прессовки ярма с применением стального бруса показана на рис. 39. Брус 1 изолируют от пластин активной стали 2 (во избежание их замыкания)

П-образной коробочкой из электрокартона 3. На рис. 40 показан отдельно прессующий брус, а на рис. 41 — изолирующая коробочка. От ярмовых балок брус не изолируют, так как через «виток», образуемый двумя ярмовыми балками и двумя брусьями, не проходит магнитный поток. Брус с каждой стороны крепится к ярмовой балке двумя болтами 4 (рис. 39), предохраняемыми от отвертывания замковой пластиной 5. К ярмовым балкам со стороны, обращенной к ярму, приварены скобы 6, в которые закладывают деревянные планки 7, показанные отдельно на рис. 42. При

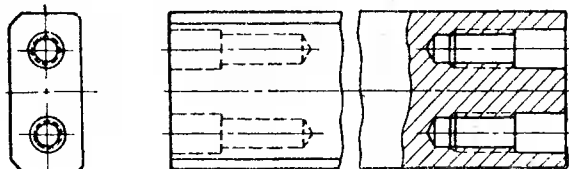


Рис. 40. Стальной брус для стяжки ярмовых балок (см. рис. 39,1).

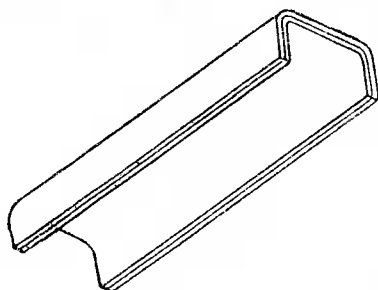


Рис. 41. Коробочка из электрокартона для изоляции стяжного бруса (см. рис. 39,3).

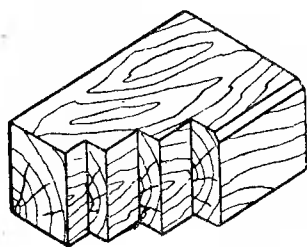


Рис. 42. Деревянная планка (см. рис. 39,7).

стяжке ярмовых балок концы этих деревянных планок упираются в пластины ярма и не дают им отгибаться.

Ярмовые балки необходимо изолировать от крайних пластин ярма для уменьшения добавочных потерь от вихревых токов в ярме. В трансформаторах малой мощности эту изоляцию осуществляют пластиной из электрокартона, прокладываемой между ярмовой балкой и ярмом.

В трансформаторах средней и большой мощности, в которых необходимо увеличить поверхность охлаждения маг-

нитопровода, между ярмовой балкой и ярмом делают масляный канал. Для этого между балкой и ярмом помещают *изоляционную прокладку*<sup>1</sup> 8 (рис. 39), представляющую собой пластину (или две полосы) из электрокартона — в трансформаторах большой мощности (рис. 43) или дерева — в трансформаторах средней мощности.

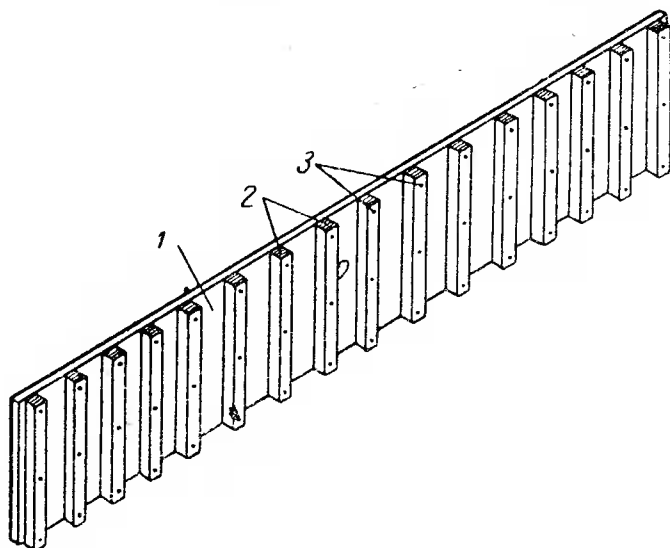


Рис. 43. Изоляционная прокладка, устанавливаемая между ярмом и ярмовой балкой (см. рис. 39,8).

1 — пластина из электрокартона; 2 — рейки (электрокартон, склеенный бакелитовым лаком); 3 — заклепки (электрокартон).

Таким образом, изоляционная прокладка выполняет двойную роль: электрически изолирует ярмовую балку от активной стали ярма и создает масляный охлаждающий канал между балкой и ярмом. Кроме того, удаление ярмовой балки от ярма на толщину изоляционной прокладки снижает добавочные потери от вихревых токов в ярмовой балке.

## 8. Заземление магнитопровода

При работе трансформатора и его заводских испытаниях все металлические части магнитопровода должны быть заземлены. Для этого они должны иметь электрическое соединение с баком, который заземляется.

Необходимость заземления магнитопровода объясняет-

<sup>1</sup> По заводской терминологии — «мост».

ся следующим образом. Если бы магнитопровод не был заземлен, то при подведении напряжения к обмоткам трансформатора отдельные части магнитопровода могли бы оказаться под электрическим потенциалом и с них могли бы возникать электрические разряды.

Для того чтобы заземлить всю активную сталь магнитопровода, достаточно обеспечить заземление крайних

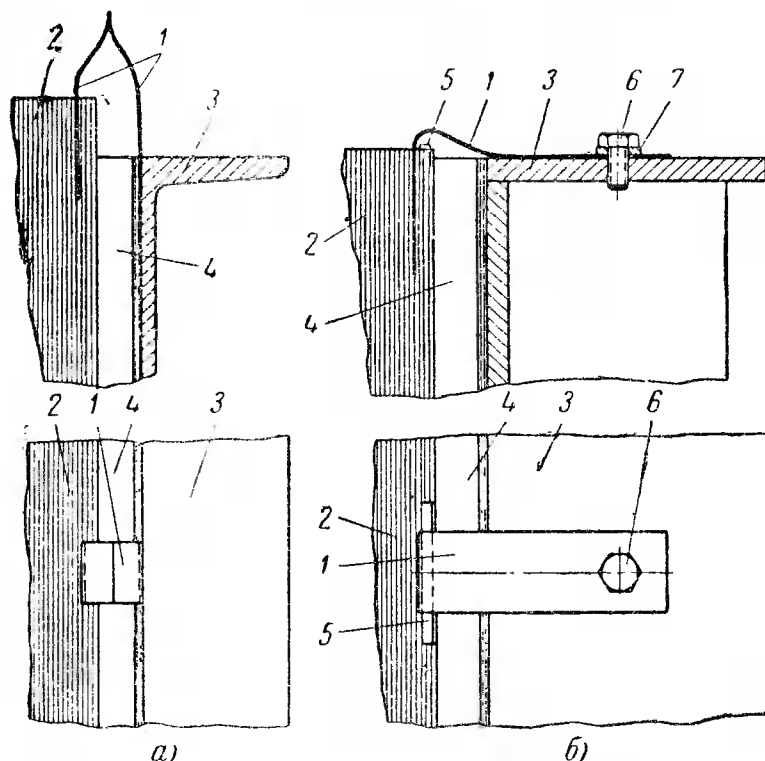


Рис. 44. Детали заземления магнитопровода.

*a* — трансформаторы малой и средней мощности; *б* — мощные трансформаторы; 1 — заземляющая лента; 2 — активная сталь магнитопровода; 3 — полка ярмовой балки; 4 — изоляционная прокладка; 5 — П-образная коробочка из электрокартона; 6 — болт; 7 — металлическая шайба.

пластин, так как при этом все пластины окажутся заземленными через сравнительно небольшое сопротивление межлистовой изоляции. Крайние листы соседних пакетов также соединены стальными прутками, образующими продольные каналы. В многораменных магнитопроводах, не имеющих связи между рамами (рис. 16, *a* и *б*), внутренние рамы соединяют с наружными специальными пластинами из электротехнической стали 6 (рис. 29), закладываемыми между крайней пластиной активной стали и пластиной 3 из электрокартона.

На рис. 44, *a* и *б* показано устройство заземления.

В трансформаторах малой и средней мощности одну ленту 1 (рис. 44,а) вставляют между пластинами ярма, а другую — между вертикальной частью ярмовой балки 3 и изоляционной прокладкой 4. Затем обе ленты 1 соединяют.

В мощных трансформаторах один конец ленты 1 (рис. 44,б) вставляют между пластинами ярма, а другой конец металлической шайбой 7 болта 6 прижимают к горизонтальной полке ярмовой балки 3. Для того чтобы лента 1 не замкнула крайних пластин ярма, их закрывают коробкой 5 из электрокартона.

Конструкция магнитопровода должна обеспечивать надежное заземление всех четырех ярмовых балок, с которыми соединены активная сталь и остальные детали крепления. Незаземленными остаются только прессующие шпильки стержней и ярм.

Количество заземляющих соединений в различных магнитопроводах колеблется от одного до пяти в зависимости от материала опорных пластин и ярмовых балок (сталь или дерево), наличия или отсутствия вертикальных стяжных шпилек между верхними и нижними ярмовыми балками, а также шпилек, соединяющих магнитопровод с крышкой.

Все заземления следует производить с одной стороны магнитопровода во избежание появления короткозамкнутых контуров, сцепленных с магнитным потоком.

## *Глава вторая*

# КОНСТРУКЦИИ МАГНИТОПРОВОДОВ

## 9. Общие сведения

Магнитопровод является основой конструкции трансформатора; от его размеров зависят все основные размеры выемной (активной) части<sup>1</sup>, бака и всего собранного трансформатора. Проектирование трансформатора обычно начинают с магнитопровода, выбирая основные размеры его активной части:

---

<sup>1</sup> В трансформаторах со съемным баком магнитопровод с обмотками и отводами называют не выемной, а «активной» частью трансформатора.

1) диаметр стержня  $D$  (см. гл. 1, § 4);  
 2) высоту «окна»  $H$ ;  
 3) расстояние между осями соседних стержней МО.

На рис. 45 схематично показана активная часть трехфазного трехстержневого магнитопровода с обозначением основных размеров. Пространство, ограниченное двумя соседними стержнями и соответствующими участками верхнего и нижнего ярм, называют «окном» магнитопровода.

Совокупность основных размеров определяет «модель» магнитопровода.

Данному диаметру стержня  $D$  соответствует определенная высота ярма  $h_{я}$ . Тогда полная высота активной части магнитопровода будет, как показано на рис. 45.

$$h = H + 2h_{я}.$$

Полную длину активной части магнитопровода можно приблизительно определить следующим образом:

для однофазного двухстержневого магнитопровода  $L \approx MO + D$ ;

для трехфазного трехстержневого (рис. 45)  $L \approx 2MO + D$ .

## 10. Силовые трансформаторы малой и средней мощности

Нормальные силовые масляные трехфазные трансформаторы мощностью до 5 600 кВА с напряжением до 35 кВ выпускаются с однорамными шихтованными магнитопроводами стержневой конструкции. Для них применяют горячекатаную листовую сталь толщиной 0,5 мм с бумажной изоляцией пластин. Схема шихтовки магнитопроводов показана на рис. 12.

У трансформаторов мощностью до 1 800 кВА включительно форма поперечного сечения стержней — ступенчатая

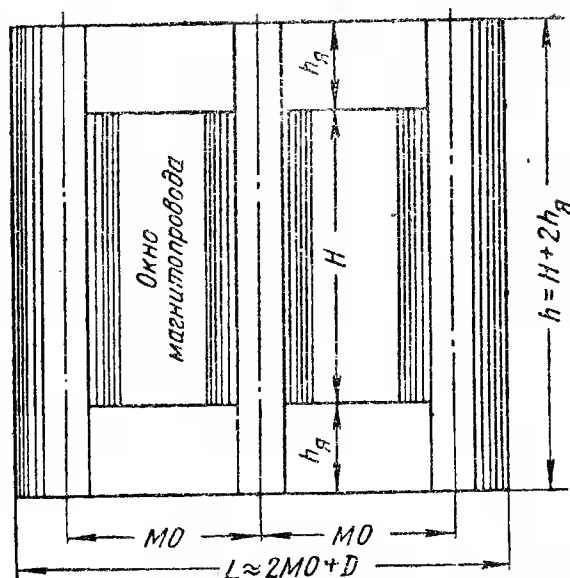


Рис. 45. Основные размеры активной части магнитопровода.

$H$  — высота окна;  $MO$  — расстояние между осями стержней;  $h_{я}$  — высота ярма;  $L$  — длина активной части;  $h$  — высота активной части.

без масляных каналов: мощностью 3 200 *квa* — с одним продольным каналом, мощностью 5 600 *квa* — с двумя.

Формы поперечного сечения ярм следующие: у трансформаторов мощностью до 100 *квa* — крестообразная (рис. 25,в), мощностью 100—560 *квa* — прямоугольная (рис. 25,а) или Т-образная (рис. 25, б, но с выступом наружу), мощностью 560—5 600 *квa* — Т-образная с выступом наружу, т. е. в сторону, противоположную «окну».

На рис. 46 (см. вклейку в конце книги) показан магнитопровод трансформатора мощностью 3 200 *квa* с обмоткой ВН класса напряжения 35 *кв*. В магнитопроводах трансформаторов мощностью до 560 *квa* включительно не применяется прессовка стержней шпильками. Прессовка осуществляется деревянными круглыми стержнями и планками, вставляемыми при сборке трансформатора между цилиндром внутренней обмотки и стержнем магнитопровода. В магнитопроводах трансформаторов мощностью 750—5 600 *квa* применяется прессовка стержней стальными шпильками (см. рис. 31, 32,а и поз. 7 на рис. 46), расположенными в один ряд (см. рис. 28,а) с шагом между ними 240 *мм*.

Прессовка ярм осуществляется шестью стальными шпильками, расположенными по осям обоих ярм (см. рис. 37,а и поз. 5 на рис. 46). Ярмовые балки — стальные: при мощности трансформатора до 3 200 *квa* — из швеллера (рис. 35,а и поз. 4 и 9 на рис. 46), а в трансформаторах 5 600 *квa* — сварные из листовой стали корытообразной формы (рис. 35,в).

Для прессовки обмоток служат вертикальные стяжные шпильки 13 (по две с каждой стороны магнитопровода), связывающие верхние и нижние ярмовые балки (рис. 46). При подтягивании гаек на вертикальных шпильках верхние ярмовые балки должны иметь возможность несколько перемещаться в вертикальном направлении. Для этого для горизонтальных прессующих шпилек делают отверстия в балках либо овальные (в трансформаторах до 560 *квa* включительно), либо круглые, но с увеличенным диаметром.

Прессовка обмоток стальными кольцами применяется лишь у отдельных типов трансформаторов малых и средних мощностей, например 1 000—5 600 *квa* с переключением напряжения под нагрузкой.

В конструкции трансформаторов мощностью 100—5 600 *квa* предусматривается связь выемной части с крыш-

кой бака: в трансформаторах мощностью 100—3 200 *кв*а (с напряжением обмотки ВН до 10 *кв*) эта связь осуществляется двумя вертикальными шпильками, а в остальных—четырьмя (рис. 46). На концы шпилек накручены кольца 1 для подъема магнитопровода или выемной части с крышкой.

Для надежной опоры выемной (активной) части в баке внизу магнитопровода сделаны опорные планки 10 (рис. 46), которые крепятся к нижним полкам нижних ярмовых балок.

Материалом для опорных планок служат дерево в трансформаторах до 1 000 *кв*а включительно с обмоткой ВН до 10 *кв* включительно и сталь — в остальных трансформаторах. Стальная опорная планка защищается коробочкой или полосой 11 (рис. 46) из электрокартона для предотвращения замыкания пластин активной стали нижнего ярма.

## 11. Мощные трансформаторы на высокие напряжения

К этой группе относятся трансформаторы мощностью 7 500 *кв*а и более на напряжение 35 *кв* и трансформаторы всех мощностей с обмотками ВН 110, 150, 220, 330 и 400 (500) *кв*.

Для большинства типов этих трансформаторов принята стержневая конструкция и лишь однофазные напряжением 400 (500) *кв* имеют броне-стержневое исполнение. Все магнитопроводы шихтованные, в основном с прямыми стыками пластин.

Магнитопроводы трансформаторов напряжением 220 *кв* и выше, как правило, изготавливаются из холоднокатаной стали, а на более низкие напряжения — из горячекатаной и только в отдельных случаях из холоднокатаной. В дальнейшем большинство типов должно быть переведено на холоднокатаную сталь и изоляцию листов стали лаком, так как эта изоляция имеет все преимущества перед бумажной (см. § 2 и 5).

Однофазные магнитопроводы с относительно небольшими диаметрами стержней выполняются однорамными двухстержневыми (см. рис. 3). Для сверхмощных трансформаторов применяются многорамные конструкции (рис. 16).

Трехфазные магнитопроводы в основном однорамные (рис. 4), однако для трансформаторов больших мощностей применяют многорамные конструкции (рис. 16, б, в и г); область применения таких магнитопроводов будет в дальнейшем расширяться.

На рис. 47 (см. вклейку в конце книги) показан много-рамный трехфазный магнитопровод автотрансформатора мощностью 120 тыс. *кв*а на напряжение 220 *кв* со схемой шихтовки по рис. 16,г. Форма поперечного сечения стержней применяется многоступенчатая с поперечными и продольными каналами; количество продольных каналов растёт с увеличением диаметра стержня.

Ярма применяются в основном Т-образного сечения (см. рис. 25,б) с выступом, обращенным внутрь «окна» магнитопровода. В новых сериях трансформаторов, где применяется холоднокатаная сталь, внедряются многоступенчатые ярма (рис. 25,г) с числом ступеней, несколько меньшим, чем в стержнях.

Во всех магнитопроводах стержни прессуются стальными шпильками с шагом 120 *мм*. Число рядов шпилек зависит от диаметра стержня и числа рам (рис. 28,а—г). В большинстве типов применяется конструкция прессовки, показанная на рис. 32,а; в некоторых трансформаторах — более совершенная конструкция, показанная на рис. 32,б.

Ярма прессуются стальными брусьями и шпильками (рис. 37, 39 и 40). Количество и расположение этих шпилек и брусьев в прежних конструкциях показаны на рис. 37,б и г. В конструкциях последних лет число ярмовых шпилек увеличено, что обеспечивает лучшую прессовку (рис. 37,в, д и е).

В старых конструкциях трансформаторов магнитопровод не имел специальных устройств для прессовки обмоток. В современных конструкциях обмотки прессуются стальными кольцами: одним для всех обмоток одной фазы или каждая обмотка прессуется своим кольцом. При этом в нижней полке верхней ярмовой балки делают отверстия (рис. 35,б) для стальных втулок, в которые ввертываются нажимные шпильки (см. рис. 36 и 47).

Вертикальные шпильки, связывающие верхние и нижние ярмовые балки, в мощных трансформаторах отсутствуют. Не применяется также связь шпильками между магнитопроводом и крышкой бака.

Ярмовые балки имеют сварную конструкцию; их форма — корытообразная с одной вертикальной и двумя горизонтальными полками (рис. 35,б и в). Иногда применяют балки Г-образной формы с одной вертикальной полкой и одной горизонтальной, обращенной к обмотке.

В нижних полках нижних ярмовых балок предусматривают отверстия 9 (рис. 35,в) для шипов, приваренных ко

дну бака и фиксирующих положение магнитопровода в баке.

В самой нижней части магнитопровода располагают стальные опорные планки 9 (рис. 47).

Если бак трансформатора имеет «верхний разъем», то крайние опорные планки делают более длинными, для того чтобы они служили направляющими при опускании выемной части в бак. При верхнем разъеме (бак колоколообразной формы) устанавливаются специальные планки 14 в верхней части магнитопровода (рис. 47), направляющие верхнюю часть бака при опускании на магнитопровод с обмотками, установленный в нижней части бака.

## 12. Специальные силовые трансформаторы

К этой группе в первую очередь относятся трансформаторы для дуговых электропечей и ртутных выпрямителей. Конструкции магнитопроводов этих трансформаторов не имеют принципиальных отличий от нормальных, однако условия работы их заставляют применять для них конструктивные элементы, которых нет в нормальных трансформаторах соответствующих мощностей и напряжений.

В рассматриваемых типах специальных трансформаторов необходима особо надежная прессовка обмоток. Поэтому на верхних ярмовых балках магнитопроводов предусматриваются нажимные шпильки (см. рис. 36).

В трансформаторах для электропечей наряду с однофазными двухстержневыми (рис. 3) и трехфазными трехстержневыми (рис. 4) магнитопроводами применяются также однофазные четырехстержневые и трехфазные пятистержневые (рис. 8) магнитопроводы.

Ярма прессуются, как правило, прямоугольными брусками. Если высота ярма недостаточна для размещения бруса, то для разгрузки изоляции верхних ярмовых шпилек применяют вертикальные стяжные шпильки, связывающие верхние ярмовые балки с нижними.

## 13. Реакторы

Реакторы — аппараты, в конструктивном отношении весьма близкие к трансформаторам. Особенность их состоит в том, что у них нет обмоток на разные напряжения.

В зависимости от назначения, мощности и номинального напряжения для реакторов применяют магнитопроводы различных конструкций<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Изготавливаются также реакторы без магнитопровода.

Большинство реакторов имеет стержневую конструкцию магнитопровода со следующей характерной особенностью. Для увеличения магнитного сопротивления стержни делаются по высоте не сплошными, а состоящими из отдельных частей 5 (рис. 48), между которыми закладывают пластины из электрокартона 6. Количество и суммарная тол-

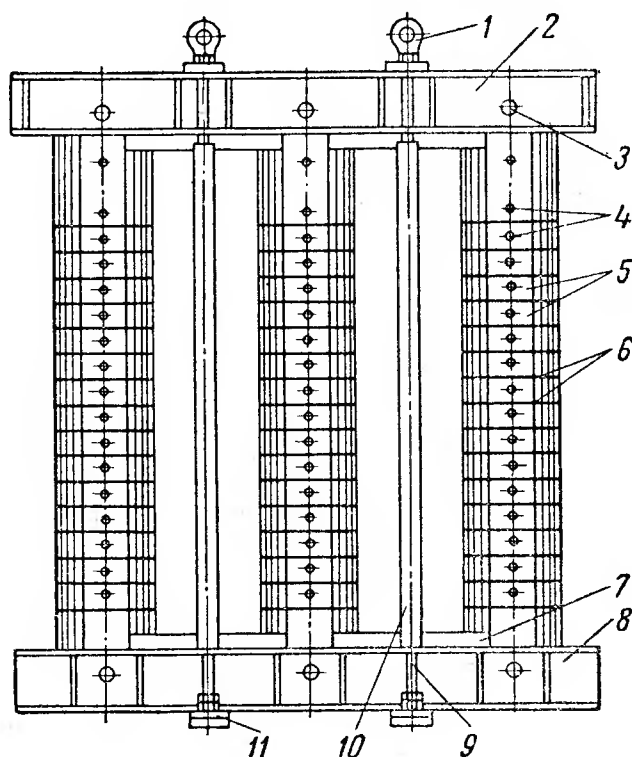


Рис. 48. Магнитопровод трехфазного реактора стержневого типа.

1 — подъемное кольцо; 2 — верхняя ярмовая балка; 3 — ярмовая шпилька; 4 — шпилька для прессовки стержня; 5 — отдельные части стержня; 6 — стыки, образуемые пластинами из электрокартона, проложенными между частями 5 стержня; 7 — нижнее ярмо; 8 — нижняя ярмовая балка; 9 — стяжная шпилька; 10 — бумажно-бакелитовая трубка; 11 — опорные планки.

щина этих пластин определяются при расчете реактора. Стержни стягивают вертикальными шпильками, придающими конструкции необходимую жесткость. Расположение их может быть различным; чаще всего шпильки размещают вне обмоток, например 9 (рис. 48), а в некоторых случаях — между обмоткой и стержнем магнитопровода. В отдельных конструкциях реакторов на сверхвысокие напряжения стягивающие шпильки размещают внутри стержня. В нижних полках верхних ярмовых балок устанавливают шпильки для прессовки обмоток (рис. 36).

В последнее время разработаны конструкции мощных реакторов с броневыми магнитопроводами (рис. 49). От аналогичного по конструкции магнитопровода трансформа-

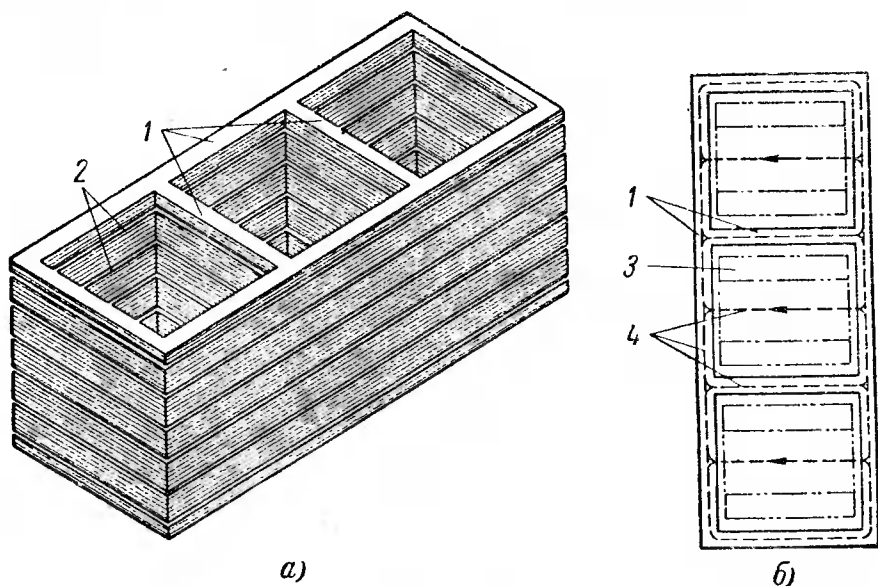


Рис. 49. Мощный трехфазный реактор броневых типа на напряжение 110 кВ.

*а* — магнитопровод; *б* — расположение обмоток и направление магнитных потоков; 1 — ярма; 2 — масляные каналы; 3 — обмотки; 4 — магнитные потоки.

тора, показанного на рис. 6, он отличается отсутствием стержней 1. На этих участках магнитный поток замыкается по воздуху (или маслу).

#### 14. Измерительные трансформаторы напряжения и испытательные

Высокое качество магнитопровода имеет особенно большое значение для измерительных трансформаторов напряжения, так как от качества его изготовления непосредственно зависят погрешности: чем меньше потери в стали магнитопровода, тем меньше магнитное сопротивление и погрешности трансформатора.

Поэтому магнитопроводы таких трансформаторов изготовляют из высококачественной электротехнической стали.

Для всех трансформаторов технологический процесс должен обеспечить неповреждаемость изоляции пластин, отсутствие заусенцев и минимальные зазоры в стыках. Особенно же это существенно при изготовлении трансформаторов напряжения.

Для однофазных трансформаторов напряжения 6—35 кВ и испытательных трансформаторов до 500 кВ применяют бронестержневую конструкцию магнитопровода с одним стержнем многоступенчатого поперечного сечения и двумя вертикальными ярами прямоугольного сечения (см. рис. 7).

Трехфазные измерительные трансформаторы 6—10 кВ выполняют с трехстержневыми магнитопроводами (рис. 4), а в специальном исполнении — с пятистержневыми (рис. 8).

Однофазные измерительные трансформаторы напряжения 110—500 кВ имеют двухстержневые магнитопроводы со ступенчатым сечением стержней (рис. 3).

### 15. Сухие (безмасляные) силовые трансформаторы

Магнитопроводы сухих (безмасляных) силовых трансформаторов малых и средних мощностей с естественным воздушным охлаждением изготавливают из холоднокатаной листовой стали толщиной 0,5 мм с лаковой изоляцией. По сравнению с масляными трансформаторами соответствующих мощностей и напряжений они имеют большие диаметр стержня, высоту окна и расстояния между осями стержней. Сечения стержней — ступенчатые, яры — Т-образные с выступом, обращенным к обмотке (рис. 25, б). У большинства типов в верхних яровых балках предусмотрены нажимные шпильки для прессовки обмоток.

Особенности конструкции магнитопроводов сухих трансформаторов вызваны тем, что воздух по сравнению с маслом имеет меньшую охлаждающую способность и более низкую электрическую прочность (значительно меньшую, чем масло).

Первое обстоятельство заставляет увеличивать охлаждающую поверхность магнитопроводов сухих трансформаторов продольными каналами, для того чтобы уменьшить сопротивление охлаждающему воздуху, проходящему по каналу. Ширина каналов делается не 6 мм, как в магнитопроводах масляных трансформаторов, а 20 мм. Канал образуется латунными или дюралевыми полосами П-образного сечения, приваренными точечной сваркой к листу стали.

Второе обстоятельство заставляет вертикальные стяжные шпильки между верхними и нижними яровыми балками устанавливать не в промежутке между обмотками соседних фаз (см. рис. 46 и 48), а по краям магнитопровода, для того чтобы выдержать необходимые изоляционные расстояния между обмотками и стяжными шпильками.

Еще одна особенность конструкции магнитопроводов сухих трансформаторов заключается в том, что к их нижним ярмовым балкам непосредственно крепится тележка для передвижения трансформатора.

## **16. Мелкие трансформаторы**

Трансформаторные заводы выпускают большое количество различных типов мелких трансформаторов для самых разнообразных целей: судовые, осветительные, стабилизирующие (для схем управления), для автоблокировки, бытовых нужд и пр.

Магнитопроводы большинства типов этих трансформаторов изготавливают из электротехнической листовой стали горячей прокатки толщиной 0,5 мм, используя остатки (отходы) стали от более крупных трансформаторов. Изоляция стали — как бумажная, так и лаковая (поскольку сталь применяется из отходов).

Магнитопроводы трансформаторов для судовых электроустановок изготавливают из холоднокатаной листовой стали толщиной 0,35 мм с лаковой изоляцией.

Для мелких трансформаторов разных назначений, мощностей и напряжений применяются различные конструкции магнитопроводов: однофазные двухстержневые с прямоугольным и ступенчатым поперечными сечениями стержней (см. рис. 3) и расположением обмоток на обоих стержнях; однофазные двухстержневые с обмотками, размещенными только на одном стержне ступенчатого сечения (при этом второй стержень, не несущий обмоток, выполняется с прямоугольным сечением); однофазные броневого со съемными ярмами; намотанные (рис. 21) и др.

Сравнительно небольшая мощность этих трансформаторов позволяет в большинстве случаев изготавливать их магнитопроводы без ярмовых балок, а для прессовки пластин применять не шпильки, а металлические трубочки, края которых развальцовываются.

## *Глава третья*

## **ОСНОВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

### **17. Электротехническая сталь**

Тонколистовая электротехническая сталь, из которой изготавливается активная часть магнитопроводов, выпускается в соответствии с ГОСТ 802-58. От обычных конструкцион-

ных сталей она отличается обязательным содержанием в ней *кремния*. Кремний повышает электрическое сопротивление стали, уменьшая этим вихревые токи и, следовательно, вызываемые ими потери энергии (см. гл. 1, § 2).

В отечественном трансформаторостроении употребляют-ся в основном следующие марки электротехнической стали: Э41, Э42, Э43—горячекатаная и Э310, Э320 и Э330—холоднокатаная. В обозначении марки буквы и цифры имеют следующие значения: Э—электротехническая сталь; первые цифры марки стали означают степень легирования ее кремнием (3—повышенно легированная, 4—высоколегированная), вторые цифры—гарантированные электрические и магнитные свойства стали: 1—с нормальными удельными потерями, 2—с пониженными, 3—с низкими; третья цифра (0) означает, что сталь холоднокатаная; при этом следует помнить, что ее магнитные свойства вдоль и поперек направления прокатки существенно различаются (см. гл. 1, § 2).

Большая часть указанных марок стали, поступающая на трансформаторные заводы, имеет толщину 0,5 мм, часть стали марок Э320 и Э330—0,35 мм.

Электротехническая сталь выпускается нашими металлургическими заводами только в виде листов. В дальнейшем она будет частично выпускаться рулонами. Обычные размеры листов: горячекатаной стали—750×1 500 мм, холоднокатаной 750×1 500 мм и 600×1 500 мм толщиной 0,35 и 0,5 мм и 240×1 500 толщиной 0,35 мм.

В таблице приведены электромагнитные характеристики различных марок стали в соответствии с ГОСТ 802-58.

К каждой поступающей партии стали прилагается сертификат, в котором указываются: номер плавки, количество стали, ее основные размеры, химический состав и электромагнитные характеристики (удельные потери при индукциях 10 и 15 тыс. гс и магнитная проницаемость).

На трансформаторных заводах из всего количества поступающей стали отбирают пробы (примерно 3% всей партии стали), на которых проверяют электромагнитные характеристики, толщину, волнистость листов, хрупкость стали.

Для магнитопроводов трансформаторов применяется сталь с улучшенной отделкой поверхности листов. На поверхности листов не допускаются значительная рябоватость, дефекты кромок и углов, коробоватость с высотой короба более 2—4 мм на 1 пог. м и волнистость с высотой

# **Электромагнитные характеристики электротехнической стали (по ГОСТ 802-58)**

| Марка<br>стали | Номи-<br>наль-<br>ная<br>толщи-<br>на, мм | Магнитная индукция ( $\gamma c$ ) при напряжен-<br>ности магнитного поля, $ав/см^*$ |          |          |           |           | Удельные потери,<br>$вт/кг^{**}$ |             |             |
|----------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|-----------|-----------|----------------------------------|-------------|-------------|
|                |                                           | $B_{10}$                                                                            | $B_{25}$ | $B_{50}$ | $B_{100}$ | $B_{300}$ | $P_{10,50}$                      | $P_{15,50}$ | $P_{17,50}$ |
|                |                                           | не менее                                                                            |          |          |           |           | не более                         |             |             |
| Э11            | 1,0                                       | —                                                                                   | 15 000   | 16 200   | 17 500    | 19 700    | 5,80                             | 13,4        | —           |
| Э11            | 0,50                                      | —                                                                                   | 15 000   | 16 200   | 17 500    | 19 700    | 3,30                             | 7,90        | —           |
| Э12            | 0,50                                      | —                                                                                   | 14 900   | 16 100   | 17 400    | 19 600    | 2,80                             | 6,80        | —           |
| Э21            | 0,50                                      | —                                                                                   | 14 800   | 15 900   | 17 300    | 19 400    | 2,50                             | 6,10        | —           |
| Э31            | 0,50                                      | —                                                                                   | 14 600   | 15 700   | 17 000    | 19 000    | 2,00                             | 4,50        | —           |
| Э31            | 0,35                                      | —                                                                                   | 14 600   | 15 700   | 17 000    | 19 000    | 1,60                             | 3,60        | —           |
| Э41            | 0,50                                      | 13 000                                                                              | 14 500   | 15 600   | 16 800    | 18 800    | 1,60                             | 3,60        | —           |
| Э42            | 0,50                                      | 12 900                                                                              | 14 400   | 15 500   | 16 700    | 18 700    | 1,40                             | 3,20        | —           |
| Э43            | 0,50                                      | 12 800                                                                              | 14 300   | 15 400   | 16 600    | 18 700    | 1,25                             | 2,90        | —           |
| Э41            | 0,35                                      | 13 000                                                                              | 14 500   | 15 600   | 16 800    | 18 800    | 1,35                             | 3,20        | —           |
| Э42            | 0,35                                      | 12 900                                                                              | 14 400   | 15 500   | 16 700    | 18 700    | 1,20                             | 2,80        | —           |
| Э43            | 0,35                                      | 12 800                                                                              | 14 300   | 15 400   | 16 600    | 18 700    | 1,05                             | 2,50        | —           |
| Э310           | 0,50                                      | 15 700                                                                              | 17 000   | 18 000   | 19 000    | 19 800    | 1,25                             | 2,80        | 3,80        |
| Э320           | 0,50                                      | 16 500                                                                              | 18 000   | 18 700   | 19 200    | 20 000    | 1,15                             | 2,50        | 3,50        |
| Э330           | 0,50                                      | 17 000                                                                              | 18 500   | 19 000   | 19 500    | 20 000    | 1,05                             | 2,30        | 3,20        |
| Э310           | 0,35                                      | 15 700                                                                              | 17 000   | 18 000   | 19 000    | 19 800    | 1,00                             | 2,20        | 3,20        |
| Э320           | 0,35                                      | 16 500                                                                              | 18 000   | 18 700   | 19 200    | 20 000    | 0,90                             | 1,90        | 2,90        |
| Э330           | 0,35                                      | 17 000                                                                              | 18 500   | 19 000   | 19 500    | 20 000    | 0,80                             | 1,70        | 2,60        |

\* Указана магнитная индукция в гауссах ( $\gamma c$ ) на основной кривой намагничивания при напряженности магнитного поля в ампер-витках на 1 см ( $ав/см$ ), равной соответствующему индексу при букве  $B$  (10, 25, 50, 100 и 300).

\*\* Указаны полные удельные потери в ваттах на 1 кг стали ( $вт/кг$ ) при перемагничивании ее с частотой 50 гц и максимальных значениях индукции 10 000, 15 000 и 17 000  $\gamma c$  соответственно, отнесенных к синусоидальному значению индукции.

волны более 4—6 мм на 1 пог. м; длина волны или короба должна быть не менее 25-кратной их высоты.

Все эти требования имеют большое значение для получения полноценных магнитопроводов без волнистости в стержнях и ярмах, обеспечивающих нормальную сборку трансформатора.

## **18. Оклеечная бумага**

Бумага для оклейки электротехнической стали изготавливается по ГОСТ 1201-52. Она выпускается в виде рулонов шириной 76 см, толщина бумаги 0,033 мм с допуском  $\pm 0,002$  мм. Толщина бумаги и допуск на нее имеют большое значение: от них зависит коэффициент заполнения поперечного сечения магнитопровода активной сталью. Чем меньше толщина бумаги и плюсовой допуск, тем

больше коэффициент заполнения и лучше используется сечение стрижней и ярм. Бумага выполняется с односторонней гладкостью; при наклейке бумаги на листы стали крахмальный клейстер наносят на гладкую сторону (см. гл. 5, § 23). В бумаге не допускаются: складки, морщины, узелки, пятна, надрывы, проколы и отверстия, видимые невооруженным глазом. Во избежание обрывов бумаги при оклейке ею листов стали, она должна иметь достаточно высокую механическую прочность как в сухом, так и в смоченном состояниях. Согласно ГОСТ полоски бумаги шириной 15 мм, вырезанные из рулона в продольном направлении, должны без разрыва выдерживать груз до 0,8 кг. Время разрыва такой полоски бумаги, смоченной крахмальным клейстером (концентрация 3,5%), под действием груза 132 г должно быть 7—25 сек. При меньшем и большем временах разрыва можно ожидать частых перебоев в работе оклеечной машины (см. гл. 5).

### 19. Лак для изоляции пластин стали

Для изоляции пластин электротехнической стали применяют изоляционные лаки № 302 и 202, выпускаемые по техническим условиям МХП 1355-46. Эти лаки изготавливаются на основе высыхающих растительных масел, способных после высыхания образовывать прочную лаковую пленку. К ним относятся тунговое масло, добываемое из семян тунгового дерева, и льняное, получаемое из семян льна.

Цвет лака — от светло- до темно-коричневого. Для получения на листах стали пленки равномерной толщины лак должен иметь определенную вязкость. Изменять вязкость лака можно, добавляя в него растворитель.

Продолжительность высыхания лака на электротехнической стали при температуре 200—210° С должна быть не более 12 мин. Лак не должен разрушаться под действием горячего трансформаторного масла, т. е. должен быть маслостойким. По испытательным нормам пленка лака, высушенная при температуре около 200° С, должна выдерживать действие трансформаторного масла при 100° С в течение 24 ч.

Электрическое сопротивление лаковой пленки проверяют на стандартных пакетах, состоящих каждый из 40 листов дважды лакированной стали размером 30×300 мм (площадь листа 90 см<sup>2</sup>). Для воспроизведения условий, фактически имеющих место в магнитопроводах, пакет заклады-

вают в пресс под давлением 540 кг. При этих условиях испытания сопротивление стандартного пакета должно быть не менее 500 ом/см<sup>2</sup>.

## 20. Жидкое стекло

Жидкое стекло изготавливается по ГОСТ 962-41. Оно представляет собой водный раствор силиката натрия и может быть использовано в трансформаторостроении для изоляции листов электротехнической стали. Основной состав жидкого стекла: около 30% кремнезема, примерно 10% окиси натрия и 60% воды.

Главное достоинство жидкого стекла как материала для изоляции электротехнической стали заключается в его дешевизне и доступности.

## 21. Прочие материалы

Для изготовления вспомогательных деталей магнитопроводов применяют конструкционную сталь следующих марок: для шайб, накладок и т. п.—М12 жп, для шпилек—М18 и Ст. 20, для ярмовых брусев—М21.

Большинство изоляционных деталей для магнитопроводов—пластины, шайбы и пр.—изготавливают из электрокартона марки ЭМЦ по ГОСТ 4194-58. Этот картон, предназначенный для работы в трансформаторном масле при температуре до 95°С, вырабатывается листами до 1650×3800 мм с толщиной 0,5—3,0 мм. В стандарте установлены требования, которым должен удовлетворять электрокартон. Одно из основных заключается в том, что при штамповке и нарезке на ножницах гильотинного типа картон не должен расслаиваться.

Бумажно-бакелитовые трубки марки ТБ, применяемые для изоляции прессующих и стяжных шпилек магнитопроводов, изготавливаются в соответствии с ГОСТ 8726-58. Помимо определенных физико-механических и электрических свойств, в стандарте указано, что трубки не должны иметь расслоений и трещин с торцов и должны допускать распиловку, обточку и другие виды механической обработки без расслаивания материала.

Все деревянные детали масляных трансформаторов изготавливают из бука, обладающего высокими механическими и электрическими свойствами и не оказывающего вредного действия на трансформаторное масло.

## 22. Технологический процесс изготовления магнитопроводов

### Общие сведения

Магнитопровод является наиболее тяжелой частью трансформатора. Хотя современные *электротехнические стали* и усовершенствование конструкции магнитопроводов позволяют несколько облегчить их вес, все же изготовление магнитопроводов является весьма металлоемким производством. Цех средней мощности ежемесячно перерабатывает сотни тонн электротехнической стали, а крупный — тысячи тонн. Для переработки без больших материальных затрат такого большого количества стали необходимо правильно организовать *разгрузку* ее из вагонов, *хранение*, *подачу* на станки, *транспортировку*, а также *отгрузку* готовой продукции и отходов. Поэтому весьма целесообразно устроить в начале цеха склад стали, куда сталь из вагонов разгружается при помощи специализированного подъемно-транспортного оборудования.

В производстве магнитопроводов используются стали различных марок и плавок.

По внешнему виду листы стали мало отличаются друг от друга, так как они имеют один или два габарита, по толщине же сталь применяется лишь двух размеров.

Во избежание брака в производстве, путаницы и перерасхода стали весьма важно хорошо наладить *учет поступления и расхода* ее.

Необходимо учитывать марку стали, толщину и габариты листов, номера плавки и характеристики ее свойств. Этот учет надо вести на всех операциях изготовления магнитопровода с тем, чтобы в него не попала сталь разных марок и толщин. Так как при раскрое стали на пластины для крупных трансформаторов неизбежны отходы, надо своевременно и с минимальными потерями использовать их для изготовления магнитопроводов мелких трансформаторов.

Целесообразно изготавливать пластины и магнитопроводы в целом по *типовому технологическому процессу*. Целесообразно также применять один или максимум два вида изоляции стали. Все оборудование и рабочие места должны быть расположены поточно по технологическому процессу.

Большую роль в повышении производительности труда и лучшем использовании производственной площади играют всевозможные *транспортёры и рольганги*. Транспортировка пластин мостовыми кранами должна быть сведена к минимуму.

Во время транспортировки мостовыми кранами листы или пластины должны быть уложены в специальную тару — стеллажи — с предохранительными устройствами от выпадения пластин во время перевозки.

Для своевременного удаления отходов стали от прессов и ножниц нужна специальная тара, куда они складываются.

Так как для магнитопроводов употребляется большое количество подобных пластин, различающихся только размерами, *сборудование* и особенно *оснастка* должны быть *универсальными*, с быстрой переналадкой.

Это же замечание также относится к сборочным приспособлениям.

В цехе должны соблюдаться чистота и культура производства, так как грязь, попавшая на магнитопровод, попадает в трансформатор, загрязняет масло и ухудшает его изоляционные свойства. Каждый работник цеха должен знать, что сталь нельзя бросать, ходить по ней и ударять, так как все это ухудшает ее *магнитные свойства*.

В начале сборочного участка следует организовать *склад крепежных и других комплектующих* деталей, а возле склада — *участок комплектовки стяжных шпилек*. Для выполнения комплектовки устанавливаются *гайковерты* и пресс для кернения гаек. На сборочных участках должны быть также гайковерты для прессовки магнитопроводов.

Чтобы сделать работу в цехе магнитопроводов безопасной, все прессы и ножницы должны иметь ограждения, складирование и перевозка пластин должны исключать самопроизвольное выпадение пачек стали, листы и пластины должны быть уложены ровными пачками, без выступающих краев, во избежание порезов ног.

Так как в цехе устанавливаются *печи для отжига* и лакировальная машина, в помещении должна быть эффективная приточно-вытяжная вентиляция.

Технологический процесс изготовления магнитопроводов состоит из шести этапов:

- а) изолирование электротехнической стали;
- б) механическая обработка стали;
- в) отжиг стали;

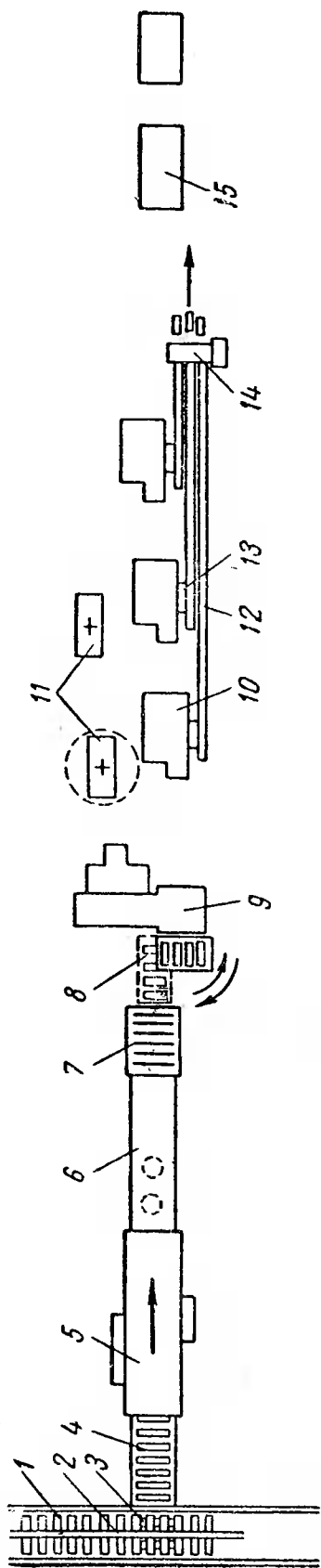


Рис. 50. Планировка участка производства магнитопроводов силовых трансформаторов малой мощности.  
 1 — стальной ролик; 2 — пластинчатая цепь; 3 — ролик; 4 — охлаждающая машина; 5 — охлаждающая машина; 6 — охлаждающая машина; 7 — транспортер прерывистого действия; 8 — поворотный стол-ролик; 9 — промежуточный транспортер; 10 — кривошипный пресс; 11 — столы двухпозиционные; 12 — ленточный транспортер; 13 — промежуточный транспортер; 14 — вальцы для закатки заусенцев; 15 — сборочные столы.

- г) изготовление вспомогательных деталей;
- д) сборка магнитопроводов;
- е) испытание.

После механической обработки сталь получает наклеп и теряет часть своих магнитных свойств.

Для восстановления магнитных свойств сталь отжигают по специальному режиму. Отжиг — процесс длительный; он требует дорогостоящих печей, производственных площадей и расходования электроэнергии. Поэтому отжиг не всегда применяется. Он проводится обязательно тогда, когда к магнитным свойствам стали предъявляются высокие требования, например, в магнитопроводах измерительных трансформаторов.

В зависимости от того, изолируется ли сталь целыми листами до механической обработки или изолируются отдельные готовые пластины, работа строится по одной из двух схем. По первой схеме изолируются целые листы стали в следующем порядке:

- а) изолирование листов,
- б) механическая обработка стали;
- в) сборка и испытание.

После механической обработки пластины стали нельзя отжигать, так как может спореть бумага.

По второй схеме изолируются штампованные пластины в следующем порядке:

- а) механическая обработка стали;
- б) отжиг штампованных пластин (если он применяется);
- в) изолирование штампованных пластин;
- г) сборка и испытание.

На рис. 50 показано поточное расположение оборудования и рабочих мест небольшого участка производства магнитопроводов.

Пачки стали укладываются автопогрузчиком на сдвоенный рольганг 1; при помощи пластинчатой цепи 2 и толкателя пачки подаются на поднимаемую сжатым воздухом группу роликов 3. Далее сталь вручную скатывают на поперечный рольганг 4, откуда она отдельными листами подается на оклеечную машину 5 с охлаждающим транспортером 6. Оклеенная сталь поступает на транспортер прерывистого действия 7, с которого она пачками передается на поворотный рольганг 8. С последнего сталь по одному листу поступает на кривошипный пресс 9, где она разрезается на заготовки. Заготовки развозятся по столам 11, установленным у прессов 10. Здесь из заготовок штампуются пластины.

Готовые пластины промежуточным 13 и ленточным 12 транспортерами подаются на вальцы 14, которые сминают (закатывают) заусенцы.

Вполне готовые пластины развозятся по сборочным столам 15, где собирают магнитопроводы.

## Глава пятая

### ИЗОЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СТАЛИ

Как было сказано в гл. 2, магнитопроводы трансформаторов изготавливают из отдельных тонких пластин электротехнической стали, электрически изолированных друг от друга.

Существует несколько способов изолирования стали, но при всех способах к изоляции предъявляются следующие требования:

- 1) минимальная толщина;
- 2) достаточные электрическая прочность и сопротивление;

- 3) достаточная механическая прочность;
- 4) стойкость против воздействия горячего масла (маслостойкость);
- 5) теплостойкость, обеспечивающая нормальную работу трансформатора;
- 6) технологичность при изготовлении и нанесении на сталь;

Кроме того, изоляция должна быть дешевой и не дефицитной.

Ниже приводятся наиболее распространенные способы изолирования.

### 23. Оклеивание стали бумагой

Одним из самых старых способов изолирования стали является оклеивание листов ее оклеечной бумагой на оклеечной машине. Этот способ применяется для магнитопроводов мощностью до 5 600 ква. Хотя при этом не требуется сложного и дорогого оборудования и оклеечная машина занимает сравнительно немного места, однако из-за большой толщины бумаги и низкой теплостойкости ее этот способ вытесняется другими. Оклеивание бумагой ведется в следующем порядке (рис. 51). Целые (неразрезанные) листы электротехнической стали 6 укладываются на установленный перед машиной стол и по одному подаются в машину.

Приемные валики захватывают листы и передвигают их вдоль машины. По пути движения листа вращающаяся стальная щетка 2 удаляет с поверхности стали песок, грязь, тальк и т. п.

Рулон бумаги 3, установленный в двух стойках, затормаживается тормозом 4, создающим необходимый натяг бумаги, поступающей на верхний резиновый вал 5, который прижимает ее к проходящим листам стали 6. На гляцевую сторону бумаги накладывается слой клея двумя резиновыми валиками 7, один из которых вращается (купается) в ванне с клеем 8. Толщина клея регулируется силой взаимного нажатия валиков 5 и 9. Проходя между ними, бумага плотно прижимается к стали, а затем окончательно разглаживается вращающейся волосяной щеткой 10.

Дальше листы передвигаются стальными подающими валиками 11, приводимыми в движение пластинчатой цепью, над газовыми горелками 12. Пламя в горелках регулируется так, чтобы вся влага, содержащаяся в клее

между бумагой и сталью, успела испариться, но чтобы бумага не обуглилась и не подгорела.

Листы стали нужно подводить с минимальным просветом между ними, не допуская перекрытия листов. Лишняя бумага в промежутках между листами стали должна сгореть при прохождении над горелками. После прохождения над горячим конвейером оклеенные листы попадают в охлаждающий конвейер, где вентиляторы 13 удаляют остатки влаги и охлаждают листы стали.

Оклеенные листы сходят с рольганга и укладываются автоматически в пачку на поставленный стеллаж с крюками для подъема.

Требования, предъявляемые к оклейке, следующие.

Бумага должна ровно, без морщин и пузырей, прочно приклеиться по всей площади листа. Не допускаются комки и сгустки клейстера, под бумагой. У хорошо оклеенной стали при отрывании с нее бумаги длина полоски должна получаться не более 150 мм, а на поверхности листа должен оставаться тонкий слой клея светло-серого цвета (рис. 52).

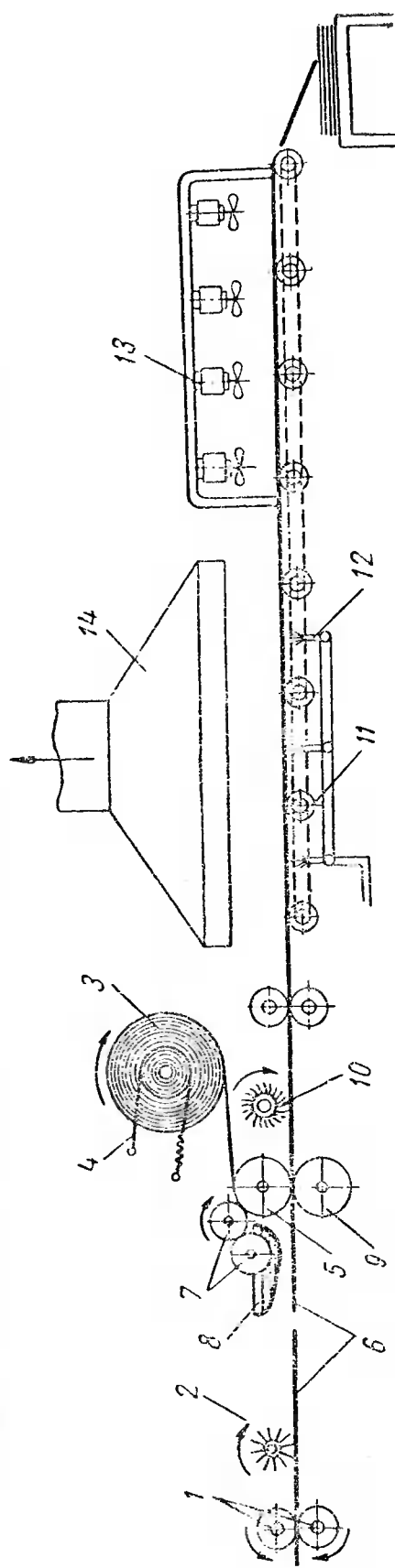


Рис. 51. Схема склеечной машины.

1 — приемные валики; 2 — стальная щетка; 3 — рулон бумаги; 4 — тормоз; 5 — резиновый вал; 6 — листы стали; 7 — резиновые валики; 8 — ванна с клейстером; 9 — резиновый вал; 10 — волосяная щетка; 11 — подающие валики; 12 — горелки газовые; 13 — вентиляторы; 14 — зонт вентиляции.

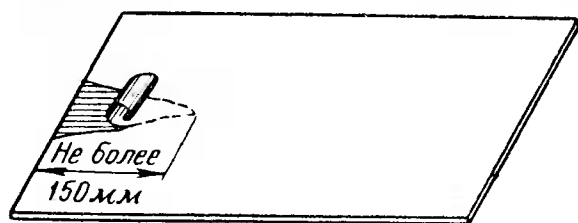
Чем прочность оклейки ниже, тем полоска получается длиннее.

Причинами непрочного приклеивания являются: грязная поверхность стали (пыль, грязь, тальк, ржавчина и др.) или низкое качество клея. Буровато-красный оттенок поверхности стали под бумагой указывает на образование ржавчины. Это может произойти из-за плохого просыхания бумаги, неполного удаления влаги из-под бумаги

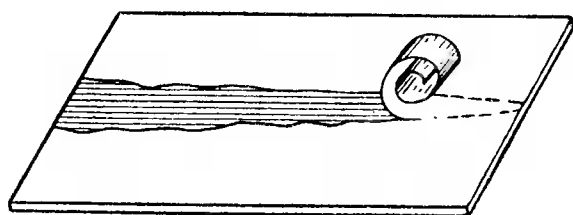
при слишком плотной бумаге или недостатке тепла от горелок.

Образование пузырей происходит также из-за слишком плотного глянца на бумаге. Сгустки клейстера указывают на его плохое качество.

Складки бумаги могут образоваться или из-за плохой заправки рулона бумаги, или из-за деформированной бумаги, которая вообще не может быть использована. Вторичную оклейку можно производить только после полного удаления бумаги первой оклейки.



а)



б)

Рис. 52. Проверка прочности оклейки.  
а — прочная оклейка; б — непрочная.

Клейстер готовится из крахмала высшего сорта. Необходимо, чтобы крахмал был нележалым. 1 кг крахмала тщательно размешивают в 3—4 л холодной воды до образования однородной массы. После этого в посуду с разведенным крахмалом заливают около 20 л кипятка, непрерывно размешивая клейстер и не допуская образования комков и сгустков. Клейстер, заваренный недостаточно горячим кипятком, обладает слабыми клеящими свойствами. Клейстер подается в ванну оклеечной машины черпаком или насосом.

Клейстер, простоявший больше 8—12 ч, становится непригодным для работы, так как в нем начинает отставаться вода. Поэтому клейстер готовят на одну смену.

## 24. Лакирование стали

Вторым способом изолирования стали является лакирование. Как указывалось выше, при этом способе изолирования лаковая пленка наносится, как правило, на готовые пластины, а не на целые листы стали.

На Московском трансформаторном заводе лакирование применяется при изготовлении магнитопроводов трансформаторов 3 200 *кв*а и выше.

Для лакирования применяют масляные лаки, в состав которых входит также резинат кальция, а растворителями служат керосин или уайт-спирит. Применение легких растворителей (бензин, бензол и т. п.) недопустимо во избежание взрыва и пожара при выжигании их в лак-машине.

Этот вид изоляции дороже и более трудоемкий, чем изолирование бумагой, но имеет ряд преимуществ:

а) Толщина слоя лака (с обеих сторон) меньше толщины бумаги и клея.

б) Электрическое сопротивление лакового покрытия выше, чем бумаги.

в) Вследствие того что лакируются готовые пластины, лак покрывает заусенцы, получившиеся после штамповки и резки стали, что отчасти предупреждает межлистовое замыкание в собранном магнитопроводе.

г) Механическая прочность лаковой пленки выше, чем бумаги.

д) Лаковое покрытие более теплостойко и дольше сохраняется, однако при несоблюдении температуры и режима запекания пленки она может явиться одной из причин порчи трансформаторного масла во время эксплуатации.

Лакирование производится на специальной *лакировальной машине* (рис. 53).

Механически полностью обработанные пластины магнитопровода, а иногда и целые листы стали подаются работницей к столику машины, с которого пластины 1 подают в резиновые валики 2.

Верхний резиновый валик смачивается по всей длине лаком из горизонтальной трубки 3 с отверстиями.

Из резервуара 5 разведенный лак подается шестеренчатым насосом в расходный бачок 4, откуда он самотеком поступает в трубку.

Ширина резиновых валиков 800 мм. Для увеличения пропускной способности машины пластины подаются по несколько в ряд с минимальным зазором между ними.

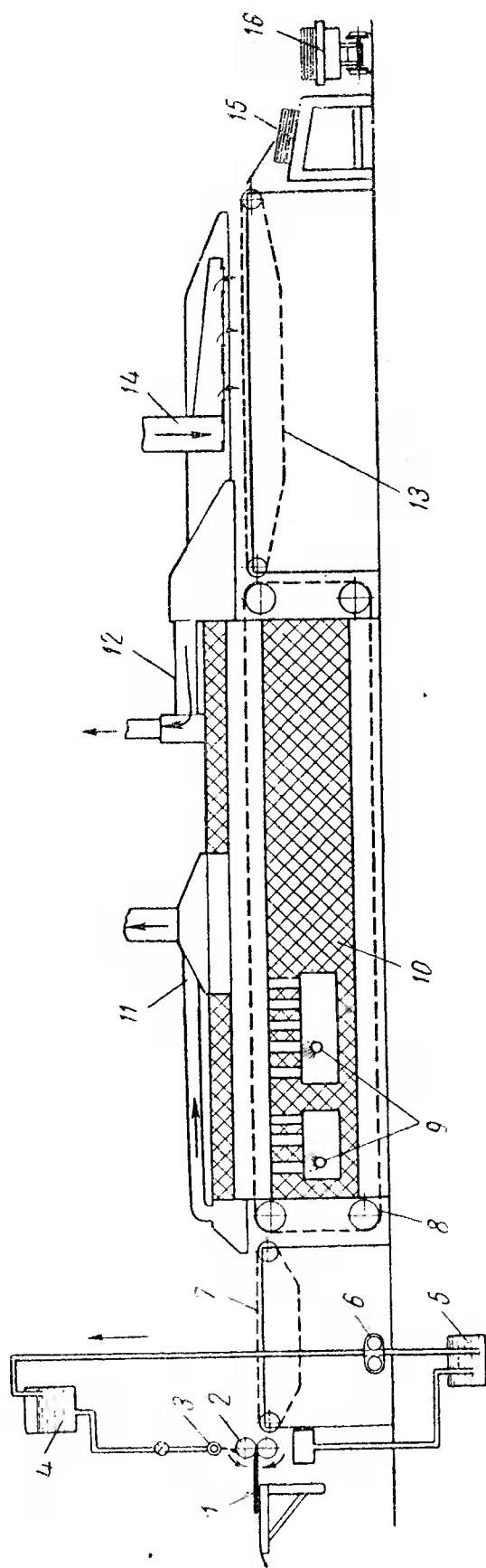


Рис. 53. Схема лакировальной машины.

1 — пластина магнитопровода; 2 — резиновые валики; 3 — трубка с отверстиями; 4 — расходный бак с лаком; 5 — подземный резервуар с лаком; 6 — насос; 7 — холодный транспортер; 8 — горячий транспортер; 9 — газовые горелки; 10 — печь; 11 и 12 — вытяжная вентиляция; 13 — холодный транспортер; 14 — приточная вентиляция; 15 — стол приемный; 16 — самоходная тележка.

Пластины стали, покрытые с обеих сторон лаком, коротким *холодным транспортером* 7 подаются в *печь* туннельного типа 10, где пластины полимеризуются («запекаются») и транспортируются *горячим транспортером* 8.

Печь представляет собой металлический каркас, выложенный огнеупорным кирпичом. В головной части печи под рабочей частью транспортера с обеих сторон установлены газовые горелки 9. Горячие продукты сгорания газа, а также растворителя (керосина) удаляются в дымоходную трубу 11. При выходе пластин из печи из горячей пленки также выделяются газы, которые удаляются вытяжной вентиляцией 12. Далее, пластины попадают на *второй холодный транспортер* 13, который перемещает пластины под очень интенсивным приточным воздуховодом 14, назначение которого — охладить пластины и способствовать лучшей полимеризации лаковой пленки.

Весьма важно *охладить* лакированные пластины до температуры 30—40° С, так как горячие пластины слипаются при укладке в стопу, а при немедленном пуске в машину для повторного лакирования можно ухудшить качество покрытия или вызвать преждевременное воспламенение лака.

Для охлаждения применяют воду. В конце холодного конвейера устанавливаются форсунки, назначение которых — обильно смочить пластины водой. Необходимо, чтобы форсунки хорошо распыляли воду и создавали водяной туман.

После смачивания пластины проходят между резиновыми валиками, которые отжимают неиспарившуюся влагу. За валиками установлен воздушный обдув, который удаляет остатки влаги. Охлажденные и сухие пластины идут на вторичное лакирование или передаются на сборку.

Толщина лаковой пленки регулируется изменением силы нажатия верхнего резинового валика на нижний (так же как и при оклейке бумагой) (рис. 54). Лак, находящийся в трубке 1, капает из отверстия на верхний валик 2 и попадает на нижний валик 3. Благодаря достаточной вязкости и значительному сжатию перед резиновыми валиками образуется некоторый запас лака, который хорошо смачивает пластины стали. Вязкость лака при температуре не ниже +20° С должна быть 70—80 сек по воронке ВЗ-4 (18—20 сек по воронке НИИЛК).

При регулировке замеряется не сила  $K$ , а сила тяги  $P$ . Для этого нарезаются пластины 4 шириной 300 мм. Сила  $P$

должна колебаться в пределах: при однократной лакировке — 2—3,0 кг, при двукратной—4—5 кг.

При регулировке валиков и подачи лака надо следить, чтобы пластины покрывались равномерно с обеих сторон по всей ширине. Отлакированные пластины падают на стол 15, с которого они укладываются на самоходную тележку 16 (см. рис. 53).

Перед пуском лакировальной машины в начале смены надо проверить исправность и ход всех конвейеров, после чего продуть печь воздухом, открыть газовые краны и зажечь горелки.

В течение 1—2 ч печь необходимо прогреть до 270—350° С при включенном горячем конвейере. Температура устанавливается индивидуально для каждой печи в зависимости от места установки термометра внутри нее, размеров печи и других ее особенностей.

Пламя горелок не должно давать копоти и должно регулироваться так, чтобы лак воспламенялся при прохождении над горелками, а не раньше или позже. На заводах, где нет газа, применяют электрический нагрев нихромовыми спиралями.

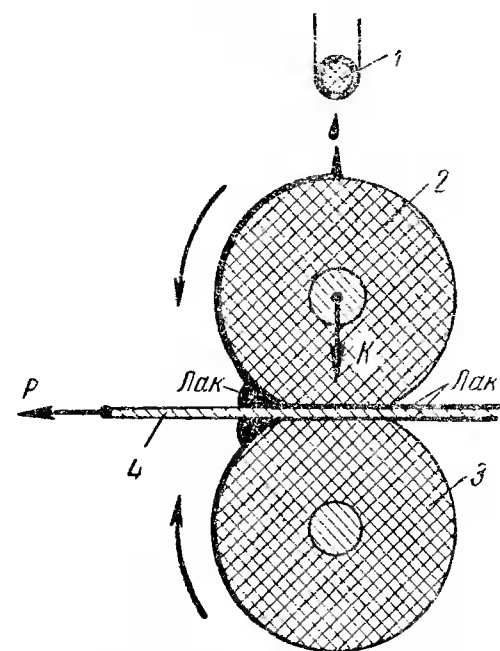


Рис. 54. Схема регулирования толщины лакового слоя.

1 — трубки, подающие лак; 2 и 3 — резиновые валики; 4 — лист стали.

ми. Регулировка температуры печи при электрическом нагреве сложнее, так как нагревательная система имеет значительные массы.

Пластины лакируют подряд 2 раза, но для трансформаторов мощностью до 5600 ква разрешается одинарная лакировка. В наиболее ответственных случаях применяют трехкратную лакировку. Лакированные пластины должны иметь ровный темно-коричневый цвет и не быть липкими (не давать отлипа). Если на листах появляются черные обгоревшие пятна, то следует убавить пламя горелок, и, наоборот, при выходе липких пластин надо прибавить пламя.

Лакировать пластины вторично нужно после остывания

их до 30—40° С. Лаковая пленка при двукратной лакировке должна быть толщиной 8—14 мк на обе стороны; измеряют ее при помощи магнитного толщимера МП-2.

Основным показателем качества лакировки является

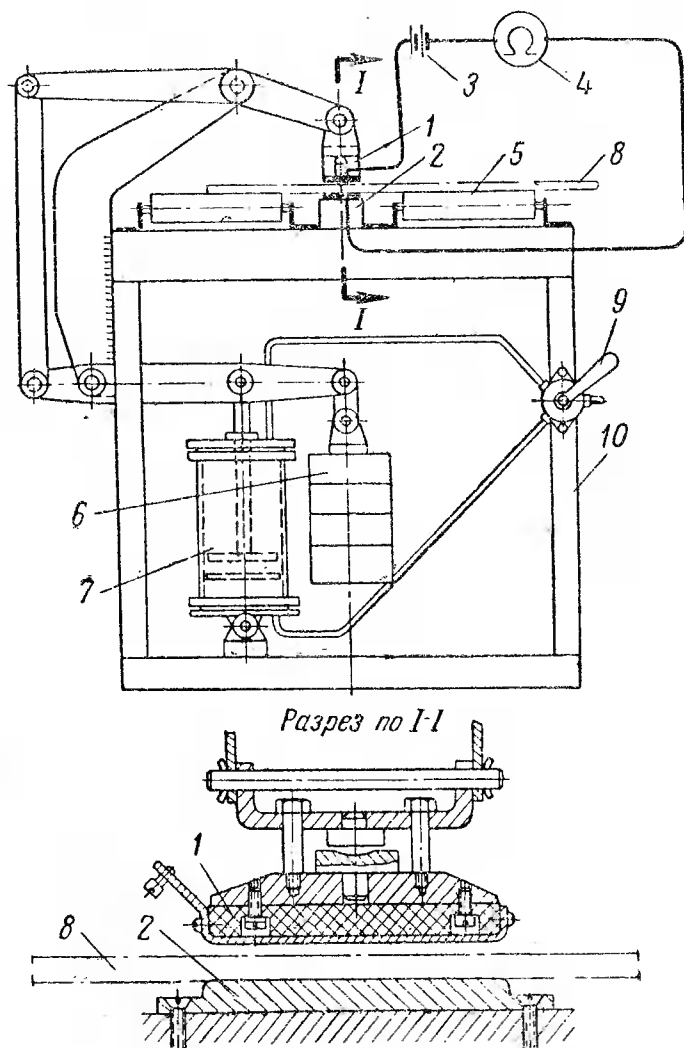


Рис. 55. Схема установки для измерения сопротивления лаковой пленки.

1 — верхний электрод; 2 — нижний электрод; 3 — электрический элемент; 4 — омметр; 5 — ролики; 6 — груз; 7 — пневматический цилиндр; 8 — лакированная пластина; 9 — кран воздушный; 10 — каркас.

электрическое сопротивление лакированных листов, которое замеряется на специальной установке (рис. 55), смонтированной в конце лакировальной машины, что позволяет без труда производить замеры на производственных пластинах через каждые 2—3 ч.

Плоские медные электроды имеют размеры  $50 \times 300$  мм. Верхний подвижной электрод 1 изолирован от корпуса установки 10 и к нему подсоединен один из концов электрического элемента 3 с напряжением 1,5 в. Второй конец элемента через омметр 4 и корпус присоединен к неподвижному электроду 2. Пластины укладываются на нижний электрод и ролики 5 стола, облегчающие передвижение пластин. Груз 6 через систему рычагов обеспечивает давление верхнего электрода на испытуемые пластины с силой  $6 \text{ кг/см}^2$ . Подъем электрода производится пневматическим цилиндром 7, управляемым краном 9.

Берут три пакета по две проверяемые лакированные пластины, остуженные до  $40\text{--}50^\circ \text{C}$ . Делают по три измерения в каждом пакете на целой поверхности и по три над отверстиями или кромками пластин, после чего складывают все три пакета и делают еще шесть измерений в пакете из шести пластин.

Величина сопротивления должна быть не менее:

- а) над отверстиями:
  - при двух пластинах . . . . . 5 ом
  - „ шести „ . . . . . 20 „
- б) на целой поверхности пластины:
  - при двух пластинах . . . . . 10 „
  - „ шести „ . . . . . 40 „

## 25. Изолирование стали жидким стеклом

Изолирование стали массой на основе *жидкого стекла* является наиболее простым и дешевым способом. В массу почти не входят материалы органического происхождения.

Массу готовят следующим образом: в 3 л воды, нагретой до  $60\text{--}80^\circ \text{C}$ , нужно растворить 0,6 кг кристаллической буры, после чего влить в раствор 12 кг жидкого стекла. В полученную массу добавляют 0,8 кг железного сурика, предварительно растертого с жидким стеклом.

Масса наносится на штампованные пластины в специальной машине, в которой резиновые валики имеют устройство, аналогичное лакировальной машине. Свипка происходит при прохождении пластин на конвейере под электрическими сушильными лампами. Температура стали не должна быть выше  $85^\circ \text{C}$ .

Несмотря на дешевизну, этот способ изолирования не получил широкого распространения, так как даже при незначительных отклонениях от рецептуры или нарушении

технологического процесса он приводит к резкому ухудшению качества изоляции.

Механическая прочность изоляции невысока, и при шихтовке магнитопровода изоляция легко повреждается. Жидкое стекло гигроскопично, поэтому магнитопроводы с такой изоляцией вследствие быстрого ржавления пластин непригодны для сухих трансформаторов.

## 26. Химические методы изолирования стали

В последние годы в трансформаторостроении начали широко применять изолирование пластин магнитопровода пленками, получаемыми *химическим способом* на поверхности стали. Этот способ имеет ряд преимуществ: а) малая толщина пленки (0,003 — 0,008 мм на одну сторону), обеспечивающая максимальный коэффициент заполнения стали; б) высокая механическая прочность пленки; в) хорошая химическая и термическая стойкость; г) не требуются дорогостоящие материалы органического происхождения; д) удачное сочетание некоторых способов изолирования с процессом отжига стали.

Одним из таких методов является *фосфатирование* пластин магнитопроводов. Процесс заключается в том, что механически обработанные пластины обезжиривают в щелочной ванне 1 в течение 3 мин (рис. 56,а), после чего пластины проходят промывку в ванне с горячей водой 2. Подготовленные пластины загружают в ванну 3 с рабочим раствором на 14 мин, где на пластинах образуется фосфатная пленка.

После фосфатирования пластины проходят двухкратную промывку в ваннах 2 с горячей водой 1 мин в каждой ванне. Во избежание ржавления пластины после промывки проходят сушку в камере 4 при 120°С в течение 7 мин.

Для приготовления фосфатной ванны на 1 л воды добавляется 0,09 л концентрированного раствора следующего состава (в кг):

|                                                   |      |
|---------------------------------------------------|------|
| фосфорная кислота, уд. вес 1,56 . . . . .         | 24,1 |
| азотная кислота реактивная, уд. вес 1,4 . . . . . | 17,4 |
| окись цинка . . . . .                             | 16,9 |
| вода . . . . .                                    | 41,6 |

Приготовленный раствор нагревается до температуры 95°С. Для поддержания постоянной кислотности в ванну вводят по мере надобности добавочный раствор.

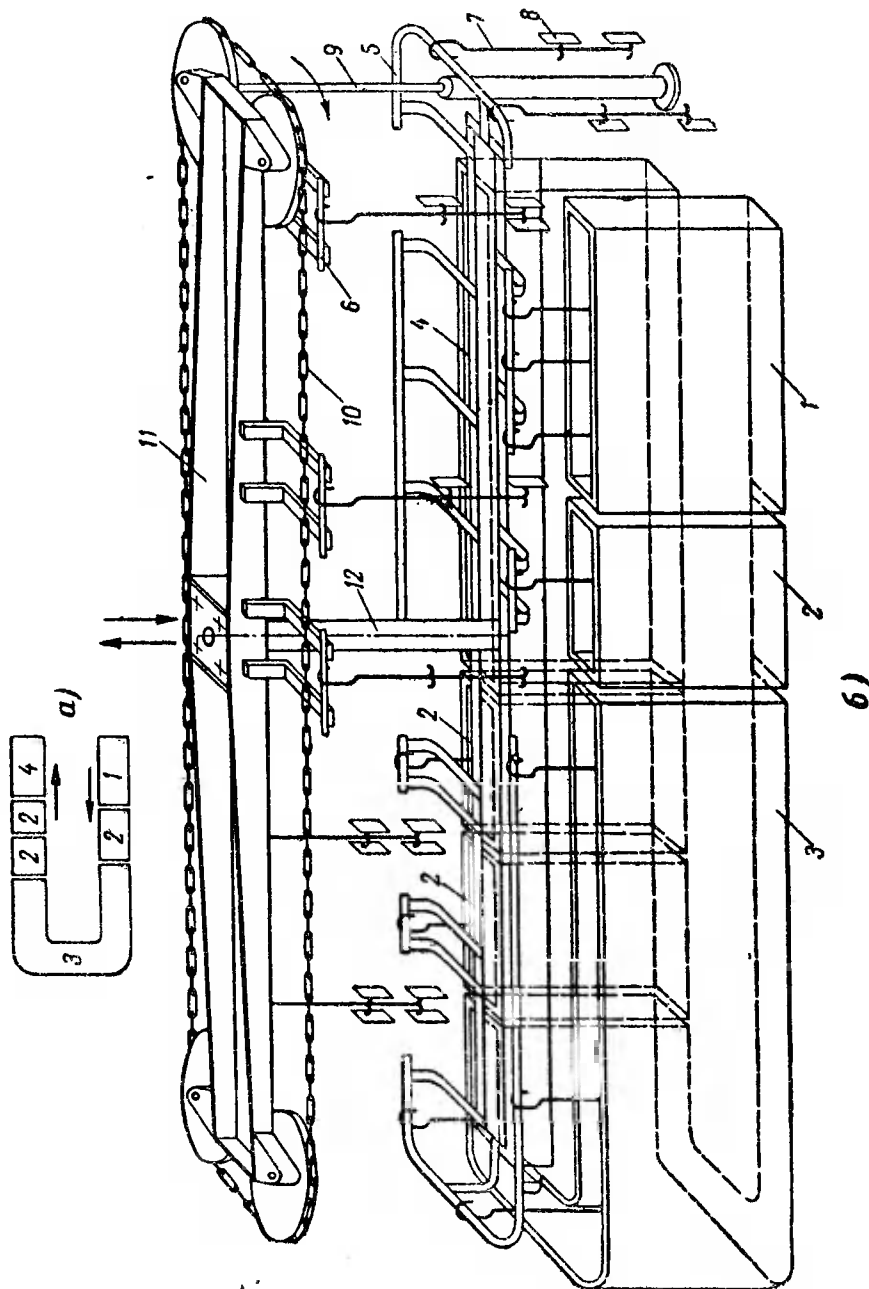


Рис. 56. Схема автомата для фосфатирования пластин трансформатора.

1 — щелочная ванна; 2 — водная ванна; 3 — ванна с раствором; 4 — камера горячей сушки; 5 — направляющая рама; 6 — подвижные вставки; 7 — подвеска; 8 — планка; 9 — тележка; 10 — цепь; 11 — подъемная рама; 12 — шток гидравлический; а — схематический план расположения ванн.

Анализ результатов исследования качества фосфатной пленки показывает, что этот вид изоляции несколько лучше лакового покрытия. Особенно целесообразно фосфатировать сухие трансформаторы.

На рис. 56,б показан *автомат для фосфатирования* пластин трансформаторов мощностью до 360 ква, действующий следующим образом.

Готовые пластины 8 магнитопровода загружают на подвески 7, которые подвешены на замкнутой раме 5 на расстоянии около 300 мм. Под этой рамой по ходу технологического процесса расположены: ванна обезжиривания 1, три ванны горячей промывки 2, ванна с фосфорной и азотной кислотами 3 и камера горячей сушки пластин 4. Над рамой находится пластинчатая цепь 10 с толкателями, передвигающими подвески. Цепь приводится в движение телескопическим валом 9. Цепь натянута на звездочки, установленные в сварной раме 11, которую шток 12 поднимает на высоту 1 200 мм.

В направляющей раме 5 над торцами ванны сделаны вставки 6 длиной 600 мм, прикрепленные также к раме 11. На участке, где отсутствуют ванны, производятся загрузка и разгрузка подвесок.

Каждые 30 сек автомат поднимает и опускает раму 11 на 1200 мм и передвигает цепь на 300 мм в нижнем положении и на 300 мм в верхнем. В верхнем положении перемещаются только подвески, подошедшие к стенке ванны или сушильной камеры. Они переходят из одной ванны в другую. В нижнем положении передвигаются все подвески.

Весь цикл фосфатирования продолжается 30 мин.

В отечественной промышленности применяется другой химический способ — получение изоляционной пленки методом *оксидирования*.

Механически обработанные пластины загружают в тележках на подвесках в электрическую печь отжига, нагреваемую до 700° С. При этой температуре прогревают пластины в течение 30 мин. После этого в печь начинают подавать смесь водяного пара и воздуха под давлением 0,5—0,8 ати для создания благоприятной окислительной среды. Температуру в печи понижают до 500—520° С, и при ней пластины выдерживают в течение 1,5 ч. Оксидирование прекращается при 450° С, после чего печь разгружают.

На поверхности образуется тонкая, прочная пленка с хорошим электрическим сопротивлением, состоящая из закиси-окиси и окиси железа.

*Совмещение отжига с образованием пленки* улучшает магнитные свойства стали и снижает потери в магнитопроводе. Благодаря тому что во время отжига обгорают мелкие заусенцы, уменьшается возможность местных замыканий пластин в магнитопроводе.

Этот метод не требует никаких материалов, кроме расхода энергии на нагрев печи и получения пара.

Однако оксидирование пластин не получило широкого применения по двум причинам: оксидированные пластины при неблагоприятных условиях могут легко покрыться ржавчиной, что неизбежно повлечет за собой порчу пластин и масла, кроме того, этот способ является более трудоемким.

## Глава шестая

# МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СТАЛИ

## 27. Особенности обработки электротехнической стали

Основная масса электротехнической стали в Советском Союзе изготавливается в виде листов размером  $750 \times 1500$  мм. Поэтому в дальнейшем мы будем описывать процесс получения пластин из листов этого размера.

За рубежом холоднокатаная сталь выпускается в виде рулонов шириной свыше 750 мм. Заводы черной металлургии Советского Союза осваивают прокат холоднокатаной стали. Использование рулонной стали уменьшает отходы стали, облегчает ее обработку, позволяя лучше механизировать процесс штамповки и резки.

Ввиду повышенного содержания кремния электротехническая сталь (для трансформаторов) имеет повышенную твердость и хрупкость. Содержание кремния свыше 5% делает сталь настолько хрупкой, что она при резке и штамповке дает рваные кромки. Холоднокатаная сталь, содержащая меньше кремния и тщательно отожженная, очень чувствительна к неисправности инструмента и дает большие *заусенцы* из-за значительной вязкости.

Листы стали, получаемые с металлургических заводов, имеют кромки неправильной формы. Поэтому для получения пластины с *прямолинейными кромками*, обрезанными точно под углом  $90^\circ$  друг к другу, вначале или в процессе обработки все четыре кромки листа должны быть обрезаны. Ширина отрезанной полосы составляет 5—10 мм.

Как известно, электротехническая сталь имеет лучшую магнитную проницаемость в *направлении проката*, чем поперек него. Эта разница особенно заметна в холоднокатаной стали. Поэтому при раскрое листов стали обязательно следят за тем, чтобы направление магнитного потока совпало с направлением проката стали.

## 28. Оборудование для механической обработки стали

Механическая обработка стали производится на разнообразном оборудовании, обеспечивающем высокую производительность, точность и отсутствие заусенцев. Листовая

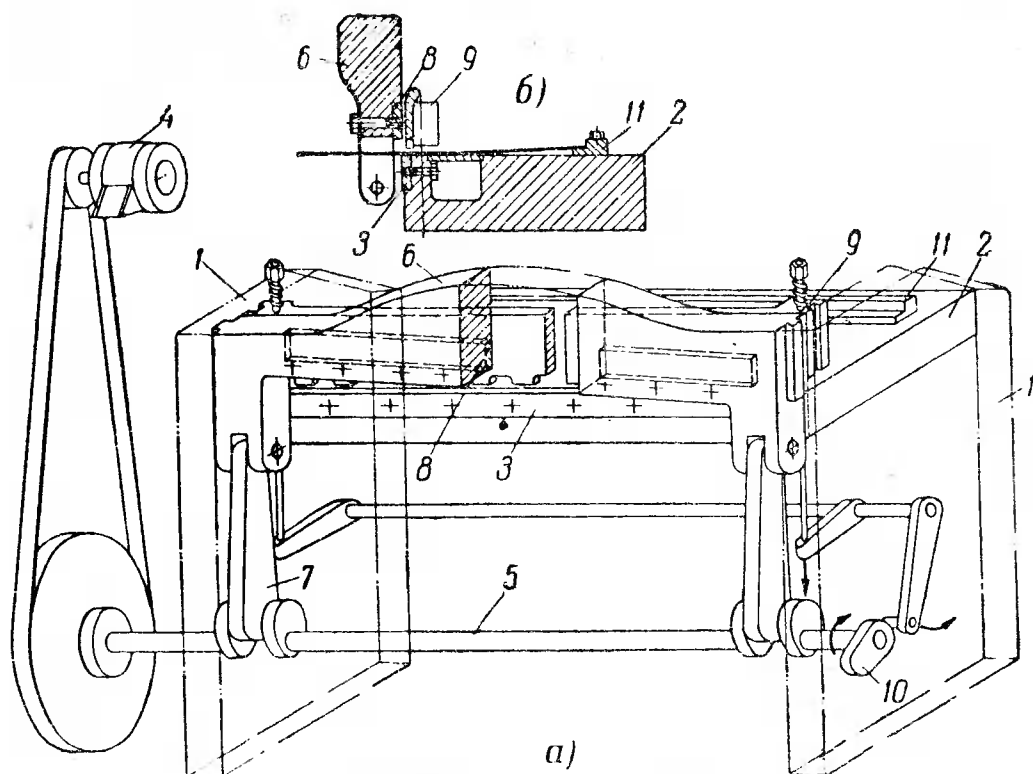


Рис. 57. Гильотинные ножницы.

а — общий вид; б — разрез стола и гильотины; 1 — стойка; 2 — стол; 3 — нижний нож; 4 — электродвигатель; 5 — коленчатый вал; 6 — гильотина; 7 — шатуны; 8 — верхний нож; 9 — прижимная траверса; 10 — фасонный кулак; 11 — ступенчатый упор.

сталь раскраивается на *гильотинных ножницах* (рис. 57), очень распространенных в цехах трансформаторных заводов.

Устройство этого станка несложное, но он требует внимательного ухода и тщательной настройки перед работой.

Станина станка — сборная — состоит из двух боковых стоек 1 и горизонтального стола 2, к кромке которого крепится нижний неподвижный нож 3. Стол можно передвигать вперед или назад для создания минимального зазора между режущими кромками ножей. На одной из стоек устанавливается электродвигатель 4, передающий вращение на коленчатый вал 5, расположенный под столом станка. На внутренних поверхностях стоек имеются две пары направляющих. По одной паре направляющих перемещается массивная отливка 6, так называемая гильотина, которая связана с коленчатым валом двумя шатунами 7. Нижняя кромка гильотины имеет паз, наклоненный к горизонтали примерно на  $6^\circ$ , к которому крепится подвижный нож 8. Наклон сделан для уменьшения усилия резания и разгрузки всех рабочих частей станка.

По второй паре направляющих перемещается *прижимная траверса* 9, которая приводится в движение от фасонного кулака 10, сидящего на конце коленчатого вала. Форма кулака подобрана таким образом, что прежде чем гильотина и верхний нож начнут двигаться вперед, прижимная линейка вниз прижмет разрезаемый лист к столу нижнего листа. Прижим должен предохранить лист от горизонтального перемещения, могущего дать искривленный разрез, и от затаскивания между ножами, вызывающего увеличенные заусенцы. Ножницы включаются педалью через кулачковую муфту, которая имеет тормоз, обеспечивающий останов гильотины в верхнем положении.

Для разрезки по ширине рулонной холоднокатаной стали применяются *дисковые (роликовые) ножницы*. Схема работы их показана на рис. 60,а. Производительность этих ножниц в 5—10 раз выше гильотинных. На многих наших электромашиностроительных заводах дисковые ножницы применяются только на резке из листовой стали заготовок для работы на штампах. Это вызвано тем, что кромки полос, отрезанных на дисковых ножницах, имеют кривизну и полосы не могут быть использованы без дополнительной обработки. Кривизна получается порядка 1—2 мм на 1500 мм длины. Принимаются меры для устранения этого дефекта.

Штамповка отверстий и окончательная обрезка одной или двух кромок производятся на *кривошипных и эксцентриковых прессах*.

Для штамповки пластин крупных трансформаторов по описываемой технологии, принятой на наших заводах, наи-

более удобными являются двухступенчатые кривошипные прессы (рис. 58).

В станине 1 жесткой конструкции внизу расположен стол 10 с пазами для крепления инструмента (штампа) и продольными окнами для провала отходов.

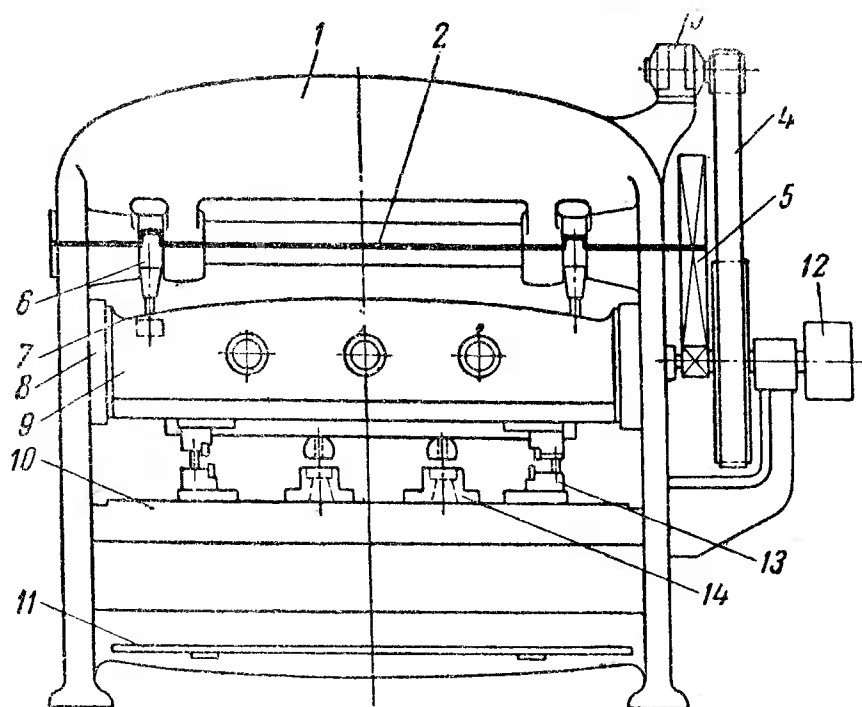


Рис. 58. Схема кривошипного двухступенчатого прессы.

1 — станина; 2 — коленчатый вал; 3 — электродвигатель; 4 — ременная передача; 5 — шестеренчатая передача; 6 — шатун; 7 — устройство для регулировки высоты ползуна; 8 — направляющие; 9 — подвижной стол (ползун); 10 — стол неподвижный; 11 — педаль; 12 — муфта включения; 13 — ножодежатели; 14 — штампы.

Подвижный стол (ползун) 9 перемещается в регулируемых направляющих 8, а получает движение от двух шатунов 6, имеющих заблокированную регулировку для обеспечения параллельности столов 9 и 10.

Коленчатый вал 2, расположенный в четырех массивных подшипниках, передает движение шатунам.

Электродвигатель через ременную передачу 4 и шестеренчатую тару 5 приводит в движение коленчатый вал.

Пресс включается муфтой 12 через педаль 11.

## 29. Инструмент для механической обработки стали

Режущие ножи изготавливаются из полосовой инструментальной стали. Они закаливаются до твердости 60—62 $R_c$ . Ножи крепятся к гильотине и столу болтами, для чего в них нарезаны резьбовые отверстия.

Для большей стойкости и экономии инструментальной стали на многих заводах делают *клепанные составные ножи* (рис. 59). Основание 1 ножа делают из подделочной стали, режущие вставки 2 — из инструментальной. После термообработки вставки приклепываются заклепками 4 к основанию. При изготовлении надо следить, чтобы в стыках ножей не было зазора. Клепать следует горячими заклепками.

Во избежание насакивания режущих кромок ножей друг на друга у верхнего ножа сделан выступ 3, который не выходит из зацепления с режущей кромкой нижнего ножа.

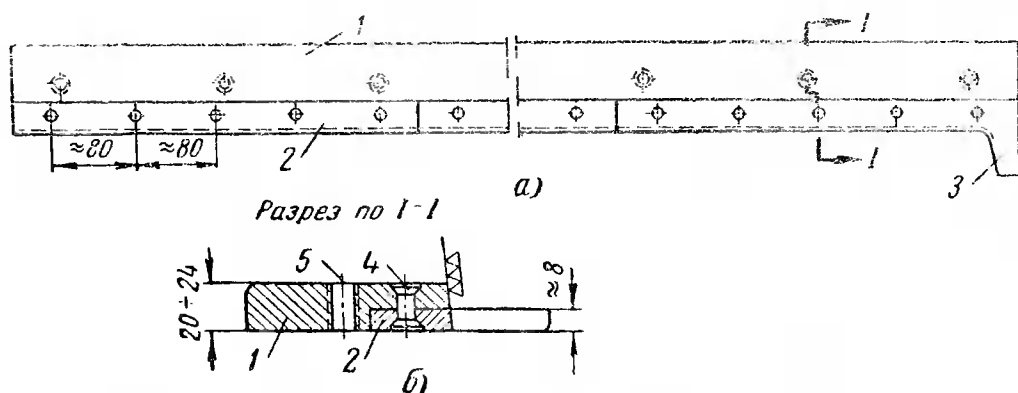


Рис. 59. Верхний нож к гильотинным ножницам.

а — общий вид; б — разрез ножа; 1 — основание; 2 — вставка из инструментальной стали; 3 — предохранительный выступ; 4 — заклепка; 5 — отверстие для крепления.

Режущие кромки затачивают по узкой плоскости, как показано на рис. 59,б. От состояния режущих кромок и минимального зазора между ними зависит качество резки без заусенцев.

Рабочий инструмент дисковых ножниц показан на рис. 60.

На шпиндель 1 с трапецеидальной резьбой снаружи надеваются оправки 8, которые могут быть плотно затянуты на шпинделе болтами 9. К оправкам крепятся ножи 2. Рядом с ножом помещается плавающее кольцо 5, которое при помощи пружинных толкателей 6 выталкивает разрезанную сталь 7.

Для более удобной и точной настройки и во избежание смещений оправок во время работы в резьбу вводится при помощи эксцентрика резьбовой палец 4. Во время съема оправок или перемещений на большие расстояния палец выводится из зацепления.

Качество среза и образования заусенцев зависит от состояния *режущих кромок штампа*.

На рис. 61 показана вырубка пуансоном и матрицей отверстия с нормальным зазором, который должен рав-

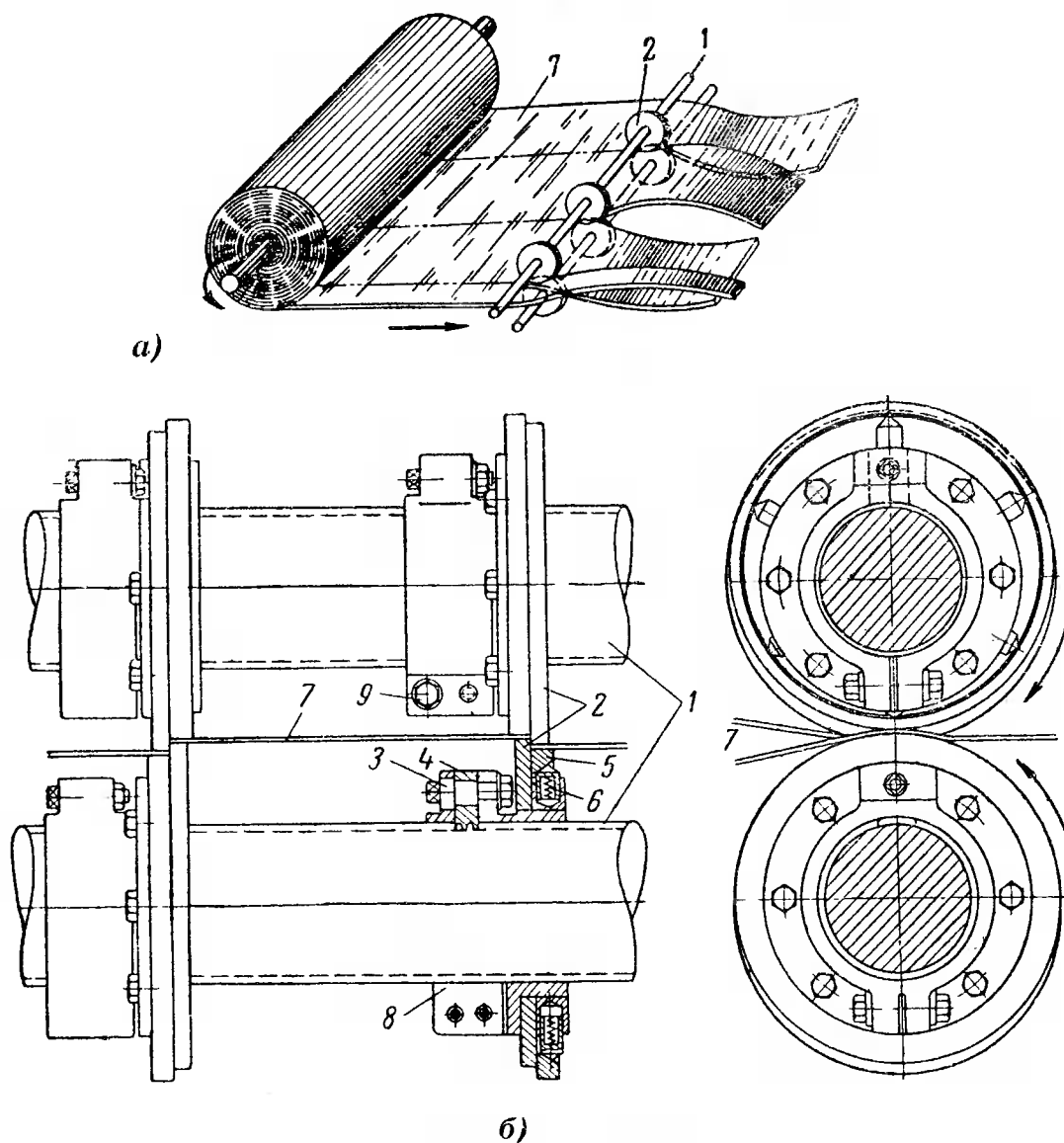


Рис. 60. Дисковые ножницы.

*а* — схема станка; *б* — рабочая часть станка; 1 — шпиндель; 2 — дисковые ножи; 3 — эксцентрик; 4 — палец резьбовой; 5 — плавающий съемник; 6 — толкатель; 7 — разрезаемая сталь; 8 — оправка; 9 — стяжные болты.

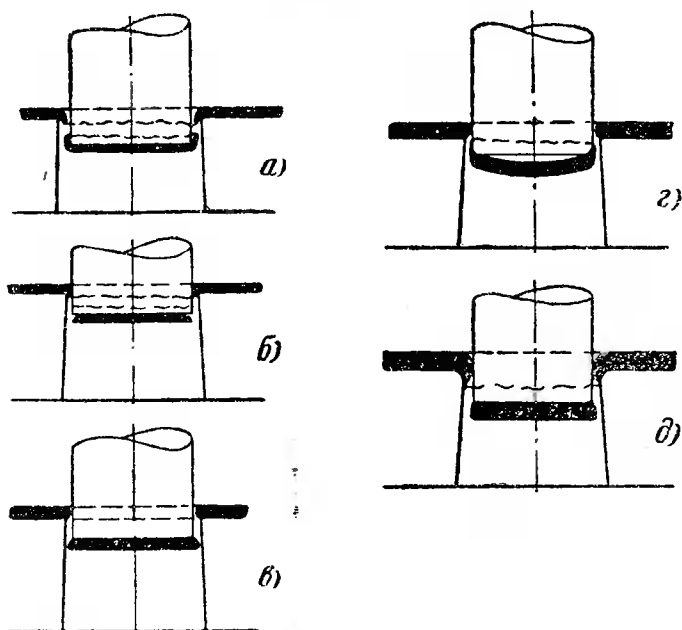
няться примерно 0,05 толщины материала, т. е. 0,015 и 0,025 мм на обе стороны для толщин стали 0,35 и 0,5 мм.

При увеличенном зазоре материал перед разрушением начинает вытягиваться, образуя толстый заусенец по всему контуру (рис. 61,а). При уменьшенном зазоре по всему

контуру среза получается тонкий заусенец с неровными краями (рис. 61).

При затуплении режущих кромок инструмента также получается заусенец, образование которого можно устранить, заточив режущие кромки.

На рис. 61,а показано образование заусенцев при затуплении пуансона, а на рис. 61,б — при затуплении матрицы.



\*Рис 61. Схема образования заусенцев.

а — увеличенный зазор; б — уменьшенный зазор; в — нормальный зазор между матрицей и пуансоном; г — затупленный пуансон; д — затупленная матрица.

При затуплении и матрицы и пуансона заусенцы будут получаться и в отверстии и на вырубке.

Заусенцы на пластинах магнитопровода отрицательно влияют на работу трансформатора. При больших заусенцах сильно снижается качество изоляции пластин. Магнитопровод, собранный из пластин с большими заусенцами, имеет большие потери. Местные замыкания по заусенцам могут вызвать аварию трансформатора («пожар в стали»).

При штамповке пластин из стали, оклеенной бумагой, надо штамповать так, чтобы заусенцы получались в сторону от бумаги.

Методы удаления заусенцев описаны ниже.

На штампах с одним пуансоном и одной матрицей можно вырубать одно отверстие, на штампах с несколькими пуансонами и матрицами можно за один ход пресса

проштамповать несколько отверстий в пластине или даже вырубить несколько деталей с отверстиями.

Ввиду того что для магнитопровода требуется большое количество пластин различных размеров и с разным расположением отверстий, в трансформаторостроении широко используются *сборные регулируемые штампы*. Пуансон и матрица изготавливаются из стали марок У8, У10, ЭХ-12 и др. Рабочая часть закаливается до твердости 62—64  $R_c$  и шлифуется (затачивается).

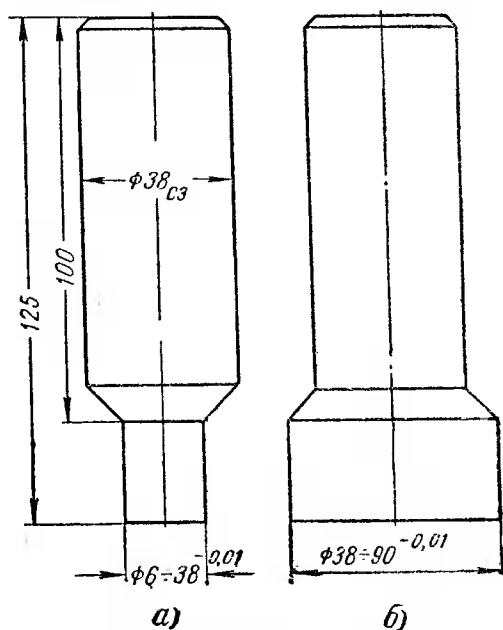


Рис. 62. Сменные пуансоны для штамповки круглых отверстий.

а — для отверстий диаметром до 38 мм;  
б — для отверстий диаметром свыше 38 мм.

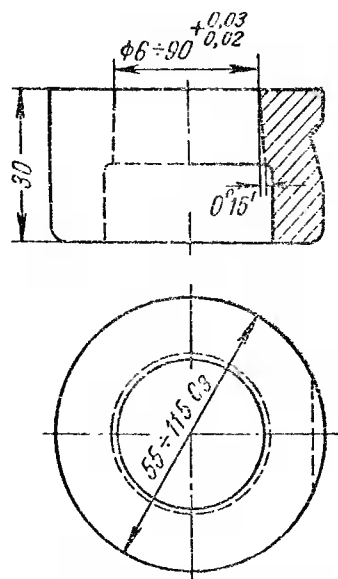


Рис. 63. Сменная матрица для круглых отверстий.

*Сменный пуансон* для штамповки круглых отверстий диаметром 6—38 мм показан на рис. 62, а, а диаметром 8—90 мм — на рис. 62, б. Верхняя часть пуансона служит для закрепления пуансона в пуансонодержателе и у всех пуансонов имеет размер 38 сз. По мере затупления пуансоны затачивают (шлифуют) по нижнему торцу в приспособлении по несколько одновременно.

*Сменная матрица* для штамповки круглых отверстий для диаметров 6—90 мм показана на рис. 63. Отверстие имеет коническую форму для лучшего выхода вырубков из матрицы. По наружному диаметру матрицы делают пяти размеров, согласованных с отверстиями в матрицедержателях. Снаружи в матрице имеется паз для крепления ее стопорным винтом.

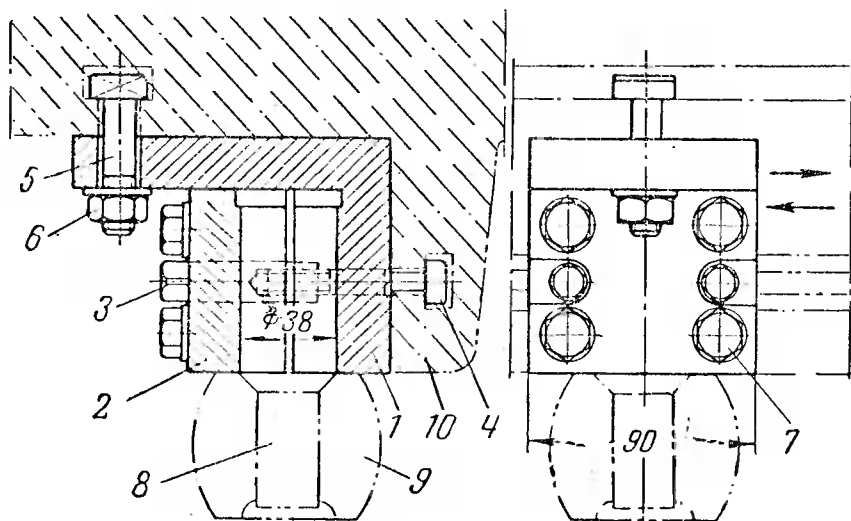


Рис. 64. Пуансонодержатель одианый передвижной.

1 — корпус; 2 — крышка; 3 — гайка фасонная; 4, 5 и 7 — болты; 6 — гайка; 8 — пуансон; 9 — съемник резиновый; 10 — плита подвижного стола.

На рис. 64 показана одна из конструкций пуансонодержателя для штамповки нескольких отверстий в один ряд. Корпус пуансонодержателя 1 крепится к верхней и вертикальной плоскостям ползуна прессы четырьмя болтами 5

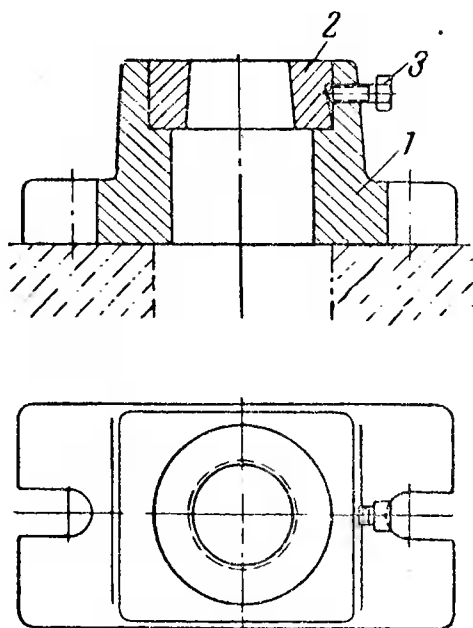


Рис. 65. Матрицедержатель одианый.

1 — матрицедержатель; 2 — матрица; 3 — болт стопорный.

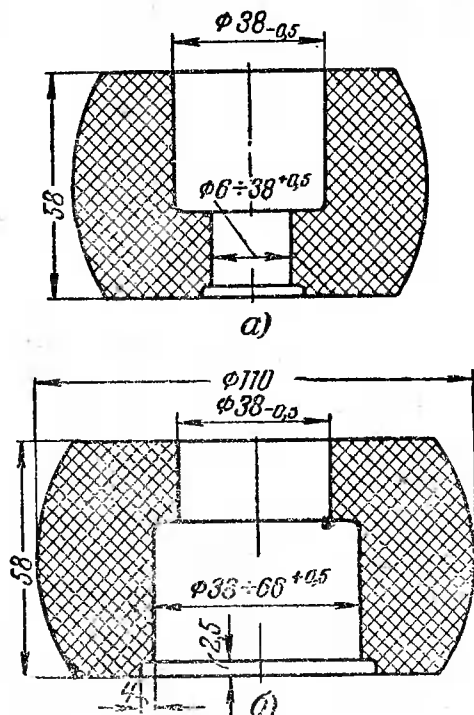


Рис. 66. Съемник резиновый.

а — для пуансонов диаметром до 38 мм; б — для пуансонов диаметром свыше 38 мм.

и 4, входящими в Т-образные пазы, и гайками 3 и 6. Крышка 2 притягивается к корпусу четырьмя болтами 7 и закрепляет хвостовик пуансона. Отпустив гайки 6 и 3 можно передвигать пуансонодержатель вдоль ползуна пресса.

Матрица 2 (рис. 65) болтом 3 закрепляется в матрицедержателе 1, у которого внизу сделаны два паза для крепления его к столу пресса.

По мере затупления матрица затачивается без матрицедержателя, и по мере стачивания под нее подкладывают стальные шайбы-прокладки.

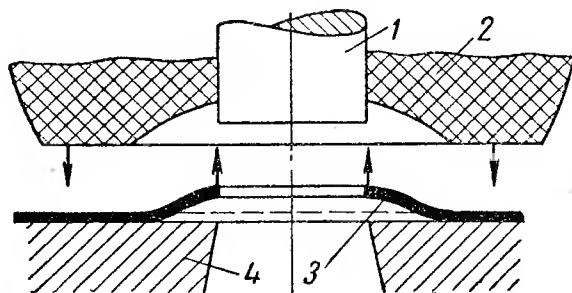


Рис. 67. Схема образования лунок на пластинах при работе с изношенными съемниками.

1 — пуансон; 2 — съемник; 3 — пластина; 4 — матрица.

Для того, чтобы снять пластину с пуансона после проковки отверстия, на пуансон надевают резиновый съемник-буфер (рис. 66). Съемник для пуансона диаметром до 38 мм имеет форму, показанную на рис. 66,а, для больших диаметров — форму, показанную на рис. 66,б. Со временем на съемнике у нижней его плоскости образуется углубление, которое может во время штамповки давать лунки на пластинах (рис. 67). Эти лунки во время прессовки магнитопровода как бы пружинят, чем снижают плотность прессовки и коэффициент заполнения сечения магнитопровода. Во время работы надо своевременно заменять изношенные съемники новыми.

Для штамповки пластин магнитопроводов трансформаторов с одним или двумя рядами, у которых расстояние между отверстиями стандартное (120 мм по ряду и 140 мм между рядами), применяется специальный пуансонодержатель (рис. 68). К корпусу 1 пуансонодержателя привернута плита 2, в которой расточены три ряда отверстий  $\varnothing 38$  мм под пуансоны. Расположение отверстий строго соответствует расположению отверстий на чертеже штампуемых пластин. Средний ряд отверстий предназначен для

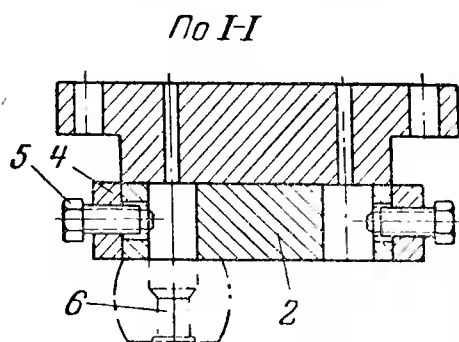
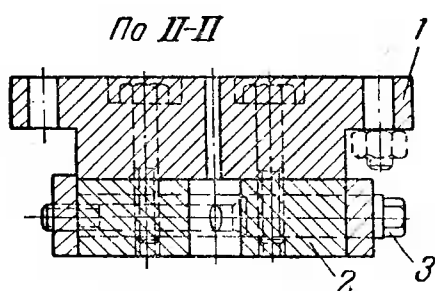
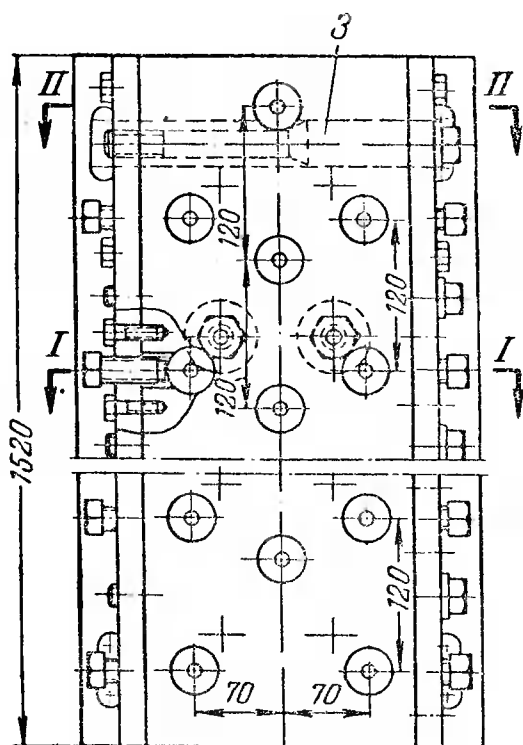


Рис. 68. Специальный пуансонодержатель для штамповки одного или двух рядов отверстий.

1 — корпус; 2 — нижняя плита с отверстиями под пуансоны; 3 — болт длинный; 4 — планки с резьбовыми отверстиями; 5 — болты стопорные; 6 — пуансон.

крепления пуансонов при штамповке пластин с одним рядом. Пуансоны крепятся в этих отверстиях длинными болтами 3 с коническим переходом. В крайние ряды вставляют пуансоны для штамповки пластин с двумя рядами. В них пуансоны закрепляются болтами 5, ввернутыми в планки 4.

Количество пуансонов устанавливают по количеству отверстий в пластине.

Смена пуансонов при затуплении или перестройке штампа отнимает очень мало времени.

Пуансонодержатель постоянно скреплен с ползуном прессы.

При двухрядной штамповке матрицы крепятся в низких матрицедержателях 1 (рис. 69), устанавливаемых на подкладные плитки 2, рассчитанные на два, четыре или шесть матрицедержателей. В плитках имеются Т-образные пазы для крепления матрицедержателей и окна со скосами для удаления отходов (вырубок).

Плитки крепятся через Т-образные пазы в столе прессы. После того как пуансоны закреплены в пуансонодержателе (рис. 68), матрицедержа-

тели вместе с матрицами надевают на пуансоны, для чего под матрицедержатели подкладывают временно подкладки толщиной 2—3 мм. После этого ползун опускают на 2—3 мм, вынимают прокладки и окончательно закрепляют каждый пуансонодержатель четырьмя болтами 3.

При однорядной штамповке крупных пластин или крупного отверстия под ярмовую шпильку снимают нужное ко-

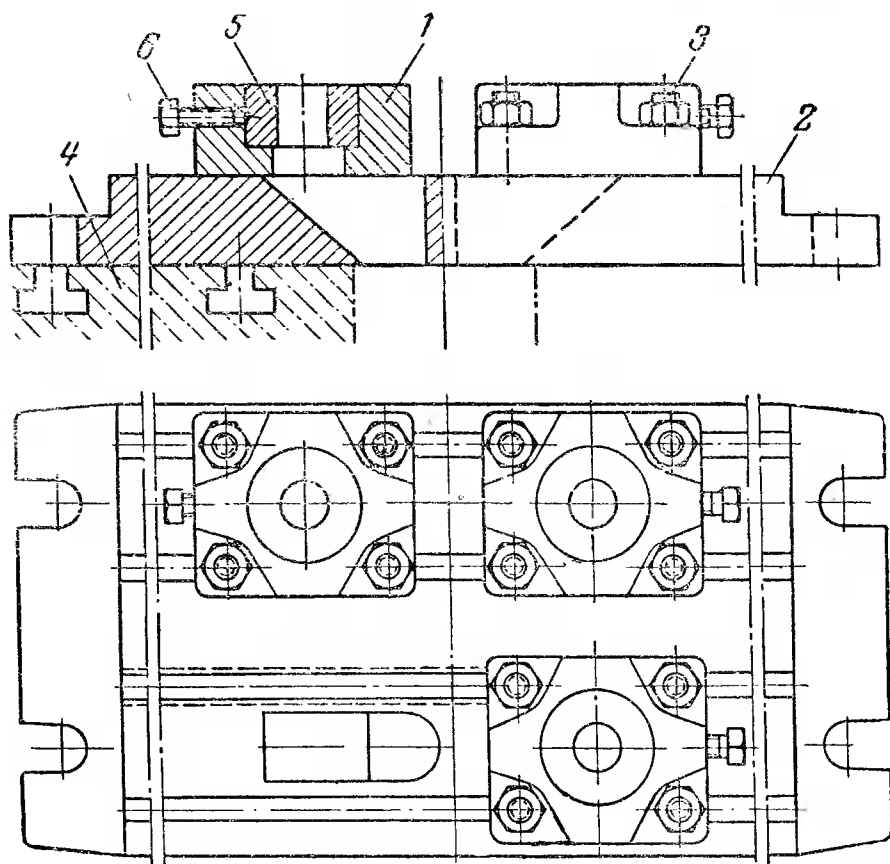


Рис. 69. Групповое крепление матрицедержателей при двухрядной штамповке.

1 — матрицедержатели низкие; 2 — плита подкладная; 3 — болт с гайкой; 4 — плита пресса; 5 — матрица; 6 — болт створный.

личество плиток, на их место ставят высокие одинарные матрицедержатели (см. рис. 65) и закрепляют их аналогично описанному способу.

При раскрое листов стали на заготовки пластин мелких трансформаторов или одновременной штамповке и обрезке торцов пластин на пресс устанавливаются два или больше комплектов *ножедержателей* (см. рис. 74). К нижним ножедержателям 3 и верхним 4 (рис. 70) крепятся ножи длиной не меньше ширины обрезаемых пластин или

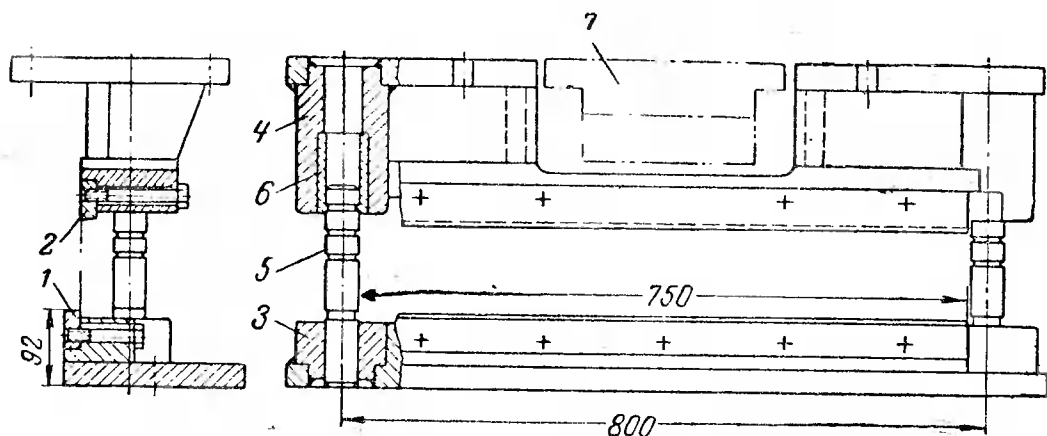


Рис. 70. Ножедержатели.

1 — нижний нож; 2 — верхний нож; 3 — нижний ножедержатель; 4 — верхний ножедержатель; 5 — направляющая колонка; 6 — втулка направляющая; 7 — пуансонодержатель.

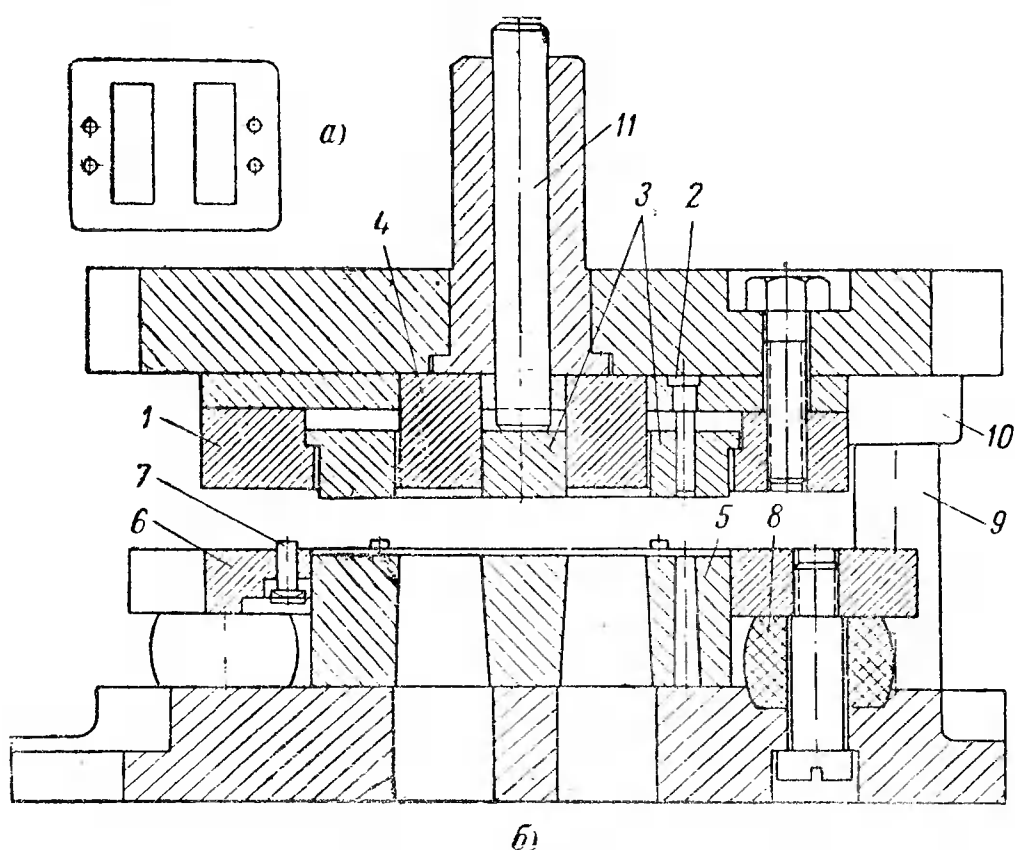


Рис. 71. Совмещенный штамп для штамповки пластин трансформатора типа СОБС.

а — штампуемая пластина; б — разрез штампа; 1 и 4 — матрица; 2 — пуансон; 3 — выталкиватель; 5 — матрица-пуансон; 6 — съемник; 7 — упор уголающий; 8 — резиновые втулки; 9 — колонка направляющая; 10 — втулка; 11 — штифт выталкивающий.

листов. Режущая кромка верхнего ножа 2 находится на уровне режущих кромок пуансонов, а режущая кромка нижнего ножа 1 — на уровне верхней плоскости матрицы.

Чтобы обеспечить необходимый минимальный зазор между ножами и вместе с тем гарантировать ножи от зарубания, в один ножедержатель запрессовывают *направляющие колонки 5*, а в другой — направляющие втулки 6.

В верхнем ножедержателе сверху сделана выемка, позволяющая устанавливать его в любом месте без снятия пуансонодержателя, показанного на рис. 68.

Пластины мелких трансформаторов вырубаются на *совмещенных штампах*. На рис. 71,а показана пластина трансформатора типа СОБС, а на рис. 71,б — штамп для вырубки за один удар всего контура и отверстий. К верхней плите прикреплена матрица 1; в нее входит пуансон 5, вырубая наружный контур. В свою очередь, в этом пуансоне расположены два прямоугольных отверстия, в которые входят пуансоны 4, вырубаящие окна и четыре круглых отверстия, куда входят пуансоны 2, вырубаящие круглые отверстия. Готовая пластина выталкивается из матрицы 1 выталкивателем 3 при помощи шпильки 11. Заготовка снимается с пуансона 5 съемником 6 при помощи резиновых втулок 8. На съемнике расположены три утопающих упора 7. Направляющие колонки 9 и втулки 10 предохраняют штамп от зарубания режущих кромок.

### 30. Резка заготовок и пластин

Чтобы обеспечить необходимую точность резки пластин на гильотинных ножницах, как правило, работают вдвоем. Один находится с задней стороны станка и подает листы между ножами на стол станка. Работающий со стороны стола следит за тем, чтобы кромка листа правильно прилегала к *упору*, установленному на столе станка.

Стальная закаленная линейка 11, служащая упором, имеет *ступенчатое* сечение (см. рис. 57).

При подаче очередного листа рабочий упирает кромку листа в верхний, более удаленный уступ упора и отрезает полосу. Далее, он поворачивает отрезанную полосу на 180°, прижимает ее кромкой к нижнему уступу и обрезает полосу шириной 5—8 мм. Делается это для того, чтобы отрезать неровный край листа. Дальше лист подается до нижнего уступа, пока он не будет нарезан весь.

Такая технология резки вызвана требованием получить пластины точных размеров, которых нельзя добиться при работе на заднем упоре. При установке упора надо особое внимание обращать на прямолинейность рабочей части упора, параллельность относительно режущей кромки нижнего ножа и правильность размера от упора до кромки ножа.

Основным недостатком работы на гильотинных ножницах этим методом являются низкая производительность труда и необходимость работать вдвоем. На некоторых заводах внедряются дисковые ножницы, производительность которых в несколько раз выше гильотинных. Схема расположения и работы ножей показана на рис. 60. Особенно эффективны дисковые ножницы при резке стали в рулонах на полосы различной ширины.

При конструировании новых типов трансформаторов следует для наиболее выгодного использования листов стали разработать карту раскроя, в которой указать, сколько и каких пластин режется из данного количества листов. В карте указывают процент используемых и неиспользуемых отходов. Для максимального использования листов стали ширина пластин магнитопровода на заводах нормализована.

Для обрезки двух параллельных кромок листа на определенном расстоянии применяют так называемые *параллельные* гильотинные ножницы, которые представляют собой как бы вдвоенные гильотинные ножницы. Одна пара ножей устанавливается на конце станины, а другая может перемещаться по ней на расстояние до 2 м и закрепляться на требуемом расстоянии.

Основные требования, предъявляемые при резке на гильотинных ножницах:

а) прямолинейные резы, параллельные, если обрезают две кромки; это требование обеспечивается надежной работой прижима и правильной установкой ножей;

б) отсутствие заусенцев или сведение их к минимальным размерам, что обеспечивается хорошим состоянием режущих кромок ножей и минимальным зазором между последними; отсутствие или слабый прижим листа во время резки способствует образованию заусенцев и затуплению ножей;

в) правильные размеры, что зависит от тщательности установки упора и внимательной работы резчиков.

### 31. Технологический процесс изготовления пластин мелких трансформаторов

Пластины мелких трансформаторов, как правило, штампуются из заранее нарезанных полос заготовок с припуском на отходы.

На рис. 72,а показана схема штамповки Г-образных пластин на последовательном штампе: за первый удар проштамповывается отверстие, за второй отрубается пластина. В отход идут две крайние пилообразные полоски и часть пластины в начале и конце заготовки.

Более рациональное использование материала при штамповке Г-образных пластин получается по рис. 72,б и в. На первом последовательном штампе вырубается прямоугольные пластины с четырьмя отверстиями, а на втором производится рассечка заготовки на две пластины. Недостатком этого способа является работа на втором штампе с ручной укладкой пластин.

Пластины с двумя прямоугольными окнами (рис. 72,г) штампуются (см. рис. 71) в совмещенном штампе. За вторую операцию производится рассечка язычка (рис. 72,д).

Ш-образные пластины штампуются за один удар в совмещенном штампе (рис. 72,е). Ярмом для этих пластин является прямоугольная пластина с двумя отверстиями (рис. 72,ж), которые вырубается на простейшем последовательном штампе. Однако при этом способе во время штамповки Ш-образных пластин большой процент стали идет в отход.

Можно так подобрать размеры пластины и ярма, что ярмо будет получаться при вырубке пластин по схеме на рис. 72,г, а сами Ш-образные пластины — от рассечки на две равные части пластины с двумя окнами.

При штамповке пластин описанной формы расположение проката относительно контура пластин безразлично.

Применение при такой форме пластин холоднокатаной стали недопустимо, так как магнитный поток проходит не везде по направлению прокатки.

### 32. Изготовление пластин магнитопроводов трансформаторов мощностью до 560 *кв*а

В этом параграфе рассматривается изготовление прямоугольных пластин с максимальной длиной 570 мм и с одним отверстием. Схема раскроя листа показана на

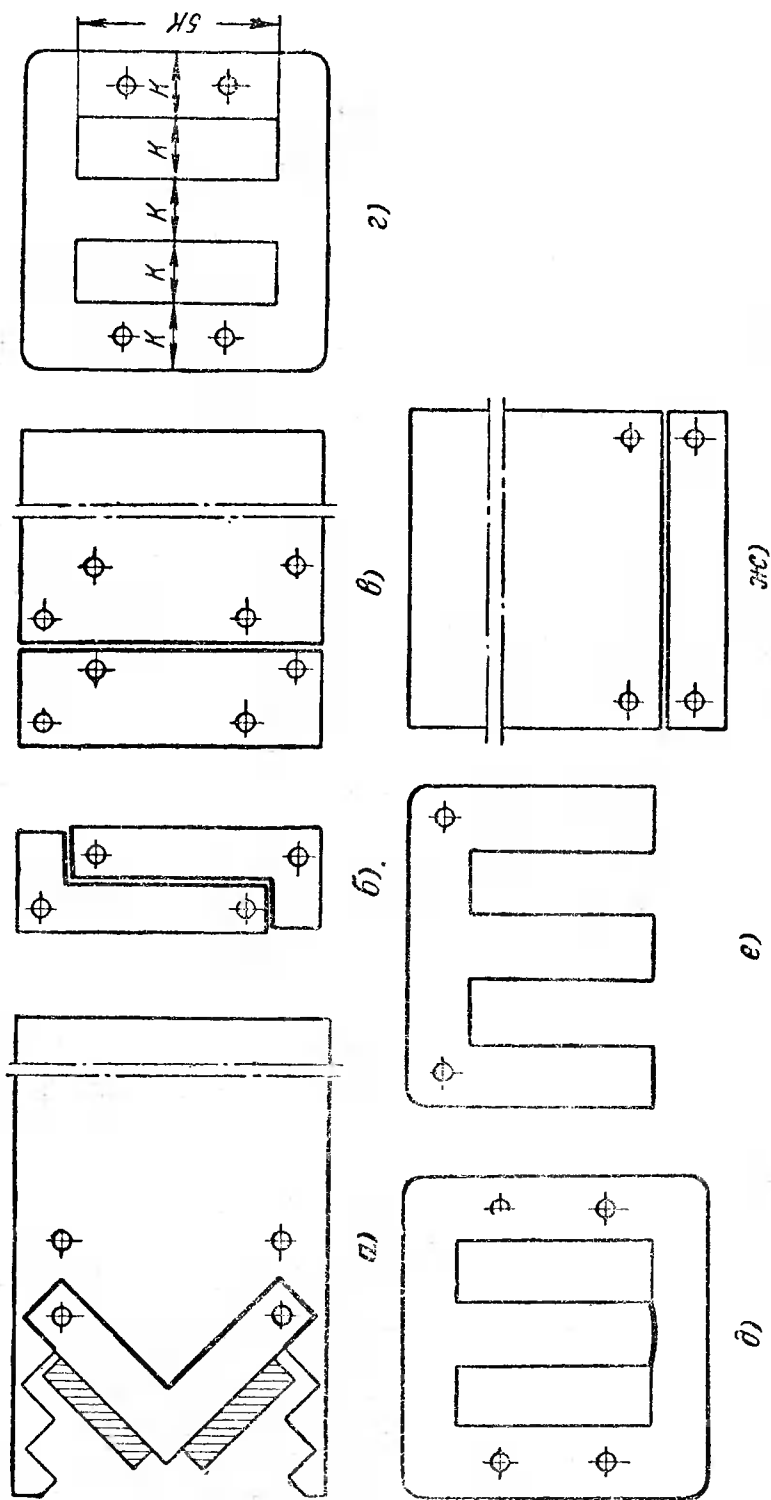


Рис. 72. Схемы штамповки пластин магнитопровода различных форм.  
 а — штамповка Г-образных пластин на последовательном штампе; б и в — штамповка Г-образных пластин двумя штампами последовательно; г — вырубка пластин на совмещенном штампе; д — расщепка средней перемычки; е — вырубка Ш-образных пластин на совмещенном штампе; ж — вырубка ярмовой пластины на совмещенном штампе.

рис. 73, а и б. Стрелки указывают направление проката листов.

Ниже приводится типовой процесс изготовления пластины трансформатора ТМ-320.

Первая операция — резка заготовок. Эта операция может быть выполнена на гильотинных ножницах за 4—5 резов, но более целесообразно разрезку делать за один ход на большом кривошипном прессе (рис. 74). Для этой цели на пресс устанавливаются строго параллельно 4 или 5 пар ножедержателей длиной не менее 750 мм на расстоянии, равном длине изготавливаемых пластин. Между нижними ножедержателями устанавливаются на высоте нижних ножей *опорные стойки*, а наверху под ними ставят на пружинах прижимные планки, чтобы листы перед резкой не провисали и не коробились, что повлекло бы за собой искажения размера. На рисунке эти пленки не показаны.

На передней плоскости плиты пресса установлено несколько кронштейнов 9 с роликами. С задней стороны плиты на шарикоподшипниках вращается валик 2 с заточками под резиновые ремни круглого сечения. На валик 2 и ролики 9 надеваются шесть или восемь резиновых бесконечных ремней 3 с диаметром сечения 10 мм. Валик 2 приводится в движение от индивидуального электродвигателя 4 0,25 квт, 1430 об/мин. Верхняя ветвь ремней находится немного выше верхней кромки ножей. Назначение этих ремней — досылать листы до гидравлического упора 5 и эвакуировать с плиты пресса заготовки 6 после разрезки. Линия, соединяющая центры гидравлических упоров, в которые упирается лист стали, должна быть строго перпендикулярной режущим кромкам ножей.

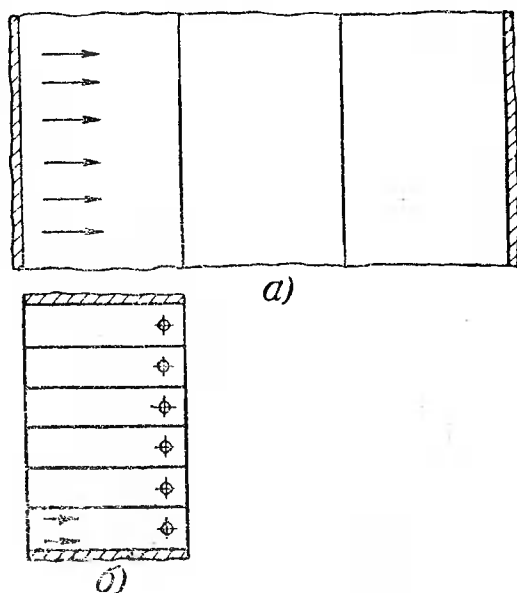


Рис. 73. Схема раскроя листов электротехнической стали на пластины силовых трансформаторов средней мощности.

а — обрезка двух кромок и резка трех заготовок; б — штамповка пластин с одним отверстием и обрезка двух кромок. Стрелки указывают направление проката.

Назначение гидравлического упора—освободить штамповщика от съема нарезанных пластин с пресса. Эту работу выполняют транспортеры 3 и 7, установленные на прессе и за прессом, в то время, когда упоры находятся в нижнем положении, а детали проходят над упорами.

Гидравлический упор (рис. 75) смонтирован в корпусе, представляющем собой колодку с двумя вертикальными

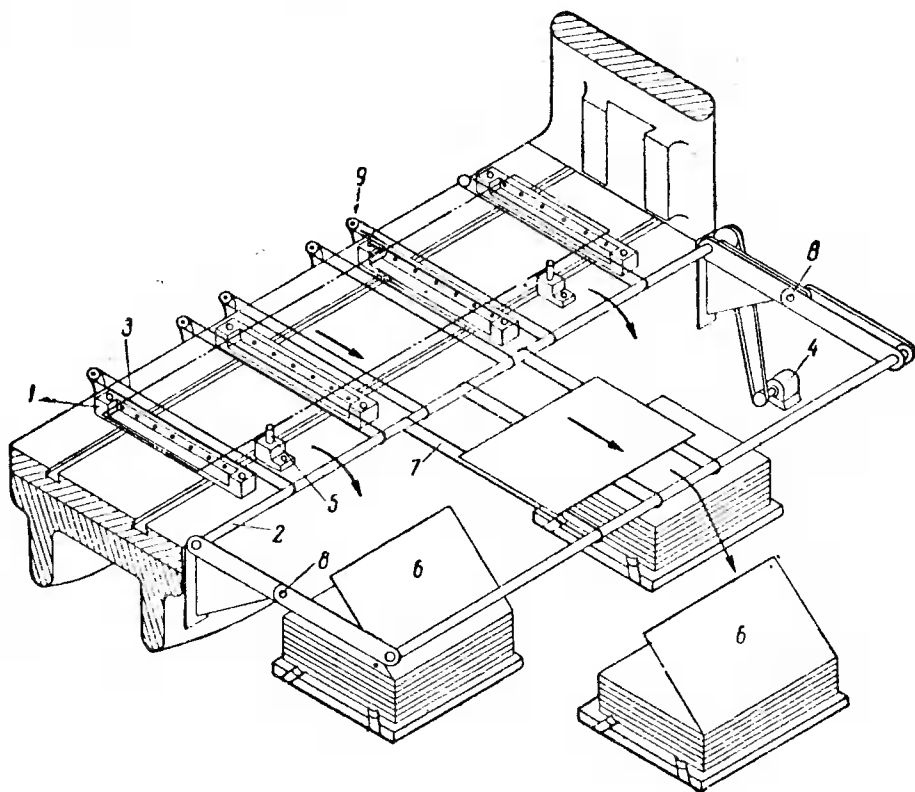


Рис. 74. Одновременная резка нескольких заготовок на кривошипном прессе.

1 — ножедержатель; 2 — вал веревочного транспортера; 3 — резиновый ремешек круглого сечения; 4 — электродвигатель; 5 — упор гидравлический; 6 — нарезанные заготовки; 7 — транспортер убирающийся; 8 — шарнир транспортера; 9 — ролик транспортера.

отверстиями, сообщающимися внизу. Левое глухое отверстие притерто по каленой стальной колонке 2, служащей непосредственно упором для листов. В правое отверстие вставляется поршень 3, который стремится под действием пружины 4 занять крайнее нижнее положение, вытолкнуть масло из правого цилиндра в левый и поднять колонку 2. Под поршнем расположена клапанная коробка, которая регулирует скорость перетекания масла. На рис. 75,а показан момент опускания плиты пресса. Нажимной палец 5 действует на колонку 2. Под нажимом колонки масло

устремляется по горизонтальному отверстию в клапанную коробку 7. Поток масла поднимает кожаную шайбу 6, и масло может быстро пройти под поршень 3, сжав пружину 4. После того как палец вместе с верхней плитой под-

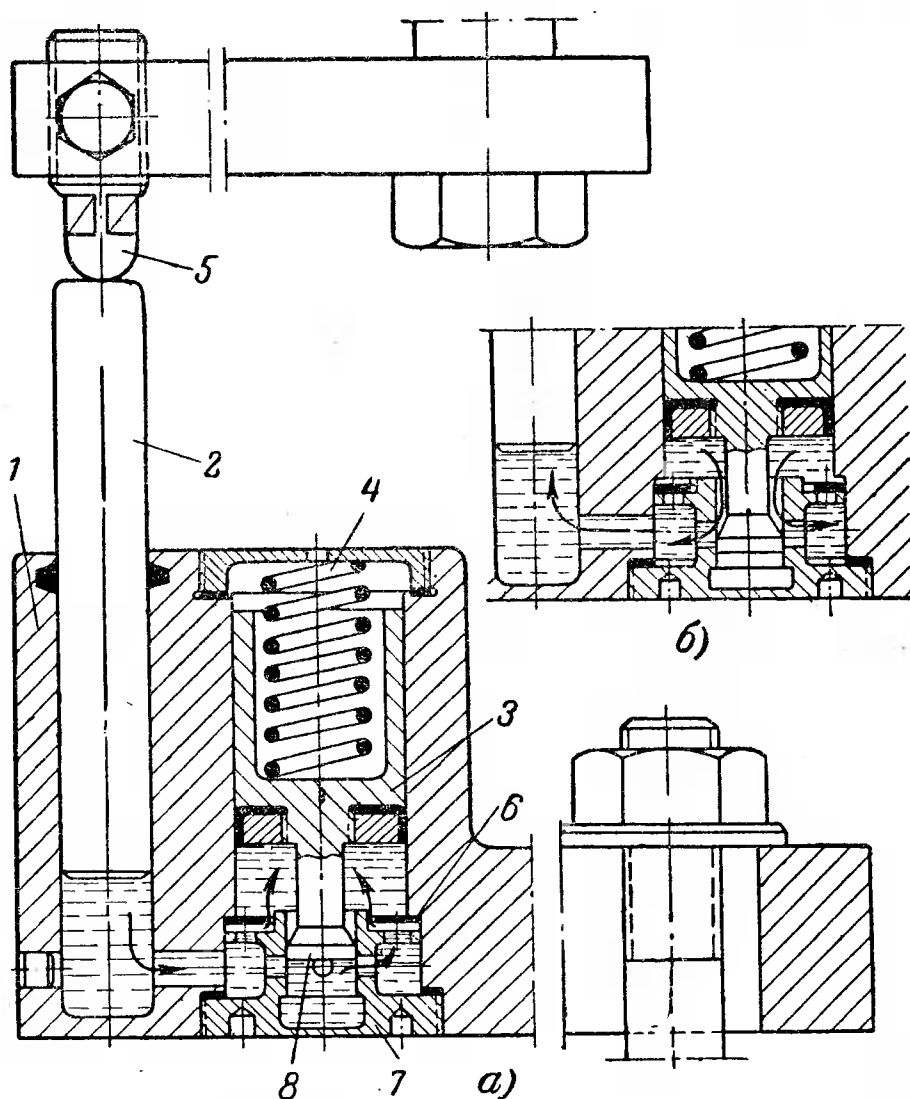


Рис. 75. Устройство гидравлического упора.

*a* — разрез упора; *б* — разрез клапанной коробки при подъеме; 1—корпус; 2 — колонка; 3 — поршень; 4 — пружина; 5 — палец нажимной; 6 — шайба кожаная; 7 — клапанная коробка; 8 — клапан. Стрелки показывают направление движения масла.

нимется, колонка (упор) 2 также начнет очень медленно подниматься.

В это время лист может двигаться над упором.

На рис. 75,б показано обратное движение масла под давлением пружины 4. Кожаная прокладка легла на отверстия и закрыла их.

Первое время масло перетекает очень медленно через небольшой зазор между клапаном 8 и отверстием в коробке 7.

На рис. 75,б показан момент, когда клапан уже поровнялся с отверстиями и начался быстрый подъем. К этому времени отрезанный лист должен успеть пройти над упором.

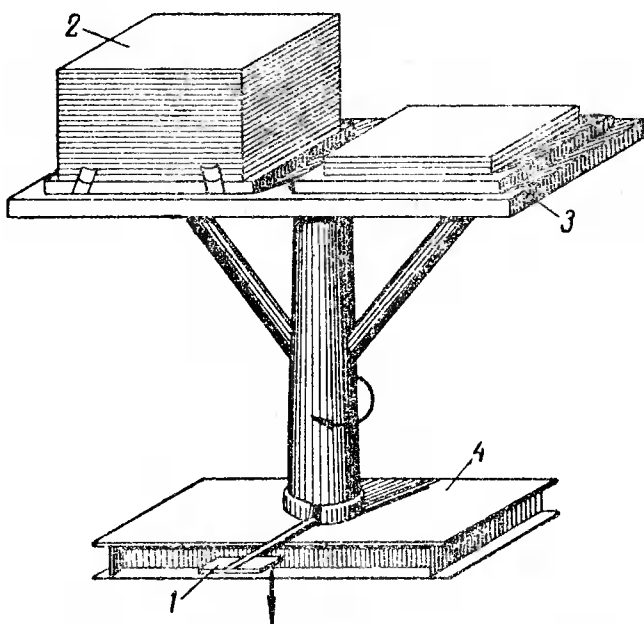


Рис. 76. Двухпозиционный поворотный стол к прессам.

1 — педаль тормоза; 2 — пачка заготовок; 3 — поворотная часть; 4 — основание.

Корпус упора 1 имеет паз для крепления его на плите прессы.

На время уборки пачек и установки новых стеллажей транспортер 7 складывается вокруг осей 8 и освобождает доступ крюку крана со стропами (см. рис. 74).

За один ход прессы обрезаются две кромки и нарезаются три заготовки.

Вторая операция. Нарезанные заготовки кладут на поворотный стол (рис. 76) возле одного из прессов, на которых установлены универсальные последовательные штампы.

Назначение поворотного стола — ликвидировать простои, вызванные несвоевременной подачей заготовок к прессу. На плиту стола можно положить две пачки заготовок.

По мере расходования заготовок комплектовщик имеет возможность подать заблаговременно новую пачку 2 заготовок на вторую половину. Для предохранения от самопроизвольного поворота у стола устроен колодочный тормоз 1.

Устройство штампа следующее (рис. 77): к нижней части штампа крепятся нож и матрица 1, которую можно приближать и удалять от режущей кромки ножа в зависимости от ширины пластины. Конструкция матрицы и ее крепление показаны на рис. 78. Круглая матрица 1 крепится стопорным болтом 4 в специальном матрицедержателе 2, конструкция которого позволяет максимально приблизить матрицу к режущей кромке ножа. По мере стачивания матрицы под нее подкладываются шайбы 3. Матрицедержатель крепится к плите штампа двумя болтами 5, передвигающимися по Т-образным пазам.

Верхняя плоскость матрицы должна быть на одном уровне с кромкой ножа.

Пуансон 2 (см. рис. 77) также может передвигаться в том же направлении, что и матрица. Конструкция пуансона показана на рис. 79. Цилиндрический пуансон 1 имеет резьбовой хвостовик, вывертываемый из цанги 2 по мере стачивания. Цанга вместе с пуансоном закрепляется клиновым сухарем 3. На пуансон надевается резиновый съёмник 4.

При настройке штампа сперва относительно ножей 3 и 4 (рис. 77) устанавливают пуансон, а по нему фиксируют матрицу, так как она имеет движение в двух направлениях.

К нижней части штампа спереди на уровне режущих кромок ножа и матрицы прикреплен столик 5, имеющий слева направляющую линейку, установленную под углом  $90^\circ$  к ножу, обеспечивающую резку пластин под прямым углом и выдерживающую расстояние от торца пластины до центра отверстия.

Спереди на столике установлен упор 6 для первого удара, во время которого обрезается кромка шириной 5—10 мм, идущая в отход.

За штампом укреплены два приводных валика 7 с *постоянными магнитами*, установленными над плоскостью движения заготовки. Назначение магнитов — поддерживать пластины перед отрезкой от провисания, а также подавать заготовку до задних упоров. Стальные закаленные задние упоры 8 с микрометрическими винтами устанавли-

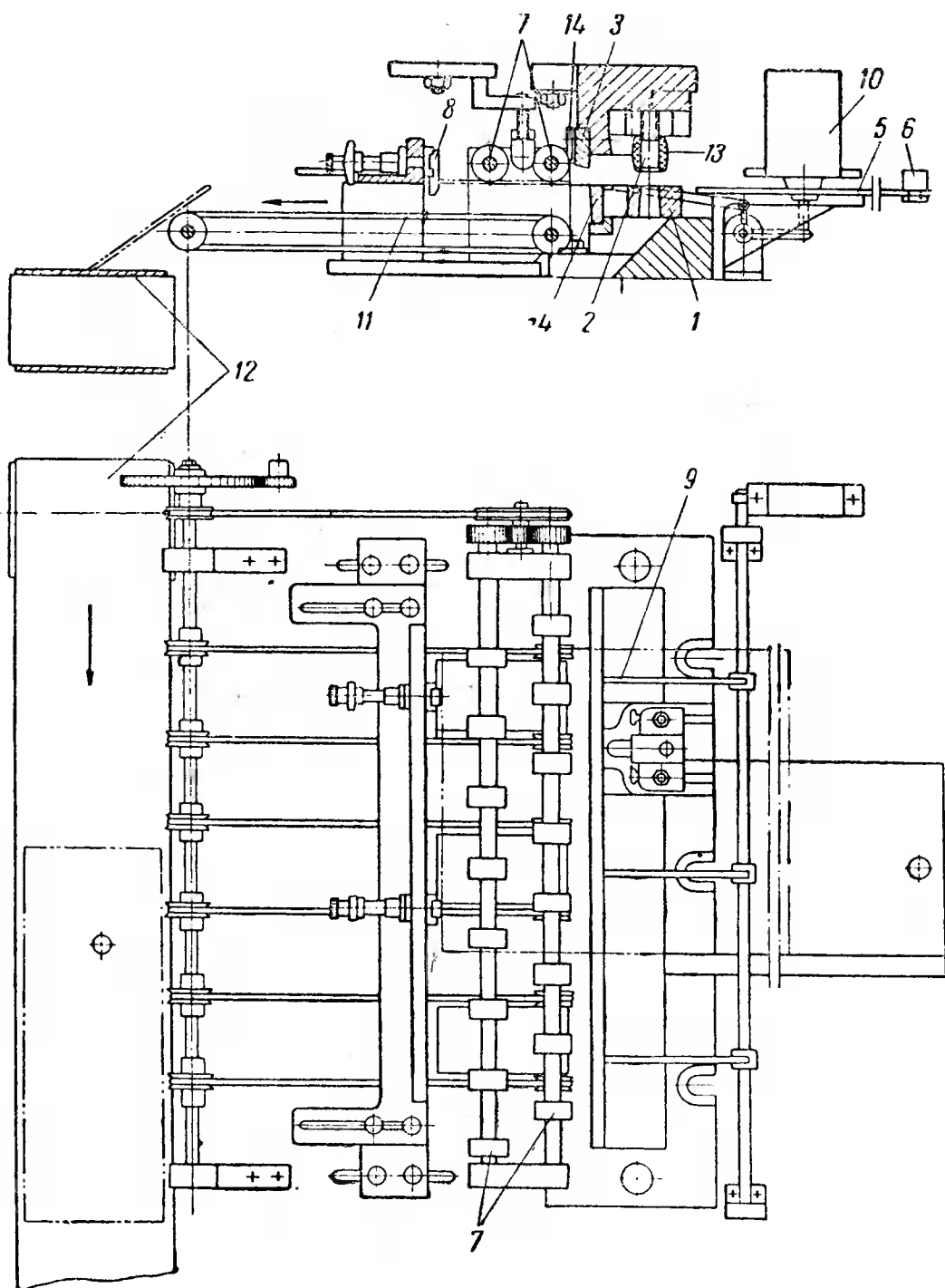


Рис. 77. Универсальный последовательный штамп.

1 — матрица; 2 — пуансон; 3 — пож верхний; 4 — пож нижний; 5 — стол передний; 6 — упор передний; 7 — валики с постоянными магнитами; 8 — задние упоры; 9 — сталкиватель отхода; 10 — электромагнит; 11 — веревочный транспортер; 12 — промежуточный транспортер; 13 — съемник; 14 — планка, не допускающая попадания отходов на магнитные валики.

ваются на расстоянии от плоскости реза, равном полной ширине пластин. Очередную заготовку кладут на стол и прижимают к переднему упору 6. За первый удар обрезается полоска, идущая в отход, и проштамповывается (прокалывается) отверстие в первой пластине. За второй удар отрезается первая пластина и проштамповывается отверстие во второй пластине и т. д.

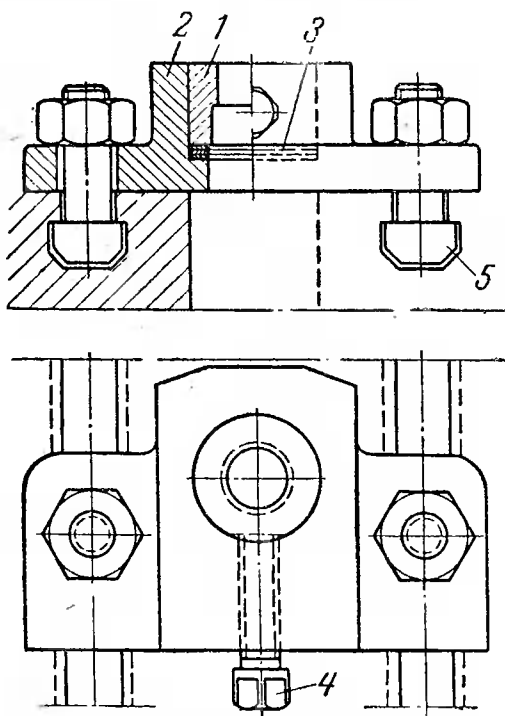


Рис. 78. Матрица к универсальному штампу для пластин магнитопровода.

1 — матрица; 2 — матрицедержатель; 3 — шайба подкладная; 4 — винт стопорный; 5 — болт крепежный.

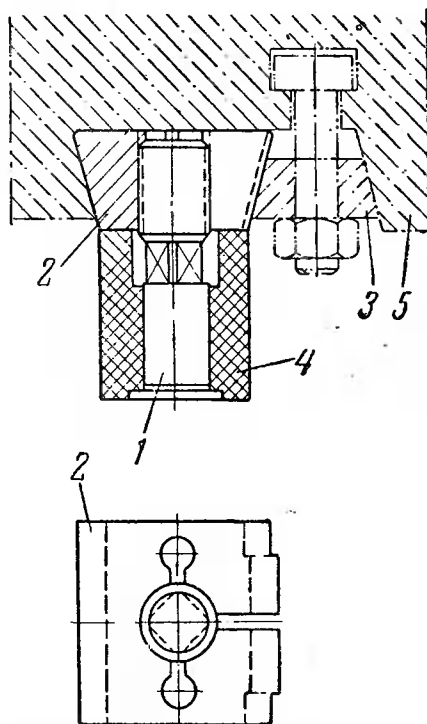


Рис. 79. Передвижной пуансон к универсальному штампу для пластин магнитопровода.

1 — пуансон; 2 — цанга клиновая; 3 — сухарь клиновой; 4 — съемник; 5 — верхняя плита штампа.

После отрезки последней пластины остаток сталкивается специальными толкачами 9, приводимыми в движение электромагнитом 10. Назначение толкачей — столкнуть остаток без перекоса между ножом и магнитными роликами.

После отрезки очередной пластины она отрывается от магнитных роликов отлипателями, установленными на верхней подвижной плите.

Готовые детали падают на веревочный транспортер 11, который уносит их на промежуточный транспортер 12, а с него — на ленточный, ведущий к станку для закатки заусенцев.

Узкие полоски, отрезанные в начале и конце штамповки, падают между транспортером *11* и нижним ножом в ящик. Вырубаемые кружки также падают в ящик.

### **33. Изготовление пластин магнитопроводов трансформаторов мощностью выше 1 000 ква**

Пластины мощных трансформаторов отличаются от пластин, производство которых было описано в § 32, во-первых, большими размерами и, во-вторых, отверстиями для прессовки стержней и прямоугольных пазов под ярмовые брусья.

На рис. 80 дана схема раскроя листов при изготовлении пластин мощных трансформаторов. В отличие от описанного процесса резку этих пластин начинают с раскроя листа по длине. На гильотинных ножницах, пользуясь ступенчатым упором, режут лист в размер по ширине пластин, обрезая в отход кромки листа так, чтобы направление проката совпадало с длиной пластин (рис. 80, *1*).

Если длина пластины меньше 1 470 мм (при листе шириной 750×1 500 мм), обрезают лист по длине, оставляя припуск 10—15 мм под обрезку на прессе.

Нарезанные в размер по ширине заготовки подаются краном к кривошипному прессу, на котором одновременно обрезаются листы в размер по длине и прокалываются отверстия по чертежу (рис. 80, *2a* и *2б*).

Установка штампов, ножей и другой оснастки показана на рис. 81.

В пуансонодержателе *1*, показанном на рис. 68, закрепляют необходимое количество пуансонов нужных размеров. Поскольку расположение отверстий в пуансонодержателе совпадает с расположением отверстий в пластине, эта операция занимает немного времени. По пуансонам устанавливают матрицы *2* в матрицедержателе, как указано в § 29. После этого устанавливают сперва первую пару ножедержателей, выдерживая расстояние от крайних отверстий до стыкового края.

*Стыковой кромкой* называется кромка, которая стыкуется с другой пластиной в одном слое. Далее устанавливают вторую пару ножедержателей *4*, выдерживая расстояние между ножами, равное длине пластины.

Устанавливают два гидравлических упора *5*. При установке упоров надо следить, чтобы отверстия получались симметричными относительно продольной оси пластины и поперечные кромки перпендикулярными продольным. Рас-

стояние между упорами надо делать возможно бóльшим.

В промежутках между матрицами и дополнительными опорами устанавливают на приводные валики бесконечные круглые ремни 3, назначение которых — подавать пласти-

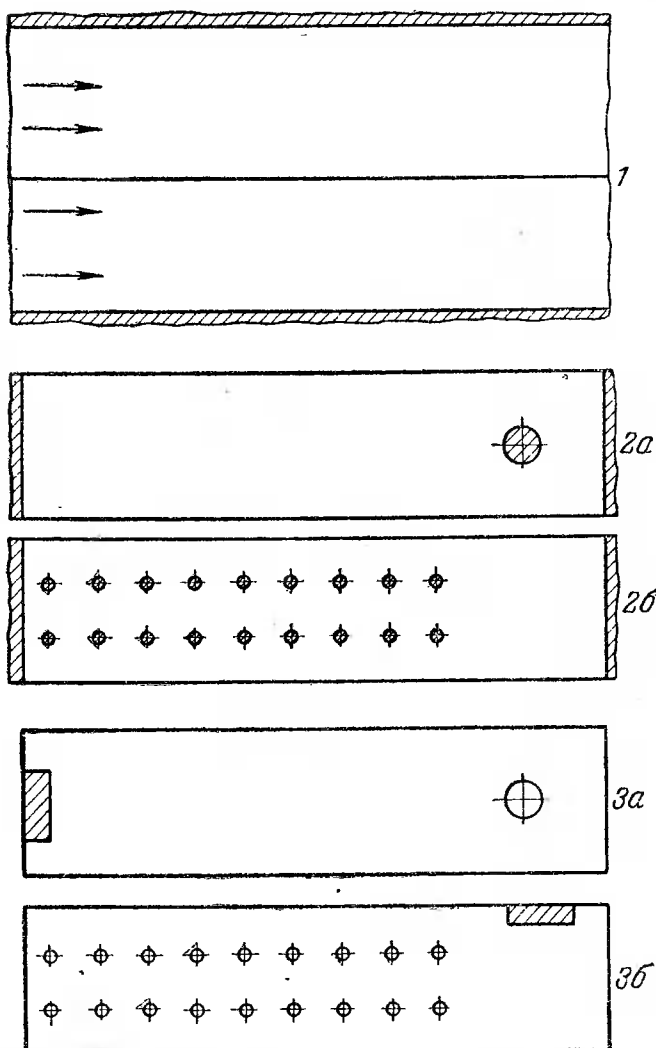


Рис. 80. Схема раскроя листов электротехнической стали на пластины мощных трансформаторов.

1 — обрезка двух кромок и разрезка листа на две пластины; 2а и 2б — штамповка круглых отверстий и обрезка двух коротких кромок; 3а и 3б — штамповка прямоугольных пазов.

ны до упора, а после штамповки убирать их из-под штампа. Проверяют исправность вибрирующих лотков на нижних ножедержателях, назначение которых — удалять с ножедержателей обрезанные по торцам полосы.

При установке надо следить за тем, чтобы пластина не

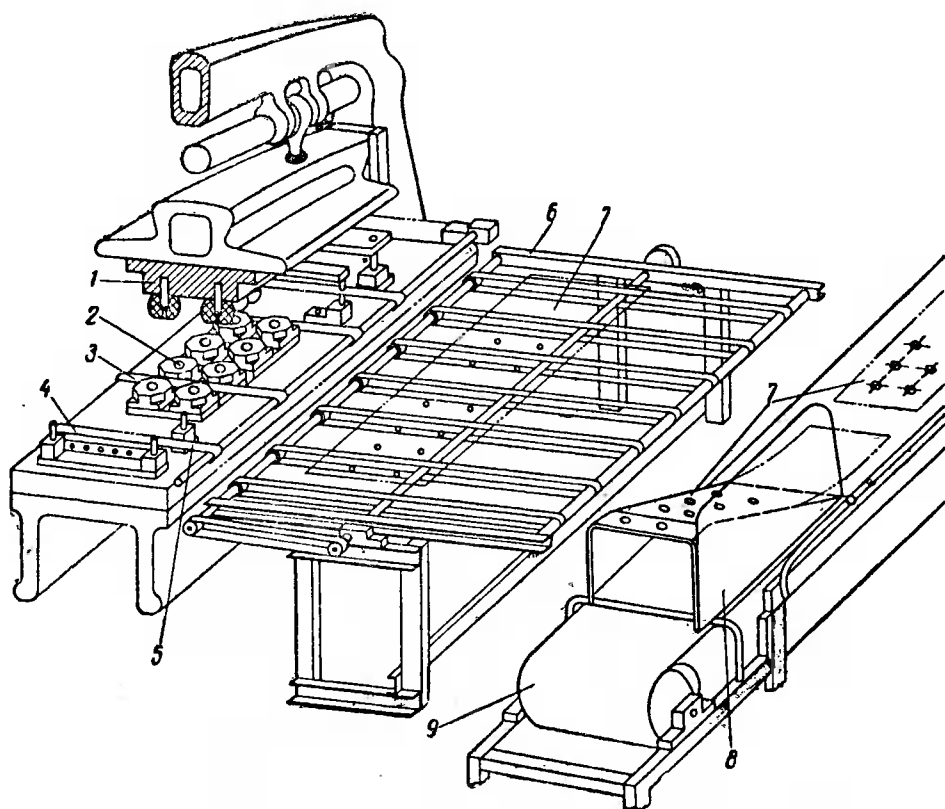


Рис. 81. Оснащение пресса для штамповки пластин мощных трансформаторов.

1 — пуансонодержатель с пуансонами и съемниками; 2 — матрица; 3 — веревочный транспортер; 4 — ножедержатель; 5 — гидравлический упор; 6 — промежуточный убирающийся транспортер; 7 — отштампованные пластины; 8 — склиз; 9 — главный транспортер.

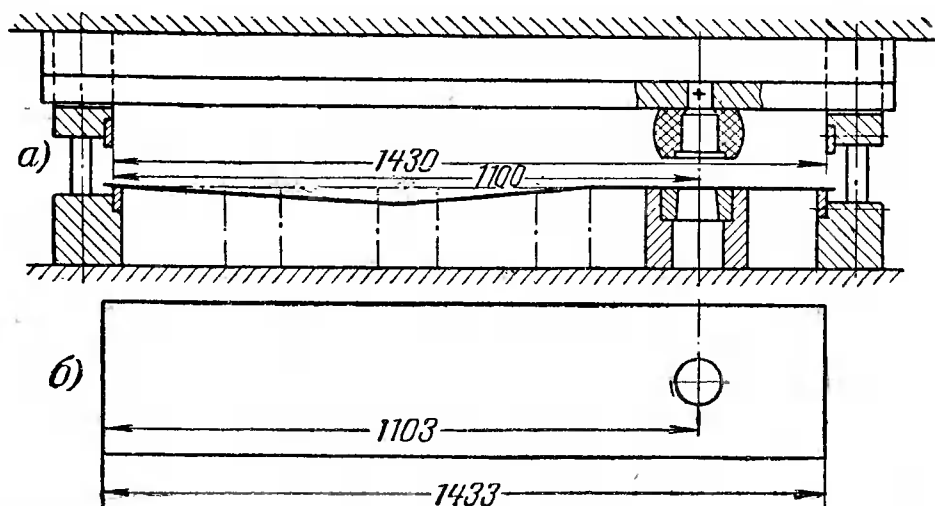


Рис. 82. Искажение размеров во время штамповки при отсутствии достаточного количества опор.

а — установленные размеры в штампе; б — размеры пластины после ее выпрямления.

могла провисать, так как при этом неизбежно будут искажаться размеры.

На рис. 82 показано, как при недостатке опор пластина во время штамповки провисла и размеры, вместо установленных на штампе 1 430 и 1 100 мм, получились соответственно 1 433 и 1 103 мм.

После настройки пресса опускают промежуточный транспортер в рабочее горизонтальное положение. Включают пресс и делают пробную штамповку. Отштампованную пластину 7 проверяют на контрольном столе по уголь-

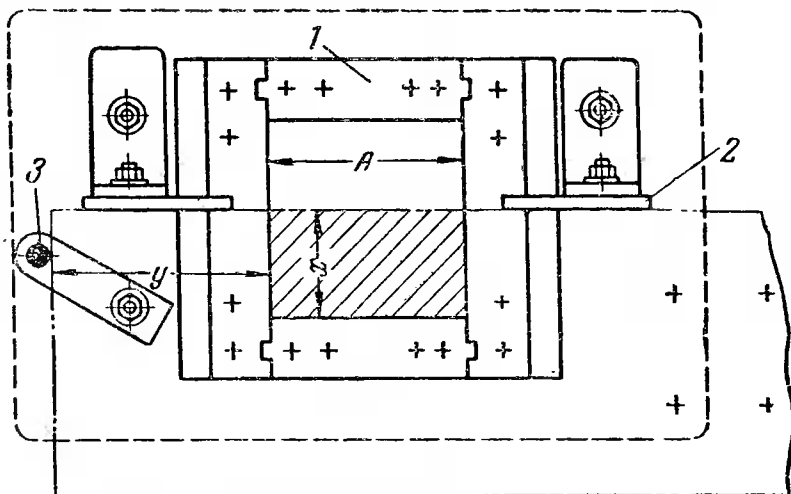


Рис. 83. Установка штампа для просечки прямоугольных пазов.

1 — сборная матрица; 2 — упоры на глубину паза; 3 — упор устанавливающий размер от паза до края пластины.

нику, линейке и штангенциркулем. При необходимости подправляют наладку и начинают штамповать.

Пластину 7 укладывают на матрицы и досылают до упоров. При укладке надо следить, чтобы припуск по длине распределялся симметрично между обеими парами ножей. После укладки пластины на пресс и нажатия на педаль рабочий может брать следующую заготовку, так как веревочный и промежуточный транспортеры передвигают пластину на вальцы для закатки заусенцев.

Если в пластинах должен быть еще прямоугольный паз, то они не направляются с пресса на главный конвейер, а укладываются на стеллаж и передаются на эксцентриковый пресс, на котором вырубается паз, как показано на рис. 80,3а и 3б.

На рис. 83 показана установка матрицы штампа для просечки *прямоугольных пазов*. Ширина пазов  $A$  нормали-

зована, и в производстве имеется несколько штампов с различными размерами  $A$ . Глубина  $x$  паза изменяется в разных пакетах одного и того же магнитопровода. Сборная матрица  $1$  делается с таким расчетом, чтобы можно было штамповать максимальную глубину паза. Упоры  $2$  устанавливаются так, чтобы дно паза было параллельным кромке пластины, а размер  $X$  имел плюсовой допуск. Упор  $3$  устанавливается более точно и обеспечивает размер  $Y$ .

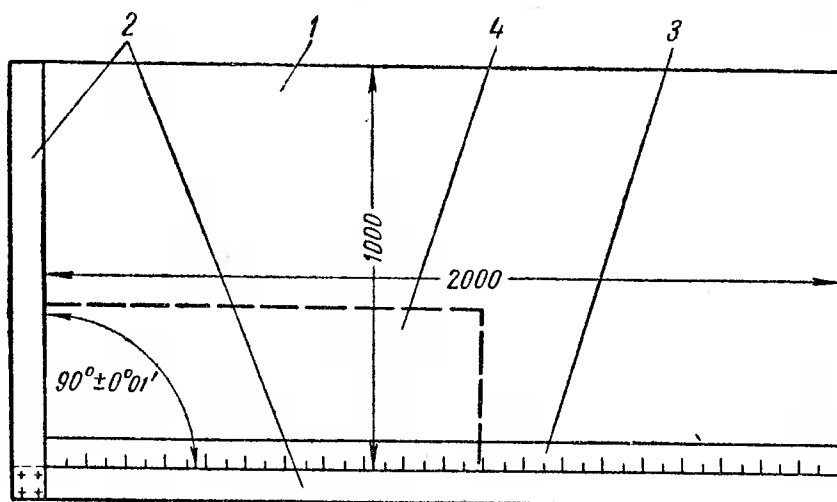


Рис. 84. Контрольный стол для проверки размеров пластин.

1 — плита; 2 — угольник стальной; 3 — линейка с делениями;  
4 — проверяемая пластина.

Отштампованные пластины проверяются по размерам на контрольном столе (рис. 84).

На стеллаже положена строганая плита  $1000 \times 2000$  мм. По одной из длинных сторон заподлицо с плоскостью плиты уложена 2-метровая стальная линейка с миллиметровыми делениями от 0 до 2000. К одному из углов плиты прикреплен стальной каленый угольник с размерами сторон  $1000 \times 2000$ . Угольник возвышается над плоскостью на 10—12 мм. Прямой угол угольника выполнен с большой точностью: отклонение на длине 1000 мм не должно превышать 0,25 мм.

Правильность реза пластин под прямой угол проверяют угольником, а ширину и длину пластин — линейкой. Расстояние отверстий от кромок и между отверстиями измеряют штангенциркулем. (Допуски на размеры см. приложения.)

При изготовлении пластин магнитопровода из холоднокатаной стали, у которой магнитная проницаемость вдоль проката в несколько раз больше, чем поперек, целесообразно делать пластины с косыми стыками.

На рис. 85,а показана схема штамповки пластин с двумя косыми кромками и двумя рядами отверстий на специальном прессе.

Пресс имеет два ползуна, приводимые в движение кинематически связанными коленчатыми валами.

На одном ползуне устанавливаются пуансоны по числу отверстий в пластине (на рисунке затушеваны). Другой ползун приводит в движение верхний нож обрезного механизма 3. Обрезные ножи, связанные направляющими колонками при помощи механизма поворота, автоматически после каждого разреза поворачиваются вокруг вертикальной оси на 45 или 90°.

В первом случае будут получаться пластины, у которых одна торцовая кромка косая, а другая прямоугольная (рис. 85,б).

Пресс рассчитан на штамповку из ленты шириной, равной ширине штампуемых полос. При этом штамповка практически получается без отходов. При работе из заготовок (листов) неизбежны отходы с обеих сторон.

Лента механизмом подачи 4 передвигается на длину пластины, измеренной по средней линии. Точный шаг подачи фиксируется пальцами, входящими в проштампованные за предыдущий удар отверстия.

За каждый ход пресса первый ползун штампует отверстия, а второй отрезает готовые пластины. Благодаря механизму поворота торцовые кромки обрезаются под углом 45° к продольной оси пластины, образуя между собой угол 90° (рис. 85,а).

В процессе резки и штамповки по мере затупления инструмента и увеличения зазора между режущими кромками на пластинах магнитопровода получают заусенцы. Холоднокатаная сталь как более вязкая при одинаковом состоянии инструмента дает большие заусенцы, чем горячекатаная. Поэтому перед сборкой заусенцы со всех пластин должны быть удалены. Заусенцы со стали, оклеенной бумагой, удаляют после оклейки и штамповки. Штамповать надо так, чтобы заусенцы были направлены в сторону от бумаги. При всех других видах изоляции удалять заусенцы нужно перед нанесением изоляции. При этой работе нужно соблюдать два основных требования: а) уда-

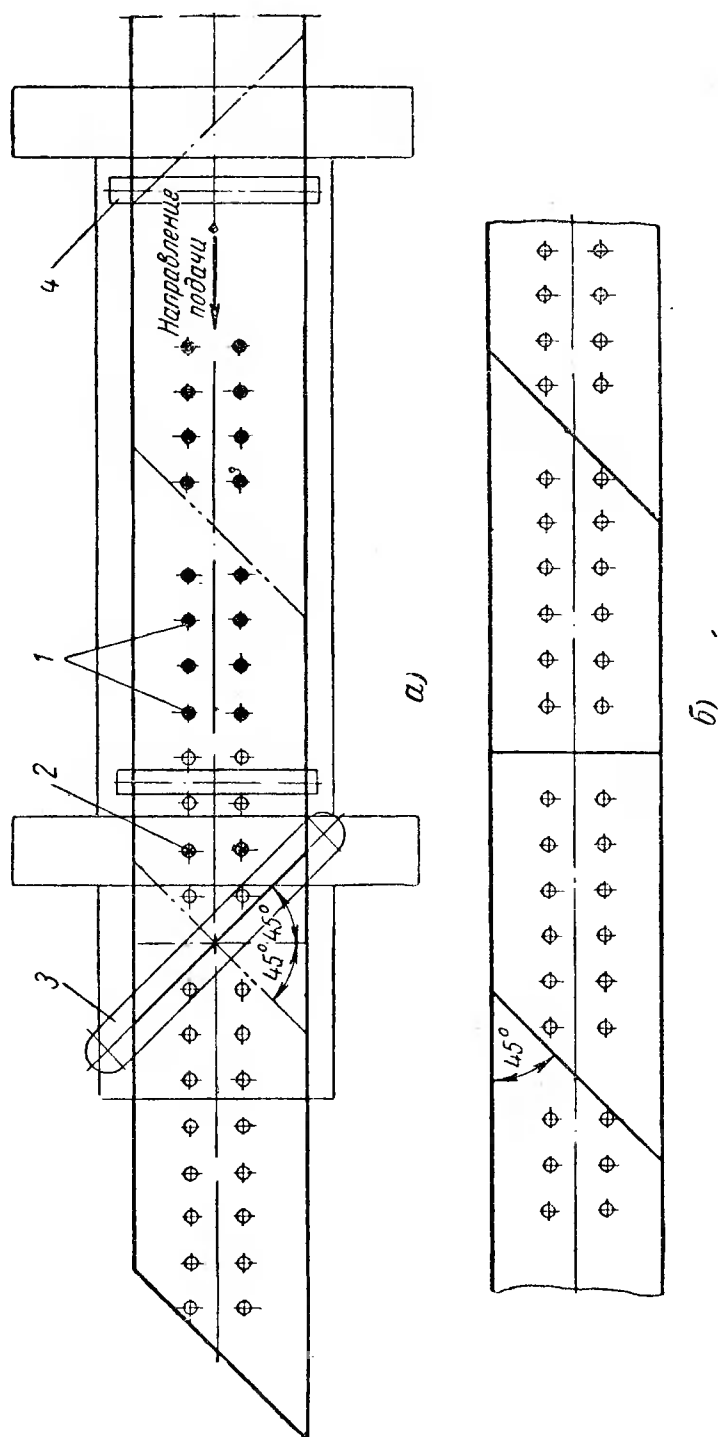


Рис. 85. Схема штамповки пластин с косыми стыками.  
а — схема штамповки пластин с двумя косыми кромками; б — то же с одной косой кромкой; 1 — пуансоны и матрицы; 2 — фиксаторы; 3 — обрезной поворотный механизм; 4 — механизм подачи.

лять заусенцы равномерно и надежно по всем кромкам и б) удаление должно давать минимальный наклеп в стали. Второе требование особо важно, так как отжиг оклеенных пластин невозможен.

Существуют два способа удаления заусенцев: шлифование и смятие (закатка).

На заводах с небольшим выпуском мелких трансформаторов для этой цели используют обычные наждачные

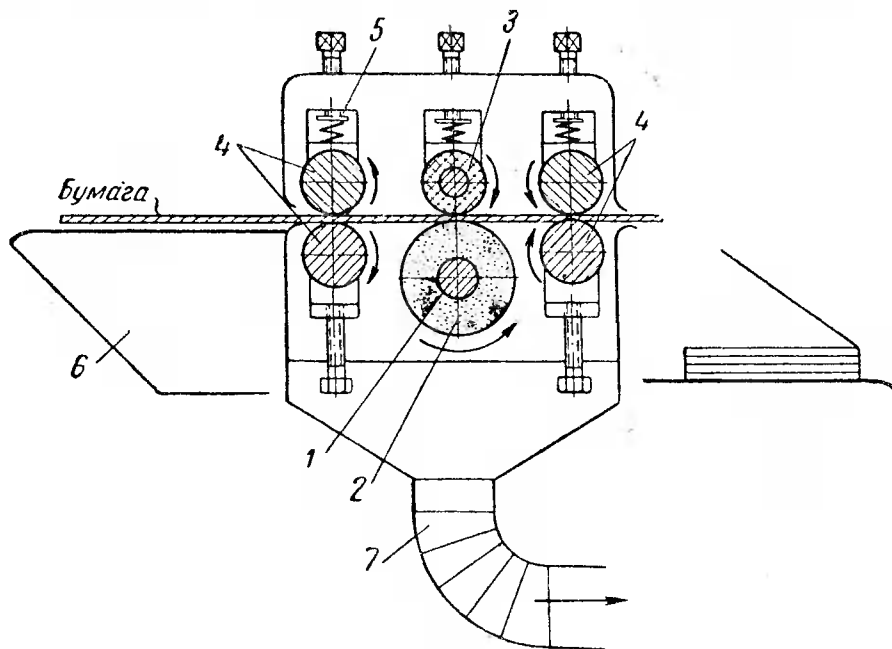


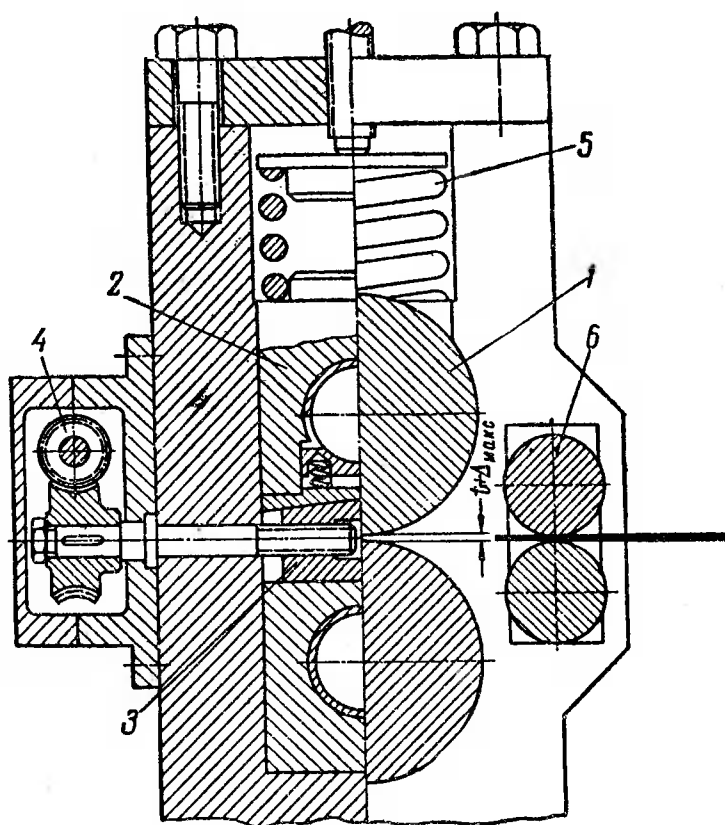
Рис. 86. Схема шлифовального станка для удаления заусенцев.

1 — шпиндель; 2 — абразивный круг; 3 — резиновый вал; 4 — подающие валики; 5 — пружины; 6 — загрузочный стол; 7 — отсос пыли.

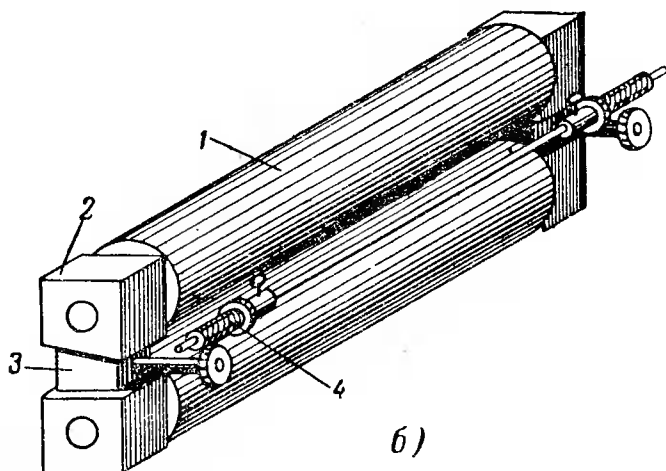
точила, на которых вручную сошлифовывают заусенцы поочередно со всех отверстий и кромок. Этот метод очень трудоемок, не гарантирует равномерного удаления заусенцев на всех кромках и требует от рабочего большого внимания.

До последнего времени на большинстве трансформаторных заводов удаление заусенцев производилось на специальных *шлифовальных станках* (рис. 86).

В середине нижней части станка расположен шпиндель 1, на который надеты абразивные круги 2, закрепленные с торцов гайками. Шпиндель вращается со скоростью, нужной для резания при шлифовании. Над абразивным валиком вращается в противоположном направлении обремененный валик 3, прижимающий пласти-



а)



б)

Рис. 87. Схема станка для смятия  
(закатки) заусенцев.

а—разрез по подшипникам; б—схема станка; 1—рабочие вальцы; 2—регулируемые подшипники; 3—клин регулирующий; 4—червяки; 5—пружина; 6—валяки вспомогательные.

ны к абразивным кругам. Перед этими валиками и за ними расположены две пары стальных подающих валиков 4, прижимающихся друг к другу под действием пружин 5. Длина рабочих валиков делается немного больше максимальной ширины пластины. У станка имеется загрузочный стол 6. Станок обязательно должен быть оборудован вентиляцией 7, отсасывающей пыль.

Станки эти обладают эксплуатационными недостатками. Во время работы абразивные круги вырабатываются неравномерно, в результате чего они начинают бить и создавать наклеп на пластинах, а также пропускать заусенцы. Станки требуют частой правки камней и даже замены их новыми, что вызывает частые простои. Кроме того, они создают шум и, несмотря на вентиляцию, загрязняют воздух абразивной пылью.

Для уменьшения простоев станка во время смены камней и сокращения расходов по эксплуатации, а также во избежание наклепа в стали на МТЗ сконструирован станок для *снятия заусенцев* (рис. 87). Рабочим органом станка являются два стальных каленых вала 1. Зазор между ними должен быть на несколько микронов больше максимально возможной толщины стали во избежание обжата всего листа и образования наклепа.

Необходимый зазор между валиками можно создать, раздвигая одновременно главные подшипники 2 двумя клиньями 3, которые управляют механизмом настройки 4 с необходимой точностью. На случай одновременного попадания между валиками несколько пластин и во избежание поломки верхний валик прижимается двумя пружинами 5 с усилием в несколько тонн. За главными валами расположены два вспомогательных валика 6, назначение которых — отбрасывать листы на стеллаж.

#### 34. Требования к пластинам магнитопровода

Электротехническая сталь, получаемая с металлургических заводов, должна иметь *чистую поверхность*, без окалины, ржавчины и налета талька. Эти дефекты ухудшают оклейку и лакирование стали и, кроме того, увеличивают запыленность рабочих мест резчиков и штамповщиков.

Листы стали, получаемые с металлургических заводов, имеют кромки неправильной обрезки и заниженной толщины, поэтому, как уже говорилось, у всех листов должны

быть обрезаны полоски по всем четырем сторонам шириной 5—10 мм и выброшены в отход. У рулонной стали должны быть обрезаны полоски по обеим сторонам рулона такой же ширины, как и на листах.

Наиболее распространенный вид брака на металлургических заводах — *волнистость* и *коробоватость*. Особенно неприятна для крупных магнитопроводов коробоватая сталь, так как она не может быть выпрямлена. Коробоватость стали искажает размеры пластин при штамповке и не позволяет изготовить магнитопроводы правильного сечения, с хорошей прессовкой и расчетным коэффициентом заполнения сечения.

Поэтому пластины магнитопроводов крупных трансформаторов разрешается штамповать из листов с коробоватостью не более 8—10 мм. Сталь с большей коробоватостью может быть использована только на пластины мелких, неответственных трансформаторов. Волнистость листов делает стержни и ярма криволинейными, волнистыми и ухудшает условия прессовки.

Из волнистой стали можно штамповать пластины магнитопровода, если высота волны не превышает 4—6 мм, а длина ее не меньше 25-кратной высоты.

Для получения необходимой точности во время штамповки или резки необходимо выпрямить листы при помощи достаточного количества прижимов.

Листы стали, имеющие волнистость больше допустимой, также могут быть использованы только для изготовления мелких трансформаторов.

При сборке магнитопроводов категорически не допускается перекрытие (налезание) одного листа другим в одном слое. Должен быть обеспечен гарантированный зазор, и чем меньше будет этот зазор, тем лучше.

На образование зазоров влияют: а) отклонение от прямых углов каждой пластины; б) криволинейность кромок пластин и в) отклонения в линейных размерах самих пластин, размерах между отверстиями и расстояниях от отверстий до кромок.

Отсюда вытекают повышенные требования к кромкам, образующим стыки. Эти кромки должны быть прямолинейными и обрезанными под углом 90° к другим кромкам. Отклонения расстояний от отверстий до кромок могут быть только в меньшую сторону.

В приложении приводятся допуски на размеры пластин и расположение отверстий.

### 35. Изготовление вспомогательных деталей (прессующих и изоляционных)

Ярмовые балки (см. рис. 35) из швеллеров изготавливают следующим образом. Из швеллера соответствующего номера на универсальных пресс-ножницах нарезают заготовки необходимой по чертежу длины. Заготовки размечают по шаблонам пружинным керном, а отверстия проштамповывают на универсальных пресс-ножницах. После этого к швеллеру по шаблону приваривают планки и скобы для крепления отводов, квадратные шайбы, усиливающие стенку, и планки для увеличения опорной поверхности под обмотки. Для сварных ярмовых балок мощных трансформаторов заранее вырезают заготовки из листовой стали различных толщин на гильотинных ножницах и газорезательных автоматах типов АСШ-2 и АСП-1.

Заготовки очищают от шлака, правят, размечают и сверлят. У трех продольных листов, из которых сваривается корыто, на

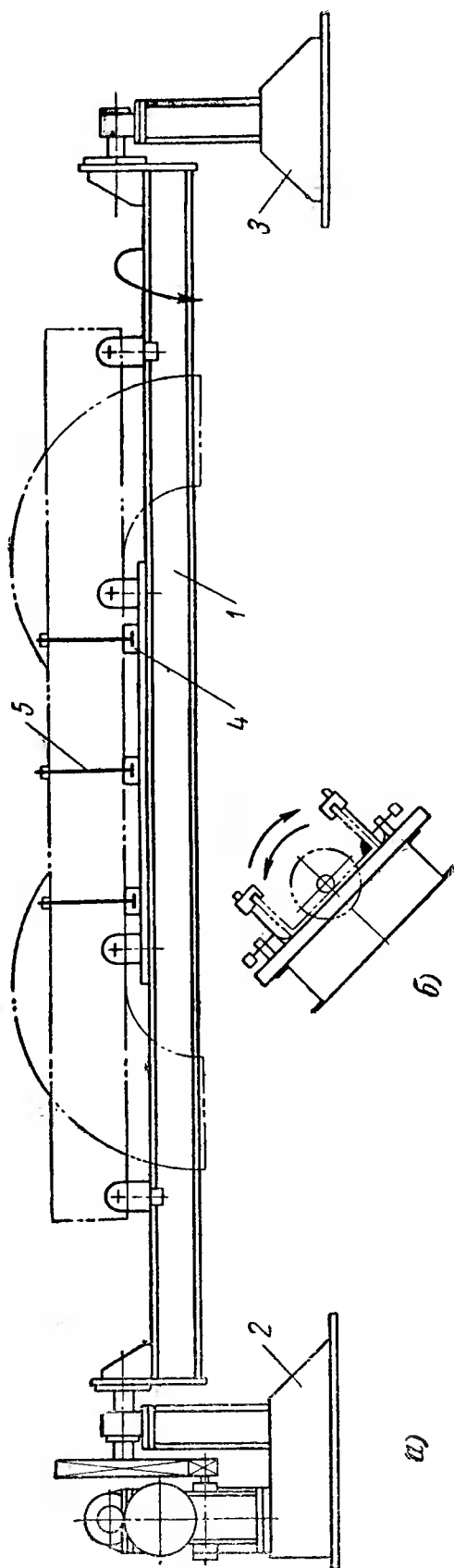


Рис. 88. Манипулятор для сборки и сварки ярмовых балок.

а — общий вид манипулятора; б — разрез рамы; 1 — рама; 2 — стойка приводная; 3 — стойка опорная; 4 — опорные бруски; 5 — прихват винтовой.

кромкострогальном станке строгают кромку под сварку.

Из заготовок на сварочном манипуляторе собирают балку и сваривают ее шланговым полуавтоматом ПШ-5 под слоем флюса.

Манипулятор (рис. 88) представляет собой сварную раму 1, которая опирается своими полуосями на стойку с приводом 2 и опорную стойку 3. Свариваемые листы, по-

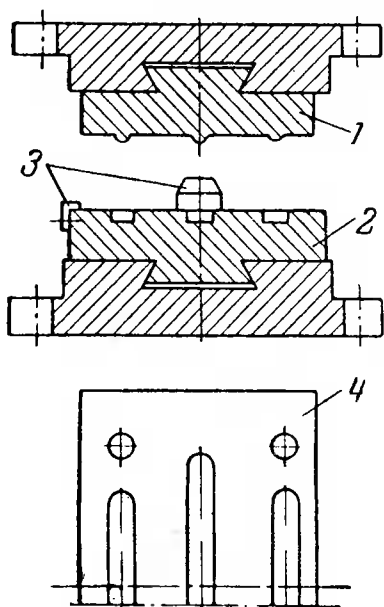


Рис. 89. Штамп для формовки прессующих накладок.

1 — пуансон; 2 — матрица;  
3 — упоры; 4 — пластина  
в плане.

казанные условным пунктиром, крепятся к опорным брускам 4 рамы винтовыми тригхватами 5. На рис. 88,б показан разрез рамы, повернутой на  $45^\circ$  от горизонтального положения для более удобной проварки продольных швов.

Манипулятор позволяет варить швы в более выгодном положении и предохраняет балку от значительных деформаций по продольной оси. При сварке, кроме того, надо следить за тем, чтобы верхняя и нижняя полки были перпендикулярны вертикальной стенке. После сварки балку тщательно защищают от брызг, а острые края закругляют.

Все балки окрашивают *маслостойкими лаками или эмалями*, например глифталевым лаком или эмалью 14-16-СП.

Для прессовки стержней двухрамных магнитопроводов, имеющих два ряда отверстий, снаружи под гайки кладут пластины с двумя или четырьмя отверстиями (рис. 30). Накладки нарезают на гильотинных ножницах из листовой стали толщиной 10—12 мм.

Для придания дополнительной жесткости в накладках штампом выдавливают ребра в горячем состоянии (рис. 89). После этого в кондукторе сверлят отверстия, пластины очищают от окалины и заусенцев и окрашивают так же, как и ярмовые балки.

Брусья (рис. 40) для стяжки ярм крупных магнитопроводов вырезают из толстой листовой стали по трафарету на автомате АСШ-2, строгают все шесть плоскостей под углом  $90^\circ$  относительно друг друга, после чего в брусьях сверлят по разметке отверстия и нарезают резьбу.

Между ярмовыми балками и ярмом прокладывают изоляцию для уменьшения потерь от вихревых токов. В трансформаторах до 2-го габарита включительно эта изоляция представляет собой лист электрокартона по размерам балки с отверстием под стяжные шпильки. В крупных трансформаторах к листам электрокартона толщиной 2—3 мм приклеивают несколько продольных колодок, склеенных из полосок электрокартона и запеченных под гидравлическим прессом.

Для изолирования ярмовых брусьев от активной стали в прямоугольные пазы магнитопровода закладывают два-три листа электрокартона, согнутого в виде корыта по размерам бруса (рис. 41).

### 36. Отжиг пластин

В процессе механической обработки, удаления заусенцев и просто переукладывания с одного рабочего места на другое пластины подвергаются ударам и перегибам. В результате этого в стали появляются *механические напряжения (наклеп)*, сталь становится более твердой и теряет часть полезных магнитных свойств. Особенно это сказывается при изготовлении пластин из холоднокатаной стали (Э-310, Э-320 и Э-330).

Для того чтобы восстановить магнитные свойства стали, существует единственный способ — *отжиг* по определенному режиму.

В первую очередь целесообразно отжигать пластины для измерительных трансформаторов, трансформаторов, магнитопроводы которых имеют большую индукцию, и трансформаторов большой мощности, к которым предъявляются требования высокого к. п. д. и малого тока холостого хода.

Отжиг производят в специальных печах по определенному режиму с температурой нагрева 750—800° С. Во время отжига стремятся снять все внутренние напряжения, возникшие в результате механической обработки стали.

Сталь, находясь длительное время на воздухе при высокой температуре, окисляется. На ней быстро образуется окалина, которая портит поверхность стали, резко снижает коэффициент заполнения магнитопровода. Кроме того,

электротехническая сталь, будучи нагрета до этой температуры, начинает поглощать углерод, содержащийся в окружающем воздухе или окружающих материалах, что ухудшает ее магнитные свойства, так как увеличиваются потери на гистерезис.

Для защиты стали от образования окалина и науглероживания сталь отжигают в вакууме или *защитной среде*. Такой средой может служить азот, водород или диссоциированный аммиак. Длительное нахождение нагретой стали в чистом азоте вызывает нежелательные изменения химического состава ее. Применение защитной среды, содержащей водород, представляет известную опасность в отношении пожара и взрыва, а следовательно, требует определенных мер безопасности.

Во время нагрева края листов и наружные листы нагреваются быстрее, а при остывании они же быстрее остывают. В результате при быстром нагреве и особенно при быстром остывании листы деформируются (коробятся). Коробление ухудшает сборку и прессовку, вызывая снижение коэффициента заполнения магнитопровода, а главное снижение магнитных свойств стали, так как коробление опять вызывает механические напряжения в пластинах при прессовке.

Для уменьшения коробления сталь нагревают медленно и следят за тем, чтобы наружные слои стали не достигли температуры выше  $750\text{--}800^\circ\text{C}$ . После достижения наружными слоями стали заданной температуры сталь выдерживают при этой температуре некоторое время, чтобы все слои пачки успели прогреться. После этого начинают понижать температуру с  $800$  до  $450^\circ\text{C}$  с такой же скоростью, как и нагревали. Охлаждение в интервале  $450\text{--}50^\circ\text{C}$  рекомендуется вести еще более замедленно. Скорость нагрева и охлаждения зависит от размера пластин, веса пачки (садки), системы нагрева, среды и других условий.

В каждом отдельном случае режим подбирают практически. При отжиге в пачках скорость нагрева и охлаждения колеблется от  $25$  до  $75^\circ\text{C}$  в час.

Кроме улучшения магнитных свойств, отжиг играет положительную роль в уменьшении местных замыканий по кромкам пластин. Во время отжига все мелкие и тонкие заусенцы обгорают и отваливаются.

Наиболее проста *шахтная печь*, представляющая собой

бак с плотно закрывающейся крышкой. Для уменьшения тепловых потерь наружные стенки бака и крышка покрыты теплоизоляцией. Внутри бака по стенкам расположены электрические нагреватели.

Пластины, связанные в пакеты или собранные в магнитопроводы, укладывают в корзины из жароупорной стали и загружают сверху. После загрузки печь закрывают крышкой производят отжиг.

Соединение кислорода воздуха с железом стали вызывает образование окалины. Несмотря на плотно закрывающуюся крышку, во время отжига в шахтных печах (за 8—12 ч) на поверхности пластины образуется толстый слой окалины. Поэтому отжиг пластин или целых магнитопроводов можно рекомендовать только для измерительных и мелких трансформаторов, для которых уменьшение сечения магнитопровода играет второстепенную роль.

Более совершенной является *печь колпакового типа*. На под, под которым расположены нагревательные элементы и подвод защитного газа или вакуум-провод, укладывают пачками пластины, подлежащие отжигу. После укладки пластин на под сверху надевают теплоизолированный металлический колпак.

Для лучшего уплотнения в канавку пода, куда входит нижняя часть колпака, засыпают песок. После установки колпака начинают поднимать температуру печи. Одновременно для защиты пластин от окалины из-под колпака откачивают воздух или подают с небольшим избыточным давлением газ для создания защитной среды. К недостаткам этой печи следует отнести сравнительно малую производительность и длительный цикл отжига.

Более производительными печами являются так называемые *методические печи* непрерывного действия.

Печь представляет собой туннель, имеющий с торцов поднимающиеся двери. Внутри печи есть еще две двери, которые разделяют ее по длине на три отделения. Внизу смонтирован механизм, перемещающий чугунные плиты или тележки с уложенными на них садками стали.

В первом отделении сталь нагревается до максимальной температуры, во втором она выдерживается при 750—800° С для выравнивания температуры по всему объему садки, в третьем — охлаждается до температуры 50—80° С, при которой ее можно выгружать на открытый воздух. Перемещение садов вдоль печи синхронизировано с подъ-

емом дверей. В печи поддерживается защитная среда. Печи эти более производительны, так как сохраняется время загрузки и выгрузки. Однако и в этих печах цикл отжига колеблется от 40 до 60 ч.

Особое внимание следует уделять плоскостям пода, плит и тележек, на которые укладываются пачки пластин. Неровная поверхность вызывает также коробление пластин, а следовательно, портит сталь.

Широкое распространение за рубежом получили *конвейерные печи*, которые можно встраивать в поточные линии производства пластин. Печь представляет собой металлический каркас, состоящий из нескольких секций общей длиной около 20 м и поперечным сечением  $1,5 \times 2$  м. Внутри печь выложена огнеупорным кирпичом, а снаружи хорошо теплоизолирована, благодаря чему она может быть поставлена в штамповочном цехе без специальных вентиляционных и охлаждающих устройств.

Через всю печь проходят металлические транспортеры, передвигающиеся со скоростью около 0,3 м/мин. В средних секциях расположены нагревательные элементы, имеющие номинальную мощность около 120 кВт и обеспечивающие в середине печи температуру до  $900^{\circ}\text{C}$ . Штампованные пластины закладывают на транспортер с загрузочной стороны. Чтобы пластины нагрелись быстро и при этом не покоребились, их закладывают тонкими пачками по несколько штук.

По мере передвижения пластин вдоль печи они постепенно нагреваются до температуры, которая в середине печи достигает около  $820\text{--}850^{\circ}\text{C}$ . Далее, пластины проходят все более холодные участки печи и через 55—60 мин после загрузки выходят отожденными.

Благодаря тому что отжигаемые пластины находятся в нагретом состоянии меньше 1 ч, образование окалины значительно уменьшается, что позволяет применять для получения нейтральной среды более дешевый газ.

Так как в процессе отжига чугунные плиты и брусья не нагреваются, печь расходует меньше энергии.

Известно, что некоторые зарубежные фирмы получают с металлургических заводов сталь с обработанной химически поверхностью, благодаря чему при отжиге после штамповки получается тонкая изоляционная пленка.

## СБОРКА МАГНИТОПРОВОДОВ

### 37. Сборка магнитопроводов малых трансформаторов мощностью до 5 ква

Магнитопроводы для трансформаторов мощностью до 0,5 ква, как правило, собирают из фасонных пластин: Г-образных, Ш-образных и с надсеченной средней перемычкой.

Обмотку вкладывают в примитивное приспособление 3 (рис. 90), представляющее собой массивную стальную

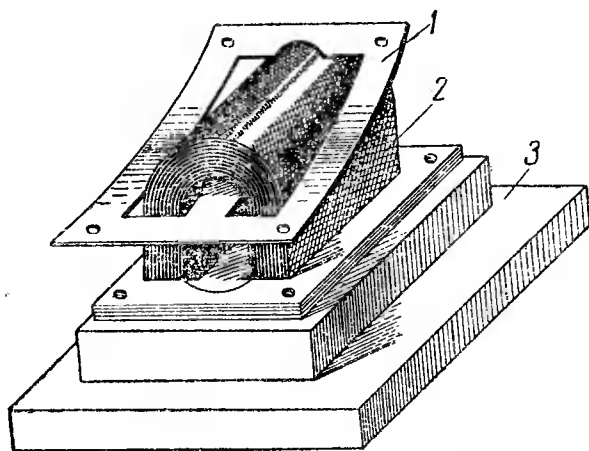


Рис. 90. Шихтовка пластин магнитопровода в катушку трансформатора типа СОБС.

1 — пластина магнитопровода; 2 — катушка;  
3 — приспособление.

плитку с прямоугольной рамкой, отверстие у которой сделано по наружным размерам обмотки 2. Пластины 1 закладывают в обмотку поочередно с обоих торцов, для чего наружные перемычки прогибают. Количество пластин определяют по весу. Аналогично собирают магнитопроводы из Г-образных и Ш-образных пластин. На МТЗ изготавливается автомат для сборки магнитопроводов из пластин с надсеченной средней перемычкой.

Собранные магнитопроводы вместе с обмотками передают на пневматический пресс для прессовки и скрепления магнитопровода под штампом.

Устройство штампа показано на рис. 91,а. На столе пресса закрепляется плита 7 с Т-образными направляющи-

ми, по которым выдвигается нижняя часть 6 штампа. В ней запрессованы четыре пуансона 2. На пуансоны надета прессующая рамка 3 с двумя скобами 5. Рамка опирается на несколько пружин 4. Устройство верхней части аналогично устройству нижней. На выдвинутую нижнюю часть штампа кладут две прессующие планки 8, на них — маг-

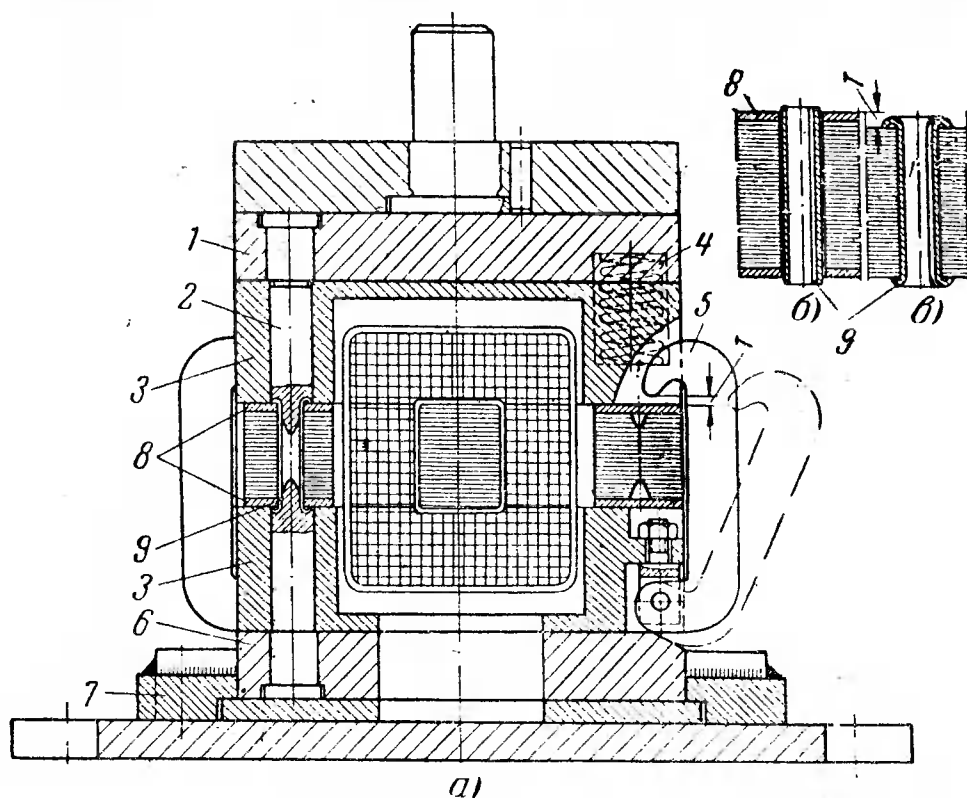


Рис. 91. Штамп для прессовки магнитопроводов и развальцовки крепежных трубочек.

а — разрез штампа; б — трубочка в магнитопроводе до развальцовки; в — она же после развальцовки; 1 — верхняя часть штампа; 2 — пуансон; 3 — прессующая рамка; 4 — пружины; 5 — скобы; 6 — нижняя часть штампа; 7 — плита неподвижная; 8 — прессующая планка; 9 — трубочка.

нитопровод с обмоткой, а сверху — еще две прессующие планки. В отверстия планок и магнитопровода вставляют четыре *трубочки*, свернутые из стали толщиной 1—1,5 мм.

Магнитопровод закрепляют двумя скобами 5. После этого задвигают матрицу под верхнюю часть пуансона и включают пресс. Верхняя часть пуансона, опускаясь, производит прессовку пластин на размер *T*. Во время прессовки прессующие рамки 3 сжимают пружины и передвигаются по пуансонам 2, которые в свою очередь начинают входить в трубочки и развальцовывать их с обоих концов.

Прижимные скобы при этом откидываются в стороны.

После подъема верхней части штампа его выдвигают вперед и вынимают готовый трансформатор. На рис. 91,б показано сечение магнитопровода до развальцовки трубочки, а на рис. 91,в — развальцованная трубочка.

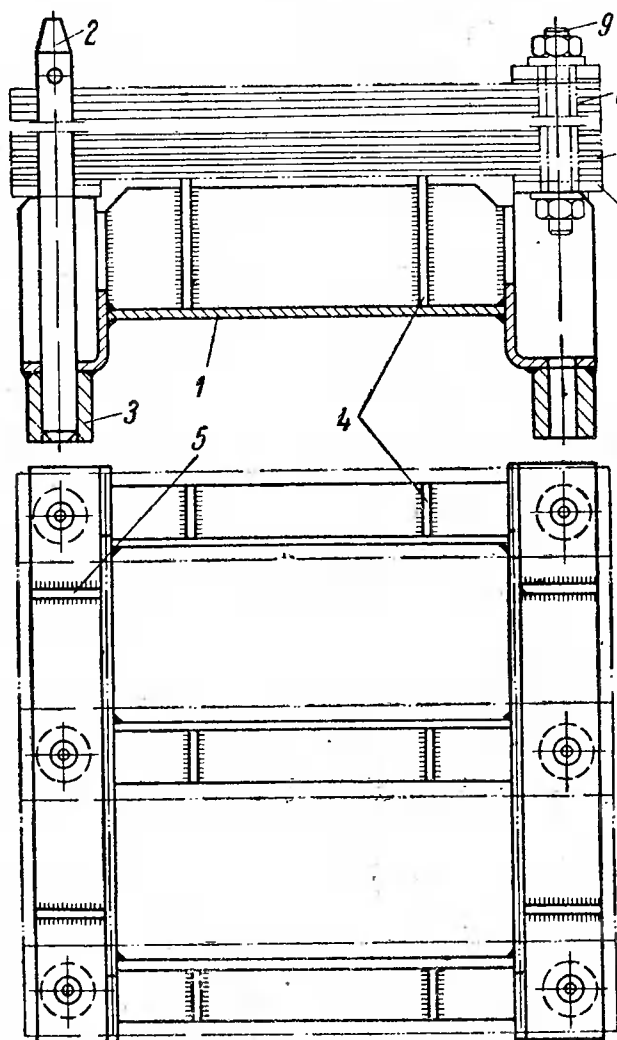


Рис. 92. Приспособление для сборки магнитопровода типа ТСВ-1,5/0,5.

1 — рама сварная; 2 — оправка; 3 — втулка направляющая; 4 и 5 — опорные планки; 6 — прессующая планка; 7 — пакет магнитопровода; 8 — бакелитовая трубочка; 9 — шпилька прессующая.

Этот способ прессовки магнитопровода очень недорогой, но недостатком его является то, что соединение получается неразъемным и на трубочках нет изоляции.

Шихтованные магнитопроводы из прямоугольных пластин мощностью 5 ква собирают на верстаках при помощи приспособлений. На рис. 92 показано приспособле-

ние для сборки магнитопровода трансформатора типа ТСВ-1,5/0,5. Корпус приспособления сварен из пяти легких угольников 1. К угольникам приварены планки 5 и 4. Снизу к поперечным угольникам приварены втулки 3, служащие направляющими для оправок 2.

Сборку начинают с укладки ярмовых прессующих планок и полосок электрокартона 6 на опоры 5. Опоры 4 сделаны выше на толщину прессующей планки с картонной полоской. Прямоугольные пластины из электротехнической стали 7 укладывают согласно плану шихтовки (см. рис. 12) по три в слое, надевая их отверстиями на оправки 2. После окончания укладки пластин проверяют толщину магнитопровода штангенциркулем, сверху кладут две полоски из электрокартона и прессующие планки. Поочередно вынимают из отверстий оправки, и в отверстия вставляют прессующие стальные шпильки 9 с бакелитовыми трубочками 8, стальными и картонными шайбами. Опоры должны быть достаточной высоты, чтобы удобно было надеть снизу шайбы и завернуть гайки.

Описанное приспособление значительно облегчает и ускоряет сборку, обеспечивает правильное расположение стержней и ярм. Кроме того, приспособление позволяет без всякой настройки путем простой смены его переходить на сборку магнитопроводов других трансформаторов.

Магнитопроводы этих размеров иногда собирают без укладки верхнего ярма, что дает некоторую экономию при насадке обмоток, освобождая рабочих от расшихтовки верхнего ярма. Однако такая сборка требует больше внимания, так как из-за отсутствия ярмовых пластин половина пластин стержней может произвольно поворачиваться вокруг оправок. Кроме того, для такой работы требуется очень четкое обеспечение сборочных участков недоложенными пластинами ярма, ибо отсутствие хотя бы одного типа пластин приводит к простоям на сборке трансформаторов.

На некоторых заводах СССР и ГДР без верхнего ярма собираются магнитопроводы мощностью до 320 ква.

### 38. Изготовление намотанных магнитопроводов

*Намотанные магнитопроводы выгодно* отличаются от шихтованных малым расходом стали, низким током холостого хода и потерями.

Намотанный магнитопровод трансформатора мощностью 250 *ва* для телевизоров представляет собой тороид из стали Э320 с размерами  $\varnothing 60/110 \times 75$ . Полосы нарезают шириной 75 и длиной 1500 мм.

Первый виток магнитопровода свертывают в трубку

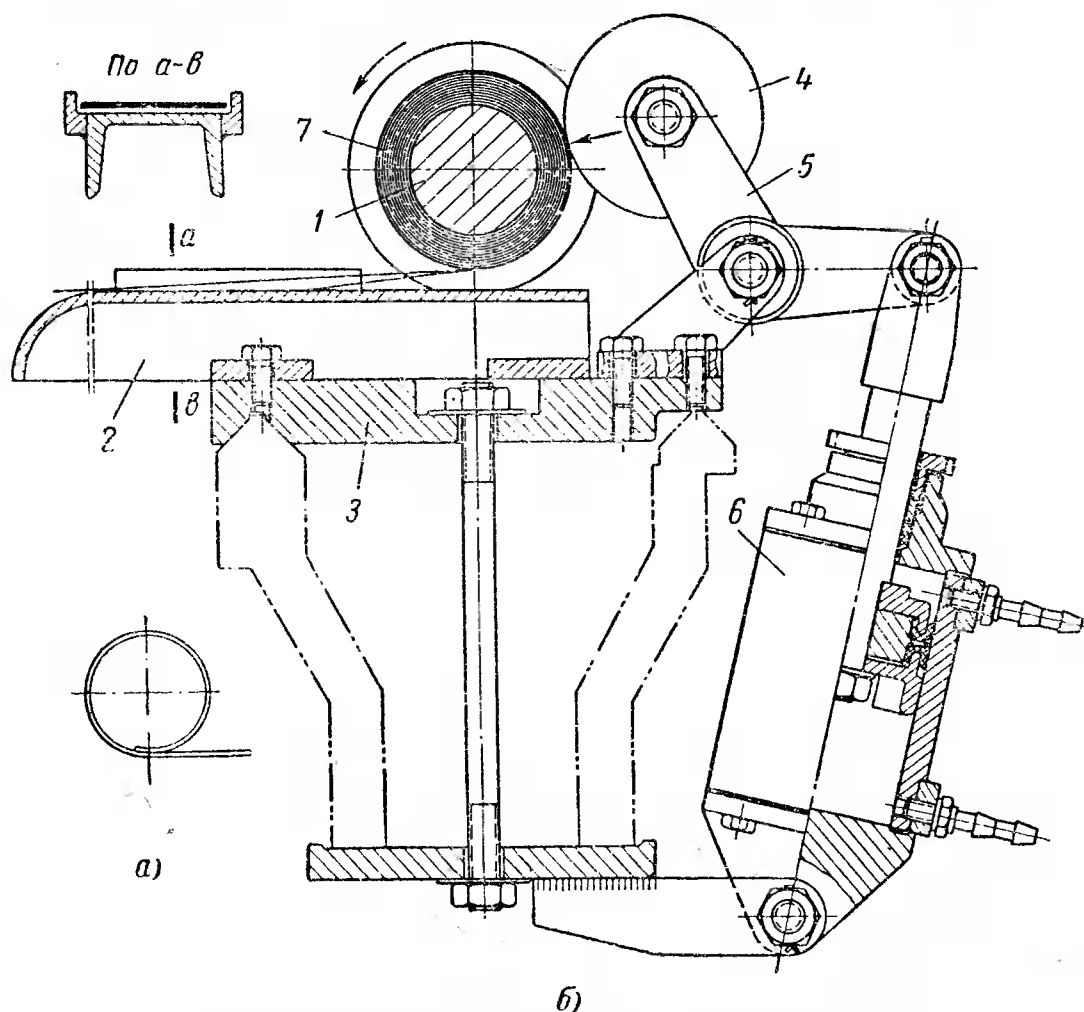


Рис. 93. Приспособление для намотки магнитопровода регулятора напряжения АРН-250.

1 — оправка; 2 — лоток; 3 — корпус приспособления; 4 — ролик нажимной; 5 — рычаг; 6 — пневматический цилиндр; 7 — магнитопровод.

вокруг медного цилиндра и точечным электродом фиксируют его положение сварочными точками (рис. 93,а).

Намотка магнитопровода производится на специализированном станке в приспособлении (рис. 93,б). На оправку 1, закрепленную в шпинделе станка, надевают первый виток, а прямую часть полосы укладывают в направляющий лоток 2. Корпус приспособления 3 закреплен шпилькой на станине станка. Нажимной ролик 4 укреплен на

одном конце углового рычага 5. Другим концом рычаг присоединен к штоку пневматического цилиндра 6, который создает необходимое для плотной намотки давление прижимного ролика на оправку.

Оправка вращается в направлении, указанном стрелкой. За 200—300 мм до конца полосы на нее под оправку, как показано на рисунке, подсовывают следующую поло-

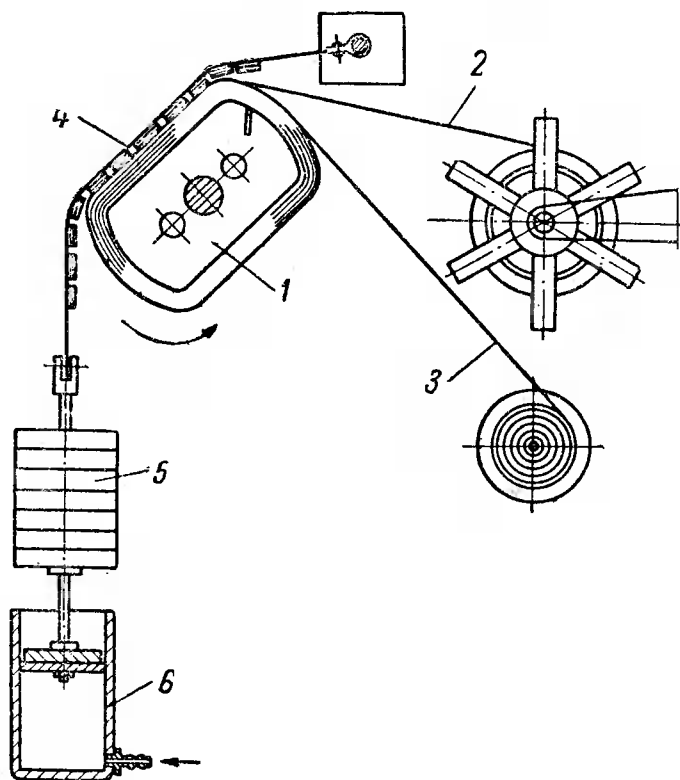


Рис. 94. Станок для намотки овальных магнитопроводов трансформаторов типа ОСВ.

1 — оправка; 2 — стальная лента; 3 — бумажная лента;  
4 — ленточный тормоз; 5 — груз; 6 — пневматический цилиндр.

су и т. д. Последний виток приваривают на электросварочном аппарате к магнитопроводу. После намотки магнитопроводы отжигают в шахтной печи для устранения внутренних напряжений, получившихся во время резки полос и намотки. Эта конструкция магнитопровода неразборная. Обмотку наматывают в магнитопровод на специальном челночном станке.

Примером изготовления намотанного магнитопровода другой конструкции может служить трансформатор типа ОСВ мощностью 0,5—2,0 ква.

Магнитопроводы наматывают на стальную оправку 1 овальной формы стальной лентой 2 (рис. 94) марки Э320 и бумажной 3 толщиной 0,03 мм, нарезанной по ширине нужного размера. В оправке сделаны отверстие под шпиндель и два отверстия под ведущие пальцы. На одной из сторон для крепления начала ленты сделана прорезь.

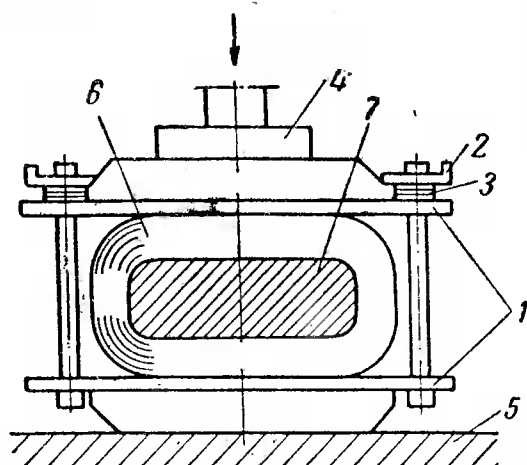


Рис. 95. Прессовка овальных намотанных магнитопроводов перед отжигом.

1 — прессующие планки; 2 — клиновой зажим; 3 — шайбы; 4 — пуансон прессы; 5 — плита прессы; 6 — магнитопровод; 7 — оправка.

дствующим под влиянием груза 5. При съеме готовых магнитопроводов и установке новых оправок тормоз освобождается пневматическим цилиндром 6 путем подъема груза.

Магнитопроводы вместе с оправками снимают со станка, и они поступают на пневматический пресс. Под прессом магнитопроводы формуются, подвергаясь зажиму между двумя планками, которые выпрямляют длинные стороны магнитопровода (рис. 95). Полученный размер и форма фиксируются клиновым зажимом 2; разница в толщинах магнитопровода компенсируется прокладкой шайб 3.

В таком виде магнитопроводы поступают в шахтную печь на отжиг.

Если рулонная сталь отсутствует, то ленту сваривают из полос длиной 1500 мм той же ширины внахлестку на точечном аппарате в приспособлении, обеспечивающем прямолинейность ленты.

Плотность намотки обеспечивается ленточным тормозом 4, дей-

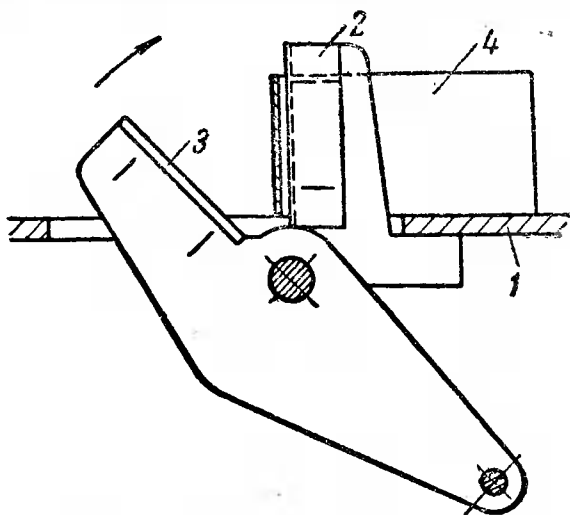


Рис. 96. Разрезка намотанного магнитопровода на куски длиной по два витка.

1 — стол ножниц; 2 — неподвижный нож; 3 — подвижный нож; 4 — магнитопровод.

Во время отжига бумага, заложенная между витками, при намотке выгорает. Образовавшийся зазор позволяет сохранить заданные размеры магнитопровода после вторичной сборки.

Прошедшие отжиг и остывшие магнитопроводы поступают на специальные рычажные ножницы (рис. 96). Неподвижный нож 2 крепится вертикально к столу 1 ножниц. Не-

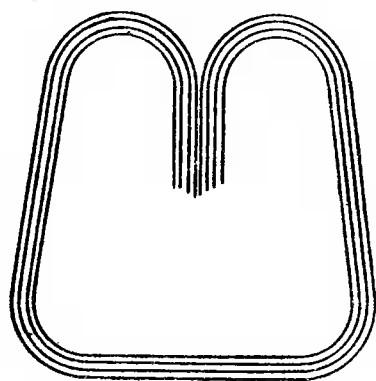


Рис. 97. Укладка витков перед вмоткой

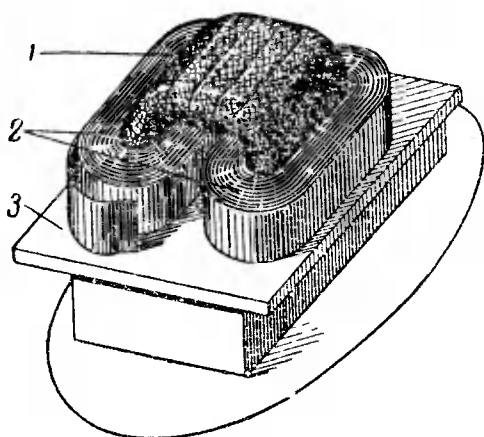


Рис. 98. Вматывание магнитопровода в обмотку.

1 — обмотка; 2 — магнитопроводы;  
3 — приспособление.

Магнитопровод 4 укладывают на стол торцом. От магнитопровода вруч-

ную отматывают и отрезают по два витка, приводя в движение подвижный нож 3 пневматическим цилиндром.

Отрезанные куски магнитопровода длиной по два витка укладывают один в другой (рис. 97).

После разрезки партии магнитопроводов начинают вматывать по два магнитопровода в обмотку трансформатора (рис. 98). Обмотку 1 закрепляют в поворотные тиски с опорным столиком 3 на уровне торцов магнитопроводов. Во время укладки витков магнитопровода надо следить, чтобы концы кусков не легли внахлестку, так как это не позволит плотно спрессовать магниты.

### 39. Сборка магнитопроводов

**силовых трансформаторов мощностью до 10 000 ква**

Магнитопроводы трансформаторов средней мощности до 560 ква собирают на сборочном столе сварной конструкции (рис. 99). Две стойки 1, изготовленные из угловой стали, соединены стальной рамой 2. Сверху поперек рамы устанавливают швеллеры 3 на расстоянии, соответствующем

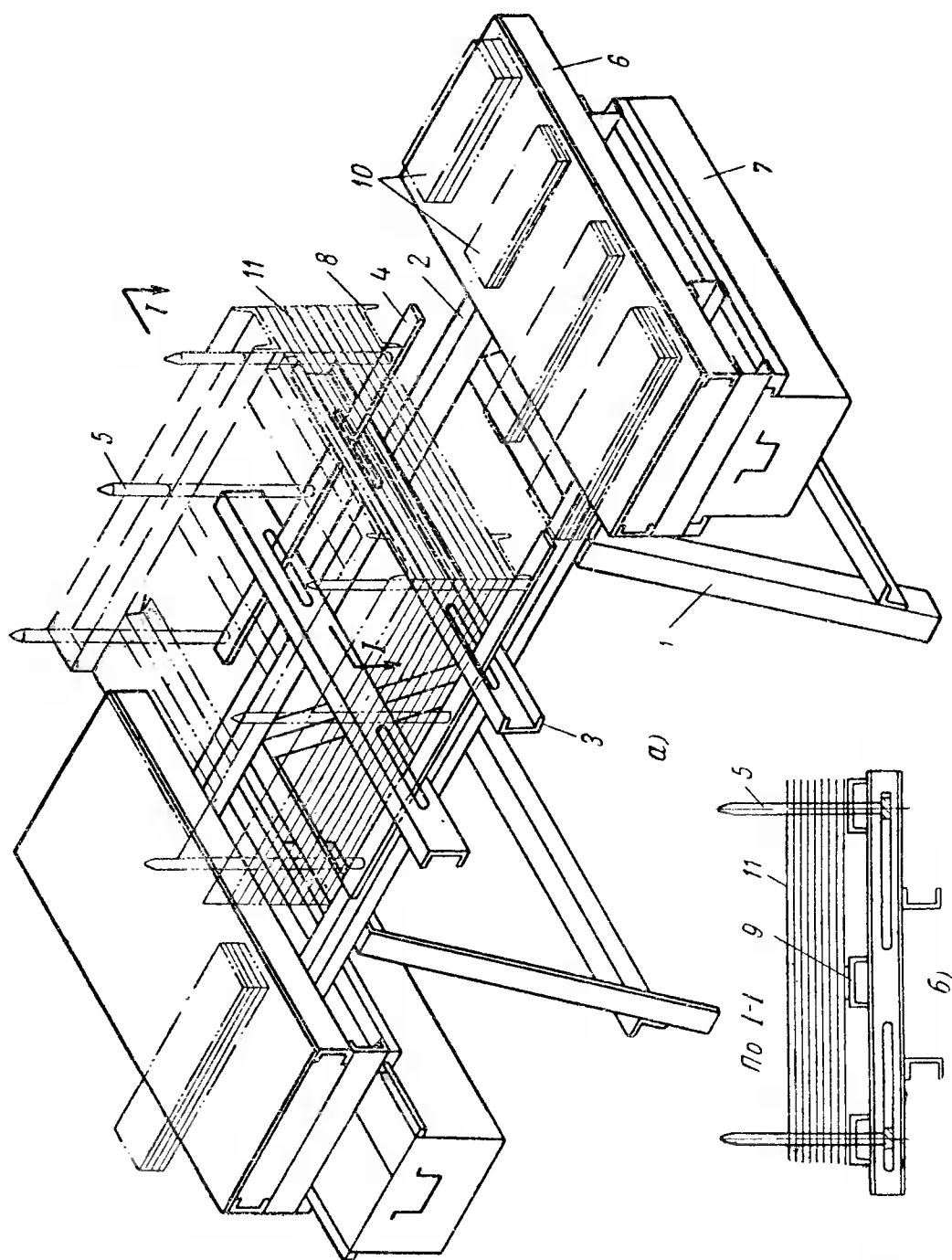


Рис. 99. Сборка маг-  
нитопроводов силовых  
трансформаторов  
средней мощности.

*a* — общий вид сборочного  
стола; *б* — разрез верхней  
части стола; 1 — стойки;  
2 — рама; 3 — раздвиж-  
ные швеллеры; 4 — поло-  
сая опора; 5 — оправки; 6 —  
полка; 7 — ящик; 8 — яр-  
мовая балка; 9 — промежу-  
точный швеллер-опора;  
10 — пластины магнито-  
провода; 11 — магнитопро-  
вод.

щем длине ярмовых балок 8. В верхних швеллерах 3 расположено по два овальных паза, в которые закладывают две стальные полосы 4, служащие опорой для сборочных оправок 5.

По концам верхней рамы 2 сделаны полки 6, на которые перед сборкой раскладывают необходимое количество штампованных пластин из электротехнической стали. Под полками сделаны выдвижные ящики 7 для хранения инструмента и крепежных деталей.

Перед началом сборки на полки стола укладывают по пакетам пластины из электротехнической стали в поряд-

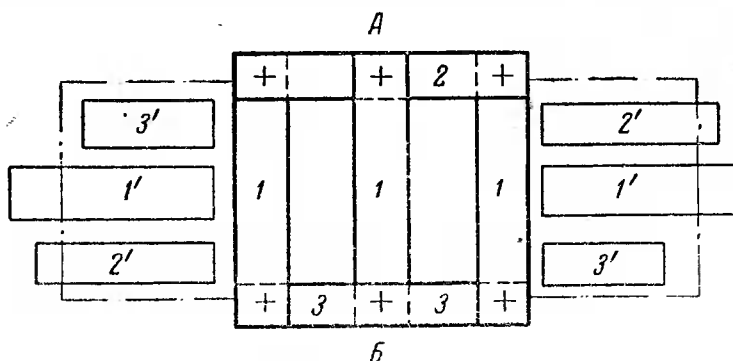


Рис. 100. План организации рабочего места сборки магнитопроедов трансформаторов средней мощности.

А и Б — рабочие места; 1, 2, 3 — собираемый магнитопроед, 1', 2', 3' — пластины магнитопроеда.

ке, удобном для сборки, и крепежные детали, скомплектованные шпильки, шайбы, болты, трубки.

Магнитопроеды трансформаторов мощностью до 320 ква включительно собирает один рабочий А (рис. 100). Более крупные магнитопроеды собирают два рабочих А и Б, так как одному рабочему, не сходя с рабочего места, трудно дотянуться до противоположного ярма.

Детали и инструмент нужно располагать таким образом, чтобы избежать непроизводительных движений.

На верхние швеллеры кладут верхнюю и нижнюю ярмовые балки 8 (см. рис. 99) стороны НН. При укладке надо выдержать расстояние между балками по чертежу и параллельность их.

Между ярмовыми балками кладут одну или две подкладки 9, равные по высоте толщине балок плюс толщина электрокартонной прокладки. Назначение подкладок — устранить провисание пластин стержней во время сборки.

На ярмовые балки кладут электрокартонные прокладки. В отверстия ярмовых балок вставляют *стальные оправки* (рис. 101,а), удерживаемые снизу стальными полосами 4 (рис. 99,а), после чего приступают к сборке магнитопровода. Вначале кладут крайние листы, назначение ко-

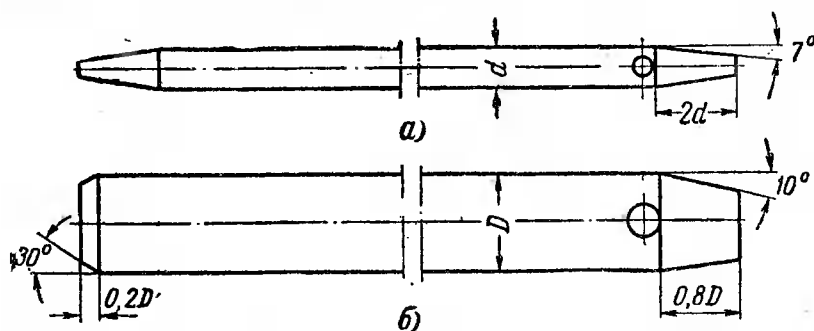


Рис. 101. Оправка для сборки шихтованных магнитопроводов.

а — нормальная; б — для установки в ярма магнитопроводов мощных трансформаторов.

торых — перекрыть первые стыки. После этого укладывают первый пакет. Шихтовку производят по три листа согласно приведенной схеме шихтовки (см. рис. 12).

В процессе укладки пластин их подбивают *медными бойками* (рис. 102), чтобы устранить большие зазоры или

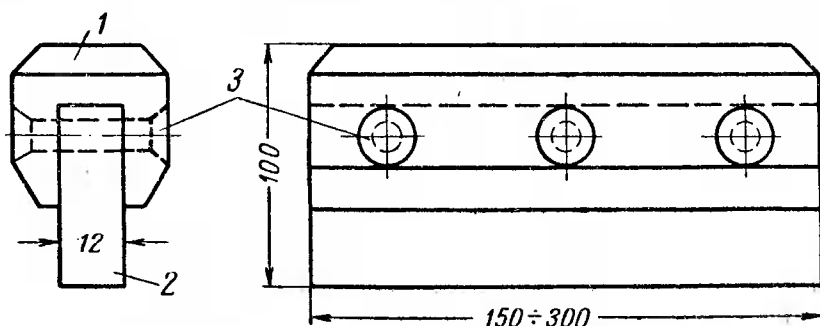


Рис. 102. Боек для подбивки пластин при сборе.

1 — скоба стальная; 2 — боек медный; 3 — заклепки.

набегание одной пластины на другую. Зазоры между пластинами должны быть минимальными и одинаковыми по ширине пластины.

Правильность расположения магнитопровода проверяют, измеряя метром по диагонали расстояния между отверстиями (рис. 103).

*Толщину* каждого пакета проверяют штангенциркулем. После укладки 2-го или 3-го пакета между пластинами

кладут ленты заземления и продолжают укладку остальных пакетов, проверяя отсутствие перекоса (смещения) верхних пакетов относительно нижних. Сверху кладут крайние длинные пластины.

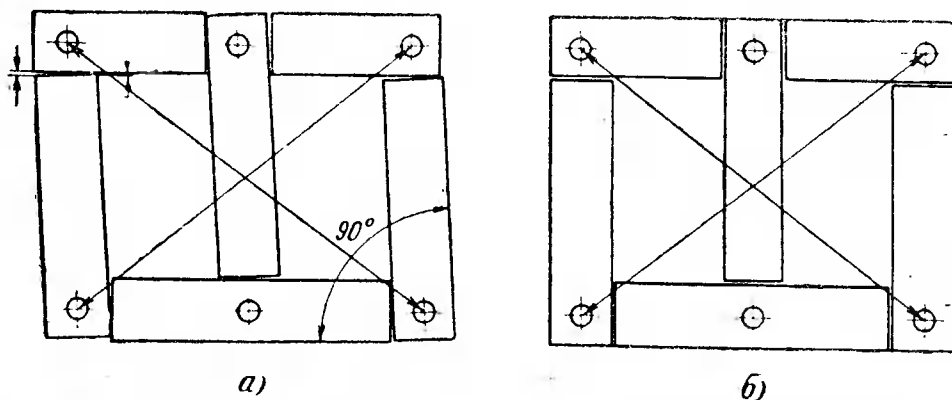


Рис. 103. Проверка правильности укладки пластин в магнитопроводе.  
а — неправильное положение; б — правильное.

Во время сборки надо периодически проверять угольником или пластиной магнитопровода отсутствие смещения пакетов. На рис. 104 показано смещение пакетов по ширине. При таком смещении сечение стержня не может впи-

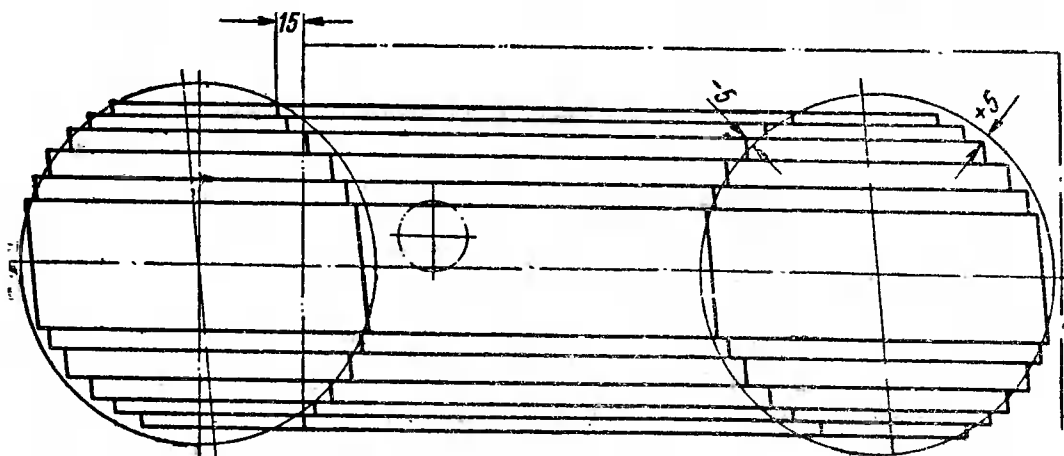


Рис. 104. Смещение пакетов при сборке по ширине.

саться в расчетную окружность. По одной диагонали получится зазор между цилиндром и стержнем  $+5$  мм, а по другой пакеты имеют выступ за цилиндр до  $5$  мм. На рис. 105 показан продольный перекося. Магнитопровод, собранный с таким перекося, встанет в бак неправильно, а торцы обмоток не будут опираться всей плоскостью на ярмовую изоляцию.

После проверки толщины всего магнитопровода кладут электрокартонные пластины, а на них — ярмовые балки стороны *ВН*. Далее, последовательно вынимают оправки и в отверстия сверху вниз вставляют шпильки с бакелитовыми трубками и шайбами. На один конец шпильки предварительно наворачивают и раскернивают гайку. На нижний конец надевают последовательно электрокартонные и стальную шайбы и наворачивают гайку, слегка стягивая магнитопровод. После этого окончательно подбивают

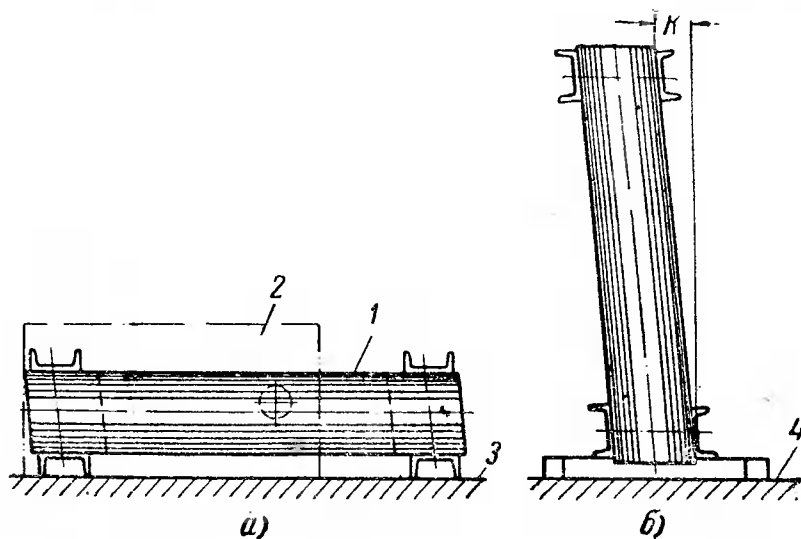


Рис. 105. Смещение пакетов по длине.

*а* — положение при сборке; *б* — установка в бак; 1 — магнитопровод; 2 — контрольная пластина; 3 — плоскость стола; 4 — дно бака.

магнитопровод и затягивают шпильки до чертежного размера ярма, начиная со средних отверстий, во избежание образования волны между балками. Шпильки затягивают *гайковертом*. К нижним ярмовым балкам болтами и гайками привертывают опорные планки.

Собранный магнитопровод зачаливают за верхнюю балку, поднимают в вертикальное положение, снимают со стола и ставят на пол. На магнитопровод устанавливают вертикальные стяжные шпильки, угольники и подъемные шпильки с подъемными кольцами.

Магнитопроводы мощностью 750—10 000 *кв*а собирают на двух козлах, на которые поперек укладывают ярмовые балки, опорные швеллеры и планки для опоры оправок. Пластины магнитопровода раскладывают на стеллажах, поставленных или с двух, или — при изготовлении более крупных магнитопроводов — с четырех сторон. Сборку ве-

дуг аналогично сборке магнитопроводов более мелких трансформаторов.

После окончания сборки и прессовки магнитопровод поднимают одновременно за верхние и нижние ярмовые балки двумя крюками одного крана или двумя кранами.

Постепенно опуская один крюк и поднимая другой, магнитопровод поворачивают в вертикальное положение и ставят на пол.

#### 40. Сборка магнитопроводов трансформаторов мощностью выше 10 000 ква

Сборка крупных магнитопроводов принципиально похожа на сборку мелких, но имеет много особенностей, и поэтому она будет описана более подробно.

В отличие от мелких трансформаторов магнитопроводы трансформаторов мощностью свыше 10 000 ква собирают,

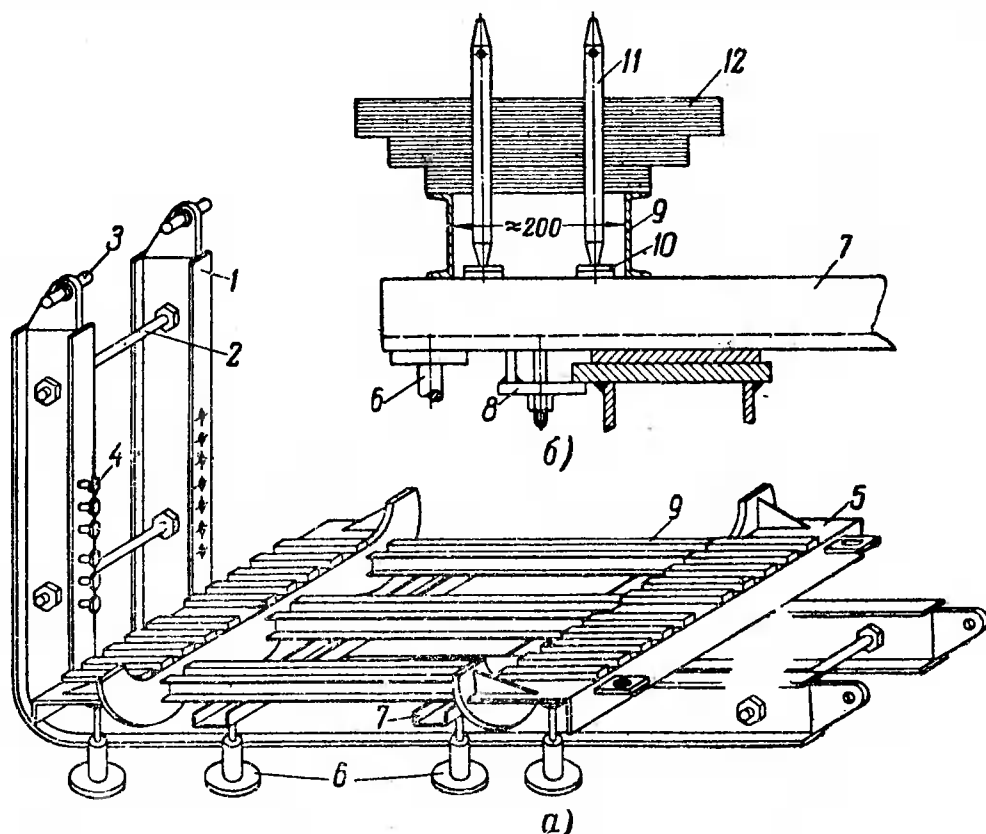


Рис. 106. Подготовка к сборке магнитопровода мощного трансформатора.

а — общий вид; б — поперечный разрез одного стержня; 1 — рама сварная; 2 — шпилька соединительная; 3 — оправка для подъема; 4 — опорные болты; 5 — ярмовая балка; 6 — домкрат винтовой; 7 — поперечные швеллеры; 8 — скоба для крепления швеллеров; 9 — продольные швеллеры; 10 — опорные планки под оправки; 11 — оправки; 12 — стержень магнитопровода.

поднимают и кантуют на приспособлениях, предохраняющих их от деформации и повреждений.

Это приспособление (рис. 106) представляет собой два массивных сварных угольника 1 двухтаврового сечения, скрепленных четырьмя-пятью шпильками 2. В концы угольников вварены подъемные проушины, в которые вставлены и закреплены валики 3.

По центру малой стороны расположено в ряд несколько опорных болтов 4, предохраняющих магнитопровод от соскальзывания и удара при кантовке приспособления.

Приспособление кладут длинной стороной на пол, а короткой — вертикально.

На длинную сторону сверху поперек кладут ярмовые балки 5. При укладке выдерживают расстояние между отверстиями по чертежу, а расположение отверстий — по прямоугольнику. Плоскость балок, обращенную к будущему магнитопроводу, выверяют по уровню.

В тех случаях, когда балки имеют большую длину и стержни располагаются далеко от опор, а также когда ярмовые балки попадают выступами полок на приспособления, под балки ставят винтовые домкраты 6 во избежание прогиба или перекоса,

После укладки ярмовых балок между ними на приспособление укладывают плашмя или на ребро два или три «поперечных» швеллера 7 № 30, подкладывая под них прокладки в зависимости от высоты полок балок. Швеллеры прочно крепятся технологическими скобами 8 к приспособлению.

На швеллеры поперек от одной ярмовой балки до другой кладут две или три пары в зависимости от числа стержней магнитопроводов швеллеров 9 № 12, которые перед подъемом прикрепляют поясами к стержням магнитопровода во избежание падения их и повреждения нижнего ярма магнитопровода.

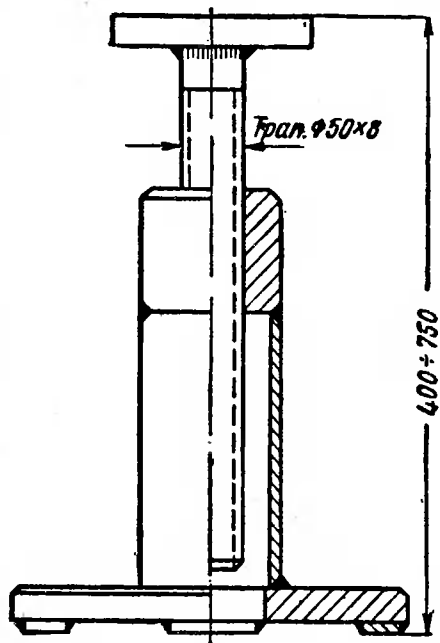


Рис. 107. Винтовой домкрат для сборки крупных магнитопроводов.

Верхняя полка швеллеров должна лежать в одной плоскости с поверхностью ярмовой изоляции, уложенной поверх ранее положенных ярмовых балок.

Швеллеры 9 устанавливают на расстоянии друг от друга около 200 мм, так чтобы между ними могли свободно уместиться гайки и шайбы прессующих шпилек.

Между продольными швеллерами кладут по две раздвижные планки 10 (рис. 108), которые будут служить опорой для сборочных оправок 11 (показанных на рис. 101), вставленных в отверстия пластин.

Одновременно с укладкой швеллеров, планок и ярмовых балок вокруг приспособления с четырех сторон рас-

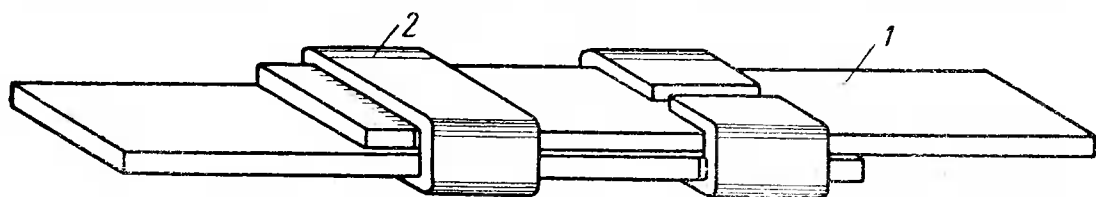


Рис. 108. Раздвижная планка под оправки.

1 — планки; 2 — направляющие скобы.

кладывают на стеллажах (столах) отдельные пластины будущего магнитопровода в порядке, удобном для укладки в магнитопровод, а также проверяют наличие крепежных деталей.

Комплектовщик обеспечивает сборщиков пластинами тех размеров и пакетов, которые должны будут укладываться в магнитопровод, т. е. сперва подается нужное количество пластин первого пакета, потом второго, третьего и т. д.

Пластины раскладывают на стеллажах со всех четырех сторон (рис. 109) приспособления. Как правило, работают четыре сборщика: А, Б, В и Г. Они укладывают каждый свои пластины, избегая делать лишние движения. Так, например, сборщик А или Б в одном слое кладет пластины 1 и 3, а в другом 2, 4 и 5. В том случае, когда стержни собирают не из двух частей, как показано на рисунке, а из трех, внутри магнитопровода становится пятый рабочий Д, который обязан укладывать среднюю часть стержня и помогать сборщикам А и Б. Для удобства рабочих целесообразно делать подъемные стеллажи.

После подготовки приступают к укладке изоляционных деталей и стальных пластин в строгой последовательности.

На ярмовые балки укладывают изоляционный лист

с прокладками, совмещая отверстия в них. Во избежание выпучивания во время подъема наружных пластин стержней в местах их стыка с ярмом на нижнюю ярмовую балку поверх изоляционной прокладки укладывают сперва стальную пластину толщиной 6—8 мм, а сверху электрокартонную пластину. На верхнюю балку укладывают толь-

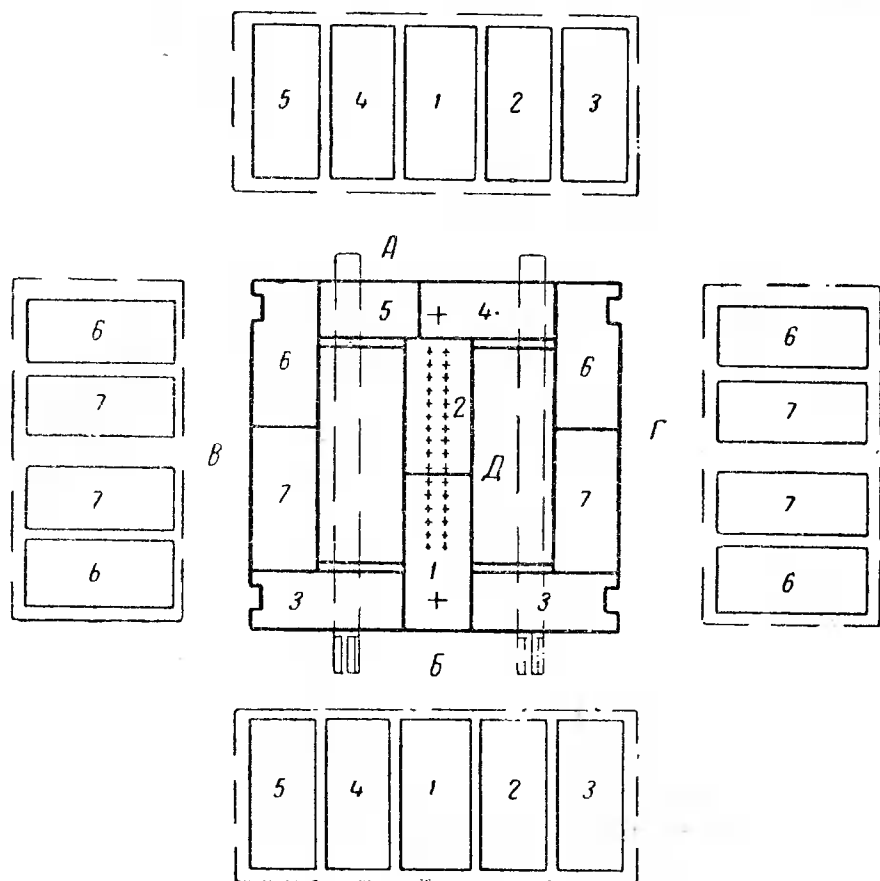


Рис. 109. Расстановка рабочих и раскладка пластин во время сборки мощных магнитопроводов.

ко картонную пластину. В изоляционных колодках делают углубление под них.

После этого укладывают первый слой пластин из электротехнической стали по два или три в слое в зависимости от веса наибольших пластин.

Во время укладки окончательно по стыкам пластин корректируется положение ярмовых балок. В стыках должен быть зазор 0,5—1,5 мм. Категорически не допускаются перекрытие пластин, а также непараллельность стыковых кромок. В отверстие вставляют необходимое количество стальных технологических оправок (см. рис. 101,а) из

расчета, чтобы в каждую пластину входило не менее двух оправок. При большой длине пластин ставят три и четыре оправки, что устраняет провисание при укладке и облегчает рабочему укладку пластин.

Оправки в ярмовых отверстиях устанавливают особо.

Для того чтобы предохранить во время подъема бакелитовые трубки, надеваемые на ярмовую шпильку, от смятия ярмовой балкой, на концы их надевают стальные втулки (см. рис. 38, п. 4). Поэтому отверстия в активной стали 2 (рис. 110) делают по наружному диаметру трубки, а соответствующее отверстие в ярмовой балке под втулку, надеваемую на трубку, т. е. миллиметров на 10 больше. Чтобы отверстие в стальных пластинах хорошо центрировалось с отверстием ярмовой балки 7, в него вставляют стальную втулку 4, у которой наружный диаметр сделан по отверстию в балке, а внутренний — по размеру оправки 1.

Для этой цели можно использовать какую-нибудь производственную деталь (втулку) собранного трансформатора.

Втулка и оправка поддерживаются специальным домкратом 6, у которого внутренний диаметр втулки 5 соответствует диаметру оправки.

Такая установка оправки включает смещение отверстия яр-

мовой балки относительно отверстия в активной стали и не требует подбивки ярмовой балки при установке стяжных шпилек.

Уложив первый слой и поправив ярмовые балки, кладут второй слой и еще раз проверяют правильность стыков. Если не удастся добиться правильного расположения стыков в обоих слоях, проверяют стальной рулеткой пра-

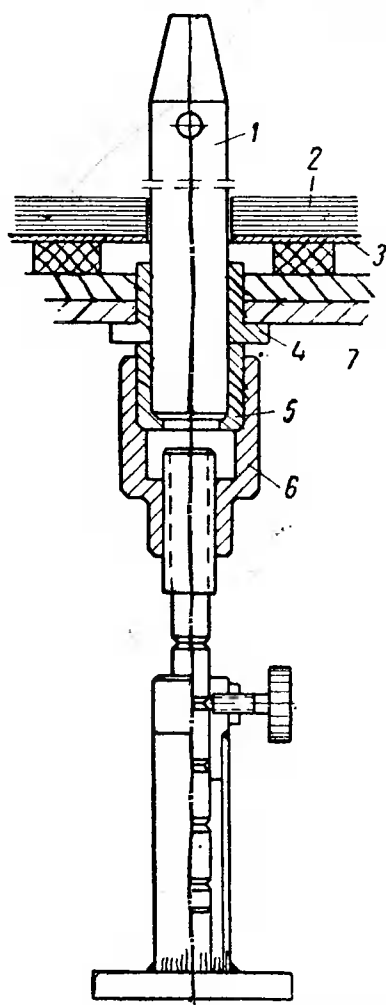


Рис. 110. Установка технологической оправки под ярмовую балку.

1 — оправка; 2 — пластины активной стали; 3 — изоляционная прокладка; 4 — втулка стальная; 5 — направляющее кольцо; 6 — домкрат; 7 — ярмовая балка.

вильность положения пластин по диагонали, а также размеры и углы пластин.

Уложив первый пакет, проверяют штангенциркулем его толщину, добавляя или убавляя пластины до размера по чертежу. Для устранения вибрации свободных углов пластин в специальные гнезда ярмовых балок ставят буковые бруски (см. рис. 42). Весьма важно, чтобы уступы брусков были равны толщине пакетов.

Далее, продолжают укладку следующих пакетов, проверяя их толщину и отсутствие перекоса пакетов, для чего прикладывают стальной угольник к торцам со стороны ярм (см. рис. 104 и 105). Дойдя до охлаждающего канала, укладывают пластины с дистанционными прутками.

Для лучшего охлаждения магнитопровода в нескольких пакетах делают *охлаждающие каналы* шириной 6 мм, приваривая для этого к соответствующим пластинам на точечном аппарате прутки Ø 6 мм на расстоянии 45 мм друг от друга. Эти прутки заранее нарубают нужной длины и подают на сборку. В ярмах прутки располагают вертикально, а в стержнях — под углом 45° (см. рис. 27).

По мере укладки пластин оправки вытаскивают постепенно вверх, все время проверяя вертикальность оправок угольником (рис. 111).

Собрав весь магнитопровод без трех последних пакетов, замеряют фактическую толщину уложенных пакетов. Для этого в одном из стержней в шесть отверстий подряд временно вставляют шпильки 1 и стягивают стержень до отказа (рис. 112).

Две шпильки вынимают из отверстий 2 и на их место вставляют линейку 3 или метр для замера толщины спрессованных пакетов.

В зависимости от результатов измерения последние три пакета уменьшают или увеличивают на несколько пластин, чтобы выдержать общую толщину активной стали магнитопровода.

Со стороны *НН* под первый пакет 3 (рис. 113) кладут луженую медную ленту 1, *заземляющую* магнитопровод, для чего в ней делают отверстие под болт, ввинчивающийся в полку ярмовой балки. Под ленту обязательно кладут полосу электрокартона 2 во избежание замыкания торцов пластин первого пакета.

Окончив укладку всех пакетов, вставляют в прямоугольные пазы по две электрокартонные коробки, а в них — ярмовые брусья, в которые ввертывают по два болта через

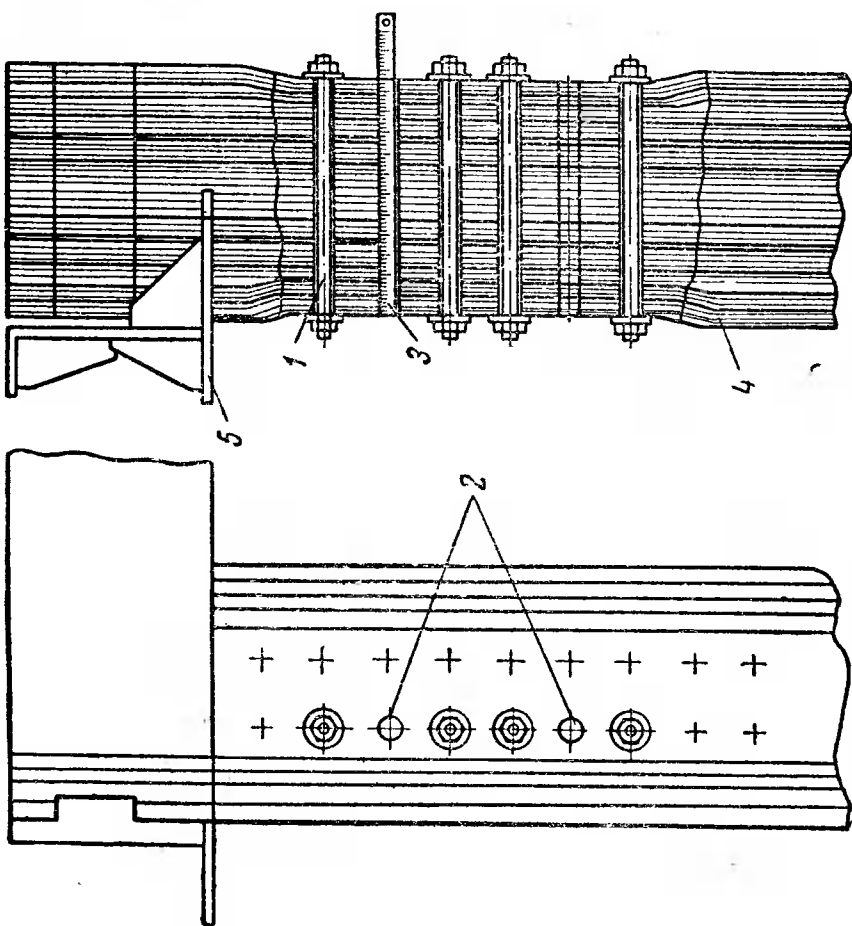


Рис. 112. Схема замера толщины стержня магнитопровода, 1 — стяжные шпильки; 2 — отверстия, из которых вынуты шпильки; 3 — линейка металлическая; 4 — стержень магнитопровода; 5 — ярмовая балка.

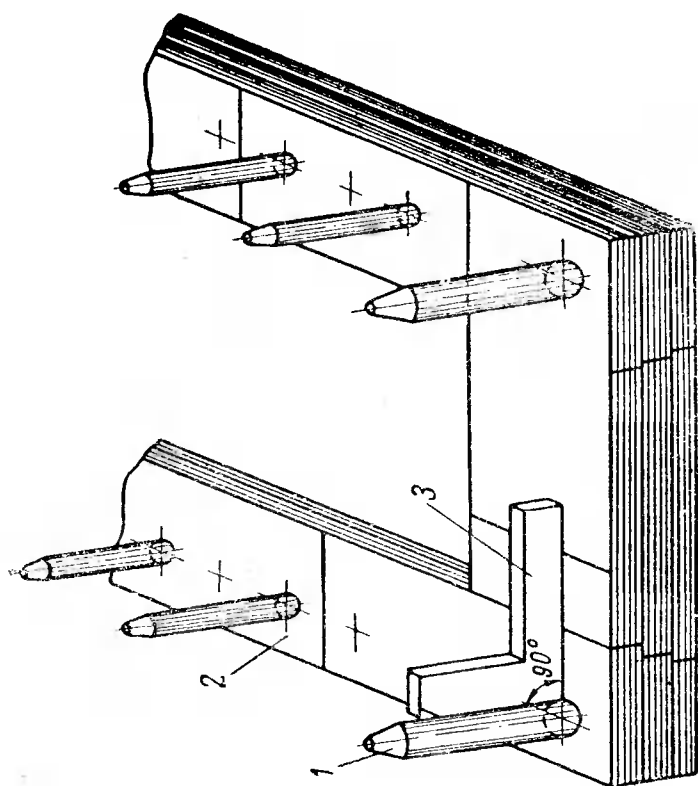


Рис. 111. Проверка вертикальности оправок во время сборки. — технологическая оправка; 2 — магнитопровод; 3 — угольник мерительный.

отверстия в балке. После этого вынимают все оправки и убирают опорные планки.

Перекрыв нижние стыки стержней и ярма электрокартонными и стальными пластинами, а верхние стыки только одними электрокартонными, вставляют сверху во все отверстия стержней прессующие шпильки с надетыми на них бумажно-бакелитовыми трубками, тонкой и толстой электрокартонными шайбами, стальной шайбой и накрученной заподлицо с торцом шпильки гайкой. После этого при помощи груза 10—15 т или гидравлического пресса нажимают на гайки сверху.

На выступающие концы шпилек снизу надевают шайбы, накручивают рукой гайки до соприкосновения их со стержнем. Передвигая груз, последовательно прессуют все стержни. Сверху торцы шпилек раскернивают в гайках, после чего гайковертом окончательно затягивают все шпильки, удерживая гайки торцовым ключом.

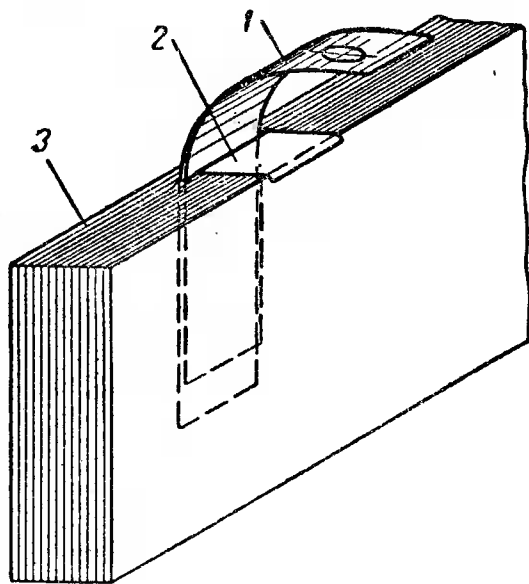


Рис. 113. Установка заземляющей ленты.

1 — лента заземляющая медная; 2 — полоска электрокартона; 3 — магнитопровод.

Окончив прессовку стержней, на ярма кладут изоляцию: вставляют в отверстия ярмовые шпильки с бакелитовыми трубками, стальными втулками, шайбами и гайками, надетыми снизу; устанавливают прессующие буковые брусья, кладут ярмовые балки, надевая на верхний конец шпильки и совмещая отверстия в балке с отверстиями в ярмовых брусьях. На шпильку надевают втулку, шайбу, накручивая сверху гайки, а в ярмовые брусья ввертывают восемь болтов.

Для того чтобы обеспечить при прессовке ярмовых балок правильное расположение в одной плоскости опорных поверхностей под обмотки, на выступающие крылья 1 (рис. 114) опорных листов балок надевают с обеих сторон направляющие приспособления из двух мощных струбцин 2, которые могут перемещаться по направляющей

планке 3. Одна из струбцин с силой затягивается на одной из балок, а вторая слегка подтягивается и может свободно скользить по планке и ярмовой балке.

*Прессующий груз* ставят на середину ярмовой балки, после чего до отказа затягивают и стопорят замковой планкой болты в ярмовых брусках, а нижнюю гайку на шпильке наворачивают рукой до соприкосновения. Затем

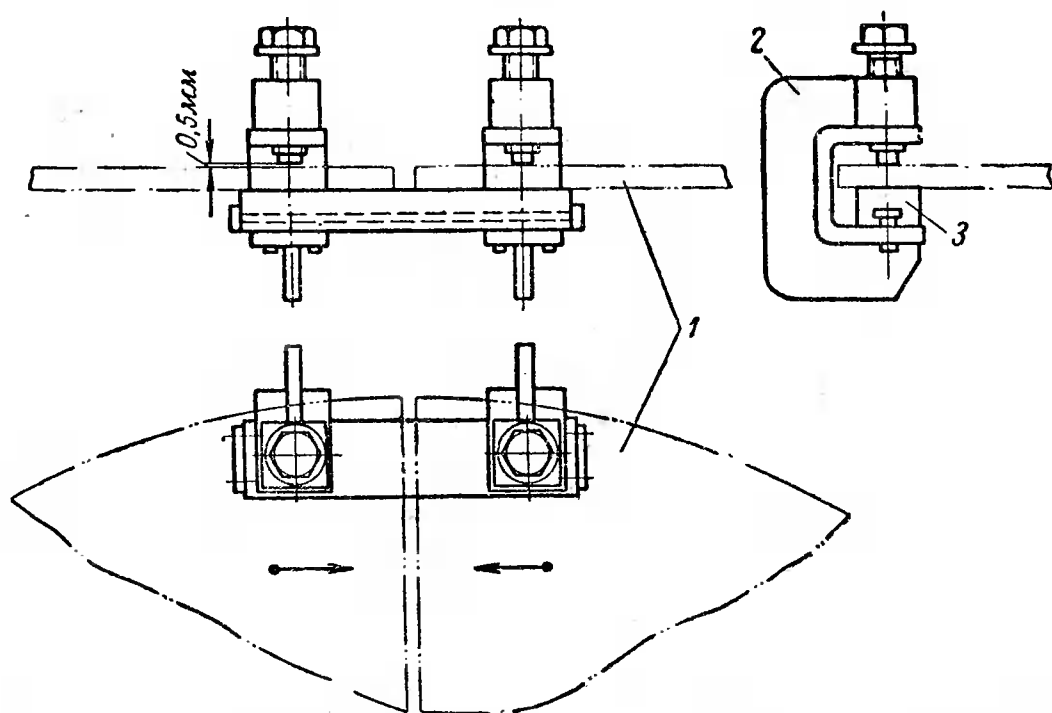


Рис. 114. Приспособление для направления опорных полок ярмовых балок во время прессовки магнитопровода.

1 — опорные полки ярмовых балок; 2 — направляющая планка; 3 — струбцина. Стрелки показывают направление движения балок во время прессовки.

снимают груз и окончательно затягивают ярмовую шпильку. На нижние ярмовые балки ставят две опорные боковые планки и закрепляют их болтами.

Применение груза при прессовке имеет ряд недостатков. Прессуя грузом, нельзя обеспечить одинаковое удельное давление, при разных магнитопроводах нельзя использовать мерные прессующие шпильки, работа с грузом опасна. Поэтому на заводах Советского Союза разработан *универсальный гидравлический пресс* для опрессовки магнитопроводов.

Перед подъемом между опорными плоскостями нижних ярмовых балок и опорными болтами сборочного приспособления вставляют деревянные бруски 4 и ключом вы-

вертывают все болты до соприкосновения с бруском. Приспособление зачаливают одним крюком крана за проушины горизонтальных балок приспособления, а другим — за вертикальные, и начинают подъем приспособления с пола (рис. 115).

Постепенно поднимая первый крюк и опуская второй, поворачивают магнитопровод вместе с приспособлением на  $90^\circ$  и ставят на пол в вертикальном положении.

Чтобы приспособление не упало, нужно после съема магнитопровода под одну из стяжных шпильек приспособления 2 установить опору 5.

Зачалив магнитопровод, его снимают с приспособления и ставят на пол, отстегивают ремни и снимают продольные опорные швеллеры. После этого приспособление опять поворачивают на  $90^\circ$  и ставят для сборки следующего магнитопровода.

Снятый с приспособления магнитопровод поступает на отделку. При этом прежде всего закрывают нижнее ядро *брезентовым чехлом* для защиты от металлических стружек и обрезков (рис. 116). При отделке снимают с ярмовых балок направ-

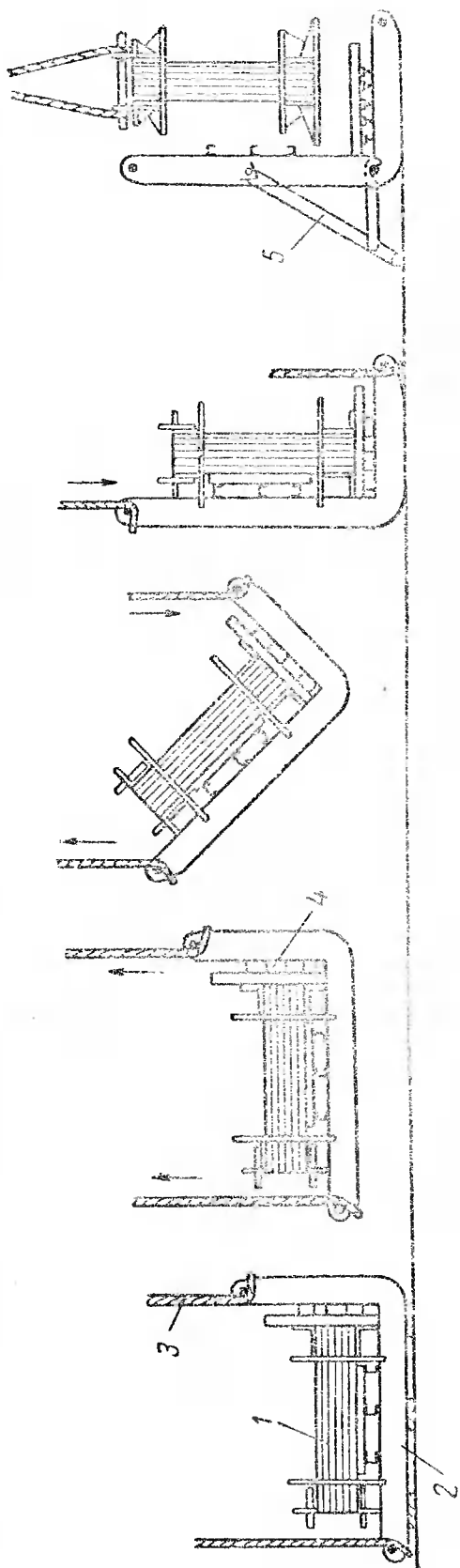


Рис. 115. Последовательность подъема и кантования магнитопровода мощного трансформатора.  
1 — магнитопровод; 2 — приспособления для сборки и кантования; 3 — чалки; 4 — опорные брусья; 5 — предохранительный упор.

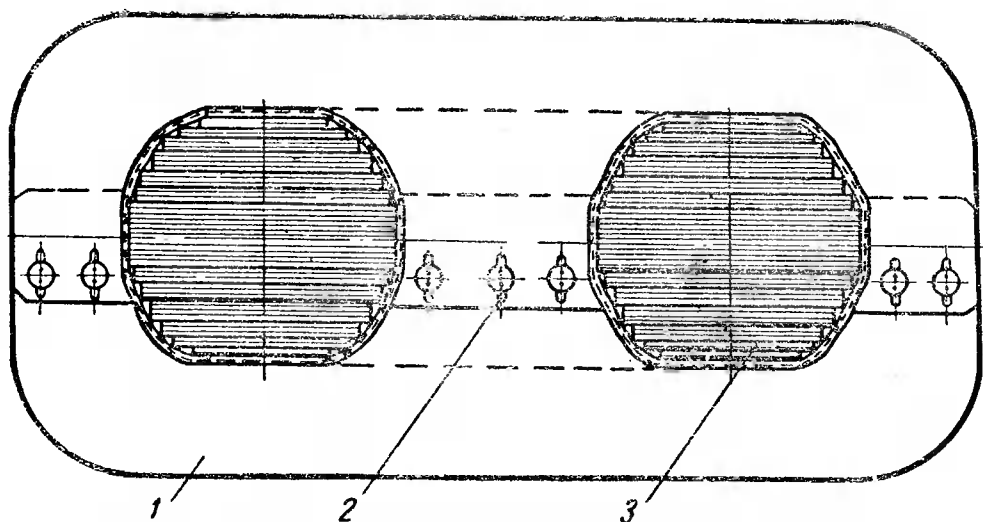


Рис. 116. Защитные чехлы на нижнее ярмо на время отделки магнитопровода.

1 — чехол брезентовый; 2 — пуговицы; 3 — сечение стержня.

ляющее приспособление, выравнивают положение шайб, обязательно выправляют замятые края пластин, освободив несколько шпилек и подтягивая их, выпрямляют волнистость в стержнях и еще раз окончательно подтягивают все гайки прессующих шпилек (рис. 117).

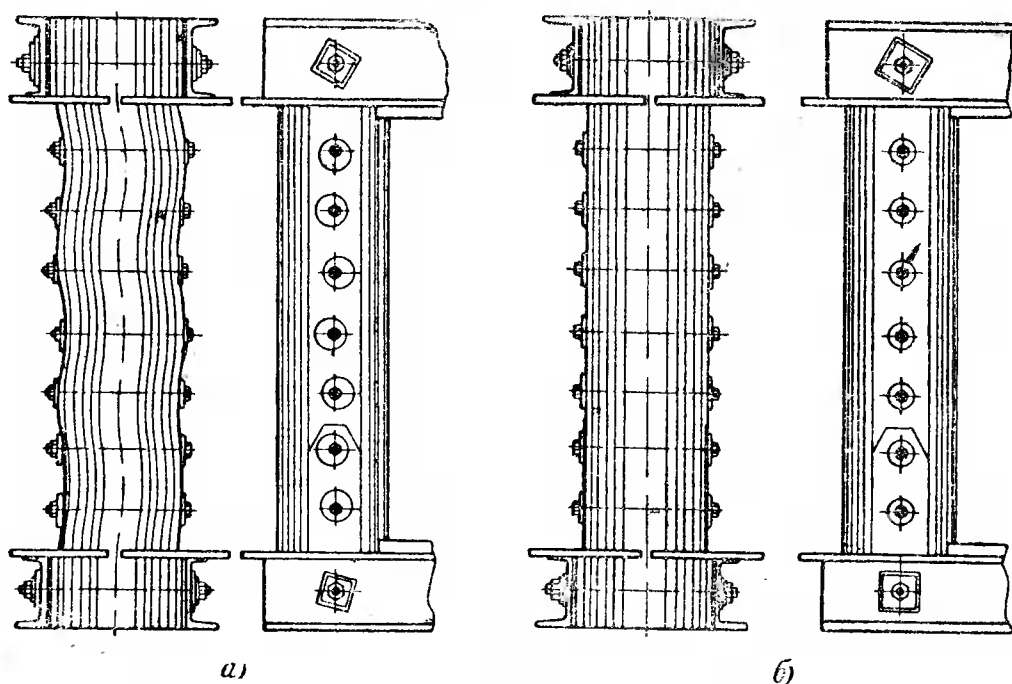


Рис. 117. Отделка магнитопровода.

а — до отделки; б — после отделки.

Так как после окончательной прессовки конец шпильки, выступающий из гайки на 30—40 мм, надо удалить (рис. 118), выступающие части шпильки 1 надрезают ножовкой возле самой гайки на глубину около трети диаметра. На надрезанный конец надевают стальную трубку-ломик 2 и при нажиме на конец трубки шпилька отламывается.

Более производителен способ обкусывания шпилек мощными пневматическими кусачками. Чтобы предупредить самоотвинчивание гаек во время эксплуатации трансформатора, концы шпилек заглаживают ударами молотка 3. На чехословацких заводах обрезки шпилек не делают, а ставят мерные шпильки. Это достигается более жесткими допусками на лакированную сталь и гидравлической прессовкой. Отсоединяют пластину заземления от ярмовой балки и проверяют приложенным напряжением 2000 в в течение 2 мин качество изоляции всех прессующих шпилек.

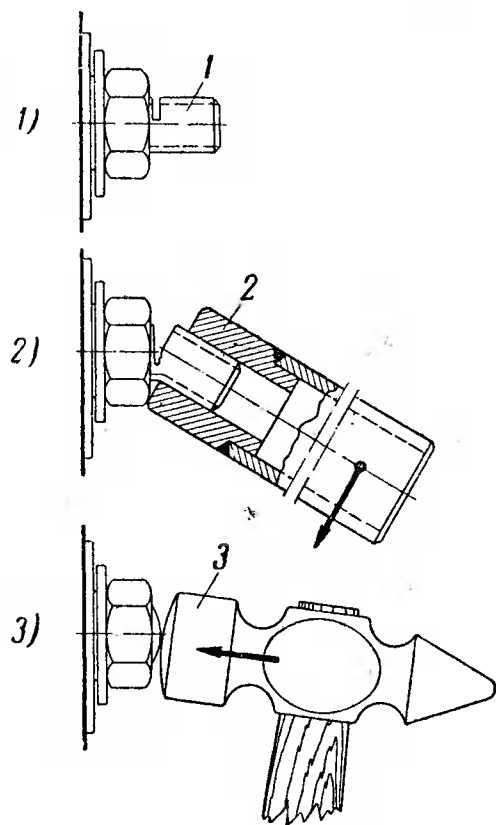


Рис. 118. Обрезка выступающих концов прессующих шпилек.  
 а — надрезка пилой; б — обламывание надрезанных концов; в — зачеканивание торцов шпилек; 1 —обрезаемые шпильки; 2 — трубка-ломик; 3 — молоток.

#### 41. Сборка двухрамных (разрезных) магнитопроводов

Крупные однофазные и — редко — трехфазные магнитопроводы по соображениям, изложенным в § 2 (см. рис. 17), делают из нескольких самостоятельных магнитных рам, как бы вставленных одна в другую. Образующийся между ними зазор, необходимый для предохранения от замыкания кромок пластин, является в то же время весьма эффективным охлаждающим каналом, в котором масло омывает кромки всех пластин и хорошо отводит тепло от середины стержня и ярма.

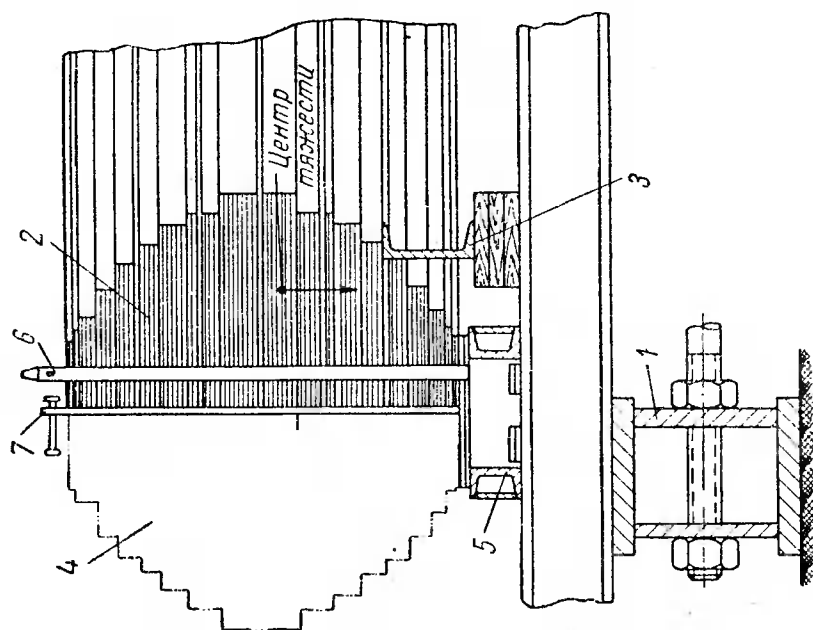


Рис. 119. Сборка двухрамного магнитопровода.  
 1 — рама сборочного приспособления; 2 — сечение стержня внутренней рамы; 3 — дополнительный продольный швеллер; 4 — сечение стержня наружной рамы; 5 — основные продольные швеллеры; 6 — оправа; 7 — технологическая планка.

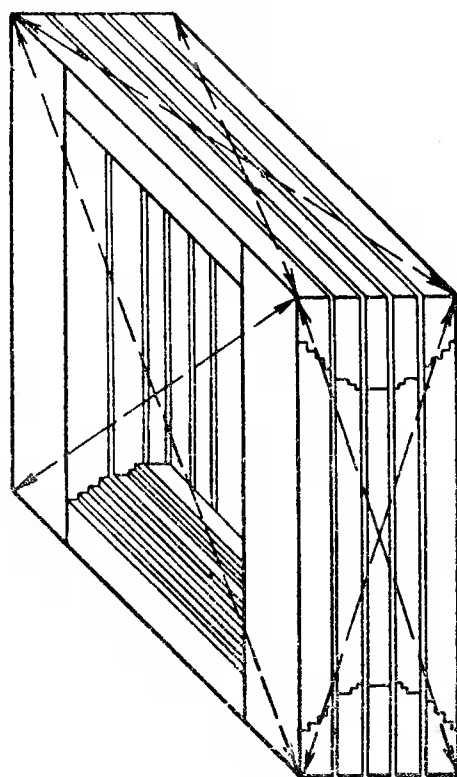


Рис. 120. Методика проверки габаритных размеров и конфигурации внутренней рамы двойного магнитопровода.

Сборку двухрамных магнитопроводов производят аналогично сборке однорамных крупных магнитопроводов, но в ней есть свои особенности (рис. 119).

Для сборки таких магнитопроводов используют приспособление, указанное на рис. 106. Вначале на приспособлении полностью собирают внутреннюю раму 2. Так как центр тяжести стержня одной рамы лежит вне опоры, он

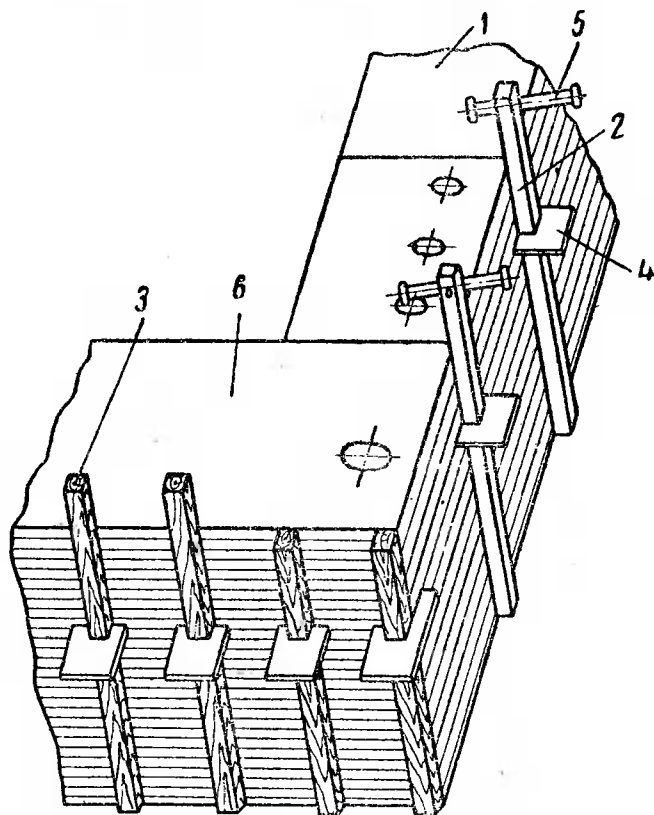


Рис. 121. Подготовка собранной внутренней рамы под сборку наружной рамы.

1 — стержень магнитопровода; 2 — технологическая стальная планка; 3 — буковая планка; 4 — полоска электрокартона; 5 — рукоятка планки; 6 — ядро магнитопровода.

стремится опрокинуться внутрь при сборке внутренней рамы и наружу при сборке наружной. Для предупреждения такого опрокидывания нужно поставить второй продольный швеллер 3 под пятый или шестой пакет.

Готовая рама подвергается тщательному контролю; при этом в трех плоскостях проверяют отсутствие в ней перекосов (рис. 120).

Когда первая рама полностью собрана и проверена по размерам (рис. 121), для образования нужного зазора между рамами ставят вокруг рамы 1 вертикально дере-

вянные планки 3 на ярмовой части и технологические стальные планки 2 вдоль края стержня. Планки временно укрепляют полосками картона 4, чтобы предохранить их от падения.

Вплотную к планкам укладывают наружную раму. После укладки всех пакетов наружной рамы стальные планки вытаскивают из канала за рукоятки, выполняющие одновременно роль предохранителей, которые не позволяют оставить планки в магнитопроводе.

Деревянные планки остаются в магнитопроводе и обеспечивают зазор между рамами во время эксплуатации трансформатора.

Чтобы механически скрепить обе рамы, под гайки прессующих шпилек кладут стальные пластины, а непосредственно на активную сталь — пластины из электрокартона. Для электрического соединения обеих рам под две картонные пластины кладут такие же пластины из электротехнической стали толщиной 0,5 мм. Ленту заземления ставят только в наружную раму.

## 42. Сборка магнитопроводов для реакторов

Сборка этих магнитопроводов состоит из трех этапов: сборка ярм, сборка секций стержней и сборка всего магнитопровода.

Сборка ярм производится на столе и мало чем отличается от сборки магнитопроводов нормальных трансформаторов.

Перед сборкой секций стержней на столе раскладывают пластины по пакетам и готовят стяжные шпильки, скомплектованные с трубками, шайбами и гайками. Секции мелких реакторов собираются на стальной плите без приспособлений. На рис. 122 изображена секция магнитопровода крупного реактора в момент окончания сборки. Секцию 5 собирают в приспособлении 6 на двух оправках 1, вставляемых в направляющие втулки 2.

На рисунке одна оправка вынута и вместо нее поставлена прессующая шпилька 3. Верхняя прессующая пластина имеет резьбовое отверстие, в которое ввертывается рым-болт 4. Секции, собранные в приспособлении, передают на строганую стальную плиту, на которой выравнивают торцы секций, и они окончательно запрессовываются.

Сборка реактора ведется в следующем порядке. Сперва устанавливают нижнее ярмо, после чего на выступы

ярма (начало стержней) кладут изоляционные прокладки из гетинакса или текстолита. На прокладку устанавливают первые секции стержня. Поочередно продолжают укладку секций и прокладок. После укладки всех секций сверху кладут верхнее ярмо выступами книзу. Затем

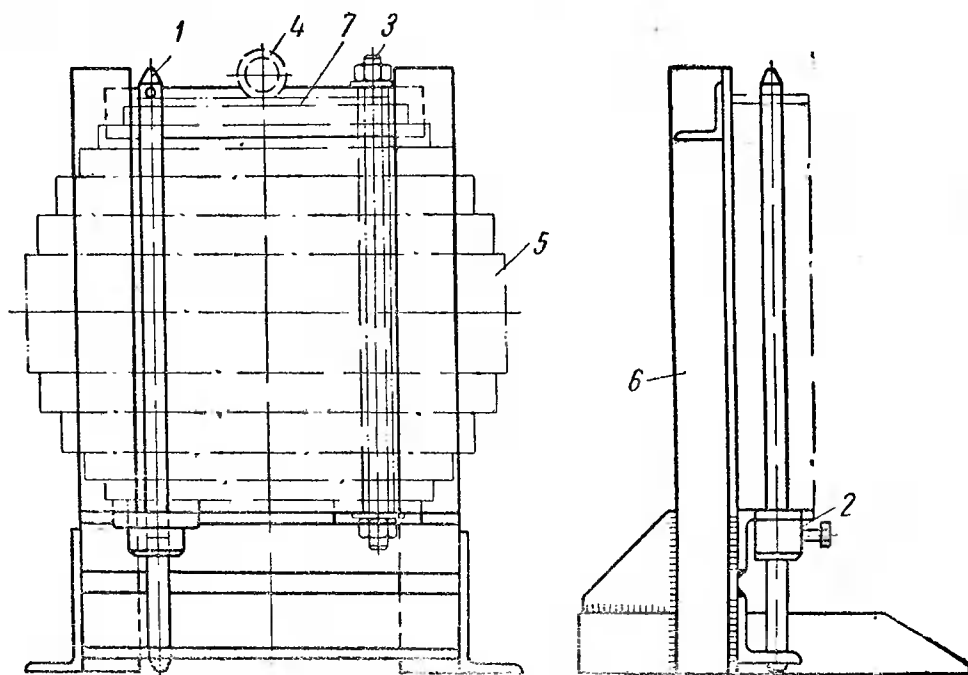


Рис. 122. Сборка секции магнитопровода реактора.

1 — оправка; 2 — направляющая втулка; 3 — шпилька стяжная; 4 — рым-болт; 5 — секция стержня; 6 — приспособление; 7 — прессующая планка.

вставляют вертикальные стяжные шпильки с изоляционными трубками, слегка их подтягивают, после чего окончательно равняют все секции и приступают к прессовке.

### 43. Сборка магнитопроводов с радиальным расположением пластин

Примером сборки подобного магнитопровода может служить сборка отдельных секций мощного реактора РОДГ-50000/400 (рис. 123,б).

Секция представляет собой толстостенное бумажно-бакелитовое кольцо 1, в которое запрессованы расположенные радиально прямоугольные пластинки разной длины. Ширина пластин делается на 30—40 мм больше высоты бакелитового кольца. Длина пластин подобрана так, что все кольцо заполняется в радиальном направлении равномерно.

Между отдельными секторами вставляются пластины 3 с выступами, расположенными в шахматном порядке для образования масляных каналов (рис. 123,а). Эти выступы штампуют на последовательном штампе по два ряда за удар. Подобная конструкция пластины по сравнению с пластинами, к которым привариваются по диагонали прутки, имеет преимущество большей надежности в работе.

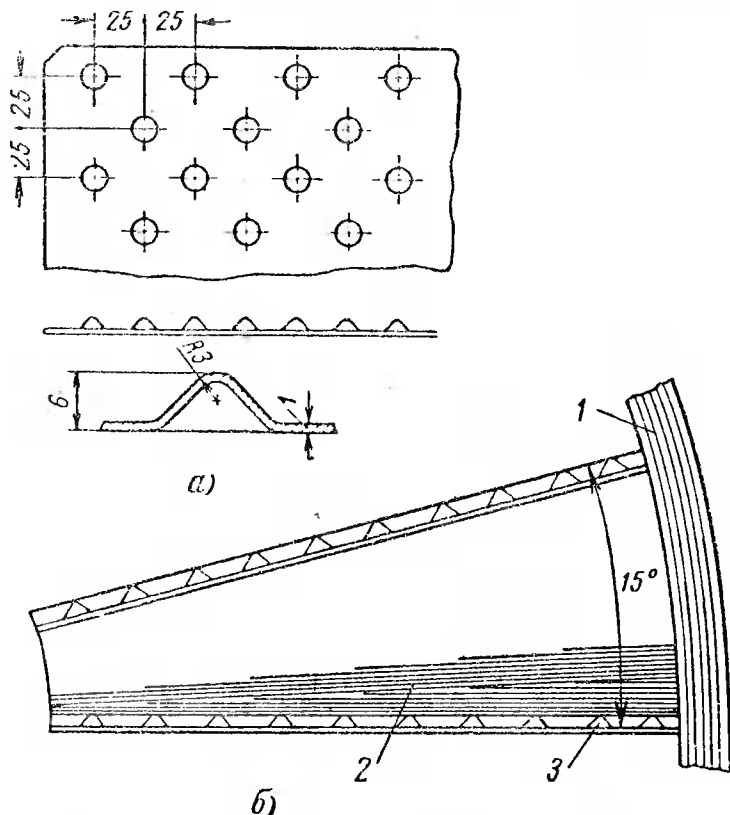


Рис. 123. Сектор секции магнитопровода реактора типа РОДГ-50000/400.

а — дистанционная планка; б — сектор секции; 1 — бакелитовое кольцо; 2 — пластина сектора; 3 — дистанционная планка.

Последовательность операций показана на рис. 124. На массивной строганой плите устанавливают кольцо, состоящее из двух половин и скрепленное болтами. Внутренняя поверхность строго цилиндрической формы проточена по размеру на 30—40 мм больше внутреннего диаметра бакелитового кольца. Высота стального кольца в два раза ниже высоты секции.

В кольцо ставят два стальных тяжелых сектора 3 и малое кольцо 4, диаметр которого равен внутреннему диаметру секции. Секторы должны удерживать во время сбор-

ки пластины магнитопровода в вертикальном положении.

Приступают к укладке пластин по пакетам. В каждом пакете должно быть по одной пластине каждого размера, начиная с самой длинной и кончая самой короткой. По мере укладки один из секторов 3 (рис. 124,а) отодвигают по дуге. Во время укладки надо следить за тем, чтобы кромка каждой пластины прилегала к наружному кольцу. Последние пакеты укладывают без секторов. По окончании укладки пластин на выступающую из кольца часть секции надевают стяжной хомут 5, состоящий из 4—6 частей, показанный на рис. 125, и начинают постепенно подтягивать болты на шпильках (рис. 124,б). Стянув немного пластины, разболчивают и удаляют нижнее кольцо 2, а на его место ставят второй хомут 5, после чего приступают к стяжке пакетов в радиальном направлении до соприкосновения пластин с внутренним кольцом. Обходя несколько раз по окружности, подтягивают постепенно гайки и на всех шпильках обоих хомутов (см. рис. 124,в). После того как наружный диаметр

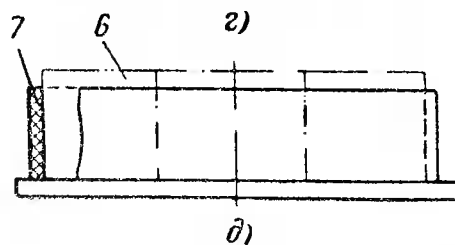
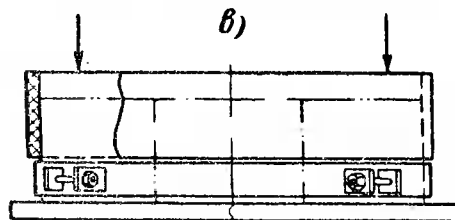
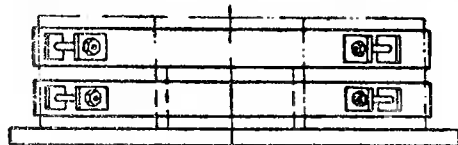
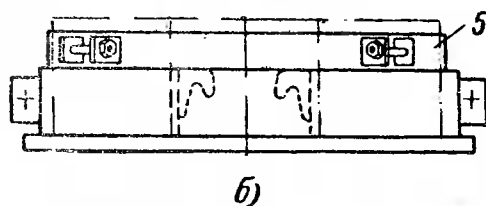
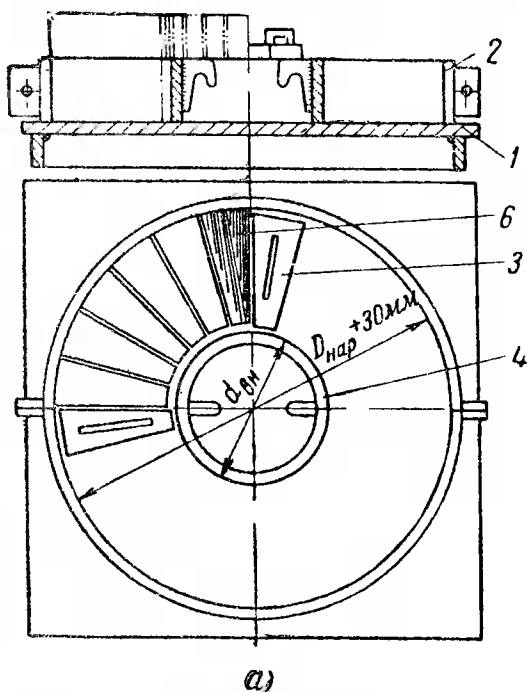


Рис. 124. Схема сборки секции магнитопровода реактора типа РОДГ-50000/400.

1 — сборная плита; 2 — кольцо для укладки пластин; 3 — технологический сектор-груз; 4 — внутреннее кольцо; 5 — стяжной хомут; 6 — активная сталь; 7 — бакелитовое кольцо.

спрессованного кольца станет немного меньше внутреннего диаметра бакелитового кольца, вставляют сверху бакелитовое кольцо и напрессовывают его до первого хомута

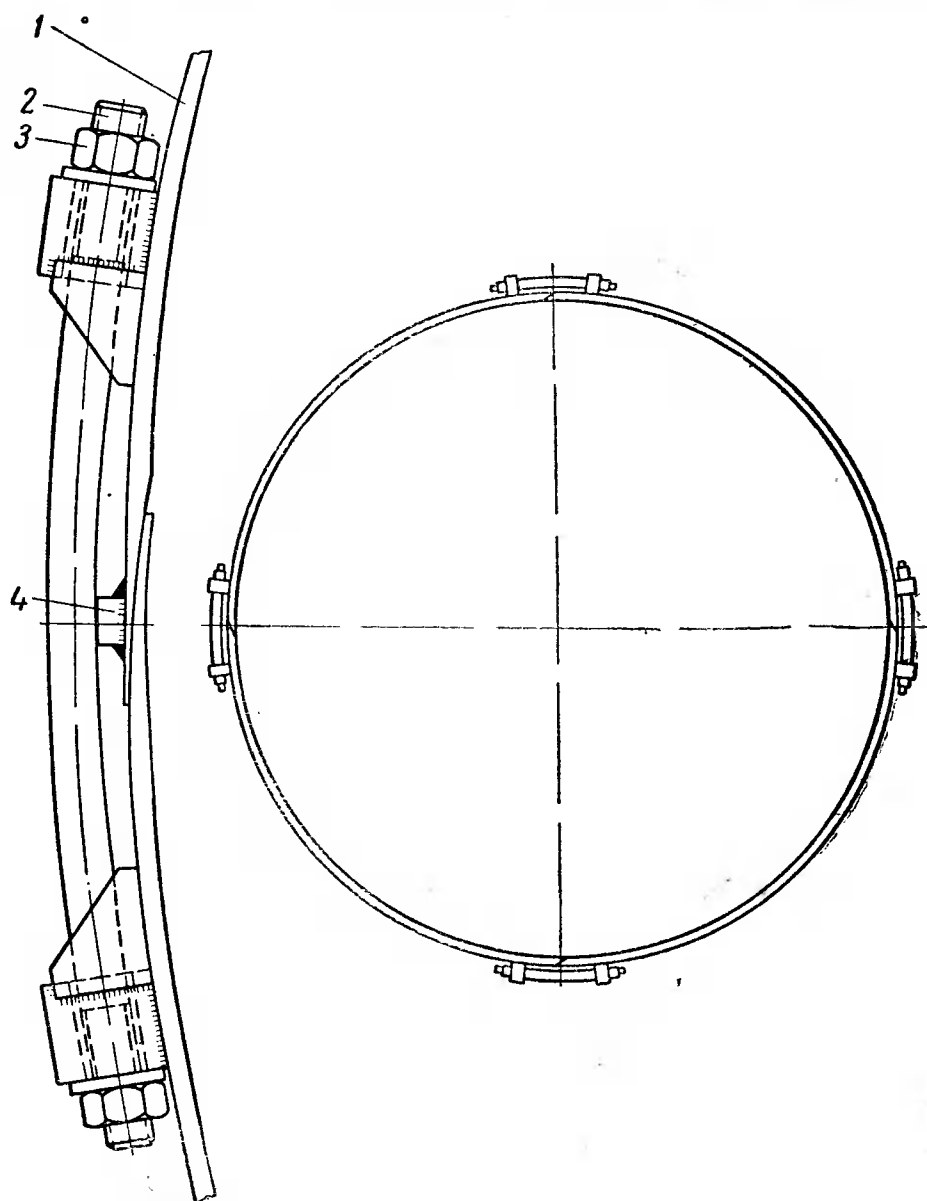


Рис. 125. Стяжной хомут для стяжки секции реактора.  
1 — секция хомута; 2 — шпилька; 3 — гайка; 4 — опора.

(см. рис. 126,г). Снимают первый хомут, и грузом опускают хомут еще ниже, снимают второй хомут, и опускают кольцо до низу (см. рис. 124,д). В плите освобождают пазы, в которые вставляют скобы для подъема и транспортировки секции.

Наконец, приступают к сборке второй секции и т. д.

## 44. Вибрация и гудение магнитопроводов

Правильно изготовленный трансформатор, включенный под напряжение, издает равномерное гудение низкого тона. По силе и тону звука в дополнение к данным электромагнитных испытаний судят о качестве трансформатора и в первую очередь о его магнитопроводе.

Усиленная *вибрация* магнитопровода, вызывающая ненормальное гудение трансформатора, отрицательно сказывается на его работе. При нормальном режиме она возни-

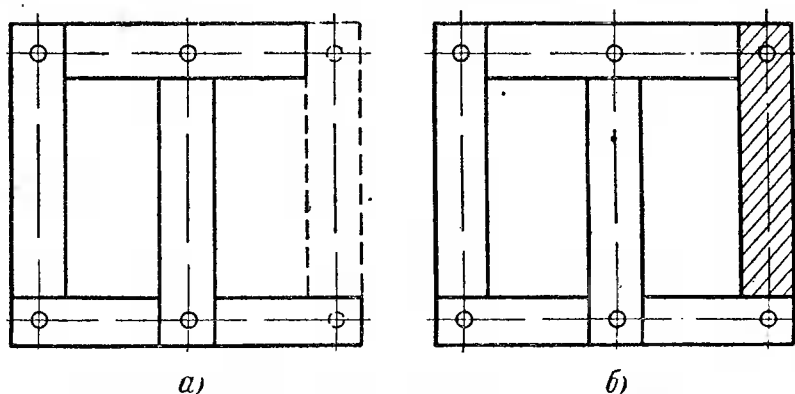


Рис. 126. Дефекты в раскладке пластин при сборке магнитопровода.

а — пропущенные пластины; б — лишние.

кает, как правило, в результате плохой прессовки части или всех пластин магнитопровода и вызывает разрушение изоляции пластин магнитопровода, ослабляя резьбовые соединения.

Причины усиленной вибрации могут быть следующие:

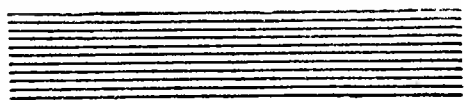
1. Ошибка в раскладке пластин во время сборки или шихтовки магнитопровода. На рис. 126 показаны наиболее распространенные случаи ошибок. На рис. 126,а показан случай, когда в одном из слоев пропущены одна, две или три пластины, показанные пунктиром. В результате весь пакет ниже и выше пропущенных пластин будет слабее спрессован, что вызовет вибрацию.

Во втором случае (рис. 126,б) в слое положены одна или несколько лишних пластин, как показано на заштрихованном участке. Эта ошибка еще более неприятна, так как при этом большинство пластин будет слабо запрессовано.

2. Наличие в магнитопроводе незакрепленных листов (краев) также приводит к вибрации. Поэтому во время сборки надо внимательно собирать магнитопроводы, закрепляя все свободные края пластин соответственно чер-

тежу, например деревянными ступенчатыми прокладками.

3. Попадание в магнитопровод листов с отогнутыми краями, вмятинами и другими дефектами, создающими зазоры между листами (рис. 127,б), вызывает гудение магнитопровода.



а)



б)

Рис. 127. Зазоры в магнитопроводе.

а — отсутствие зазоров при доброкачественных пластинах; б — зазор из-за вмятин в пластинах.

Особенно опасно, когда попадает большое число листов с одинаковыми дефектами. Вот почему, например, так вредно образование лунок, получающихся в результате работы изношенными резиновыми съемниками (см. § 28).

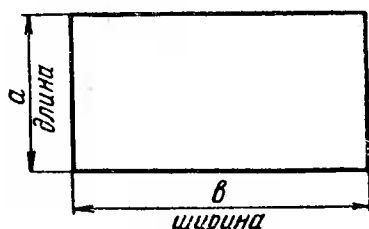
Нельзя собирать мощные трансформаторы из коробоватых листов или листов различных толщин в разных местах листа.

Плохо спрессованный магнитопровод также вибрирует и вызывает более сильное гудение высокого тона, как и при сборке магнитопровода из пластин коробоватых или с дефектами в одном и том же месте.

Незакрепленные края отдельных пластин, отогнутые и рваные края дают жужжащий оттенок гудения.

## Приложение 1

### ДОПУСКИ НА ЛИНЕЙНЫЕ РАЗМЕРЫ ПЛАСТИН, мм



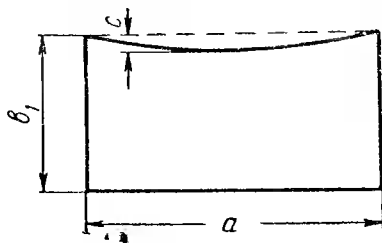
| Номинальные размеры $a$ и $b$ |       | Допуск на размер |           |
|-------------------------------|-------|------------------|-----------|
| от                            | до    | $b$              | $a$       |
| 0                             | 400   | 0<br>-0,4        | +0,4<br>0 |
| 400                           | 800   | 0<br>-0,5        | +0,5<br>0 |
| 800                           | 1 500 | 0<br>-1,0        |           |

## Приложение 2

### ДОПУСКАЕМОЕ ОТКЛОНЕНИЕ ПРОДОЛЬНЫХ КРОМОК ОТ ПРЯМОЙ ЛИНИИ (ВОГНУТОСТЬ) $C$

Размер  $a$ —фактический размер по длине пластин.

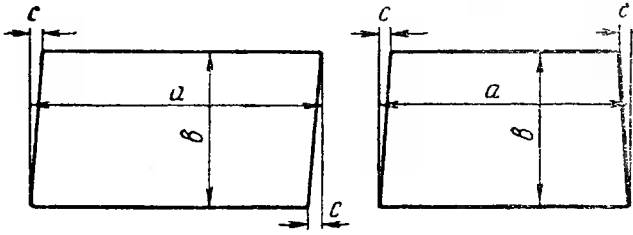
Размер  $b$ —действительный размер по ширине пластин.



| Номинальный размер, $a$ |       | Допускаемый размер $C$ , мм |
|-------------------------|-------|-----------------------------|
| от                      | до    |                             |
|                         | 500   | 0,3                         |
| 500                     | 1 000 | 0,5                         |
| 1 000                   | 1 500 | 1,0                         |

# Приложение 3

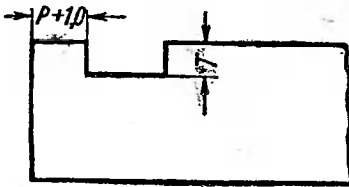
## ДОПУСКАЕМОЕ ОТКЛОНЕНИЕ ОТ ПРЯМОГО УГЛА ПЛАСТИН С



| Номинальный размер $b$ |     | Допускаемый размер $c$ , мм |
|------------------------|-----|-----------------------------|
| от                     | до  |                             |
| —                      | 100 | 0,15                        |
| 100                    | 200 | 0,30                        |
| 200                    | 300 | 0,45                        |
| 300                    | 420 | 0,5                         |
| 420                    |     | 0,7                         |

# Приложение 4

## ДОПУСКИ НА РАСПОЛОЖЕНИЕ ПАЗОВ

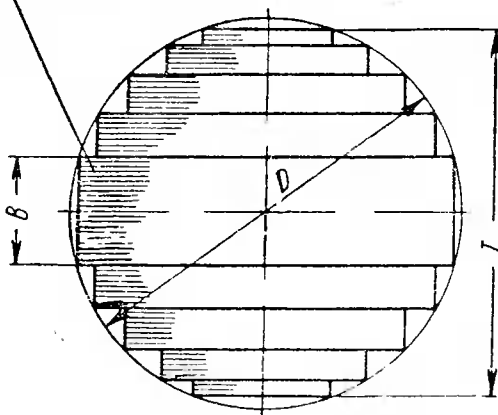


| Мощность трансформатора, кВа |       | Допуск на размер $T$ , мм |
|------------------------------|-------|---------------------------|
| от                           | до    |                           |
|                              | 3 200 | +1,0<br>0                 |
| 3 200                        | 7 500 | +2,0<br>0                 |
| 7 500 и выше                 |       | +3,0<br>0                 |

# Приложение 5

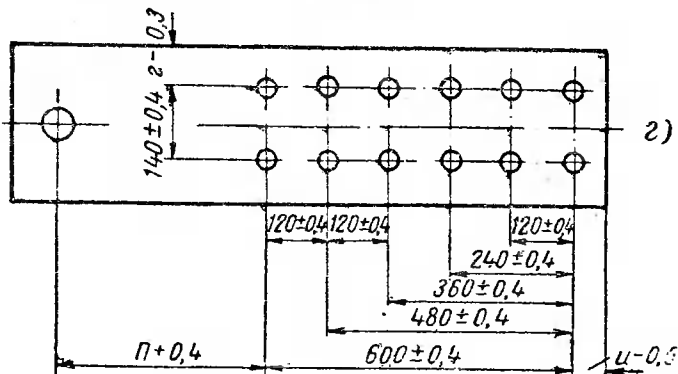
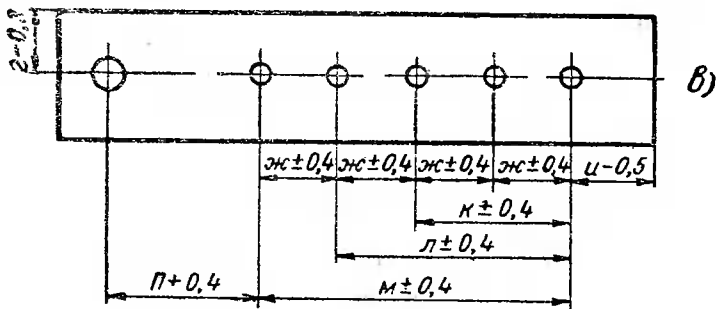
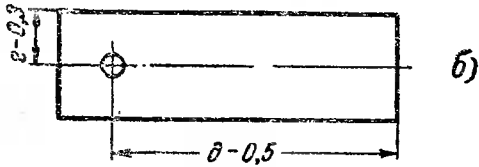
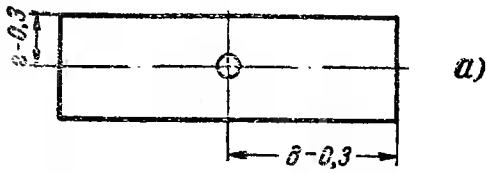
## ДОПУСКИ НА ТОЛЩИНЫ ПАКЕТОВ СТЕРЖНЕЙ, мм

Основной пакет



| Номинальный размер $D$ |     | Допуск на размер $T$                         | Допуск на размер $B$ , мм |
|------------------------|-----|----------------------------------------------|---------------------------|
| от                     | до  |                                              |                           |
| —                      | 100 | $\pm 2\%$<br>$\pm 1,5\%$<br>но не более 3 мм | +2,0                      |
| 100                    | 310 |                                              | +3,0                      |
| 310                    | 548 |                                              | +4,0                      |
| 548                    | 588 | $\pm 1,0\%$                                  | +5,0                      |
| 588                    | 666 |                                              | +8,0                      |
| 666                    |     |                                              | +10,0                     |

ДОПУСКИ НА РАСПОЛОЖЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ  
ДЛЯ ШПИЛЕК, мм



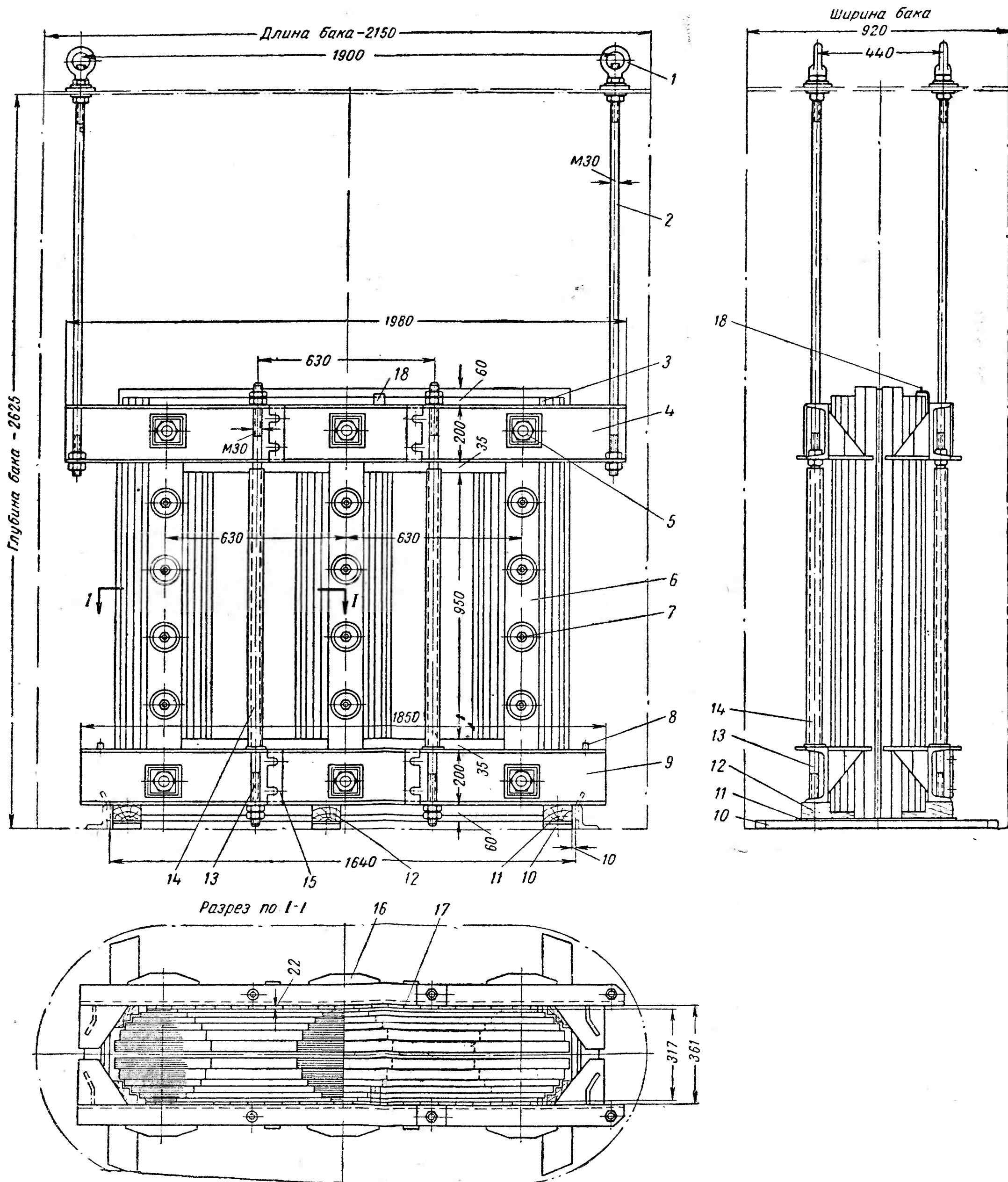


Рис. 46. Магнитопровод трехфазного трансформатора мощностью 3 200 ква на напряжение 35 кв.

1 — кольцо для подъема выемной части трансформатора; 2 — подъемная шпилька; 3 — верхнее ярмо магнитопровода; 4 — верхняя ярмовая балка (см. рис. 35,а); 5 — ярмовая шпилька; 6 — стержень магнитопровода; 7 — прессующая шпилька стержня (см. рис. 32,а); 8 — штифт для закрепления уравнивающей изоляции; 9 — нижняя ярмовая балка; 10 — стальная опорная пластина; 11 — полоса из электрокартона; 12 — деревянная планка; 13 — стяжная шпилька; 14 — бумажно-бакелитовая трубка; 15 — планка для крепления отводов трансформатора; 16 — стальная пластина, прикрепленная к полке ярмовой балки, обращенной к обмотке; 17 — изоляционная прокладка между ярмом и ярмовой балкой (см. также рис. 43); 18 — заземляющая лента,

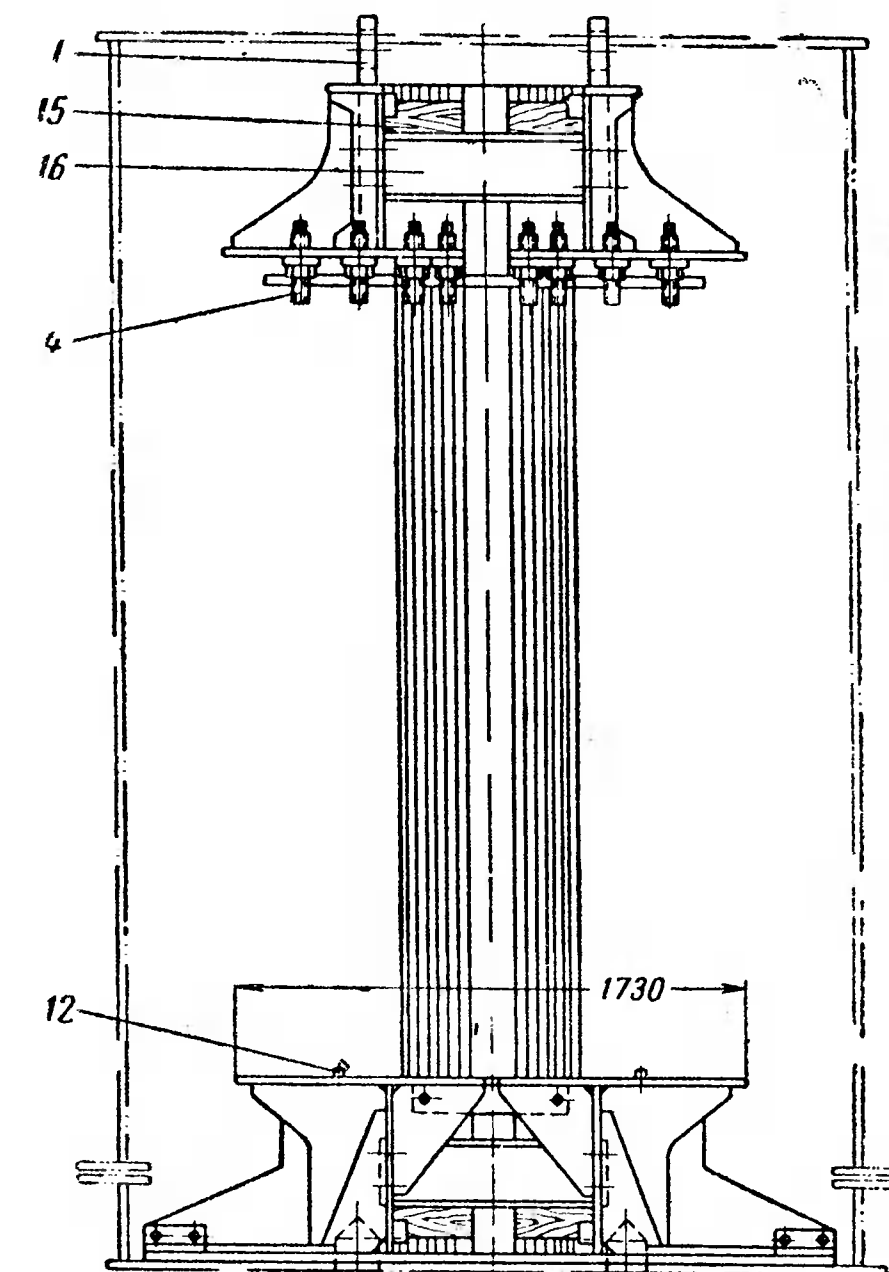
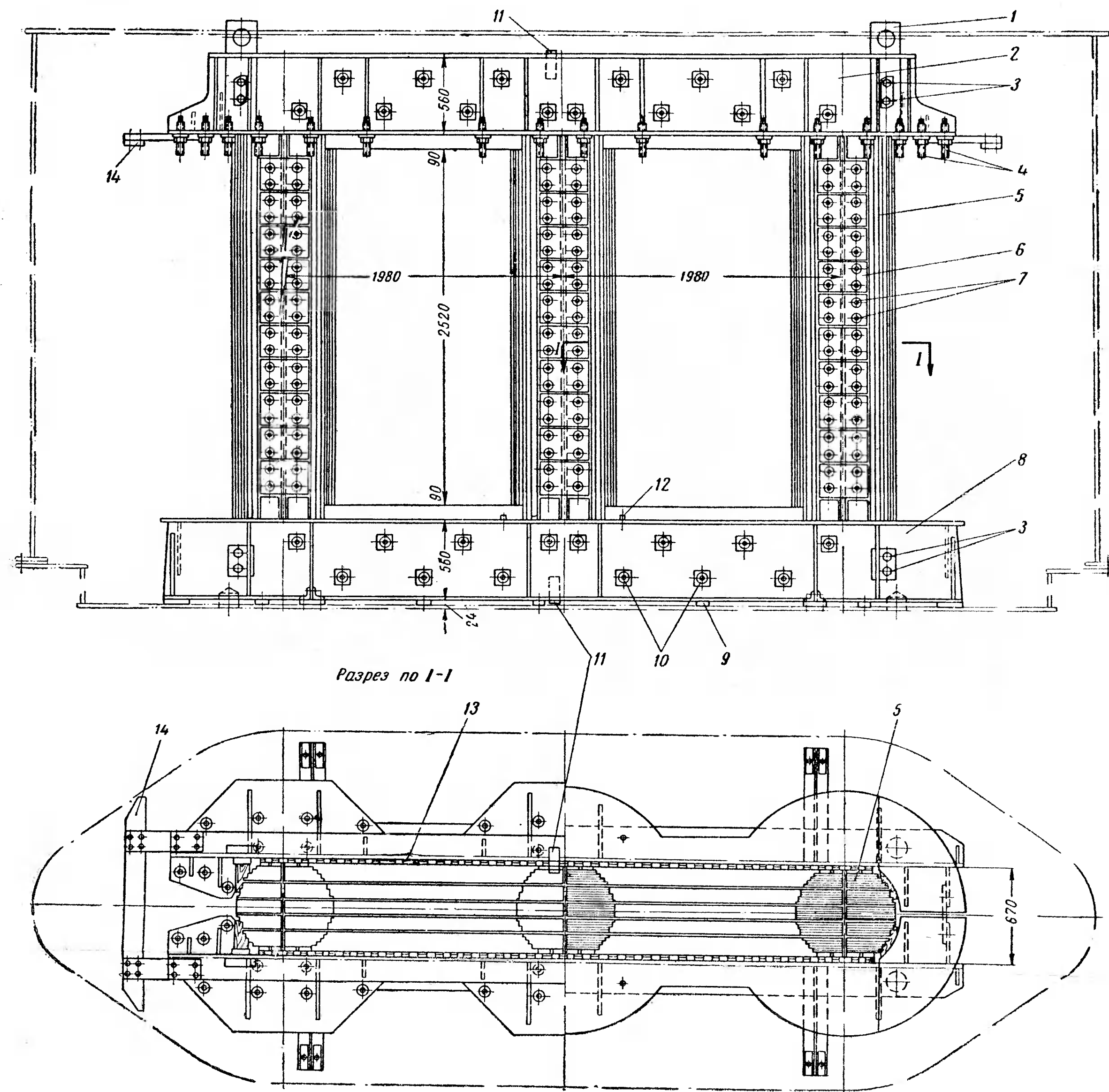


Рис. 47. Многорамный магнитопровод трехфазного автотрансформатора мощностью 120 тыс. *кв*а на напряжение 220 *кв*. Устройство активной части см. рис. 16,2.

1 — подъемная планка; 2 — верхняя яровая балка; 3 — болты для крепления ярового бруса; 4 — нажимные шпильки (см. рис. 36); 5 — активная сталь; 6 — накладка для связи рам магнитопровода (см. рис. 29,4 и рис. 31); 7 — шпильки для стяжки стержня (см. рис. 32,6); 8 — нижняя яровая балка; 9 — опорная планка; 10 — шпильки для стяжки яра (см. рис. 38,2); 11 — заземляющая лента (см. рис. 44,6); 12 — штифт для закрепления уравнивающей изоляции; 13 — изолирующая прокладка между яровой балкой и активной сталью яра (см. рис. 43); 14 — направляющая планка; 15 — деревянная планка (см. рис. 39,7 и рис. 42); 16 — яровой брус (см. рис. 39,1 и рис. 40).

### ОПЕЧАТКИ

| Страница | Строка                                                                    | Напечатано | Должно быть |
|----------|---------------------------------------------------------------------------|------------|-------------|
| 49       | 8 сверху                                                                  | верхнем    | нижнем      |
| 76       | 22 сверху                                                                 | листа      | ножа        |
| 55       | Вместо таблицы по ГОСТ 802-58 ошибочно помещена<br>таблица по ГОСТ 802-54 |            |             |

П. Г. Бурман и А. Г. Крайз. Производство магнитопроводов трансформаторов.

**Цена 5 р. 55 к.**