Библиотека
ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

УДК
621.313
Ю197

Ю. Э. ЮЖНЫЙ

РЕМОНТ СЕРДЕЧНИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3
1. Общие сведения 4
2. Электротехническая сталь 6
3. Конструкция сердечников статоров синхронных и асинхронных машин 13
4. Конструкция сердечников роторов асинхронных машин и якорей машин постоянного тока . 24
5. Местный ремонт сердечников 34
6. Перешихтовка сердечников 41
7. Переизолировка листов активной стали . . . 70
8. Испытание активной стали 75
Список литературы . . . . . 3 стр. обл.

БИБЛИОТЕКА
ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

Выпуск 431

Ю. Э. ЮЖНЫЙ

УДК
621.313
Ю 197

РЕМОНТ СЕРДЕЧНИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

БАЛАКС

БИБЛИОТЕКА
Западно-Уральского ЦНТИ

«ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1976

6П2.1.081
Ю 19
УДК 621.313.042.1.004.67

Редакционная коллегия:

Большам Я. М., Зевакин А. И., Каминский Е. А., Ларионов В. П., Мандрыкин С. А., Мусаэлян Э. С., Розанов С. П., Семенов В. А., Синьчугов Ф. И., Смирнов А. Д., Соколов Б. А., Устинов П. И.

Южный Юрий Эммануилович

Ремонт сердечников электрвческих машии

Редактор издательства И. П. Березина
Обложка художника П. П. Перевалова
Технический редактор Н. Н. Левченко
Корректор Г. Г. Желтова

Сдано в набор 19/VIII 1975 г. Подписано к печати 30/I 1976 г. Т-01879
Формат 84×108¹/₃₂ Бумага типографская № 2
Усл. печ. л. 4,2 Уч.-изд. л. 4,44
Тираж 15 000 экз. Зак. 348 Цена 17 коп.

Издательство «Энергия», Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Московская типография № 10 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

Южный Ю. Э.

Ю 19 Ремонт сердечников электрических машин. М., «Энергия», 1976.

80 с. с ил. (Б-ка электромонтера. Вып. 431).

В книге указаны неисправности сердечников статоров и роторов асинхронных электрнческнх машин и якорей машин постоянного тока; рассмотрены основные конструкции сердечников и описан технологическнй процесс их частичного и полного ремонтов, включая замену межлистовой изоляцин.

Приведено описание оборудования и приспособлений для лакировки листов и прессовки сердечников, указаны способы испытания активной стали.

Брошюра предназначена для рабочих, бригадиров и мастеров, занятых ремонтом электрооборудования промышленных предприятий, электростанций и в других областях народного хозяйства.

Ю $\frac{30307\text{-}037}{051(01)\text{-}76}$ 123-75 6П2.1.081

© Издательство «Энергия», 1976 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Интенсивное развитие социалистической экономики, определенное XXIV съездом КПСС, и все возрастающая степень электрификации и энерговооруженности всех отраслей народного хозяйства связаны со значительным ростом парка электрических машин.

В настоящее время потребность в электродвигателях и генераторах не может быть полностью удовлетворена за счет увеличения их выпуска электромашиностроительными заводами; большое значение имеет пополнение парка отремонтированными электрическими машинами, однако при условии, если они будут обладать достаточной эксплуатационной надежностью, что возможно только при высокой культуре ремонтного производства.

Одним из наиболее сложных и трудоемких является ремонт сердечников (магнитопроводов) электрических машин, связанный с перешихтовкой и переизолировкой активной стали, особенно если этот ремонт производится не на электромашиностроительном заводе, а на месте установки машины. В этом случае недостаточно правильная организация ремонта, несовершенство технологии, применение малопроизводительного ремонтного оборудования могут привести к тому, что ремонт окажется недопустимо продолжительным и нерентабельным — его стоимость приблизится к стоимости новой машины и, что наиболее важно, не будет обеспечена достаточная эксплуатационная надежность отремонтированного оборудования.

В книге описаны все технологические процессы по замене межлистовой изоляции, сборке и прессовке сердечников электрических машин, а также приведены конструкции ремонтных приспособлений и оснастки, применяемых и проверенных на большом количестве ремонтов.

Автор будет признателен всем, кто сообщит свои пожелания и замечания по данной книге, и просит посылать их по адресу: 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10, изд-во «Энергия».

Автор

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Ремонту электрической машины, особенно крупной или ответственной, предшествуют осмотр, техническая и организационная подготовка.

Осмотр машины при очередном ремонте (ревизии), ознакомление с объемом и характером предыдущих ремонтов и эксплуатационными журналами, а также проведение испытаний позволяют оценить состояние всех узлов и частей машины и в соответствии с этим определить сроки ремонта, составить техническую документацию по ремонту, заказать ремонтные приспособления и запасные части и произвести все другие необходимые работы по организационной и технической подготовке ремонта.

Среди других видов ремонта электрических машин ремонт их сердечников относится к одной из наиболее сложных, трудоемких и ответственных работ, особенно если ремонт связан с частичной или полной переизолировкой листов стали при перешихтовке сердечника. Ремонт без перешихтовки и переизолировки листов значительно менее трудоемок и сложен, но также очень ответствен и требует высокой квалификации и достаточных производственных навыков исполнителей.

Общее состояние, степень старения межлистовой изоляции и виды неисправностей сердечника устанавливаются тщательным наружным осмотром, проверкой степени запрессовки листов, а также испытанием сердечника с целью определения удельных потерь в стали от вихревых токов и циклического перемагничивания, общего нагрева сердечника и выявления участков с недопустимыми превышениями температуры.

В зависимости от вида неисправности ремонт может заключаться в местном ремонте — устранении дефектов без перешихтовки сердечника, в перешихтовке части или

всего сердечника, в перешихтовке части или всего сердечника с переизолировкой листов стали.

В зависимости от характера повреждения критерии для определения объема работ следующие:

1. Превышение общего нагрева сердечника и удельных потерь в стали сверх допустимых для данного сорта (марки) стали свидетельствует о нарушении межлистовой изоляции во всем объеме сердечника. В этом случае следует перешихтовать сердечник с переизолировкой всех листов стали. Этот вид неисправности обычно свойствен машинам, находившимся в длительной эксплуатации и особенно при недостаточно плотной прессовке стали. Следует отметить, что слабая прессовка может как быть дефектом при изготовлении машины на электромашиностроительном заводе, так и возникнуть в процессе ее эксплуатации.

2. При большом числе недопустимых местных превышений температуры сердечника на расточке статора или поверхности ротора (якоря) и особенно при расположении дефектных мест вблизи корня зубца или на дне паза также целесообразно полностью перешихтовать сердечник с переизолировкой листов стали. Эти недопустимые превышения температуры являются следствием нарушения межлистовой изоляции и замыкания листов в зубцовой зоне, и если даже устранить эти замыкания местным ремонтном дефектных мест, то нет уверенности, что они не возникнут вновь в прежних или других, новых местах при выемке и последующей укладке обмотки. Ремонт же сердечника с уложенной обмоткой может очень осложниться или даже оказаться невозможным при недоступном расположении дефектных участков стали и, кроме того, связан с большим риском повреждения обмотки.

3. При небольшом количестве местных недопустимых превышений температуры, выгорании небольшого объема стали в пределах нескольких зубцов в результате виткового замыкания или повреждения сердечника из-за попадания в воздушный зазор постороннего металлического предмета можно ограничиться местным ремонтом дефектных мест, однако только при положительных результатах испытания отремонтированного сердечника и удовлетворительном состоянии его прессовки.

4. При выгорании значительного объема стали и невозможности ремонта поврежденного участка из-за его

недоступного расположения или неудовлетворительных показателях местного ремонта по результатам испытания стали целесообразно расшихтовать сердечник до поврежденного места, переизолировать и при необходимости отремонтировать выгоревшие листы стали и вновь зашихтовать сердечник, располагая отремонтированные листы равномерно по всей расшихтованной зоне. При возможности желательно вместо отремонтированных закладывать новые листы стали.

5. При ослаблении прессовки стали сердечника, но удовлетворительных результатах испытания (допустимом общем нагреве, отсутствии чрезмерного превышения температуры и удовлетворительной величине удельных потерь в стали) ремонт следует производить лишь путем восстановления прессовки способами, описанными ниже.

2. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ СТАЛЬ

Магнитные свойства. Сердечники электрических машин — магнитопроводы, по которым проходит переменный по времени рабочий магнитный поток, собираются (шихтуются) из отдельных листов электротехнической стали, отштампованных по требуемой форме, — вырубок, изолированных одна от другой и плотно сжатых (прессованных).

Как известно, при прохождении переменного магнитного потока через стальной магнитопровод в нем происходит потеря энергии, ведущая к нагреванию магнитопровода. Потеря энергии слагается из двух составляющих: от циклического перемагничивания (гистерезиса) и от наведенных вихревых токов, замыкающихся в плоскости, перпендикулярной магнитному потоку.

Снижение потерь от вихревых токов достигается увеличением удельного электрического сопротивления стали и выполнением сердечника не из массива, а из отдельных тонких листов, изолированных один от другого, причем чем выше частота перемагничивания, тем тоньше должны быть листы стали. Для работы при частоте до 50 Гц применяются листы толщиной 0,5, реже 0,35 мм, а при больших частотах 0,2 и 0,1 мм.

Низкие потери на перемагничивание, характеризуемые узкой, с малой площадью петлей гистерезиса, зависят от наличия в стали вредных примесей: углерода,

азота, кислорода и некоторых других неметаллических включений. Уменьшение содержания в сплаве вредных примесей, а также введение в него легирующего элемента — кремния снижают потери от гистерезиса, так как кремний является хорошим раскислителем и переводит имеющийся в стали углерод в наименее вредную форму — графит. Кремний также повышает удельное электрическое сопротивление, что ведет к уменьшению потерь от вихревых токов.

Листовая сталь с содержанием углерода не более 0,1% с добавкой до 5% кремния или алюминия или обоих этих элементов и определяет понятие (термин) листовая электротехническая сталь. Причем листовая электротехническая сталь с содержанием кремния или алюминия или обоих этих элементов до 3% называется динамной сталью, с содержанием их от 3 до 5% — трансформаторной сталью.

Вместе с тем легирование кремнием отрицательно сказывается на механических свойствах стали, делает сталь твердой и более хрупкой, что затрудняет ее механическую обработку. Кроме того, в сильных магнитных полях из-за введения кремния снижается индукция. Поэтому максимальное содержание кремния не должно превышать 5%.

Магнитные свойства стали зависят также от способа обработки — прокатки; различают горячекатаную сталь (старый технологический процесс изготовления кремнистой стали) и холоднокатаную сталь (новый технологический процесс).

В направлении проката холоднокатаная сталь имеет меньшее сопротивление магнитному потоку, чем горячекатаная. Это объясняется тем, что при горячей прокатке кристаллы железа, которые хорошо намагничиваются по ребру кристаллической решетки куба и хуже по его диагонали, располагаются хаотично, а при холодной прокатке они ориентируются таким образом, что ребра кристаллов совпадают с направлением прокатки. Такая электротехническая сталь с ориентированной структурой, так называемая текстурованная сталь, при одних и тех же индукции и частоте перемагничивания имеет удельные потери почти в 2 раза меньшие, чем горячекатаная.

В направлении, перпендикулярном прокату, магнитные свойства холоднокатаной стали резко ухудшаются;

Таблица 1

Марка стали	Магнитная индукция, Т, при напряженности магнитного поля, А/см					Удельные потери при 50 Гц, Вт/кг, при индукции, Т			Среднее удельное электросопротивление, Ом·мм²/м
	10	25	50	100	300	1,0	1,5	1,7	
	не менее					не более			
Э11	—	1,53	1,64	1,76	2,00	3,3	7,7	—	0,25
Э12	—	1,50	1,62	1,75	1,98	3,2	7,5	—	0,25
Э13	—	1,50	1,62	1,75	1,98	2,8	6,5	—	0,25
Э21	—	1,48	1,59	1,73	1,95	2,5	6,1	—	0,40
Э22	—	1,48	1,59	1,73	1,95	2,2	5,3	—	0,40
Э31	—	1,46	1,57	1,72	1,94	2,0	4,4	—	0,50
Э32	—	1,46	1,57	1,71	1,92	1,8	3,9	—	0,50
Э41	1,30	1,46	1,57	1,70	1,90	1,55	3,5	—	0,60
Э42	1,29	1,45	1,56	1,69	1,89	1,4	3,1	—	0,60
Э43	1,29	1,44	1,55	1,69	1,89	1,25	2,9	—	0,60
Э43А	1,29	1,44	1,55	1,69	1,89	1,15	2,7	—	0,60
3310	1,60	1,75	1,83	1,91	1,98	1,1	2,45	3,2	0,50
Э320	1,65	1,80	1,87	1,92	2,00	0,95	2,1	2,8	0,50
Э330	1,70	1,85	1,90	1,95	2,00	0,8	1,75	2,5	0,50

потери на намагничивание увеличиваются до 70%. Поэтому ее нецелесообразно применять для несегментированной круговой вырубки.

Согласно ГОСТ 802-58 «Сталь электротехническая тонколистовая» выпускается 28 марок стали. Из них для сердечников электрических машин находят применение главном образом марки Э11, Э12, Э13, Э21, Э22, Э31, Э32 и реже Э41, Э42, Э43, Э43А, Э310, Э320, Э330 и Э330А (для крупных машин, турбо- и гидрогенераторов).

Буквы и цифры в наименованиях марок стали обозначают: Э — электротехническая сталь; первая цифра после буквы Э — степень легирования: 1 — слаболегированная (Si=0,8÷1,8%), 2—среднелегированная (Si=1,8÷÷2,8%); 3 — повышеннолегированная (Si=2,8÷3,8%); 4 — высоколегированная (Si=3,8÷4,8%); вторая цифра после буквы Э (от 1 до 3) — условное обозначение удельных потерь при частоте перемагничивания 50 Гц; бо́льшая цифра указывает на меньшие удельные потери; третья цифра (0) обозначает, что сталь холоднокатаная текстурованная; третья и четвертая цифры (00) обозначают, что сталь холоднокатаная малотекстурованная, буква А после цифр указывает на особо низкие потери.

Магнитные свойства электротехнической стали указанных марок толщиной 0,5 мм (наиболее применимой) приведены в табл. 1.

Таблица 2

Марка стали	Толщина, мм	Ширина, мм	Длина, мм
Э11, Э12, Э13, Э21, Э22	0,50	600	1200
	0,50	670	1340
	0,50	750	1500
	0,50	860	1720
	0,50	1000	2000
Э31, Э32, Э41, Э42, Э43, Э43А	0,50	600	1500
	0,50	750	1500
	0,50	860	1720
	0,50	1000	2000
	0,35	750	1500
	0,35	1000	2000
Э310, Э320, Э330	0,50	600	1500
	0,50	750	1500
	0,50	860	1720
	0,50	1000	2000
	0,35	240	1500
	0,35	750	1500
	0,35	1000	2000

Согласно указанному ГОСТ 802-58 выпускаются листы стали с размерами, приведенными в табл. 2.

Сталь изготовляется нормального проката и проката повышенной точности по толщине (в этом случае в конце обозначения марки стали добавляется буква П). Наибольший допуск по толщине листов $\pm 0{,}05$ мм имеет горячекатаная сталь нормального проката. У проката повышенной точности допуск составляет $\pm 0{,}04$ мм. У холоднокатаных листов допуски $\pm 0{,}04$ и $\pm 0{,}03$ мм соответственно.

Холоднокатаная сталь изготовляется с меньшими коробоватостью и волнистостью и имеет меньшую разнотолщинность в одном листе и более высокую чистоту поверхности.

По мере освоения технологии изготовления тонколистовой электротехнической стали, а также возрастания степени использования активных материалов в электромашиностроении изменялись марки сталей, применение которых для различных сердечников электрических машин следующее:

статоры синхронных машин — сталь Э31, Э41, Э3200, Э42, Э43, Э330;

статоры асинхронных машин — сталь Э11, Э22, Э31, Э41, Э330;

роторы асинхронных машин — сталь марок Э11, Э12, Э21;

якоря машин постоянного тока—сталь Э11, Э12, Э21, Э1300, Э330;

статоры турбогенераторов — сталь Э42, Э43, Э330П;

статоры гидрогенераторов — сталь Э43, Э330П.

Межлистовая изоляция. Изоляция листов стали производится двумя основными способами: оклейкой бумагой и покрытием лаком.

Оклейка бумагой раньше являлась единственным видом межлистовой изоляции. Для изолировки служила бумага толщиной 0,03 мм, подклеиваемая к одной стороне листа (по форме кольца, диска или сегмента) крахмальным клеем или жидким стеклом. Обклейка производилась перед штамповкой листов стали.

При изоляции листов бумагой коэффициент заполнения сердечника сталью (отношение чистой длины стали к длине сердечника за вычетом всех вентиляционных каналов) составляет 0,9 при толщине листов 0,5 мм и 0,87 при толщине их 0,35 мм.

В настоящее время наши отечественные машиностроительные заводы совершенно не применяют изолировку листов бумагой из-за ее недостаточной теплостойкости, низкого коэффициента заполнения и нетехнологичности процесса изолировки. В ремонтной практике этот способ также не нашел применения; при перешихтовке сердечников, имеющих в заводском исполнении бумажную изоляцию (крупные машины с такой изоляцией, хотя и в небольших количествах, продолжают поступать в ремонт), она заменяется другой, более совершенной — лаковой.

Только в случае безукоризненного состояния бумажной изоляции (что бывает весьма редко) допустима перешихтовка с сохранением старой изоляции.

Лаковая изоляция выполняется нанесением на вырубки слоя лака, образующего после сушки эластичную механически прочную водо-маслостойкую пленку, обладающую высокой адгезией (сцепляемостью) с листами стали и высокими электроизоляционными свойствами.

При изготовлении сердечников вырубки лакируют обычно после штамповки и снятия с них заусенцев,

которые образуются из-за неизбежного зазора между паунсоном и матрицей штампа для вырубки листов. Эти заусенцы тем больше, чем значительнее этот зазор, который увеличивается по мере износа штампа, и чем мягче штампуемая сталь. От того, насколько тщательно удалены заусенцы, зависит качество сердечника.

Для изолировки применяется электроизоляционный лак № 202 (ВТУ МЭП 766-51) или лак КФ-965 (б. 302, ГОСТ 15030-69). Эти лаки масляно-канифольные быстрой горячей, огневой сушки. Лак № 202 изготовляется на льняном масле, а лак КФ-965 — на тунговом.

Пленки лаков, светло-коричневого цвета, гладкие, блестящие и твердые, отличаются масло- и влагостойкостью. Предпочтительным является применение лака № 202.

Растворителями лаков служат уайт-спирит, скипидар, керосин.

Основные свойства лаков:

Вязкость по НИИЛК-7 при 20°С, с	18
Содержание нелетучих, не менее, %	60
Время высыхания при температуре 210°С, не менее, мин	12
Электрическая прочность лаковой пленки, кВ/мм:	
в исходном состоянии при 20°С	60—70
после 24 ч пребывания во влажной атмосфере	15—20

Покрытие производится одновременно с двух сторон вырубки на специальной лак-машине. Количество покрытий — одно или два — определяется высотой спинки сердечника и требованиями к надежности электрической машины.

Коэффициент заполнения сердечника сталью заметно выше, чем при изолировке бумагой, и составляет 0,93 при толщине листов 0,5 мм и 0,9 при толщине их 0,35 мм.

В последнее время взамен дефицитных лаков КФ-965 и № 202, содержащих тунговое и льняное масла, для лакировки листов стали рекомендуется заменитель — синтетический поликасиновый лак. Этот лак марки 17П-5 изготовляется на основе натрий-бутадиенового органического каучука, обладает высокими диэлектрическими и механическими качествами и технологичностью, не является дефицитным, не содержит в своем составе растительные и пищевые масла и по стоимости почти в 2 раза дешевле лака КФ-965.

Электрические характеристики поликасинового лака марки 17П-5 при сопоставлении с характеристиками лака КФ-965 показали, что по электрической прочности, удельному объемному и поверхностному сопротивлениям лаковой пленки в исходном состоянии, при повышенных температурах и после воздействия воды, а также по водопоглощаемости и маслостойкости поликасиновый лак не уступает лаку КФ-965, а по прочности лаковой пленки на удар, сцеплению лаковой основы с поверхностью электротехнической стали он несколько превосходит последний.

Следует, однако, указать, что ввиду большей вязкости и меньшей основы при подаче поликасинового лака самотеком на лакирующие валки он распределяется, а следовательно, и передается на лакируемую деталь менее равномерно, чем лак КФ-965. Поэтому в существующих лак-машинах, рассчитанных на применение лака КФ-965, должно быть предусмотрено дополнительное устройство, позволяющее регулировать толщину нанесения лаковой пленки и равномерность покрытия ею листов стали.

Помимо указанных двух видов, существует способ изолировки *оксидированием,* заключающийся в образовании на поверхности листа стали пленки закиси или окиси железа при нагреве листов до 550—700 °С в окислительной среде. Слой изоляции окисла очень тонок и обладает большим электрическим сопротивлением.

Для изоляции листов электротехнической стали электрических машин малой мощности применяется *фосфатирование* — получение электроизоляционной пленки при обработке листов стали соответствующими химическими реагентами. Коэффициент заполнения сердечника сталью при оксидировании и фосфатировании выше, чем при всех других видах межлистовой изоляции, и составляет 0,95 при толщине листов 0,5 мм и 0,93 при толщине листов 0,35 мм. Здесь же следует отметить, что при шихтовке сердечников из неизолированных листов коэффициент заполнения сталью практически приближается к соответствующим величинам при оксидной и фосфатной изоляции. Это объясняется тем, что из-за неизбежной волнистости листы стали в сердечнике не могут абсолютно плотно прилегать один к другому.

При ремонте сердечников на месте установки электрических машин оксидирование и фосфатирование

листов стали не производится ввиду нецелесообразности создания во внезаводских условиях соответствующей установки. В случае нарушения оксидной пленки листы стали изолируют лаком.

При изготовлении сердечников роторов и якорей, работающих при низкой частоте перемагничивания, а также при изготовлении сердечников статоров асинхронных двигателей малой мощности с очень небольшой длиной сердечника (до 150 мм) листы активной стали не изолируют. В этом случае некоторую роль межлистовой изоляции выполняет окалина, имеющаяся на поверхности листов стали. При расшихтовке сердечника весьма непрочный слой окалины нарушается, и поэтому в случае необходимости он заменяется лаковым покрытием.

3. КОНСТРУКЦИЯ СЕРДЕЧНИКОВ СТАТОРОВ СИНХРОННЫХ И АСИНХРОННЫХ МАШИН

Листы, из которых шихтуют (собирают) сердечники статоров асинхронных и синхронных машин при наруж-

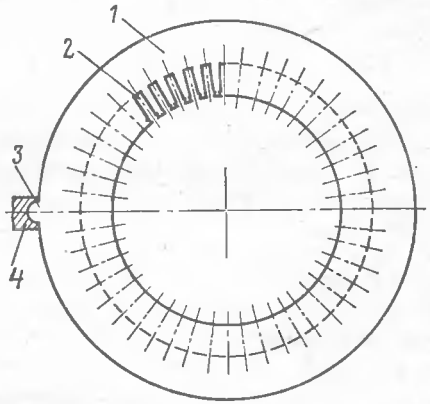


Рис. 1. Крепление кольцевой штамповки листа к ребру станины.

1 — лист (кольцо) активной стали; *2* — пазы для укладки обмотки; *3* — полукруглые выступы шпонки; *4* — ребро станины.

ном диаметре сердечников до 990 мм, штампуют (вырубают) из листов электротехнической стали в виде колец (рис. 1).

Сердечники диаметром свыше 990 мм шихтуют из листов, отштампованных по форме сегмента, наружный

диаметр которого равен наружному диаметру сердечника, а внутренний — диаметру центрального отверстия сердечника, условно называемого расточкой статора (рис. 2). Это объясняется тем, что стандартные листы электротехнической стали имеют максимальную ширину 1 000 мм, что не позволяет вырубать из них кольца диаметром более 990 мм.

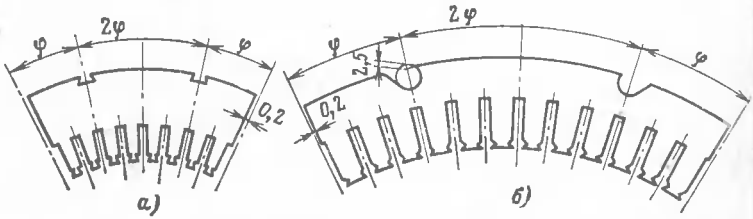


Рис. 2. Лист (сегмент) активной стали сердечника статора диаметром свыше 990 мм при шихтовке со сдвигом стыков на $^1/_2$ сегмента. *а* — при сборке на клинья; *б* — при сборке на шпильки.

Но в электрических машинах, изготовленных иностранными фирмами, иногда встречаются собранные из колец сердечники с наружным диаметром несколько больше 1 м.

По внутреннему диаметру колец или сегментов штампуют пазы требуемой формы для размещения в них обмотки статора. При открытом пазе в его верхней части предусматривают треугольные канавки для клиньев, удерживающих обмотку в пазу.

В зависимости от способа крепления листов стали в станине по их наружному диаметру отштамповывают пазы, имеющие форму ласточкина хвоста, полуоткрытых отверстий или иную (рис. 2 и 3).

В сердечнике различают часть, занятую зубцами,— зубцовую зону и остальную часть — спинку сердечника.

При наружном диаметре сердечника до 493 мм (машины относятся к категории малой мощности) сердечники набирают из кольцевых вырубок, насаживая их на внутреннюю цилиндрическую оправку диаметром, равным диаметру расточки статора.

Для предотвращения деформации (распушовки) относительно тонких и невысоких зубцов крайние торцевые листы сердечника штампуют из утолщенных листов стали или попарно сваривают точечной сваркой. Приме-

няют также выдавливание канавок при штамповке торцевых листов, что увеличивает жесткость зубцов.

Сердечники машин малой мощности затем прессуют и заливают в форме алюминием или алюминиевым сплавом. Заливка захватывает частично торцы сердечника, и после остывания, удаления формы и оправки, сердечник оказывается закрепленным в алюминиевой оболочке.

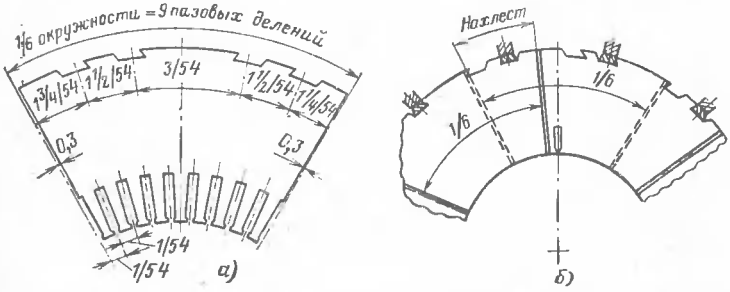


Рис. 3. Лист (сегмент) активной стали с четырьмя фиксирующими пазами и нечетным числом пазов.

а — вид сегмента; *б* — шихтовка листов со сдвигом стыков на $^1/_3$ сегмента.

Эта оболочка не только скрепляет сердечник, но и является корпусом электрической машины. Перешихтовка сердечников таких машин практически невозможна и экономически нецелесообразна.

Другой способ сборки сердечников машин малой мощности заключается в том, что кольцевые вырубки набирают на внутреннюю оправку, прессуют и после этого скрепляют по наружному диаметру скобами, приваренными к торцам сердечника, а в некоторых случаях также в нескольких местах к наружной (боковой) поверхности сердечника.

После укладки обмотки и пропитки ее лаком сердечник запрессовывают в стальную или чугунную станину — корпус.

Перешихтовка таких сердечников технически затруднена из-за сложности выемки сердечника из корпуса, необходимости удаления всех сварных швов, остатков сварки с листов и выполняется только при крайней производственной необходимости (электродвигатели специальные, встроенные и т. п.). Местный ремонт сердечника возможен.

При указанном способе шихтовки сердечника на внутреннюю оправку поверхность расточки получается ровной, без выступания отдельных листов стали и не нуждается в последующей механической обработке.

Сердечники диаметром от 493 до 990 мм набирают из колец, укладывая их плотной посадкой в расточенный по второму классу точности корпус или обработанные

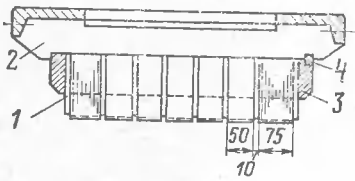


Рис. 4. Крепление сердечника статора нажимными шайбами и запорными шпонками.

1 — нажимной палец; *2* — ребро станины; *3* — нажимная шайба; *4* — запорная шпонка.

ребра корпуса, и запрессовывают между двумя нажимными шайбами или, как их называют у более крупных машин, нажимными кольцами (рис. 4). Эти шайбы закрепляются в станине сваркой или запорными шпонками, которые приваривают к корпусу.

Нажимная шайба передает усилие сжатия на сердечник через нажимные пальцы — дистанционные стальные пластинки, приваренные точечной сваркой или расклепанные благодаря особым в них выступам к крайним листам сердечника. Нажимные пальцы могут быть различной формы; они сохраняют прессовку в зубцовой зоне сердечника.

Для более эффективного отвода тепла от сердечника и обмотки статора при так называемой радиальной системе вентиляции сердечник разделяют по длине на отдельные пакеты, между которыми образуются вентиляционные радиальные каналы. Ширина пакета обычно не превосходит 50—60 мм. Крайние торцевые пакеты, находящиеся в лучших условиях охлаждения, могут выполняться более широкими (рис. 4).

Радиальный канал образуется путем установки между пакетами листов стали с дистанционными распорками — ветрениц, которые по конструкции и способу приварки аналогичны нажимным пальцам (рис. 5).

Ширина радиального канала равна высоте ветрениц и составляет обычно 10 мм. Виды сечений ветрениц приведены на рис. 6.

При аксиальной системе вентиляции в листах активной стали выштамповывают симметрично расположенные

по окружности отверстия; сердечник не подразделяется на пакеты (см. рис. 10, поз. *1*).

Предохранение сердечника от проворачивания обеспечивают с помощью полукруглых (см. рис. 1) или плоских шпонок, образуемых выступами по наружному диаметру каждого листа активной стали. Они воспринимают полный вращающий момент, который при коротком

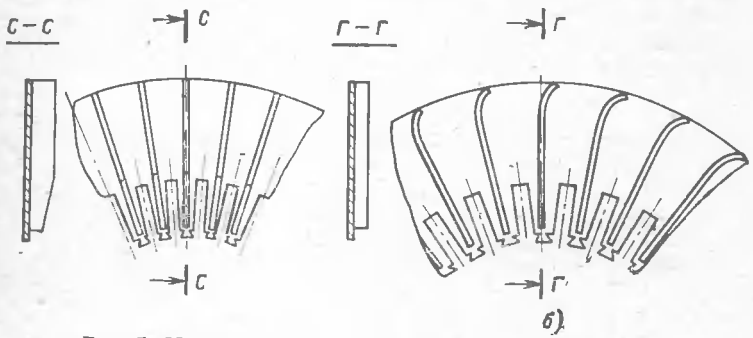


Рис. 5. Нажимные пальцы и ветреницы сердечника.
а — нажимные пальцы, приваренные к крайнему листу стали; *б* — ветреницы.

замыкании может превышать номинальный в 12—16 раз. В некоторых конструкциях сердечник может быть приварен по наружному диаметру к продольным ребрам станины. В этом случае его перешихтовка значительно усложняется из-за необходимости удаления всех сварных швов, остатков сварки с листов и проверки продольных ребер станины.

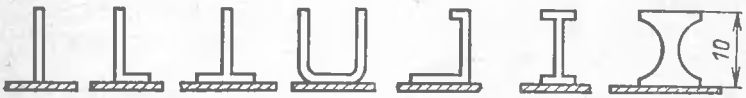


Рис. 6. Виды сечений ветрениц.

Перешихтовывают сердечники, относящиеся к категории средних машин, редко и только в случае очевидной экономической целесообразности; местные же ремонты выполняются сравнительно часто.

Сердечники статоров с наружным диаметром более 990 мм шихтуют из сегментов и относят к крупным электрическим машинам.

Следует отметить, что деление электрических машин на малые, средние и крупные является условным. Два

предприятия могут относить машины одних и тех же габаритов к различным категориям. В практике ремонта электрических машин такое деление в зависимости от способа сборки и крепления сердечника в станине по-своему оправдано.

В связи с тем, что для крупных электрических машин ремонт сердечников статоров с перешихтовкой — операция, встречаемая часто, и, как правило, экономически оправданная, остановимся несколько подробнее на конструктивных особенностях крепления таких сердечников.

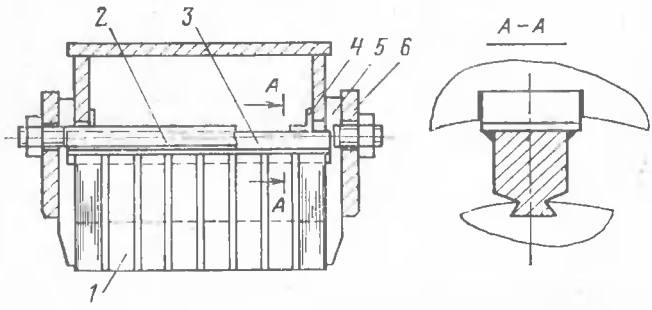


Рис. 7. Крепление листов сердечника клиньями-ребрами и стяжными шпильками.

1 — сердечник; *2* — стяжная шпилька; *3* — клин-ребро; *4* — угольник; *5* — нажимной палец, приваренный к нажимному кольцу; *6* — нажимное кольцо.

При шихтовке сердечников статоров сегментами различают три основных способа крепления листов активной стали в станине:

посредством клиньев-ребер и стяжных шпилек;

с помощью клиньев «ласточкин хвост» и запорных шпонок;

на сборочных шпильках, которые одновременно являются и стяжными.

Крепление сердечников на клиньях-ребрах. Клинья приваривают с помощью угольников или косынок к нерасточенным (наружным и, если есть, внутренним) стенкам (полкам) станины (рис. 7). Эти клинья служат для базирования и крепления сердечника в радиальном направлении.

Перед приваркой клиньев-ребер их положение проверяют специальной технологической колонкой, устанавливаемой в центре лежащей горизонтально станины (базирование по технологической колонке).

В осевом направлении сердечник крепят шпильками, расположенными симметрично между клиньями-ребрами (над спинкой сердечника), через нажимные кольца.

В машинах с большим диаметром расточки (гидрогенераторы) нажимное кольцо может быть разбито на плиты. На каждую плиту в этом случае приходится не менее двух стяжных шпилек.

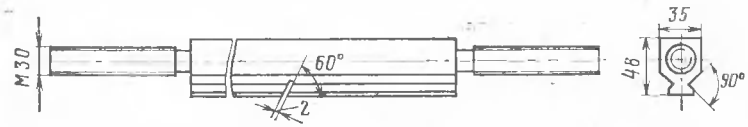


Рис. 8. Клин-ребро с резьбовыми концами крупной синхронной машины и надрезами по длине для надевания сегментов.

Есть конструкции, где клинья-ребра выполнены с резьбовыми концами (рис. 8). В этом случае они же являются элементами, стягивающими сердечник в осевом направлении.

Каждый сегмент с отштампованным пазом «ласточкин хвост» насаживают не менее чем на два клина.

Если в круг укладывается целое число сегментов, то такая шихтовка называется *слоевой*. Если последний сегмент заходит в последующий слой — шихтовка *винтовая*.

Обычно применяется слоевая шихтовка со сдвигом стыков сегментов в рядом расположенных слоях на полсегмента. Это можно осуществить при четном числе пазов под обмотку в сегменте. При этом на сегменте штампуют два паза под клинья.

Если в сегменте нечетное число пазов, то шихтовка усложняется; кроме основных фиксирующих пазов на сегменте, со стороны спинки штампуют еще два дополнительных паза. При этом возможен и другой сдвиг стыков, например на 1/3 сегмента (см. рис. 3).

Разрез сегментов выполняют по пазу и лишь в редких случаях по зубу.

Чтобы чрезмерно не удлинять процесс шихтовки сердечника, сегменты изготовляют с длиной хорды не менее 370 мм. Внешняя и внутренняя хорды сегмента имеют размеры на 0,4—0,6 мм меньшие, чем у хорд, соответствующих центральному (сегментному) углу.

Паз для укладки обмотки, штампуемой в листе стали («паз в штампе»), по размерам несколько больше рас-

четного паза в собранном сердечнике («паз в свету»). Это объясняется тем, что пазы «ласточкин хвост» в сегменте (рис. 9) превосходят размеры ласточкина хвоста у клина (между клином и пазом сегмента предусматривается зазор около 0,2 мм). Вследствие этих зазоров возможен сдвиг сегментов при шихтовке сердечника с образованием «гребенки» в пазу, т. е. сдвига отдельных зубцов и их частичного захода в паз. Сказанное относится также к сборке листов сердечника на шпильки. Обычно ширина паза в штампе больше, чем в свету, на 0,2—0,5 мм, а высота—на 0,2 мм.

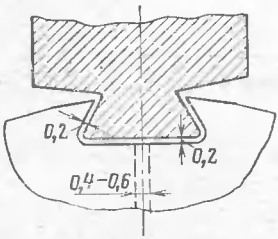


Рис. 9. Крепление сегментов активной стали на клиньях.

В крупных быстроходных машинах сердечники имеют относительно большую длину, и прогонять сегмент при шихтовке по всей длине клина трудно. Для облегчения надевания сегментов в этом случае предусматривают по длине клина надрезы, чем сокращают время шихтовки (см. рис. 8).

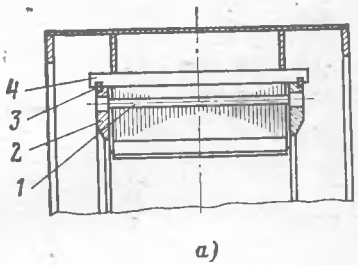
Нажимные пальцы в крупных машинах обычно приваривают к нажимному кольцу или нажимным плитам. Также встречаются конструкции, где пальцы соединяют в одну так называемую гребенку. С целью уменьшения потерь от перемагничивания нажимные пальцы (гребенки) и нажимные кольца во многих случаях изготовляют из антимагнитного металла.

Прессовку сердечника выполняют гидропрессом или затягиванием гаек на стяжных шпильках (в зависимости от длины сердечника).

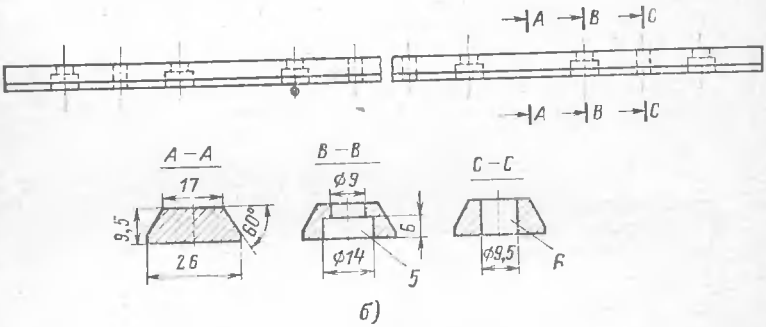
Система сборки и крепления сердечника с помощью клиньев-ребер и стяжных шпилек или клиньев-ребер с резьбовыми концами применяется в турбогенераторах, гидрогенераторах и крупных синхронных электрических машинах, имеющих большой воздушный зазор, к которым поэтому не предъявляются жесткие требования в отношении размеров и геометрии формы расточки.

Разборка сердечника относительно несложна: откручивают гайки стяжных шпилек, снимают нажимное кольцо и гребенку с нажимными пальцами (или нажимные плиты с приваренными к ним пальцами) и по листам расшихтовывают сердечник.

Крепление сердечника на клиньях «ласточкин хвост». Клинья в виде ласточкина хвоста крепят к расточенным ребрам станины винтами и фиксируют цилиндрическими штифтами (рис. 10). Они , так же как и клинья-ребра, служат для базирования и крепления сердечника в радиальном направлении. Ребра станины растачиваются по второму или третьему классу точности, и они являются базовыми поверхностями для установки клиньев и центровки сегментов в радиальном направлении.



а)



б)

Рис. 10. Сердечник статора с аксиальной системой вентиляции и креплением на клиньях «ласточкин хвост».

а — статор; *б* — клин «ласточкин хвост»; *1* — аксиальный вентиляционный канал; *2* — нажимное кольцо; *3* — запорная шпонка; *4* — расточенное ребро станины; *5* — отверстия в клине под винты; *6* — отверстия под штифты.

В осевом направлении сердечник крепят (после сжатия активной стали гидропрессом) нажимными кольцами и запорными шпонками.

Расстановка клиньев «ласточкин хвост» проще, чем клиньев-ребер, но процесс подготовки станины под сборку сердечника усложняется расточкой ребер.

Система сборки и крепления сердечника на клиньях «ласточкин хвост» применяется в асинхронных и высокочастотных машинах, где из-за малого воздушного зазора требуется высокая точность сборки внутренней цилиндрической поверхности сердечника (расточки).

Для разборки сердечника его сжимают через нажимное кольцо, выбивают запорные шпонки, убирают кольцо и расшихтовывают сердечник.

Крепление сердечника на шпильках. Этот способ сборки сердечников в последние годы широко применяется при изготовлении асинхронных и синхронных машин как более технологичный, чем сборка на клиньях-ребрах

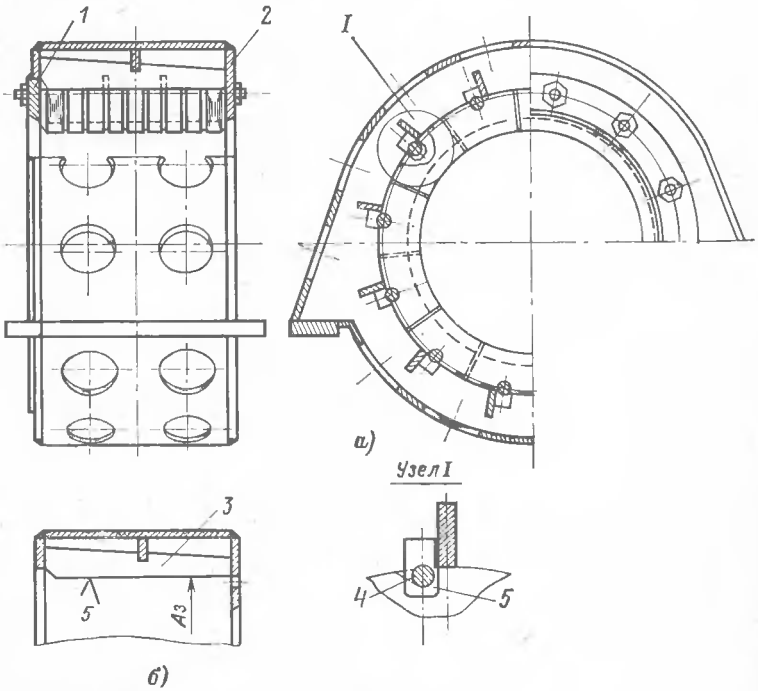


Рис. 11. Сборка и крепление сердечника стяжными шпильками в глухой станине.

а — статор; *б* — обработка ребер станины; *1* — нажимное кольцо; *2* — глухая стенка станины; *3* — ребро станины; *4* — стяжная шпилька; *5* — удерживающая планка.

или клиньях «ласточкин хвост». Перешихтовка же сердечников с таким креплением представляет ряд дополнительных трудностей. Базирование сердечника в радиальном направлении происходит по расточенным по третьему классу точности ребрам станины (рис. 11).

Шихтовку сегментов производят на стяжные шпильки, причем по конструкции крепления сердечника в осевом

направлении в этом случае различают два вида станин: с «глухой» наружной стенкой и без нее.

При количестве пакетов сердечника не более 14 выполняют глухие станины, у которых одна наружная торцевая стенка имеет отверстие диаметром меньше наружного диаметра сердечника (так называемая «глухая» стенка) и играет роль нажимного (опорного) кольца.

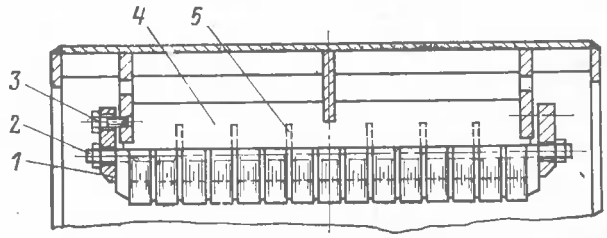


Рис. 12. Сборка и крепление сердечника стяжными шпильками в открытой станине.

1 — нажимное кольцо с нажимными пальцами; *2* — стяжная шпилька; *3* — болт крепления нажимного кольца к станине; *4* — расточенное ребро станины; *5* — удерживающая планка.

К этой стенке приваривают нажимные пальцы. Вторая наружная торцевая стенка открытая; через нее ведут шихтовку сердечника, в нее входит и к ней приваривается (после прессовки сердечника) нажимное кольцо с нажимными пальцами.

При количестве пакетов сердечника более 14 станины выполняют без глухой торцевой стенки (открытая станина) и в них можно шихтовать сердечник с любой стороны (рис. 12).

Между наружными торцевыми стенками для придания жесткости станины устанавливают параллельно им промежуточные стенки.

Ребра по числу шпилек размещают равномерно по окружности станины. В глухой стенке и нажимном кольце отверстия под шпильки просверливают совместно.

Сегмент имеет по наружному диаметру (см. рис. 2,*б*) два полуоткрытых отверстия (при четном количестве пазов в сегменте). Шихтовка сердечника на шпильки по сравнению с шихтовкой на клинья проще. Лист не надо прогонять по всей длине шпильки: достаточно его подвести к нужному месту и несколько изогнуть; при выпрямлении лист легко насадится на шпильки.

Для предотвращения прогиба шпилек и их разгрузки от усилия прессовки после сборки трех-четырех пакетов на шпильки надевают удерживающие планки (серьги), которые приваривают к ребрам станины по одной из доступных широкой грани после опрессовки сердечника и приварки нажимного кольца. Из-за установки этих серег в значительной степени усложняется перешихтовка сердечника: необходимо срубать швы приварки не только нажимного кольца, но и серег с последующей очисткой этих мест.

Нажимные кольца в статорах с открытыми станинами крепят болтами (рис. 12, поз. *3*); планки, удерживающие сердечник, надевают на шпильки чаще через два-три пакета.

4. КОНСТРУКЦИЯ СЕРДЕЧНИКОВ РОТОРОВ АСИНХРОННЫХ МАШИН И ЯКОРЕЙ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

Сердечники роторов и якорей диаметром до 990 мм шихтуют из дисков (рис. 13). По возможности с целью экономии металла листы для роторов выштамповывают из середины колец, идущих для сердечника статора этой же машины. При диаметре свыше 990 мм сердечники шихтуют из сегментов. Наружный диаметр сегментов или дисков равен диаметру ротора (якоря); внутренний

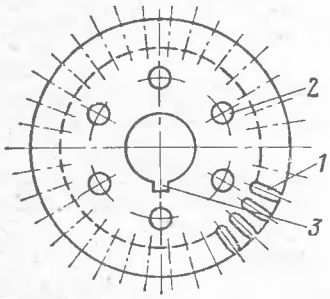


Рис. 13. Лист (диск) активной стали ротора диаметром до 990 мм.

1 — пазы для укладки обмотки; *2* — отверстия для вентиляционных аксиальных каналов; *3* — вырез под шпоночную канавку.

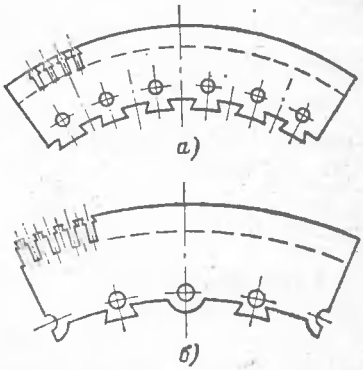


Рис. 14. Лист (сегмент) активной стали ротора.

а — с внутренним «ласточкиным хвостом»; *б* — с наружным «ласточкиным хвостом».

диаметр зависит от конструкции посадки сердечника на вал.

По наружному диаметру дисков и сегментов штампуют пазы для укладки обмотки, а по внутреннему — различные пазы или выступы в виде «ласточкина хвоста» (рис. 14) для крепления сердечника в радиальном направлении.

Ремонт сердечников роторов и якорей встречается более редко, чем ремонт сердечников статоров. Это объясняется тем, что потери от вихревых токов в них значительно меньше, чем в сердечниках статоров, так как они работают при более низкой частоте перемагничивания. По этой же причине требования к надежности межлистовой изоляции несколько облегченные.

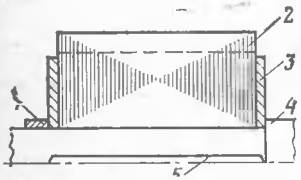


Рис. 15. Крепление сердечника ротора запорным кольцом.

1 — запорное кольцо; *2* — сердечник ротора; *3* — нажимная шайба; *4* — вал; *5* — шпонка.

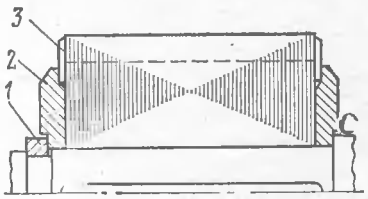


Рис. 16. Крепление сердечника ротора запорным разрезным пружинящим кольцом.

1 — разрезное пружинящее кольцо; *2* — нажимная шайба; *3* — нажимной палец.

Наиболее значительные повреждения сердечников роторов и якорей происходят из-за витковых замыканий, сопровождающихся электрической дугой и как следствием этого выгоранием части активной стали. В большинстве случаев эти повреждения ликвидируют местным ремонтом, и только при выплавлении большого объема, особенно если повреждение идет в глубь сердечника, приходится выполнять частичную и даже полную перешихтовку сердечника. Ремонт с перешихтовкой сердечника во многих случаях осложняется конструкцией его крепления на валу.

При наружном диаметре до 300—400 мм сердечники роторов асинхронных двигателей и якорей машин постоянного тока насаживают непосредственно на вал. Для передачи вращающего момента на валу предусматривают призматическую шпонку, а в листах стали — паз под шпонку (см. рис. 13, 15).

Для машин малой мощности, где активную сталь собирают в сердечник заранее и стягивают несколькими заклепками, а также для короткозамкнутых роторов асинхронных двигателей, где активная сталь удерживается залитой алюминиевой обмоткой, сердечник насаживают на вал без шпонки. Поверхность вала в месте посадки сердечника накатывают (производят рифление), а затем шлифуют. Цель шлифования — удалить острые

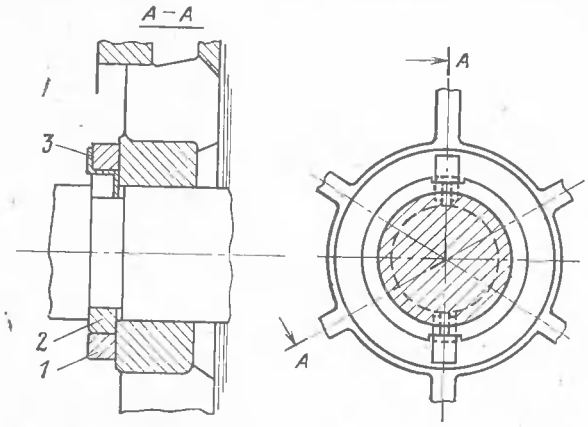


Рис. 17. Крепление запорных колец роторов быстроходных машин.
1 — предохранительное кольцо; *2* — запорное полукольцо; *3* — удерживающая скоба.

гребни накатки, являющиеся непрочным, легко сминаемым основанием при насадке на него сердечника. Сердечники с посадкой на рифленый вал и обмоткой, залитой алюминием, не ремонтируют.

Активную сталь спрессовывают нажимными шайбами с двух сторон сердечника (рис. 15 и 16). С одной стороны сердечника шайба упирается в выступ вала. С другой стороны, со стороны сборки и прессовки сердечника, ее фиксируют запорным кольцом, насаженным горячей посадкой на вал (рис. 15), или разрезным пружинящим кольцом (рис. 16), заходящим в выточку вала.

В быстроходных машинах запорное кольцо часто выполняют из двух полуколец (рис. 17) и на них насаживают массивное предохранительное кольцо, которое удерживается от аксиального перемещения стальными скобами.

В якорях машин постоянного тока и фазовых роторах асинхронных электродвигателей применяют конструкцию, при которой нажимные шайбы совмещаются с обмоткодержателями. Часто к обмоткодержателям крепят вентиляторы с канавками для размещения в них балансировочных грузов.

При наружном диаметре сердечника от 400 до 990 мм посадку дисков активной стали обычно производят на

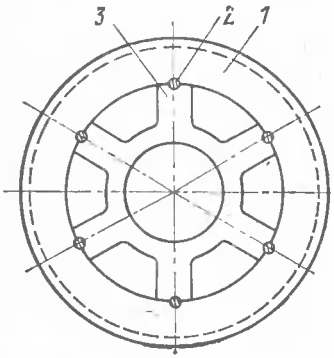


Рис. 18. Крепление сердечника ротора штифтами.

1 — сердечник ротора; *2* — штифт, *3* — ребро остова.

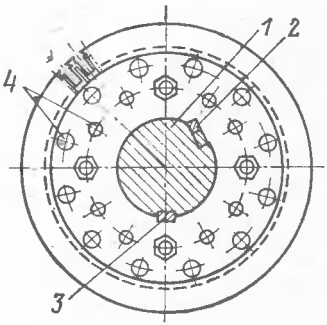


Рис. 19. Крепление сердечника ротора тангенциальными шпонками.

1 — вал; *2* — тангенциальные шпонки; *3* — призматическая направляющая шпонка; *4* — аксиальные вентиляционные каналы.

втулку или ребра вала (рис. 18), образующие так называемый остов ротора. Втулку выполняют из чугуна, а для ответственных машин — из литой стали. Для фиксации сердечника в тангенциальном направлении закладывают штифты, наполовину утопленные в ребра или втулку вала и наполовину — в сердечник. Для обеспечения тугой посадки фиксирующих штифтов отверстия для них предварительно обрабатывают (проходят) разверткой.

В машинах с указанным диаметром сердечника, предназначенных для работы с пульсирующей нагрузкой или частыми реверсами, активную сталь насаживают непосредственно на вал. В этом случае сердечник предварительно собирают отдельно, стягивают стяжными шпильками и обрабатывают в нем отверстия для напряженной или тугой посадки на вал. Сердечник насаживают на вал под прессом по направляющей шпонке и заклинивают тангенциальными шпонками (рис. 19).

Для охлаждения роторов и якорей применяют осевую (аксиальную) и радиальную системы вентиляции. При осевой вентиляции в листах стали штампуют соответствующие отверстия, как это показано на рис. 13 и 19. При радиальной вентиляции и посадке сердечника непосредственно на вал для подвода воздуха к радиальным вентиляционным каналам предусматривают также несколько осевых каналов. При посадке сердечника на роторную звезду надобность в этих осевых каналах отпа-

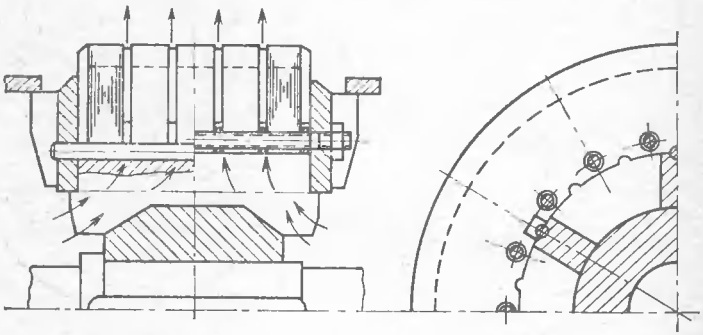


Рис. 20. Радиальная система вентиляции при посадке сердечника на сварную роторную втулку.

дает, воздух беспрепятственно попадает в радиальные каналы через окна между внутренней поверхностью сердечника и валом (рис. 20).

Дистанционные распорки — ветреницы в вентиляционных радиальных каналах и нажимные пальцы в сердечниках якорей и роторов по конструкции аналогичны применяемым в сердечниках статоров. Однако их крепление усилено, так как при вращении на них действуют центробежные силы в радиальном направлении. В крупных электрических машинах при большой частоте вращения для предотвращения выпадания («вылетания») ветрениц из каналов в крайних дисках пакетов выштамповывают упоры (рис. 21, *а*), а нажимные пальцы выполняют с выступами, заходящими в обмоткодержатель (рис. 21,*б*).

При диаметре сердечника более 990 мм он шихтуется из сегментов.

Ремонт сердечников роторов и якорей крупных машин, шихтуемых из сегментов, при частичной или полной перешихтовке — задача трудная и требует ясного

представления о способе сборки и крепления, поэтому ниже приводятся возможные варианты этих конструкций.

Если в сердечниках статоров шихтовка выполняется, как правило, со сдвигом стыков по слоям на $^1/_2$ сегмента, то для сегментов активной стали ротора и якоря шихтовка производится с меньшим сдвигом стыков по слоям. Это делают для увеличения механической прочности сердечника в стыках сегментов.

По окружности сердечника в одном слое укладывают целое число одинаковых сегментов (число пазов сердечника без остатка делится на количество сегментов). При делении числа пазов в сегменте на 2 можно сделать шихтовку со сдвигом на $^1/_2$ сегмента (рис. 22), при делении на 3 — на $^2/_3$ сегмента и при делении на 4 — на $^3/_4$ сегмента (рис. 23) и т. д.

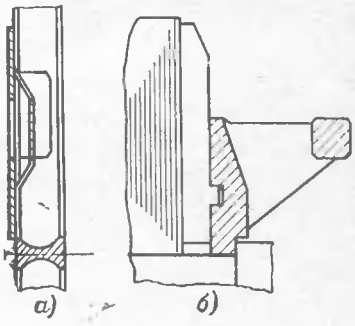


Рис. 21. Крепление ветрениц (*а*) и нажимных пальцев (*б*) в быстроходных электрических машинах.

В сердечниках роторов (якорей) применяют также винтовую шихтовку.

Количество сегментов, укладываемых по окружности сердечника, увязывают с количеством радиальных ребер (спиц). (рис. 23) роторной (якорной) звезды (остова)

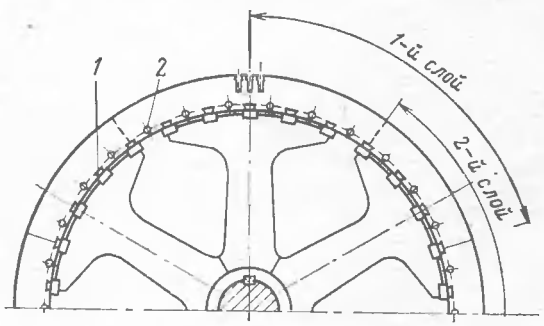


Рис. 22. Сердечник ротора с креплением к остову клиньями «ласточкин хвост» и шихтовкой со сдвигом стыков на $^1/_2$ сегмента.

1 — клин «ласточкин хвост»; *2* — стяжная шпилька.

или с количеством привариваемых специальных планок (рис. 24). Ребра (планки) обрабатывают по третьему классу точности.

Вид сопряжения сердечника с остовом, обеспечивающего передачу требуемого вращающего момента, определяет технологию сборки. Все сегментные сердечники стягиваются шпильками.

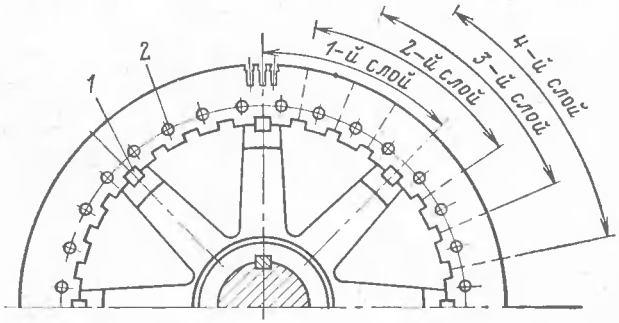


Рис. 23. Сердечник ротора с креплением к остову призматическими пригнанными шпонками и шихтовкой со сдвигом стыков на $^3/_4$ сегмента.

1 — призматическая шпонка; *2* — стяжная шпилька.

Существует несколько способов крепления сердечников роторов и якорей к остову, но при любом из них соблюдается правило, что количество стягивающих сердечник шпилек должно быть не менее 2 на сегмент и обычно не менее одного элемента крепления каждого

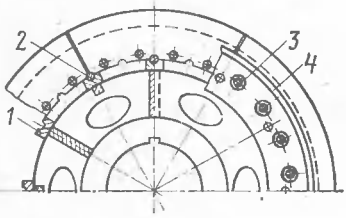


Рис. 24. Сердечник ротора с креплением к остову штифтами.

1 — обточенная планка; *2* — штифты; *3* — стяжная шпилька; *4* — обмоткодержатель.

сегмента к остову. Это необходимо для обеспечения прочности сердечника при воздействии на него центробежных сил.

В тихоходных машинах сегменты выполняют с выступом или пазом типа «ласточкин хвост». Соответственно в ребрах остова выполняют пазы типа «ласточкин хвост» (рис. 25) или к остову крепят клинья «ласточкин

хвост» (см. рис. 22). Сборка сердечника идет с базированием по обточенным ребрам (планкам).

Может быть крепление с остовом и посредством прямоугольных пригнанных шпонок (см. рис. 23), а также с помощью штифтов, вставляемых после сборки сердечника и обработки под них отверстий (см. рис. 24).

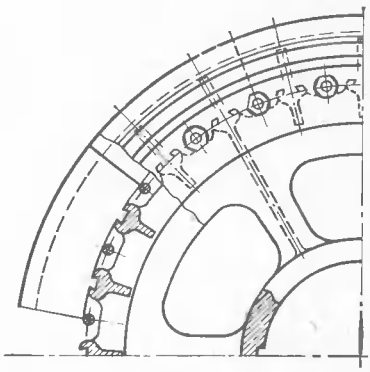


Рис. 25. Сердечник ротора с креплением к остову выступами в сегментах по форме «ласточкина хвоста».

В роторах и якорях электрических машин, работающих в тяжелых условиях, элементами крепления к остову производят радиальную растяжку сердечника, чем гарантируется его монолитность с остовом в работе на больших частотах вращения (исключается разъединение).

Радиальную растяжку сердечника выполняют различными способами.

Различают конструкцию крепления и растяжки сердечника одинарными клиновыми шпонками (рис. 26),

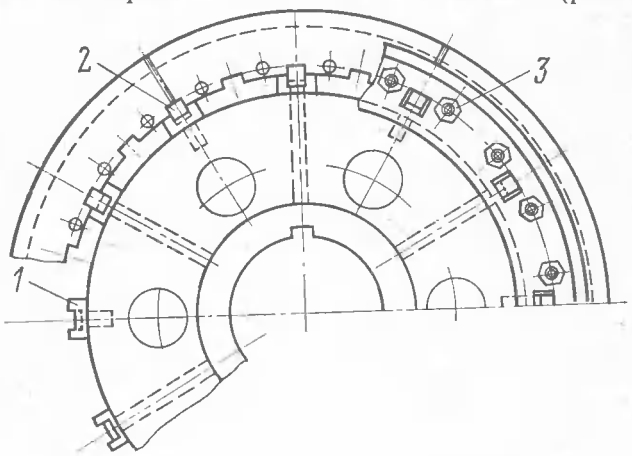


Рис. 26. Сердечник ротора с растяжкой и креплением к остову одинарными клиновыми шпонками.

1 — планка остова; *2* — клиновая шпонка; *3* — стяжная шпилька.

где в каждой планке, по которой шихтуют сердечник, имеется паз под клиновую шпонку с выфрезерованным уклоном 1:100. Против паза планки располагается паз сегмента. В эти пазы забивают клиновые шпонки. Причем уклон пазов в рядом лежащих планках выполняют в разные стороны, для того чтобы забивку клиньев выполнять с обеих сторон сердечника, чем достигается его равномерное крепление.

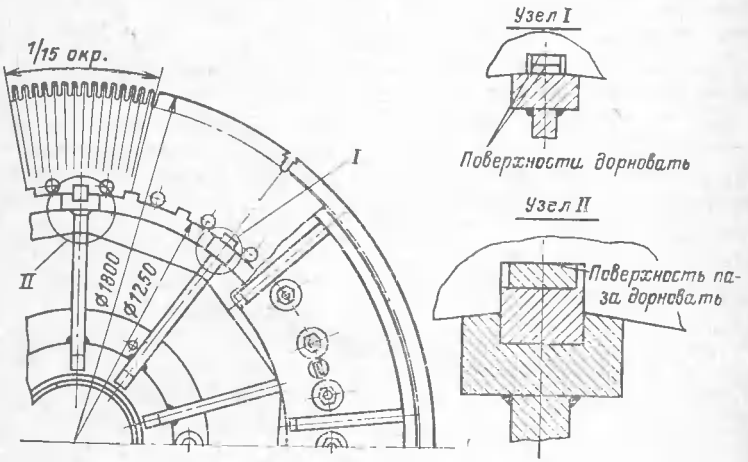


Рис. 27. Сердечник ротора с креплением к остову парными клиновыми шпонками.
I — парная клиновая шпонка; *II* — призматическая шпоика.

Существуют конструкции, в которых сердечник крепят и растягивают парными клиновыми шпонками (рис. 27). Шпонки забивают между обточенными планками и пазами сердечника, расположенными над планками (узел *I* на рис. 27).

Чтобы исключить возможность проворота сердечника относительно остова, предусмотрена призматическая шпонка, которая одновременно является и частью парной клиновой шпонки; ее верхняя грань обрабатывается с уклоном (узел *II* на рис. 27). Такая конструкция крепления более технологична, чем крепление одинарными шпонками, так как для ее осуществления необходимо только в одном ребре обработать обычную (без уклона) шпоночную канавку.

Парные клинья забивают после сборки всего сердечника и прошивания пазов для снятия цилиндрической поверхности на планках (образуется плоская лыска) и среза «гребенки» на опорной поверхности паза сердечника. Затем разогревают сердечник до разности температур между ним и остовом примерно 70°С и добивают клинья. Это создает после остывания значительный натяг между сердечником и остовом. Разность зазоров между сердечником и планками не должна быть более 0,6 мм.

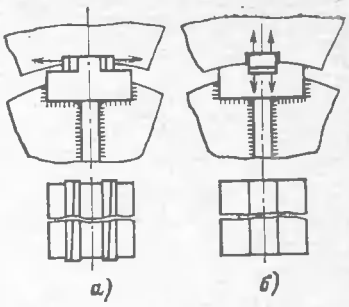


Рис. 28. Сердечник якоря с креплением к остову парными тангенциальными (*а*) и парными радиальными (*б*) шпонками.

Для крупных машин с переменным во времени вращающим моментом и для машин с ударными нагрузками надежными являются расклиновка сердечника с

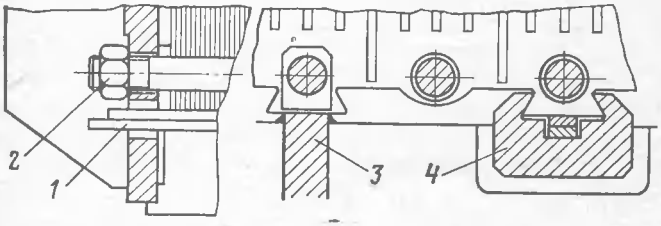


Рис. 29. Сердечник якоря с креплением к остову выступами по форме «ласточкина хвоста» и парными клиновыми шпонками.

1 — парные клиновые шпонки; *2* — стягивающая шпилька; *3* — обточенное ребро остова; *4* — балка остова.

помощью парных радиальных и тангенциальных шпонок (рис. 28), а также конструкция сердечника с листами стали, имеющими выступы «ласточкин хвост», под которые (через один) забивают парные клиновые шпонки (рис. 29), создающие надежное крепление сердечника. Шихтовка сердечника идет с базированием одного выступа листа стали по обточенному ребру и заводом другого выступа в балку, которая приваривается к остову после сборки всего сердечника.

5. МЕСТНЫЙ РЕМОНТ СЕРДЕЧНИКОВ

Ремонт электрической машины, связанный с заменой обмотки, может производиться только после проверки и устранения обнаруженных неисправностей сердечника. Как было указано выше, при уложенной обмотке устранение даже мелких дефектов сердечника недопустимо, так как это может привести к повреждению изоляции обмоток.

Перед выемкой и после выемки обмотки из пазов сердечник тщательно осматривают и производят необходимые испытания.

До демонтажа обмотки производятся:

продувка статора (ротора) сухим сжатым воздухом под давлением 0,3—0,4 МПа;

осмотр поверхности сердечника в расточке и спинке, если она доступна осмотру, а также поверхности сердечника ротора; все участки поверхности, имеющие потемнения, цвета побежалости, налеты красноватой пыли и другие дефекты, свидетельствующие о перегревах и местных повреждениях стали, четко отмечают мелом;

проверка плотности запрессовки активной стали способом, указанным ниже; контроль со стороны расточки производится в каждом зубце, а со стороны спинки—во всех доступных местах; места, имеющие недостаточную прессовку, должны быть четко отмечены мелом.

После демонтажа обмотки повторно производят все вышеперечисленные операции. Кроме того, дополнительно:

очищают сердечник от остатков старой изоляции и продувают сухим сжатым воздухом;

протирают сердечник, включая пазы, тряпкой, смоченной в уайт-спирите или бензине; просвечивают пазы переносной лампой; при наличии отдельных зубцов, выступающих в пазы, опиливают их;

проверяют ножом и простукиванием молотком плотность установки пальцев, нажимных плит (шайб) и распорок (ветрениц) в радиальных каналах;

проверяют положение нажимных пальцев по отношению к зубцам; отмечают пальцы, смещенные по отношению к оси зубцов;

испытывают изоляцию стяжных болтов или шпилек, если они проходят через спинку активной стали и по конструкции электрически изолированы от сердечника;

испытание производится напряжением 1000 В переменного тока в течение 1 мин;

испытывают активную сталь на отсутствие замыкания между листами и для определения удельных потерь в стали от вихревых токов и перемагничивания способом, указанным в § 8.

Для электрических машин, выпущенных заводом-изготовителем более 10 лет назад, испытание является обязательным вне зависимости от результатов осмотра и проверки плотности запрессовки стали. Для электрических машин, выпущенных менее 10 лет назад, испытание производят в тех случаях, когда имеются оплавленные участки или значительное общее ослабление прессовки, а также при сомнениях в надежности межлистовой изоляции.

Указанный комплекс осмотров, проверок и испытаний дает возможность решить вопрос о необходимости и объеме предстоящего ремонта сердечника.

Основными неисправностями сердечников являются ослабление прессовки, распушение торцевых пакетов стали (образование «веера»), оплавление отдельных участков стали и нарушение межлистовой изоляции. Устранение неисправностей первых трех видов не связано с перешихтовкой сердечника; ремонт носит местный характер. Ниже описывается способы устранения местных неисправностей.

Восстановление прессовки. Активная сталь сердечника должна быть спрессована так плотно, чтобы сила трения между ее отдельными листами исключала возможность какого-либо, даже незначительного перемещения одного листа по отношению к другому.

При разборке машины перед ремонтом и осмотре состояния активной стали ослабленная прессовка выявляется наличием ржавых пятен на ее поверхности и в местах посадки на сборочные клинья или шпильки. Такое ржавление распространяется только на участки с пониженной прессовкой и является результатом так называемой контактной коррозии, которой подвергаются поверхности стальных листов и деталей, перемещающихся одна относительно другой.

Ослабление прессовки вызывает специфический шум, а иногда и вибрацию машины. Вибрация же машины и отдельных листов сердечника приводит к разрушению межлистовой изоляции и поломке незажатых стальных

листов, смежных с вентиляционными каналами. Отломанные части зубцов могут повредить изоляцию и активную сталь.

Значительная вибрация стали в зубцовой зоне представляет особую опасность для изоляции обмотки, так как может вызвать истирание ее в местах, прилегающих к вибрирующим участкам. Поэтому перед укладкой обмотки безусловно должна быть восстановлена достаточная прессовка сердечника.

Следует отметить, что чрезмерная прессовка сердечника также нежелательна, так как при этом возрастают механические напряжения в крепежных деталях и устройствах, что может вызвать их деформацию и поломку (отрыв ребер от станины, нарушение сварных швов).

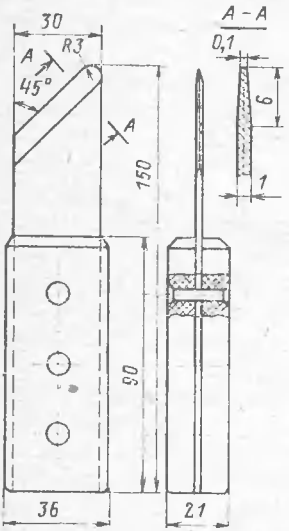


Рис. 30. Контрольный нож.

Наиболее просто, хотя и очень приближенно, степень прессовки определяют при помощи контрольного ножа с лезвием толщиной 1,0 мм (рис. 30). При удовлетворительной запрессовке стали лезвие ножа не должно входить между листами более чем на 1—2 мм при сильном нажатии рукой. Этот способ проверки нельзя считать достаточно объективным, так как результат зависит от степени нажатия на нож. Более совершенной является проверка тензометрическим измерителем двавления, действие которого основано на изменении электрического сопротивления тонкой проволоки или пластинки при ее деформации от приложенного давления.

Так как ослабление прессовки чаще всего наблюдается в зубцовой зоне, иногда достаточно в места с ослабленной прессовкой плотно забить текстолитовые или гетинаксовые уплотняющие клинья, размеры которых соответствуют размерам зубца. При забивке клинья заглубляют на 2—3 мм ниже поверхности стали, и для предохранения от выпадания их покрывают клеящим

лаком или клеем БФ-2 и отгибают на них края смежных листов стали.

После забивки уплотняющих клиньев сердечник покрывают масляно-битумным лаком воздушной сушки БТ-99 (ГОСТ 8017-56). При последующих ревизиях и осмотрах сердечника сохранность лаковой пленки поможет убедиться в отсутствии на отремонтированных участках контактной коррозии; наличие коррозии на отлакированной поверхности определит необходимость дополнительного уплотнения стали.

Помимо ослабления прессовки на отдельных участках, может быть ослаблена прессовка всего объема сердечника. В этом случае удаляют нажимную шайбу сердечника, удерживаемую сваркой или закладными шпонками, укладывают на сердечник листы текстолита марки СТЭФ или асбеста, вырезанные по форме листов стали, вновь накладывают нажимную шайбу, прессуют сердечник и закрепляют шайбу. Приспособления, применяемые для прессовки сердечника, описаны на стр. 43.

Часто при ослаблении прессовки имеет место деформация пакетов стали, при которой отдельные листы смещаются в тангенциальном направлении и зубцы частично заходят в пазы. Эти пазы опиливают напильником или выправляют стальной оправкой, размеры которой равны размерам паза в свету с допуском по ширине $\begin{matrix}+0{,}0\\-0{,}1\end{matrix}$ мм.

Ремонт торцевых пакетов. Если нажимная шайба и крайние листы сердечников статора недостаточно жестки, то на краях сердечника зубцы расходятся, образуя так называемый «веер». Более совершенными являются конструкции крепления стали, в которых зубцы на торцах сердечника удерживаются от изгибания пальцами, приваренными к нажимной шайбе сердечника или утолщенному крайнему листу стали, либо составляют одно целое с нажимной шайбой.

Распушение крайних листов, так же как общее ослабление прессовки сердечника стали, представляет значительную опасность, так как незакрепленные зубцы начинают вибрировать, перетирая изоляцию катушек в местах выхода их из пазов. У машин малой мощности распушение крайних листов стали устраняют пропиловкой наклонных пазов в зубцах (рис. 31) и проваркой этих пазов тонким сварочным швом *1*. При пропиловке

и проварке зубцов сжимают сердечник в зубцовой зоне временным кольцом *2* при помощи стяжных шпилек *3*, пропущенных через пазы, и после проварки запиливают швы заодно с поверхностью расточки.

Для машин большой мощности, имеющих относительно высокие зубцы, указанный способ ремонта не применяют. С одной стороны, он не обеспечивает прочного и надежного скрепления листов, а с другой — это соединение создает замкнутые контуры для протекания вихревых токов, что представляет определенную опасность из-за возможных местных высоких перегревов стали.

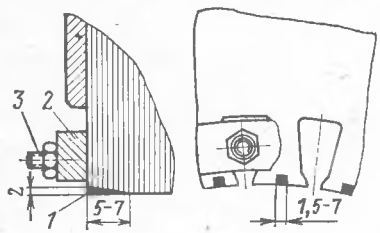


Рис. 31. Сварка крайних листов стали.

Надежным способом ремонта являются установка дополнительной шайбы с зубцами (рис. 32) или установка и закрепление отдельных пальцев между сердечником и существующей нажимной шайбой (рис. 33).

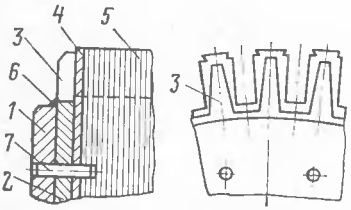


Рис. 32. Установка дополнительной нажимной шайбы с зубцами.

1 — основная нажимная шайба; *2* — дополнительная нажимная шайба; *3* — зубец (палец) дополнительной шайбы; *4* — утолщенный лист; *5* — листы сердечника; *6* — сварочный шов; *7* — стальной штифт.

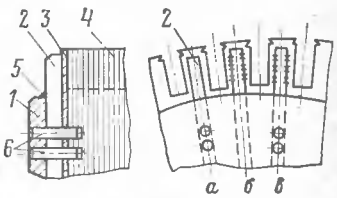


Рис. 33. Установка и закрепление отдельных пальцев.

1 — нажимная шайба; *2* — палец; *3* — утолщенный лист; *4* — листы сердечника; *5* — сварочный шов; *6* — стальные штифты.
Крепление пальцев: *а* — штифтами; *б* — сваркой; *в* — штифтами и сваркой.

Указанные способы ремонта возможны при распрессовке сердечника и связанной с этим частичной или полной перешихтовкой листов активной стали.

Ремонт оплавленных участков сердечника. Повреждение обмоток, сопровождающееся возникновением элек-

трической дуги, а также попадание в расточку посторонних металлических предметов могут вызывать местное оплавление и повреждение небольшого участка активной стали — не более четырех зубцов в пределах одного-двух пакетов.

Следует учитывать, что, помимо самого места, где в видимой зоне листы оплавлены, повреждается межлистовая изоляция на глубину 10—15 мм ниже этой видимой зоны оплавления. Во время ремонта всю поврежденную зону вырубают, чтобы не было сплавленных между собой листов и остатков расплавленной меди. Для удаления заусенцев между листами поверхность вырубленной зоны обрабатывают острым шабером или шлифовальным камнем.

При ремонте у поврежденного зубца отгибают ветреницу и листы раздвигают отверткой или ножом; в образовавшуюся щель заливают лак БТ-99 и между листами на возможно большую глубину, не менее 10—15 мм, закладывают пластинки из слюды толщиной 0,05—0,07 мм. После установки пластинок отремонтированный участок стали также покрывают лаком БТ-99.

Если поврежденный участок стали находится в пазу, то для предотвращения вспучивания обмотки в вырубленную полость укладывают полоски текстолита или гетинакса или заполняют ее специальной замазкой на основе эпоксидной смолы.

Способ приготовления и заложения замазки следующий. Нагретую до 70°С эпоксидную смолу ЭД-16 или ЭД-15 и дибутилфталат смешивают в соотношении на 100 частей смолы ЭД-16 25 частей дибутилфталата или на 100 частей смолы ЭД-15 10—15 частей дибутилфталата. Смесь тщательно перемешивают и помещают в стеклянную банку с плотно закрывающейся крышкой.

Перед употреблением на 100 частей смеси добавляют наполнитель, 10—20 частей графита и перемешивают новую смесь с наполнителем деревянной лопаткой. Затем при тщательном перемешивании в нее добавляют 10—12 частей отвердителя — полиэтиленполиамина. Отвердение замазки начинается через 20 мин после изготовления.

Перед заполнением полости ее очищают, удаляют образовавшуюся металлическую и наждачную пыль, обдувают сжатым воздухом и поливают уайт-спиритом. Заполнение производят металлическим шпателем.

Во избежание вытекания (расползания) замазки во время заполнения полости исправляемую поверхность по возможности располагают горизонтально. Отверждение замазки происходит через 24 ч при комнатной температуре. Если зона повреждения значительна, приходится обрубать целиком зубец на длину одного-двух пакетов. В этом случае вырубленные зубцы заменяют заполнителем из текстолита или гетинакса (рис. 34). Заполнитель тщательно подгоняют по месту, чтобы он плотно лежал между обмоткой и сталью. Какого-либо специального крепления заполнителя не требуется, так как его клиновидная форма препятствует выпаданию из сердечника. Кроме того, пазовые клинья создают дополнительное

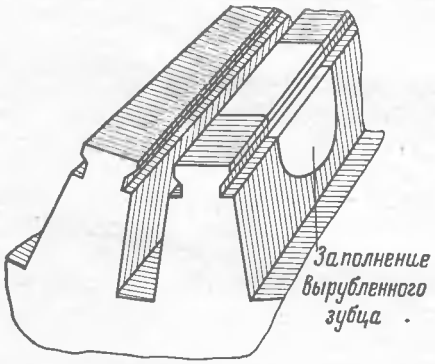


Рис. 34. Установка заполнителя взамен зубца сердечника статора.

крепление заполнителя. Если эти клинья деревянные, то на участке трех-четырех пакетов, прилегающих к заполнителю, их заменяют текстолитовыми или гетинаксовыми. Так же как и при установке уплотняющих клиньев, заполнитель промазывают клеящим лаком или клеем БФ-2 и отгибают на него края смежных листов стали.

При ремонте сердечников роторов (якорей) установка текстолитовых или гетинаксовых заполнителей взамен вырубленных зубцов допустима, если окружная скорость на поверхности сердечника не превышает 20 м/с. Заполнитель подгоняют по месту особо тщательно и по его краям делают выступы, заходящие в вентиляционные каналы под соседние пазы. Таким образом, заполнитель дополнительно удерживается обмоткой, расположенной в соседних пазах.

При окружной скорости сердечника более 20 м/с установка текстолитовых или гетинаксовых заполнителей недопустима; их выпадание может повлечь за собой очень крупные повреждения обмотки или активной стали.

Выплавление большого объема стали в трех и более пакетах, сопровождающееся выгоранием значительной площади многих листов стали и повреждением межлистовой изоляции в больших пределах, обычно не может быть ликвидировано устранением неисправности только самого поврежденного места, а требует частичной или полной перешихтовки активной стали с переизолировкой листов и равномерным распределением поврежденных листов (после их исправления) по всему объему сердечника, как это указано в § 6.

6. ПЕРЕШИХТОВКА СЕРДЕЧНИКОВ

Полную перешихтовку сердечников с переизолировкой листов активной стали производят при нарушении межлистовой изоляции, что может явиться результатом ее естественного старения при длительной эксплуатации машины или произойти из-за чрезмерного нагрева сердечника. В этом случае, как правило, переизолируют все листы активной стали.

Полную перешихтовку также выполняют при выплавлении большого объема стали и повреждении изоляции многих листов. В этом случае поврежденные листы после их исправления и переизолировки равномерно распределяют по всему сердечнику; переизолировка всех листов сердечника не обязательна.

Если выгорел небольшой объем стали, но повреждение не может быть устранено местным ремонтом (замыкание листов распространилось в глубь сердечника), то расшихтовку обычно ведут до места повреждения и после ремонта листов их равномерно распределяют по объему расшихтованной части сердечника (частичная перешихтовка).

Ниже рассматривается перешихтовка сердечников только крупных машин, так как перешихтовка сердечников машин средней и тем более малой мощности экономически нецелесообразна и производится в весьма редких случаях.

Как правило, перешихтовку крупных электромашин в настоящее время ремонтные предприятия выполняют на месте их установки, организуя соответствующие ре-

монтные участки у заказчика. Это объясняется тем, что перевозка крупных машин на ремонтные заводы сложна и продолжительна; кроме того, не все заводы имеют необходимое оборудование для выполнения работ по перешихтовке сердечников.

Ремонт сердечников с перешихтовкой на электромашиностроительных заводах был бы с точки зрения производительности и качества работ наиболее желательным, но занятость заводов выпуском новой продукции и сложность транспортировки делают этот процесс продолжительным, что не может в большинстве случаев удовлетворить требования эксплуатации в части сроков ремонта.

Хотя технология перешихтовки сердечника зависит от способа его крепления (конструкции) в станине для статоров, на остове — для роторов и якорей, а также от оснащенности ремонтного участка необходимым оборудованием и приспособлениями, имеются общие рекомендации по подготовке к перешихтовке и самой перешихтовке сердечников.

Работы по перешихтовке сердечников крупных электрических машин состоят из следующих операций:

1. Дефектовка сердечника с выяснением конструкции его крепления и объема предстоящих работ.
2. Подготовка необходимого ремонтного оборудования, изготовление приспособлений и специального инструмента.
3. Расшихтовка сердечника.
4. Переизолировка листов активной стали (и их ремонт при необходимости).
5. Шихтовка и прессовка сердечника.
6. Испытание сердечника.

Наиболее трудоемкой операцией является прессовка шихтуемого сердечника.

При выполнении работ по перешихтовке сердечников крупных быстроходных электрических машин с большой длиной сердечника на месте их установки изготовляют специальное приспособление для прессовки активной стали гидродомкратами. Наличие этого приспособления в основном определяет большую производительность и высокое качество работы и делает этот вид ремонта экономически целесообразным. Если переизолировку листов активной стали невозможно выполнить на ближайшем электромеханическом заводе, то потребуется уста-

новка передвижной лакировальной машины (лак-машины), которую необходимо иметь ремонтному предприятию, выполняющему такие работы.

Описание лак-машины и технология переизолировки листов приведены в § 7.

Как указывалось, необходимость в перешихтовке сердечников статоров встречается более часто, чем роторов и якорей, поэтому для сердечников статоров рассматривается технология полной перешихтовки (вручную и с использованием гидродомкратов), а для сердечников роторов и якорей — только частичной перешихтовки.

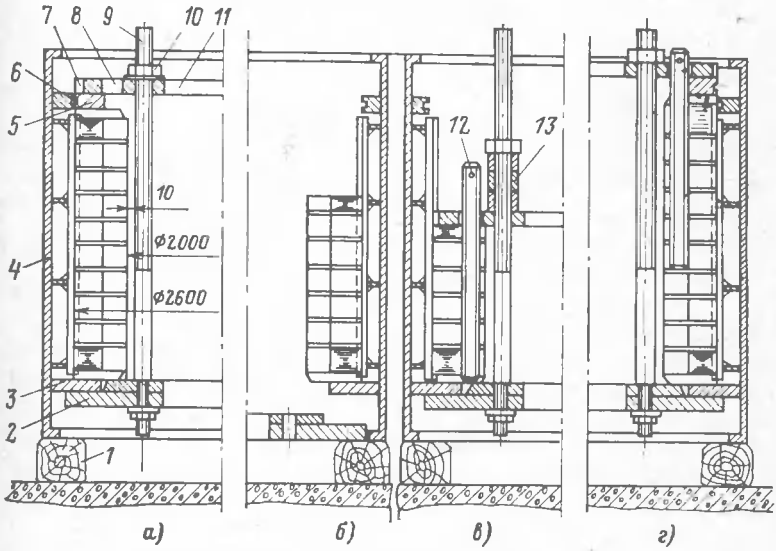


Рис. 35. Установка статора и расположение приспособлений для перешихтовки сердечника вручную прессующими технологическими шпильками.

Положение приспособлений: *а* — до распрессовки; *б* — при расшихтовке; *в* — при промежуточной прессовке; *г* — при окончательной прессовке.

Ниже рассматривается перешихтовка **с прессовкой вручную** сердечника статора крупной тихоходной машины с глухой станиной и креплением листов активной стали на клиньях «ласточкин хвост» (рис. 35) с одним нажимным кольцом статора *5* и креплением его к станине запорными шпонками *6*. Сердечник имеет внутренний и наружный диаметры соответственно 2000 и 2570 мм и состоит из 10 пакетов; количество пазов 144, пазы от-

крытой формы размером 18×85 мм; по окружности сердечника укладывается восемь сегментов.

Как говорилось выше, до начала непосредственных работ по перешихтовке выполняют дефектовку сердечника. Для этого составляют эскиз сердечника с указанием точных размеров паза и диаметра расточки в трех сечениях — посредине и у вторых от края пакетах. В каждом сечении замер производят в двух взаимно перпендикулярных направлениях с помощью штихмаса, снабженного микрометрической головкой. Также замеряют общую ширину и размеры пакетов, учитывая, что сердечник может комплектоваться из пакетов разной ширины, особенно крайних; отмечают способ крепления сердечника в станине, расположение деталей крепления и предполагаемую систему шихтовки.

По данным дефектовки изготовляют требуемые приспособления и инструмент. Сюда в основном входят: опорное кольцо *2*, прессующее кольцо *11*, прессующие технологические шпильки *9* с гайками *10* и подкладочные втулки *13*, сборочные калибры *12*, рихтовочные и контрольные калибры.

После окончания подготовительных работ производят *расшихтовку сердечника.* Для этого на выполненное для установки статора жесткое основание (подставку) в виде стальной сварной конструкции или шпальной выкладки *1* укладывают опорное кольцо *2* и устанавливают на основание *1* статор *4* нажимным кольцом *5* вверх. Расставляют шпильки *9*, надевают на них прессующее кольцо *11* и навертывают гайки *10*.

Опорное и прессующее кольца выполняют из стали толщиной не менее полутора толщин нажимного кольца статора. Опорное кольцо должно при прессовке возможно плотнее прилегать к торцу станины и нажимным пальцам; для этого его делают фигурным.

Прессующее кольцо выполняют с наружным диаметром, равным наружному диаметру сердечника; для свободного прохода кольца в станину против каждого сборочного клина выполняют соответствующие вырезки *7*. По диаметру зубцовой зоны делают окна *8* для прохода сборочных калибров *12* из расчета два калибра на сегмент.

У внутреннего диаметра опорного и прессующего колец выполняют отверстия под стяжные технологические шпильки. Диаметр окружности расположения этих

шпилек выбирают так, чтобы между шпилькой и активной сталью был зазор не более 10 мм.

Количество и диаметр шпилек определяют механическим расчетом, исходя из полного необходимого усилия прессовки всего сердечника с проверкой возможности их расположения по окружности.

При расчете исходят из того, что максимальное давление при ручной прессовке принимается равным 0,7—1,0 МПа. Указанное давление может обеспечить требуемую плотность сердечника при прессовке в несколько приемов: при первой прессовке не более пяти-шести пакетов и при последующих прессовках по три-четыре пакета.

Следует отметить, что при ручной опрессовке шпильками создание давлений больше указанных затруднено, так как это связано с применением чрезмерных усилий для затяжки гаек.

Пример расчета. Выбор количества и диаметра прессующих технологических шпилек (с нормальной метрической резьбой).

а) Полное необходимое усилие прессовки сердечника подсчитывается по формуле, МН:

$$P = \left[\frac{\pi}{4}(D_a^2 - D^2) - ZS_п\right] p \cdot 10^{-4},$$

где D_a и D — наружный и внутренний диаметры сердечника, см;
Z — число пазов; $S_п$ — площадь паза, см^2;
p — давление, принимаемое равным 1,0 МПа.

$$P = \left[\frac{\pi}{4}(25^2 - 20^2) - 144\,(1{,}8 \cdot 8{,}5)\right] \cdot 1 \cdot 10^{-4} =$$

$$= 1{,}84 \text{ МН} = 1\,840\,000 \text{ Н}.$$

б) Количество шпилек принимают из расчета усилия на одну шпильку P_0 в пределах 40 000—60 000 Н. Принимаем усилие на одну шпильку равным 50 000 Н. Количество шпилек составит (с округлением до ближайшего целого четного числа)

$$N = \frac{P}{P_0} = \frac{1\,840\,000}{50\,000} = 36.$$

в) Диаметр шпильки из расчета прочности резьбы, см:

$$d_ш = \sqrt{\frac{4P_0}{\pi \dfrac{\sigma_{рас}}{1{,}35}}} \cdot 10^{-1},$$

где $\sigma_{рас}$ — допустимое напряжение на растяжение для выбранной марки стали, МПа.

При Ст. 3 $\sigma_{рас}$ составляет 130 МПа.

$$d_ш = \sqrt{\frac{4 \cdot 50\,000}{\pi \cdot \dfrac{130}{1{,}35}}} \cdot 10^{-1} = 2{,}57 \text{ см}.$$

Принимаем шпильку с резьбой М26.

г) Шаг шпилек по окружности

$$t = \frac{[D - (d_ш + 2)]\pi}{N} = \frac{[200 - (2{,}6 + 2)]\pi}{36} = 17 \text{ см},$$

что совершенно достаточно для наложения и поворота ключа.

д) Длина рукоятки ключа при условии прикладываемого усилия затяжки $F = 400$ Н

$$l = \frac{P_0 d_ш}{4F} = \frac{50\,000 \cdot 2{,}6}{4 \cdot 400} = 80 \text{ см}.$$

После сборки приспособления прижимают нажимное кольцо статора к сердечнику и выбивают шпонки, запирающие нажимное кольцо в станине, предварительно срубив швы их приварки.

Снимают прессующее кольцо, нажимное кольцо и убирают шпильки.

Сняв сегменты с прикрепленными к ним нажимными пальцами, разбирают первый пакет сердечника и проверяют правильность ранее составленного эскиза предполагаемой системы шихтовки: расположения сегментов в слое и количества листов в первом и всех последующих пакетах. Каждый сегмент проверяют на отсутствие заусенцев и повреждений. Обнаруженные заусенцы снимают шлифовальным кругом или напильником, а листы, имеющие повреждения, отгоревшие или отломанные зубцы складывают отдельно, с тем чтобы после исправления и изолировки равномерно распределить их по сердечнику.

В процессе расшихтовки проверяют надежность крепления нажимных пальцев и ветрениц с помощью ножа и простукиванием молотком и при необходимости закрепляют их.

Погнутые при расшихтовке листы выправляют текстолитовым или деревянным молотком (киянкой) на стальной плите. При наличии в пакете прокладок из электроизоляционного картона или асбеста записывают их количество, толщину и положение в пакете.

В таком же порядке разбирают все остальные пакеты сердечника.

Внутреннюю поверхность станины (корпуса) статора, нажимное кольцо *5*, поверхность глухой торцевой стенки *3*, сегменты с нажимными пальцами и сборочные клинья очищают от загрязнений, обтирают тряпкой, смоченной в авиационном бензине, покрывают глифтале-масляной эмалью воздушной сушки типа ГФ92-ХК (ГОСТ

9131-59) и сушат на воздухе в течение 2—6 ч (до прекращения отлипа).

«Ласточкин хвост» в сборочных клиньях зачищают до металлического блеска, проверяют надежность их крепления и плотность прилегания к планкам.

Листы активной стали переизолируют и приступают к шихтовке сердечника.

Рекомендуется следующая последовательность работ.

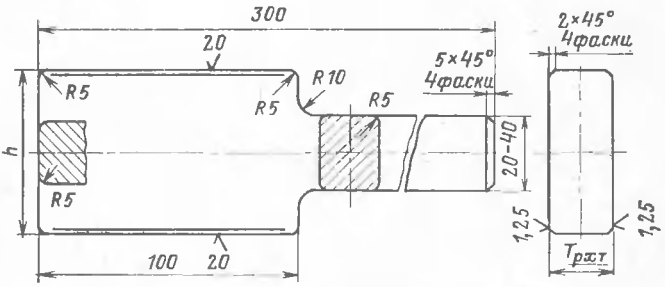


Рис. 36. Рихтовочный калибр.

Для *шихтовки сердечника* на глухую торцевую стенку *3* (рис. 35) укладывают листы с нажимными пальцами, а затем листы первого пакета, осаживая их по всей окружности после набора 10—15 слоев текстолитовой или деревянной киянкой или стальным молотком через деревянную прокладку.

Особенно тщательно листы осаживают в местах сопряжения их со сборочными клиньями. При укладке листов соблюдают их расположение, выявленное при расшихтовке сердечника.

При наличии в фирменном исполнении выравнивающих прокладок укладывают взамен них прокладки из асбеста или стеклотекстолита (марки СТЭФ), вырезанных по форме сегмента с помощью специального шаблона. Асбестовые прокладки покрывают грифталевым лаком ГФ-957 (б. 1155, ТУ 503.014-67) или клеем БФ-2.

Собрав первый пакет, рихтуют пазы рихтовочным калибром (рис. 36) и устанавливают вплотную ко дну паза сборочные калибры (рис. 37) из расчета на каждый сегмент не менее двух сборочных калибров, которые должны делить сегмент приблизительно на три равные части. Соответственно этому требованию в прессующем кольце следует выполнить окна *8* (см. рис. 35).

Замеряют ширину первого пакета ручной струбциной (рис. 38) с узкими лапками. При необходимости снимают лишние сегменты либо закладывают асбестовые или текстолитовые выравнивающие прокладки, с тем чтобы ширина пакета была такой же, как и перед расшихтовкой, с допуском ±0,5 мм. Убедившись в точности шихтовки первого пакета, укладывают на него сегмент с ветрениками.

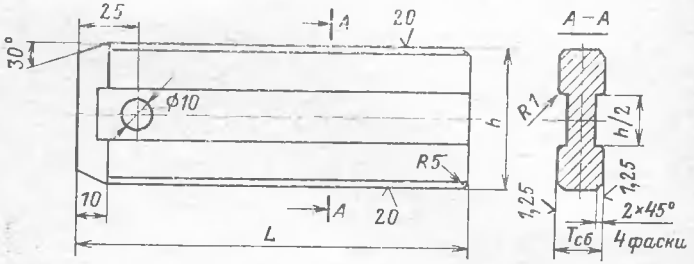


Рис. 37. Сборочный калибр.

Вместо указанной ручной струбцины рекомендуется применять гидравлическое приспособление (рис. 39), при помощи которого измерение пакета производится одновременно со сжатием листов стали с заданным давлением. Приспособление предназначено для измерения пакетов толщиной от 35 до 55 мм. Диапазон ограничен 120 мм во

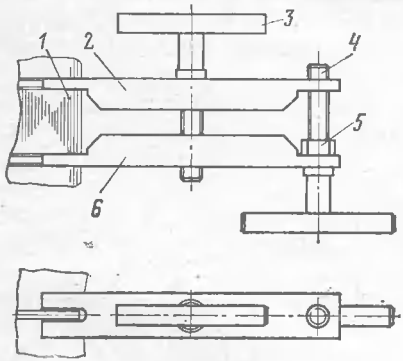


Рис. 38. Струбцина для сжатия пакета активной стали.

1 — измеряемый пакет стали; *2* и *6* — планки с лапками; *3* — прессующий винт, *4* — установочный винт; *5* — контргайка.

избежание увеличения размеров цилиндра и массы приспособления. Шкала на цилиндре выполняется с миллиметровыми делениями, нанесенными справа и слева от продольной риски со сдвигом 0,5 мм, что позволяет измерять высоту пакета с точностью до 0,5 мм.

В процессе сборки всегда измеряют верхний пакет. Лапку *2* вдвигают в вентиляционный канал, и имеющийся в лапке вырез свободно проходит по обе стороны ветрениць. Затем вращением звездочки опускают поршень, и под действием масла плунжер *4*

сжимает пакет стали. Рабочий должен всегда выдерживать одинаковое заданное давление, контролируемое по манометру, например 1,0 МПа с отклонениями ±5%.

При шихтовке сердечников используют три вида калибров: сборочные, рихтовочные и контрольные.

Сборочные калибры (см. рис. 37) имеют назначение обеспечить при шихтовке сердечника ровный паз, без выступающих внутрь паза листов стали, то есть получить максимальное приближение размеров «паза в свету» к размерам «паза в штампе».

Сборочные калибры устанавливают не менее двух на сегмент и не менее четырех на кольцевой лист стали (для статора) или диск (для ротора); сборочные калибры вставляют в пазы после сборки одного-двух пакетов сердечника.

Высоту сборочного калибра h при открытых пазах выполняют равной высоте паза, а при закрытом пазе — на 10% меньше высоты его прямолинейной части, однако не более 90—100 мм. Длина сборочного калибра L равна высоте части сердечника, прессуемой за 1 раз, плюс 100 мм, но не более 500 мм, так как при большей длине трудно при изготовлении калибров выдержать требуемую точность размеров.

Основной размер сборочного калибра — толщина $T_{сб}$ — определяется по формуле, мм;

$$T_{сб}=b_{св}+k(b_{шт}-b_{св}),$$

где $b_{шт}-b_{св}$ — разность между шириной паза в штампе и в свету; k — коэффициент, зависящий от длины шихтуемого сердечника и разности $b_{шт}-b_{св}$.

Для гидрогенераторов $k=0,7$; для турбогенераторов $k=0,4$; $b_{шт}-b_{св}$ у них обычно равно 0,5 мм. Для прочих электрических машин при $b_{шт}-b_{св}$, равном 0,3, $k=0,7$ и при $b_{шт}-b_{св}$, равном 0,5, $k=0,8$.

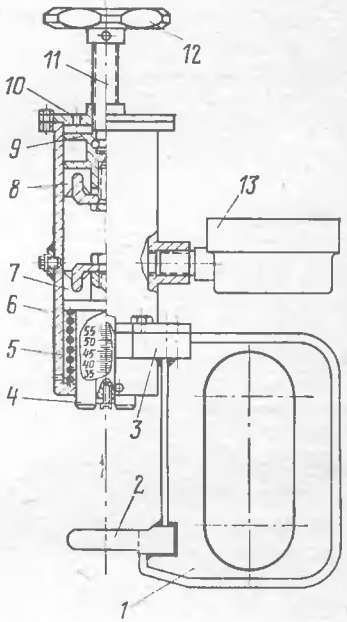


Рис. 39. Гидравлическое приспособление для измерения высоты пакетов.

1 — корпус-рукоятка; *2* — лапка; *3* — сегмент; *4* — плунжер; *5* — пружина; *6* — цилиндр; *7* и *8* — манжеты; *9* — поршень; *10* — крышка; *11* — винт; *12* — звездочка; *13* — манометр.

В верхней части сборочного калибра выполняется отверстие для вытягивания (выдергивания) его из паза перед сборкой очередной части сердечника.

Рихтовочные калибры (см. рис. 36). С их помощью выравнивают поверхность пазов, для того чтобы на их стенках не было выступающих листов стали. Количество рихтовочных калибров определяется габаритами сердечника и организацией работ.

Размер по высоте рихтовочного калибра h определяется, как и для сборочного, а толщина определяется по формуле

$$T_{рхт}=b_{св}+0{,}2(b_{шт}-b_{св}).$$

Контрольные калибры (рис. 40) служат для окончательного определения качества сборки сердечника. Размер по высоте контрольного калибра h определяется, как и для сборочного; выполняют не менее двух калибров.

При закрытом пазе длина ручки калибра должна обеспечивать проверку паза в любом его месте.

Толщина контрольного калибра $T_{кнт}=b_{св}\pm0{,}02$ мм.

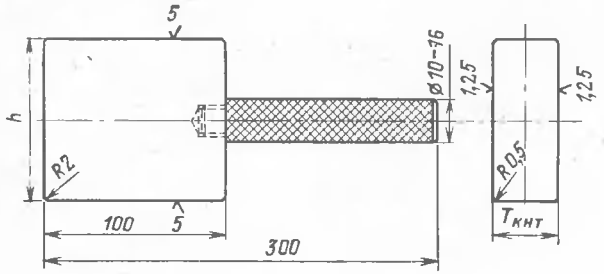


Рис. 40. Контрольный калибр.

Все три типа калибров выполняют из ст. 3, цементируют на глубину 0,8—1 мм (для контрольного 0,6—0,8 мм) и закаливают до твердости HRC 54...57 (ручку у рихтовочного калибра закаливают до твердости HRC 42...44).

Аналогично шихтовке первого пакета собирают еще пять пакетов, рихтуя каждый пакет калибром, и приступают к первой промежуточной прессовке сердечника.

Как указывалось, первая прессовка выполняется после шихтовки сердечника до высоты 300—350 мм, т. е. после шихтовки пяти-шести пакетов, а последующие— после шихтовки каждых трех-четырех пакетов.

Таким образом, в нашем примере будут две прессовки: первая после шихтовки шести пакетов и вторая, окончательная, после шихтовки десяти пакетов.

Для выполнения прессовки вставляют в опорное кольцо прессующие шпильки, на сшихтованные шесть пакетов укладывают прессующее кольцо, надевают на шпильки подкладочные втулки и равномерно по окружности затягивают гайки шпилек.

Давление при первой прессовке должно быть примерно 0,7—0,8 МПа, при второй (а для нашего примера— окончательной) 0,9—1,0 МПа.

При ручной прессовке трудно проконтролировать истинную величину давления, которая зависит от длины

рукоятки ключа и прикладываемого рабочим усилия (крутящего момента Fl). Но, применяя для затяжки гаек ключ с предельным тарированным крутящим моментом, головка которого автоматически отключается, когда крутящий момент превосходит определенную величину, можно все-таки с достаточной для этих работ точностью оценить давление на сердечник.

После затяжки всех гаек выдерживают давление на сердечнике 20—30 мин и, не снимая его, проверяют плотность прессовки листов активной стали контрольным ножом (см. рис. 30). Если лезвие ножа заходит более чем на 2 мм между листами, увеличивают усилие прессовки подтяжкой гаек.

Проверяют общую длину сердечника, и если отклонение от величины, замеренной при расшихтовке, превышает ±2 мм, то добавляют в последний пакет выравнивающие стеклотекстолитовые или асбестовые прокладки или снимают лишние сегменты. Затем, подтянув сборочные калибры вверх (нижние концы их после подтяжки должны находиться в двух-трех пакетах), разбирают приспособление и продолжают шихтовку оставшихся четырех пакетов сердечника.

При второй прессовке укладывают на последний пакет нажимное кольцо статора, собирают приспособление и прессуют сердечник.

После затяжки всех гаек нажимное кольцо должно занять свое прежнее положение до расшихтовки при соблюдении достаточной степени прессовки, проверяемой ножом. Необходимое выравнивание производят изоляционными прокладками.

Выдерживают сердечник под давлением 30—40 мин, еще раз проверяют плотность прессовки и, не снимая давления, закладывают запорные шпонки, удерживающие нажимное кольцо, и приваривают их к станине электросваркой.

После разборки приспособления удаляют все сборочные калибры и проверяют каждый паз контрольным калибром. Обнаруженные выступающие в паз зубцы обрабатывают слесарной пилой. Затем опиливают и зачищают места электросварки, продувают статор сжатым воздухом и покрывают расточку тонким слоем лака БТ-99.

Сердечники с креплением сегментов на клиньях-ребрах с резьбовыми концами или с креплением шпилька-

ми перешихтовывают по той же технологии и с тем же приспособлением, что было описано выше. Стяжные шпильки устанавливают, и затягивают гайки этих шпилек, не снимая давления при последней прессовке сердечника.

Перешихтовка сердечников, собираемых на стяжных шпильках в «глухих» станинах, как отмечалось выше, из-за своей конструкции сопряжена с дополнительными трудностями, которые обусловлены большим количеством сварных элементов и базированием сегментов по расточенным ребрам станины.

При расшихтовке сердечника сначала удаляют швы приварки нажимного кольца к станине; для этого используют пневматическое зубило и переносные машинки с наждачным кругом. Перед снятием нажимного кольца обязательно фиксируют его положение в станине, так как при изготовлении статора отверстия в нажимном кольце под шпильки сверлят совместно с глухой стенкой станины.

По мере расшихтовки пакетов срубают швы приварки планок (серег) к ребрам станины, снимают их и зачищают места сварки.

Для шихтовки сердечника с указанным креплением станину устанавливают на подставку высотой 400—500 мм глухой полкой вниз. Сверху накладывают нажимное кольцо и устанавливают стяжные шпильки с легко навинченными гайками.

Шихтовку сегментов производят на стяжные шпильки и сборочные калибры, непрерывно подбивая сегменты в радиальном направлении к расточенным ребрам станины. При надевании на шпильки планок, а также для установки прессующего кольца приспособления при промежуточных опрессовках шпильки временно опускают. Промежуточные опрессовки ведут при установленных стяжных шпильках и уложенном нажимном кольце статора.

В прессующем кольце выполняют вырезы под стяжные шпильки и сборные калибры и отверстия для прессующих технологических шпилек. В опорном кольце, помимо отверстий под прессующие шпильки, делают вырезы под гайки стяжных шпилек сердечника.

После выполнения последней прессовки нажимное кольцо должно занять свое прежнее положение. Не снимая давления, затягивают гайки стяжных шпилек, при-

варивают планки к ребрам и нажимное кольцо к станине.

Нажимное кольцо приваривают тонким электродом (2—3 мм), накладывая швы длиной не более 50 мм, располагая их диаметрально по окружности станины. После наложения первого ряда сварочных швов дают нажимному кольцу статора остыть, затем расклепывают швы, проверяют сварку и продолжают ее до достижения толщины, соответствующей заводскому исполнению. Нарушение этой технологии приводит к деформации нажимного кольца, особенно у быстроходных машин, где разность наружного и внутреннего диаметров сердечника значительна.

После полного остывания снимают прессующее приспособление и готовят статор под укладку обмотки.

Из рассмотрения технологии перешихтовки сердечника статора вручную можно заключить, что все ремонтные операции очень трудоемки и могут быть рекомендованы к применению только для электрических машин с длиной сердечника не более 500—600 мм и диаметром не более 2 м, т. е. максимально при трех прессовках и 35—50 технологических шпильках.

Значительно более совершенным и, кроме того, менее трудоемким способом прессовки сердечников, при котором можно достаточно точно контролировать и регулировать величину давления на сердечник, является **прессовка гидравлическими домкратами.** Практически при этом можно создать любое необходимое давление, причем потребность в ручном труде значительно снижается.

Прессовка сердечника гидродомкратами позволяет сократить количество прессовок за счет увеличения давления и значительно уменьшить время самих прессовок.

Однако, как показал опыт работы электромашиностроительных заводов, давление выше 1,8—2,0 МПа применять не имеет смысла, так как усадка сердечника практически прекращается, а под ветреницами могут развиться большие местные давления, что не исключает повреждение лаковой пленки.

При прессовке гидродомкратами при первой прессовке можно взять 12—14 пакетов, применив давление 1,3—1,4 МПа, при последующих прессовках — по 8—10

пакетов со все возрастающим до 1,8—2,0 МПа давлением.

Предельные давления используют при длине сердечника более 3—3,5 м в быстроходных машинах и более 1,5 м в тихоходных.

Указанные давления ориентировочные и не являются обязательными; их следует рассматривать как расчетные, и они могут быть изменены в процессе работ в меньшую сторону, если достигается удовлетворительное качество прессовки при более низких их значениях.

Ниже рассматривается технология полной перешихтовки сердечника статора крупной быстроходной машины с креплением листов активной стали на 12 клиньях «ласточкин хвост» и использованием приспособления для прессовки гидродомкратами. По окружности сердечника укладывается шесть сегментов. Шихтовка выполняется со сдвигом стыков на $^1/_2$ сегмента и стягивается с двух сторон нажимными кольцами, фиксируемыми в станине запорными шпонками. Все размеры сердечника указаны на стр. 57.

Расшихтовку сердечника можно выполнять с любой стороны по описанной выше последовательности операций. На рис. 41 показаны этот сердечник и приспособление в различных стадиях прессовки.

Приспособление состоит из двух фигурных прессующих плит, сваренных из толстолистовой стали: нижней *12* и верхней *2*, которые закрепляют на валу *4* двумя замками — верхним *5* и нижним *13*. Каждый замок представляет собой два массивных полукольца, скрепленных болтами *6*. Плиты *2* и *12* имеют центральные отверстия, через которые проходит вал *4*. Верхняя прессующая плита лежит на стальном прессующем кольце *7*, которое непосредственно передает усилие прессовки от гидродомкратов на сердечник. Четыре гидродомкрата *9* устанавливают на нижнюю прессующую плиту, и при работе они, упираясь в опорное стальное кольцо *8*, опускают вал *4*, плиту *2* и прессующее кольцо *7*. Под гидродомкратами расположены противни *10* для сбора масла, которое, находясь под большим давлением в цилиндрах домкратов, может в небольшом количестве просачиваться через уплотнения.

Для сборки приспособления и перестановки прессующих элементов при различных стадиях прессовки служат винтовые домкраты *14*.

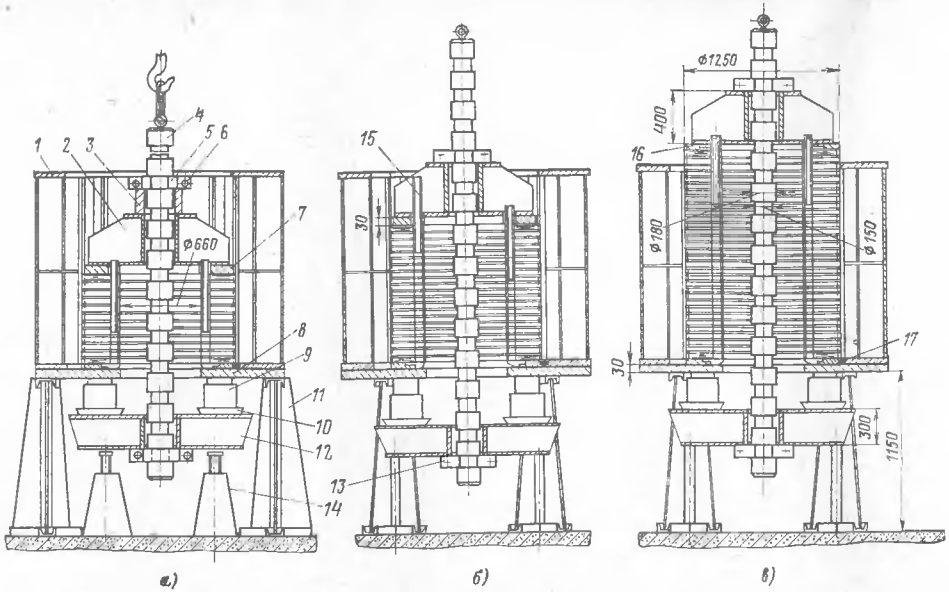


Рис. 41. Установка статора и расположение приспособлений для перешихтовки сердечника с использованием гидродомкратов.

Положение приспособлеиий: *а* — перед первой прессовкой; *б* — после второй прессовки; *в* — перед последней прессовкой.

Перед началом работ определяют количество прессовок в зависимости от длины сердечника. При этом следует учесть, что предпоследняя прессовка должна проходить без одного-двух пакетов, а последняя — со всеми пакетами и нажимным кольцом сердечника без прессующего кольца 7. Это наиболее ответственная прессовка, так как пакеты выступают над сборочными клиньями и фиксируются только сборочными калибрами, а нажимное кольцо при окончании прессовки должно точно занять свое прежнее место в станине.

Показанный на рис. 41 сердечник статора имеет 32 пакета. Если прессовать вначале 12 пакетов, затем 2 раза по 9 пакетов и наконец оставшиеся 2 пакета, то общее количество прессовок составит 4.

Установив количество прессовок, определяют необходимое усилие для каждой прессовки, руководствуясь тем, что первую прессовку производят при давлении 1,3 МПа, а при всех последующих постепенно увеличивают давление на 0,1 МПа, доведя его при последней прессовке до 1,6 МПа. Таким образом, давление при первой прессовке должно быть 1,3 МПа, при второй 1,4 МПа, при третьей 1,5 ПМа и при окончательной 1,6 МПа.

Усилие для каждой прессовки подсчитывается как произведение давления на чистую прессуемую площадь, т. е. на площадь кольца, ограниченную наружным и внутренним диаметрами сердечника, за вычетом площадей, занятых пазами. Разделив это усилие на площадь поршня гидродомкрата и на количество гидродомкратов, определяют необходимое давление масла (МПа), фиксируемое показанием манометра насосной станции гидродомкратов.

Так, например, в рассматриваемом случае при прессуемой площади 8100 см² усилие для первой прессовки составит

$$1{,}3 \cdot \frac{8100}{10^4} = 1{,}053 \text{ МН},$$

а для последней

$$1{,}6 \cdot \frac{8100}{10^4} = 1{,}296 \text{ МН}.$$

При диаметре поршня гидродомкрата 180 мм, т. е. при его площади 254 см², и установке четырех домкра-

тов показания манометра должны быть соответственно

$$\frac{1,053}{254 \cdot 4 \cdot 10^{-4}} = 10,4 \text{ МПа и } \frac{1,296}{254 \cdot 4 \cdot 10^{-4}} = 12,8 \text{ МПа.}$$

Ниже приведены результаты вычислений для всех стадий прессовок:

Данные сердечника статора

Диаметр расточки, см	66,0
Наружный диаметр, см	125,0
Длина, см	150,0
Сумма площадей пазов, см²	725,0
Прессуемая площадь, см²	8100
Число пазов	54
Число пакетов	32
Число вентиляционных каналов	31
Общее число прессовок	4

Первая прессовка

Число прессуемых пакетов	12
Давление, МПа	1,3
Усилие прессовки, МН	1,053
Показание манометра, МПа	10,4

Вторая прессовка

Число прессуемых пакетов	21
Давление, МПа	1,4
Усилие прессовки, МН	1,133
Показание манометра, МПа	11,2

Третья прессовка

Число прессуемых пакетов	30
Давление, МПа	1,5
Усилие прессовки, МН	1,215
Показание манометра, МПа	12,0

Четвертая прессовка

Число прессуемых пакетов	32
Давление, МПа	1,6
Усилие прессовки, МН	1,296
Показание манометра, МПа	12,8

Работы по шихтовке активной стали с помощью гидродомкратов начинают с расстановки симметрично стоек *11* на ровном строго горизонтальном фундаменте. Между стойками устанавливают также симметрично четыре винтовых домкрата *14* и на них помещают прессующую плиту *12*. Ось плиты должна совпадать с осью

расставленных стоек, а горизонтальность ее положения регулируют с помощью винтовых домкратов. Расстояние между плитой и верхом стоек должно быть на 15—20 мм больше высоты гидродомкрата при полностью опущенном в его корпус поршне. Затем устанавливают на прессующую плиту *12* гидродомкраты *9*. Каждый гидродомкрат размещают над ее вертикальным ребром жесткости (прессующая плита выполняется с симметрично расположенными ребрами, число которых в 2 раза больше числа домкратов).

На стойки укладывают опорное кольцо *8*, наружный диаметр которого должен быть не меньше диаметра торцевой стенки станины, а внутренний диаметр на 20 мм меньше диаметра расточки. Ось опорного кольца должна совпадать с осью плиты *12*.

На опорное кольцо *8* устанавливают станину *1*. Если нажимное кольцо статора и торец станины находятся в разных плоскостях, то закладывают между ними кольцевую стальную прокладку соответствующей формы. Точность центровки станины при ее установке контролируют по расточке кольца *8*.

После установки станины приступают к шихтовке первого пакета стали согласно эскизу (карте) шихтовки, составленному при разборке сердечника стали, осаживают сегменты по мере их укладки текстолитовой или деревянной киянкой или стальным молотком через деревянную прокладку, аналогично тому как это выполнялось при ручной прессовке сердечника. Особенно тщательно осаживают места сопряжения сегментов со сборочными клиньями.

При наличии в фирменном исполнении изоляционных прокладок укладывают взамен них асбестовые или стеклотекстолитовые прокладки.

Отрихтовав пазы первого пакета рихтовочным калибром и установив 12 сборочных калибров *15* (из расчета 2 шт. на сегмент), замеряют ширину пакета и при необходимости удаляют лишние сегменты или же укладывают прокладки, добиваясь того, чтобы ширина пакета была такой же, как в заводском исполнении. Аналогичным образом собирают все остальные 12 пакетов сердечника, предназначенные для первой прессовки. При этом подтягивают вверх сборочные калибры, так как высота 12 пакетов превосходит предельную длину сборочных калибров, которые изготовляют длиной не более 500 мм.

Подготовка к прессовке начинается с укладки на активную сталь прессующего кольца *7*. Это кольцо имеет наружный диаметр, равный наружному диаметру сердечника, и в нем сделаны вырезы под все 12 сборочных клиньев. При установке следят, чтобы между вырезами и сборочными клиньями был везде одинаковый зазор 2—3 мм. Внутренний диаметр кольца *7* на 20 мм меньше диаметра расточки (так же, как у кольца *8*), что необходимо для надежного прессования зубцовой зоны активной стали. По внутреннему диаметру кольца сделаны вырезы под все сборочные калибры *15*. Размеры вырезов должны обеспечивать зазор до монтажного калибра 2—3 мм на сторону.

На кольцо *7* укладывают плиту *2*. Эта плита имеет наружный диаметр на 20—25 мм меньше расстояния между двумя противоположно расположенными сборочными клиньями. В нижней части плиты сделаны вырезы (окна) под 12 сборочных калибров с обеспечением зазора 5—6 мм.

Диаметр центрального отверстия прессующих плит *2* и *12* на 10—15 мм больше диаметра вала *4*, чем обеспечивается свободный проход вала через плиты. Затем устанавливают краном вал *4* в расточку статора и фиксируют его сверху и снизу замками *5* и *13*. Замок *13* вставляют в крайнюю проточку вала, а замок *5* — в ближайшую к плите *2*. Слегка приподняв краном прессующую плиту *12* (не более, чем на зазор между гидродомкратами и кольцом *8*, как это указано на рис. 41,*а*), удаляют винтовые домкраты *14* и опускают вал.

Проверив правильность положения всех плит и колец, их соосность относительно сердечника, зазоры между прессующими элементами и сборочными калибрами, включают насосную станцию гидродомкратов. При достижении по показанию манометра необходимого давления выключают насосную станцию и при этом давлении прессуют пакеты сердечника, как указано на рис. 41,*б*, Выдерживают требуемое давление в течение 1—1,5 ч. Если за это время давление масла понизится, то вновь включают насосную станцию гидродомкратов и восстанавливают первоначальное давление.

По окончании выдержки под давлением вытягивают монтажные калибры из пазов при помощи крана на $^2/_3$ их длины и снимают давление гидродомкратов на сердечник статора. Осторожно приподнимают краном вал

4 (все поршни гидродомкратов опускаются при этом в свои корпуса) до первоначального положения плиты *12* и устанавливают под нее винтовые домкраты *14*. Опускают вал, разбирают замки *5* и *13*, после чего вынимают вал из расточки статора, убирают плиту *2* и кольцо *7*.

Аналогичным образом набирают и прессуют все пакеты сердечника. Положение приспособлений после второй прессовки указано на рис. 41,*б*, а перед последней на рис. 41,*в*. Как видно из рисунка, при последней прессовке вместо прессующего кольца *7* устанавливают нажимное кольцо сердечника статора *16*, которое после достижения необходимого усилия прессовки должно занять положение вровень с торцом станины, как при заводском исполнении машины.

Последнюю прессовку выдерживают в течение 6—10 ч, и по ее окончании, не снимая давления, устанавливают запорные шпонки *17* и приваривают их электросваркой. Указанной операцией заканчивается перешихтовка сердечника.

Следует учесть, что совпадение нажимного кольца *16* сердечника с торцом станины может произойти лишь в том случае, если в процессе прессовки контролировалась и при надобности регулировалась высота каждого пакета установкой асбестовых или стеклотекстолитовых прокладок вместо сегментов стали или удалением лишних листов.

При шихтовке сердечника, после того как высота его достигает 1—1,2 м, становится неудобным, стоя на плите *12*, укладывать сегменты. Поэтому в сердечник помещают деревянный круг, который опирается на специальные скобы, закладываемые в радиальные каналы. В зависимости от диаметра расточки количество этих скоб составляет 8—16.

Если расточка статора достаточно велика и позволяет укладывать сегменты, не вынимая вала, то для предотвращения его наклона следует предусмотреть крепление (центровку) вала, например в виде углубления в фундаменте на 200—250 мм.

Как показала практика ремонта, способ прессовки сердечника гидродомкратами освоить нетрудно, а производительность труда не ниже, чем на электромашиностроительном заводе. Приспособление для прессовки несложно и может быть изготовлено на месте ремонта.

Имея сменные кольца *7*, можно охватить этим приспособлением ряд машин несколько различных по диаметру сердечника, а выполнив вал *4* составным (соединение с помощью муфты), можно прессовать сердечники различной длины.

Учитывая, что вал *4* из-за своей массивности является тяжелой и сложной в изготовлении деталью, целесообразно использовать один вал для нескольких машин,

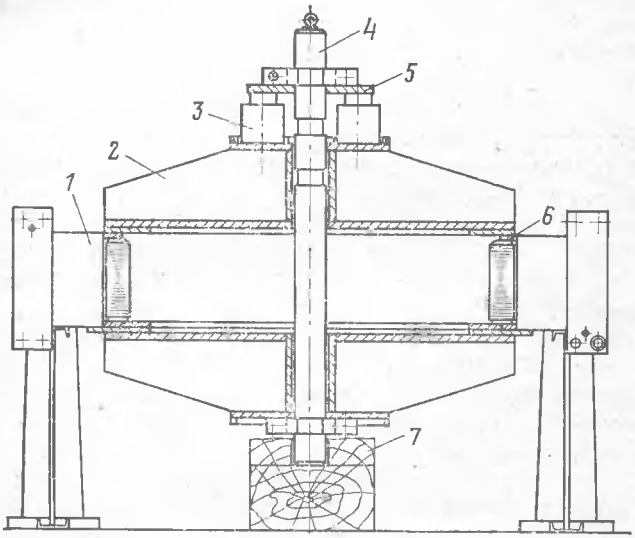


Рис. 42. Прессовка гидравлическими домкратами сердечника статора тихоходной электрической машины.

близких по типу и габаритам. При этом проточки на валу могут не совпадать с требуемыми для прессовки конкретной машины. В этом случае можно прессовать на один пакет больше или меньше, чем это требуется по расчету, или установить промежуточную втулку *3*, как это указано на рис. 41,*а*.

На рис. 42 показана установка приспособления для прессовки сердечника активной стали крупного тихоходного электродвигателя *1*, имеющего большой диаметр расточки и малую длину сердечника.

Применяемое приспособление в основном не отличается от рассмотренного выше для прессовки сердечника

быстроходной машины. Однако в этом случае гидродомкраты *3* размещены на верхней прессующей плите *2*. Вал *4* зафиксирован в центре расточки на брусе *7*.

При опрессовке сердечника поршни гидродомкратов, выдвигаясь из своего корпуса, упираются в кольцо *5*, изготовленное из толстолистовой стали, и верхнюю прессующую плиту *2*. При длине сердечника до 400—500 мм достаточно ограничиться двумя прессовками: первой — без последнего пакета и второй — со всеми пакетами и нажимной шайбой сердечника статора *6*.

При массовых работах по перешихтовке в условиях мастерских целесообразно зафиксировать вал стационарно в бетонном приямке и тем самым отказаться от нижних прессующих элементов.

В приспособлении используются гидравлические домкраты типа ДГ-200м грузоподъемностью 2,0 МН с ходом поршня 155 мм и максимальным рабочим давлением 40,0 МПа. Габаритные размеры домкрата: высота 345 мм, наружный диаметр корпуса 247 мм. Площадь поршня 500 см^2.

Домкраты работают от передвижной насосной станции типа НСП-400м, с рабочим давлением 400 МПа, производительностью 1,6 л/мин с коллектором на шесть отводов. Размеры станции: длина 950 мм, ширина 590 мм, высота 1073 мм.

Разумеется, можно применять и другое гидравлическое оборудование, если оно компактно и обеспечивает с запасом необходимое усилие для прессовки сердечников.

Приспособление с гидродомкратами успешно применяют для перешихтовки не только крупных электродвигателей, но и турбогенераторов с частотами вращения 3000 и 1500 об/мин. Имеется опыт их использования для турбогенераторов мощностью до 100 000 кВт.

При перешихтовке турбогенераторов с частотой вращения 1500 об/мин для более равномерной передачи на сердечник усилия прессовки устанавливают до шести вышеуказанных гидродомкратов.

Перешихтовку гидрогенераторов, как и электродвигателей, с диаметром расточки больше 2,5—3,0 м выполнять с применением такого приспособления нецелесообразно. Конструкция получается громоздкой, металлоемкой, неудобной в работе и не создающей равномерной передачи усилия прессовки.

При перешихтовке гидрогенераторов применяют так называемый кольцевой гидропресс, конструкция которого в основном заимствована у электромашиностроительных заводов.

Как известно, статоры тихоходных машин с вертикальным валом и гидрогенераторов в зависимости от их диаметра выполняют по условиям транспортировки разъемными на несколько частей, называемых секторами.

В условиях завода шихтовка и прессовка каждого сектора производятся отдельно. Прессовку ведут с помощью гидропресса, выполненного по форме шихтуемого сектора. При перешихтовке же гидрогенератора на месте его установки нет надобности в сохранении деления сердечника на секторы. Его шихтуют и прессуют сразу весь в кольцо; для этого выполняют кольцевой гидропресс. Шихтовка сердечника в кольце без стыков придает всему статору повышенную жесткость и несколько уменьшает ток намагничивания за счет ликвидации воздушных зазоров.

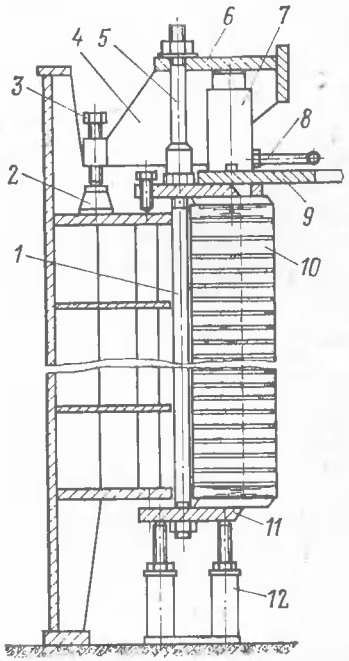


Рис. 43. Прессовка сердечника гидрогенератора кольцевым гидропрессом.

Гидропресс выполняется для гидрогенератора определенного диаметра, поэтому чем больше однотипных машин на электростанции, тем экономичнее его применение. Наиболее же дорогие его элементы — гидродомкраты являются съемными, имеют универсальное применение.

На рис. 43 в разрезе показан гидропресс в момент окончательной запрессовки сердечника *10* гидргенератора. Он состоит из двух колец: нижнего прессующего *9* и верхнего упорного *6*. Между ними устанавливают гид-

родомкраты *7*, число которых равно числу сегментов в слое. К гидродомкратам подводится маслопровод *8*. Верхнее упорное кольцо крепится с помощью колонки *5* к временным технологическим шпилькам *1*. Для компенсации изгибающего момента при работе домкратов у верхнего кольца имеются кронштейны *4* с отжимными болтами *3*, которые упираются в верхнюю полку станины (при последней прессовке—через подставку *2*).

Необходимость в технологических шпильках продиктована тем, что свои стяжные шпильки сердечника коротки и не дают возможности укрепить гидропресс. После окончания прессовки их по очереди заменяют основными рабочими, хотя можно оставить их в качестве рабочих, отрезав выступающие концы.

Для удержания нижних нажимных плит *11* в момент сборки активной стали внизу устанавливают винтовые домкраты *12*.

Если технологические шпильки оставить в качестве рабочих (стяжных) после запрессовки всего сердечника, их можно будет приварить к одной из промежуточных полок и тем самым устранить надобность в винтовых домкратах; шпильки сами будут удерживать нижние нажимные плиты и активную сталь.

Для удобства транспортировки гидропресса от места изготовления до гидрогенератора его делают разъемным на 2—4 части. Части соединяют болтами.

Применение гидропресса позволяет производить первую опрессовку после шихтовки 20—25 пакетов сердечника под давлением 1,8—1,9 МПа. При этом качество прессовки сердечника получается весьма высоким.

Ниже рассматривается частичная перешихтовка одного из сердечников крупного двухъякорного электродвигателя постоянного тока (со способом крепления листов активной стали к остову согласно рис. 29). Оба якоря насажены на общий вал *1*, имеющий со стороны привода полумуфту, выполненную заодно с валом (рис. 44). Сердечник *6* состоит из девяти пакетов шириной по 60 мм, разделенных радиальным каналом шириной 10 мм.

Шихтовка сердечника на остове *2* выполнена по винтовой линии с перекроем на $^1/_2$ сегмента; в окружность уложено 14,5 сегмента; в каждом сегменте 16 пазов. Таким образом, сердечник содержит 232 паза.

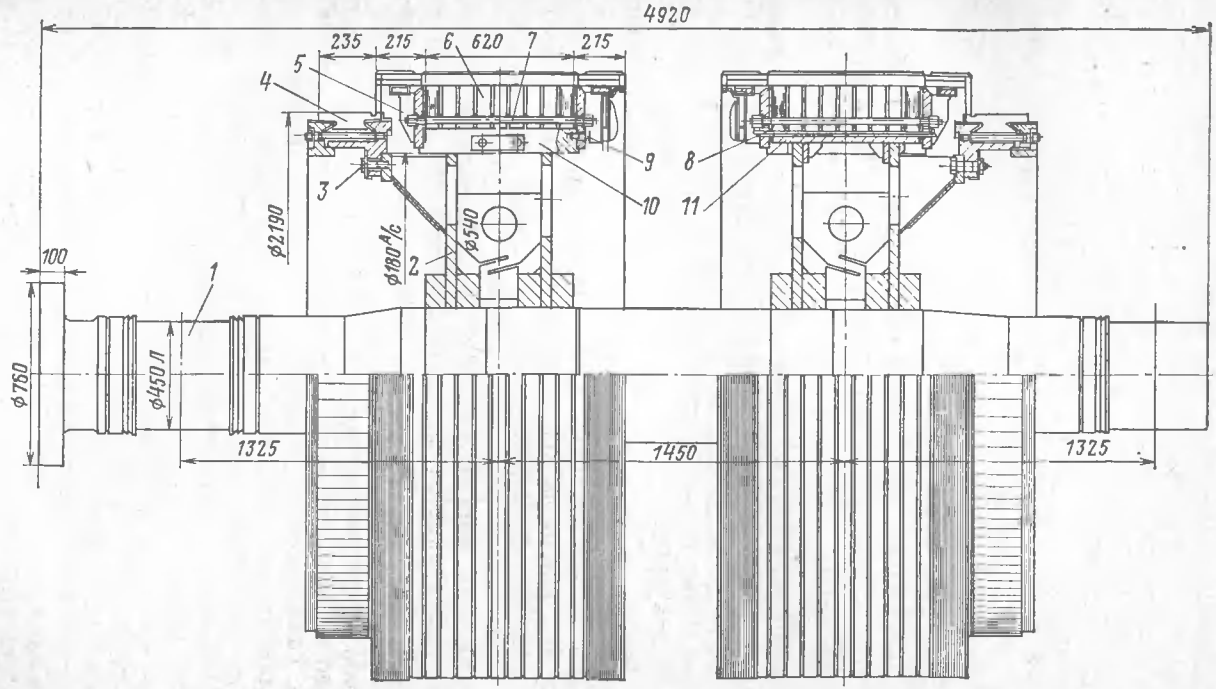


Рис. 44. Общий вид якоря.

Сердечник спрессован нажимными шайбами *5*, выполненными совместно с обмоткодержателями, посредством 58 стяжных шпилек *7*. При шихтовке листы активной стали базируются выступами в виде ласточкина хвоста по 20 обточенным ребрам *10* остова. Крепится сердечник к остову десятью балками *11*, в пазы которых при шихтовке заводят выступы сегментов и куда вбивают клиновые шпонки *8*.

Нажимные шайбы прикреплены к торцу ребер остова пятью болтами *9*. С наружной стороны каждого якоря имеются приваренные к остову через ряд косынок стальные кольца. На каждое обточенное по наружному диаметру кольцо посажена скользящей посадкой втулка коллектора *4*, которая крепится к кольцу десятью болтами *3*.

Повреждение стали произошло в первом якоре из-за виткового замыкания в середине сердечника. В результате аварии выгорела сталь в четырех рядом расположенных пазах на длине трех пакетов: в 3-м, 4-м и 5-м, считая со стороны, противоположной коллектору.

В связи с тем, что изоляция листов активной стали по всему объему сердечника находится в хорошем состоянии, за исключением места повреждения, при ремонте нет нужды выполнять перешихтовку всего сердечника, достаточно ограничиться частичной перешихтовкой. Причем для роторов и якорей, шихтованных сегментами, во многих случаях не обязательно вести расшихтовку пакетов до места повреждения полностью по всей окружности, как это делают при ремонте сердечников статоров. Поврежденная зона становится доступной после выемки тех сегментов, которые находятся вправо и влево от места повреждения до торца сердечника. Таким образом, эти работы можно вести при горизонтальном расположении якоря и тем самым сократить объем такелажных работ.

При прочих равных условиях в целях сокращения общего объема работ расшихтовку ведут от того торца якоря, к которому ближе находится поврежденное место.

Перед началом ремонта для определения количества убираемых на время работ элементов креплений сердечника составляют эскизы шихтовки сегментов *2* — кольцевой и развернутый (рис. 45). Из этих эскизов следует, что для того чтобы расшихтовать часть сердечника и дойти до зоны повреждения, надо убрать 11 шпилек *3* и вынуть

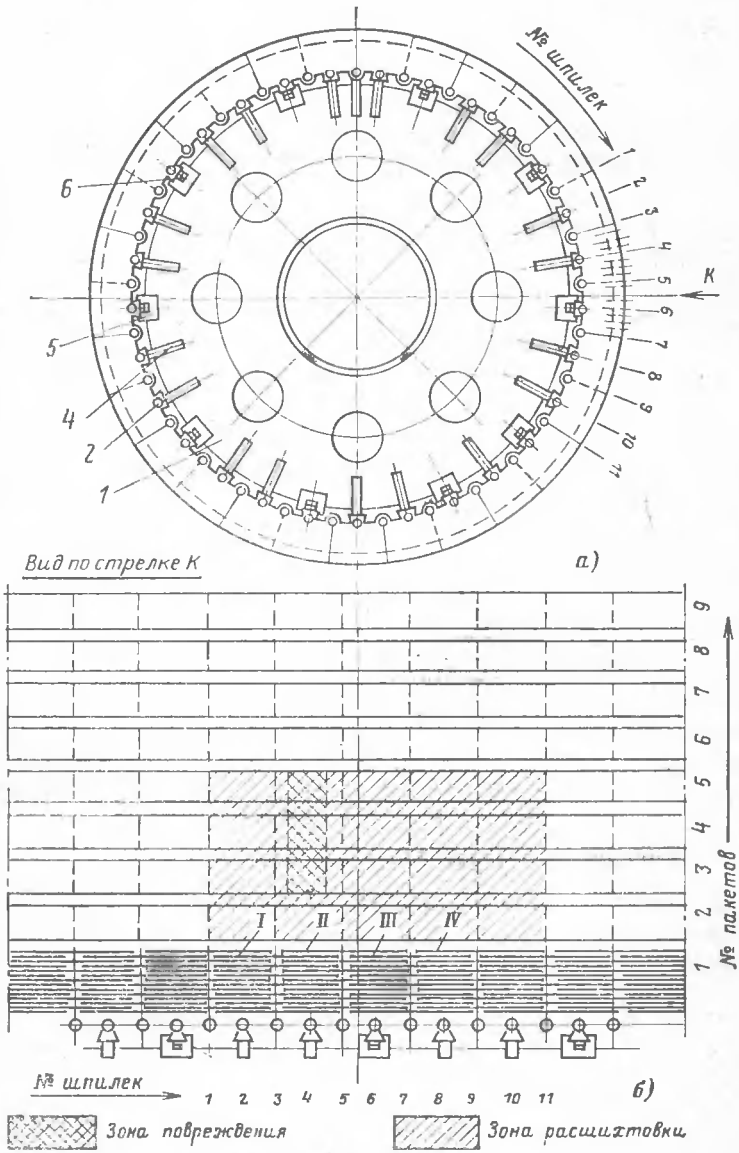


Рис. 45. Эскиз шихтовки сердечника.
а — кольцевой вид; *б* — развертка.

сегменты *I, II, III* и *IV* (на рис. 45, *б* первый условно уширенный пакет). Эти сегменты образуют зону расшихтовки.

Сегменты *I* и *IV* своими двумя выступами «ласточкин хвост» базируются по ребрам *4* остова *1*, их удаляют в радиальном направлении.

Сегменты *II* и *III* одним выступом базируются по ребрам, а другим входят в паз балки *5*; эти сегменты можно удалить только в осевом направлении в сторону расшихтовки после выбивки находящихся в балке под выступами сегментов парных клиновых шпонок *6*. Так как эти сегменты крепятся к одной и той же балке, для расшихтовки сердечника до зоны повреждения достаточно выбить только одну пару клиньев под шпилькой *6*.

Порядок расшихтовки сердечника после размотки якоря следующий. Поворачивают якорь поврежденным на сердечнике местом вверх и освобождают от крепления к остову коллектор с петушками. Отодвигают коллектор возможно дальше по валу. С обратной стороны коллектора освобождают от крепления к торцам ребер остова нажимную шайбу (расшихтовку ведут с этой стороны), отвинчивают гайки со всех стяжных шпилек и отодвигают шайбу в сторону коллектора второго якоря.

Затем вынимают только из зоны расшихтовки в сторону снятого коллектора шпильки с 1-й по 11-ю и выполняют расшихтовку.

Поврежденные сегменты в случае отсутствия запасных ремонтируют, зачищают и лакируют. При шихтовке их равномерно распределяют по всей расшихтованной зоне.

Основной трудностью в обеспечении хорошего качества такого способа ремонта сердечника является его надлежащая прессовка. Для этого применяют малогабаритные винтовые домкраты (в количестве 3—4 на сегмент), которые располагают между поставленной на место после расшихтовки нажимной шайбой и зашихтованным пакетом. Домкраты упираются в активную сталь через стальную прессующую плиту толщиной 10—15 мм, изготовленную по размеру равной длине 1,5 сегмента.

Для прессовки используют также стяжные шпильки 4, 5, 7 и 8 и временные шпильки, вставляемые в зубцовую зону. Прессовку производят после набора половины или не более одного пакета.

Шихтовку сердечника ведут в следующем порядке. Возвращают на место шпильки 1 и 11. Устанавливают в нерасшихтованную часть сердечника сборочные калибры из расчета, чтобы не менее двух калибров приходилось на каждый сегмент. В паз балки устанавливают временную технологическую призматическую шпонку, выполненную по высоте равной клиновой шпонке в сборе минус 0,3—0,5 мм. Затем, аккуратно раздвигая нерасшихтованные листы, устанавливают сегменты *I* и *IV*, надевают их на шпильки 1 и 11 и, заводя в балку «ласточкины хвосты», устанавливают сегменты *II* и *III*.

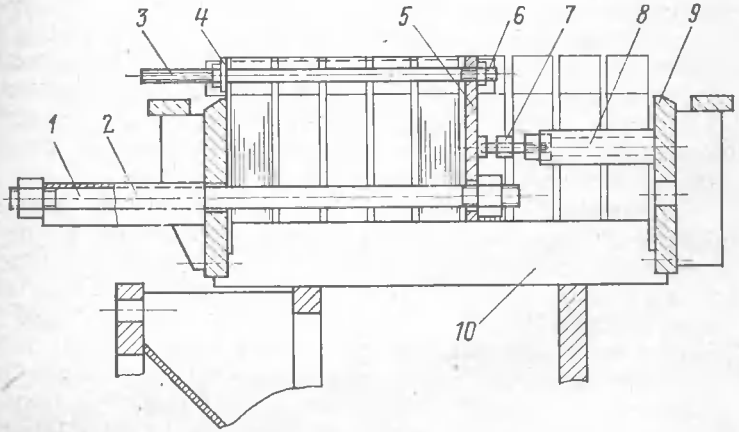


Рис. 46. Прессовка пакета якоря.

В процессе шихтовки сегменты подбивают по радиусу так, чтобы выступы «ласточкин хвост» плотно укладывались на обточенные ребра *10* (рис. 46). По мере набора сегментов вдвигают шпильки 2—10 (см. рис. 45) и сборочные калибры *6* (рис. 46). Пазы выправляют рихтовочным шаблоном.

Набрав первый пакет, устанавливают на место нажимную шайбу *9* сердечника, надевают и затягивают гайки всех шпилек, стягивающих сердечник, кроме шпилек зоны расшихтовки; устанавливают прессующую плиту *5* и пропускают через нее стяжные шпильки *1* зоны расшихтовки и временные шпильки *3* зубцовой зоны. В плите для этого выполняют соответствующие отверстия. На шпильки навинчивают гайки. Со стороны коллектора на стяжные шпильки зоны расшихтовки надевают разрезные упоры *2*, длина которых рассчиты-

вается в зависимости от длины прессуемого участка, а на временные шпильки зубцовой зоны надевают упорные шайбы *4*. Опрессовывают первый сшихтованный участок затягиванием гаек стяжных шпилек и шпилек зубцовой зоны.

После достижения максимальной плотности прессовки устанавливают винтовые домкраты *7* с удлинителями *8* и опять как можно больше подпрессовывают ими сшихтованный участок.

Затем разбирают прессующие элементы и шихтуют очередной пакет.

Нажимную шайбу сердечника при шихтовке последующих пакетов во многих случаях можно не снимать, так как для установки сегментов *II* и *III* (см. рис. 45) можно использовать зазор между шайбой и балкой, позволяющий заводить в балку выступы сегментов «ласточкин хвост». При шихтовке последнего пакета нажимную шайбу опять приходится снимать, иначе невозможно уложить в пакет все листы стали.

Прессовку каждого последующего пакета, кроме последнего, производят аналогично прессовке первого, заменяя более короткими удлинители винтовых домкратов и разрезные упоры на стяжных шпильках. Прессовку последнего пакета производят нажимной шайбой сердечника и временными шпильками зубцовой зоны.

После затяжки гаек всех шпилек сердечника вместо временной призматической шпонки забивают в балку клиновые шпонки. Затем разогревают сердечник приблизительно до 100 °С (можно способом индукционных потерь) и добивают эти клинья до отказа. Вновь подтягивают гайки всех шпилек и, остудив сердечник, проверяют пазы контрольным шаблоном. При необходимости производят дорновку пазов.

7. ПЕРЕИЗОЛИРОВКА ЛИСТОВ АКТИВНОЙ СТАЛИ

Ниже приводятся рекомендации по изолировке листов сердечника, которые следует рассматривать как общие, подлежащие уточнению в каждом отдельном случае.

В процессе расшихтовки сердечника каждый сегмент или лист протирают тряпкой и проверяют на отсутствие заусенцев и повреждений. Обнаруженные заусенцы снимают шлифовальным кругом или напильником, а листы, имеющие повреждения — отгоревшие или отло-

манные зубцы, складывают отдельно, с тем чтобы после исправления и изолировки равномерно распределить их по сердечнику.

Погнутые при расшихтовке листы следует отрихтовать текстолитовым или деревянным молотком (киянкой) на стальной плите.

Очищают листы стали от старой изоляции. Лаковую изоляцию снимают механическим способом — стальными щетками, кардолентой, пескоструйным аппаратом или же химическим способом — погружением в ванну с 10%-ным раствором едкого натра или 15%-ным раствором тринатрийфосфата, подогретого до 50 °С. Для листов толщиной 0,5 мм количество раствора едкого натра составляют из расчета 1 л на 2 кг стали, а раствора тринатрийфосфата — 1 л на 0,6 кг стали.

В связи с большой токсичностью едкого натра и тринатрийфосфата растворяют их в воде с осторожностью: в резиновых перчатках, фартуках, закрытой обуви и защитных очках. Едкий натр или тринатрийфосфат вводят небольшими порциями в воду, перемешивая ее без образования брызг.

Листы, подлежащие очистке от изоляции, складывают в контейнеры, погружают в ванну с раствором и выдерживают в ней до полного распада лаковой пленки. Время выдержки определяют по опытным образцам. Затем переносят контейнеры в ванну для промывки в проточной воде, подогретой до 70—80 °С, промывают их и, вынув, сушат до полного удаления влаги.

Очистку листов стали от бумажной изоляции производят в ванне с горячей водой, выдерживая их в ней до удаления бумаги и клея.

Во избежание коррозирования очищенные от изоляции листы немедленно лакируют.

Переизолировку листов, имевших в заводском исполнении бумажную изоляцию, производят лаком. Как было указано, для изолировки применяют электроизоляционный лак № 202 (ВТУ МЭП 766-51) или лак КФ-965 (б. 302, ГОСТ 15030-69) быстрой горячей огневой сушки, образующий эластичную, механически прочную водо- и маслостойкую пленку светло-коричневого цвета с высокой адгезией со сталью и обладающую высоким электрическим сопротивлением.

Вязкость лаков по НИИЛК-7 при 20° С 18 с. Их растворителями служат керосин, уайт-спирит, скипидар.

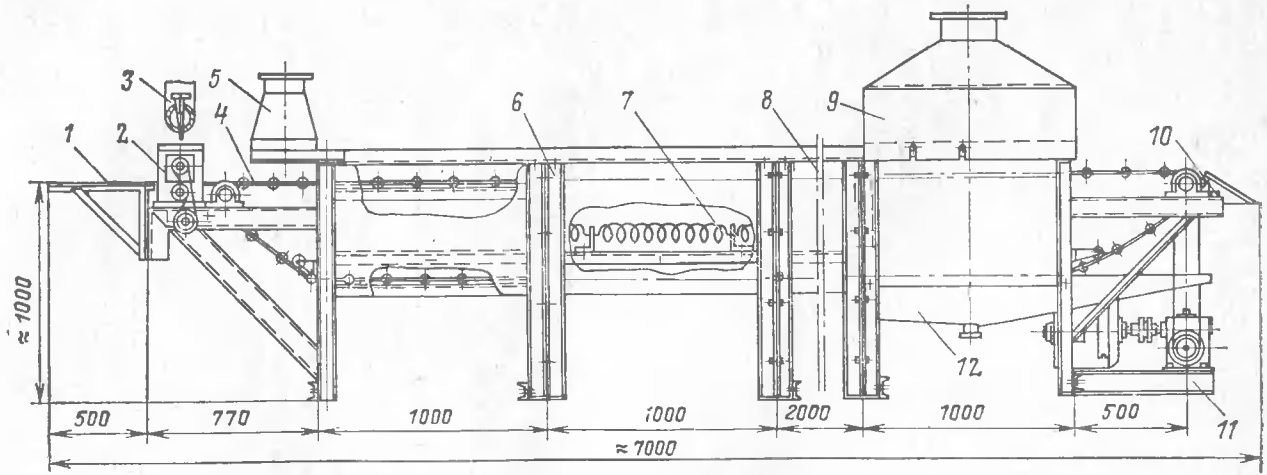


Рис. 47. Лак-машина.

Сушку производят при температуре 450—550 °С. Продолжительность сушки определяют по опытным образцам; при снижении температуры увеличивают продолжительность сушки.

На рис. 47 представлена переносная установка для лакировки листов с размерами до 0,5×850×1000 мм (разборный вариант), предназначенная для перевозки ее на производственные участки по ремонту электрических машин.

Установка (лак-машина) содержит:

остов *6*, выполненный из пяти сблоченных секций, обшитых со всех сторон стальными листами, образующих короб — сушильную камеру *8*, которую утепляют имеющимся на месте теплоизолирующим материалом;

цепную подвижную решетку *4*, состоящую из двух кольцевых цепей типа ПР25,5-5000 (ГОСТ 10947-61) и поперечных круглых стержней, расположенных с шагом 127 мм;

узел *11*, являющийся приводом цепной решетки и состоящий из асинхронного двигателя 2,8 кВт и червячного редуктора, соединенного с решеткой роликовой цепью;

электронагревательные элементы *7* из жаропрочной нихромовой проволоки марки Х15 Н-60 диаметром 4,36 мм, размещенные в первых четырех секциях, рассчитанные на напряжение 380 В; в каждой секции элементы соединены треугольником, потребляют мощность 40 кВт, что обеспечивает температуру в сушильной камере около 450 °С;

стол-приемник *1*, установленный перед первой секцией, на котором подготавливают листы стали под изолировку, и стойки *2* с двумя прилегающими один к другому обрезиненными валками, вращающимися во время работы лак-машины в противоположные стороны; нижний валок смачивается лаком из ванны, расположенной под этим валком, а верхний — через разбрызгиватель *3*, состоящий из трубы, заполненной лаком, и равномерно размещенных по ее длине кранов с игольчатыми регуляторами подачи лака; валки приводятся во вращение роликовой цепью, соединяющей их с крайней осью цепной решетки (на рис. 47 не показана);

водяной душ, расположенный в последней секции, подача воды в которой регулируется специальными вентилями; в этой же секции находится наклонный лоток *10*,

по которому изолированные и высушенные листы соскальзывают в сборник;

короба *5* и *9* в начале и конце сушильной камеры предназначенные для отсоса летучих, содержащихся в лаке, и водяных паров;

сборник *12*, помещенный в нижней части лак-машины, куда стекают излишки лака, отводимые по мере накопления в специальную емкость.

Листы , подлежащие изолировке, проходят через валки, где они с двух сторон покрываются лаком, попадают на решетку, движущуюся со скоростью 4 м/мин, проходят сушильную камеру, в которой все летучие, содержащиеся в лаке, испаряются (лак запекается), орошаются водой для охлаждения и попадают в наклонный лоток.

Наладка лак-машины заключается в регулировке подачи лака и воды и подборе температуры нагрева. В некоторых случаях корректируют также скорость движения решетки.

Для крупных и быстроходных электрических машин, характеризуемых большой высотой спинки сердечника, листы стали лакируют двукратно. Толщину наносимого слоя лака подбирают опытным путем; после запечки односторонняя толщина лаковой пленки должна быть в пределах 0,015—0,02 мм и во всяком случае близкой к толщине слоя в заводском исполнении. Определение толщины слоя производят измерением пакета листов стали до лакирования и после.

Если измерение пакета листов производят гидравлическим приспособлением (см. рис. 39), то удельное давление должно составлять 1,2—1,3 МПа.

Следует заметить, что на заводе-изготовителе листы стали проходят через гратоснимательный станок и в зубцовой зоне может иметь место утоньшение листа по сравнению с его толщиной со стороны спинки.

Изолированные листы активной стали могут быть неравномерными по толщине, что вызывается отклонениями в толщине материала, составляющими для горячекатаных сталей $\pm 10\%$, а для холоднокатаных $\pm 8\%$. Кроме указанных причин, неравномерность толщины изолированных листов вызывается также тем, что в процессе лакирования лаковая пленка в зубцовой зоне получается тоньше, чем на спинке. Это объясняется тем, что выгорание разбавителя лака в меньших сечениях листа происходит более интенсивно.

В результате разнотолщинности листа при сборке сердечника ширина пакетов в зубцовой зоне получается меньшей, чем на спинке. В среднем для пакета высотой 45—50 мм разность составляет 0,5—1,0 мм. Для устранения этой разности в процессе шихтовки зубцы подмазывают лаком воздушной сушки или устанавливают в зубцовой зоне прокладки из стеклотекстолита, вырезанные по форме зубцовой зоны сегмента. Подмазке подвергают 40—50% листов.

Изменяя вязкость лака, температуру и продолжительность запечки, обеспечивают, чтобы лаковая пленка была гладкой, без пузырей и наплывов, нужной толщины и чтобы сопротивление изоляции при прохождении постоянного тока 0,1 А через пачку из 20 листов площадью 1 дм², сжатых с силой 0,6 МПа, было не менее 50 Ом при однократном покрытии и 100 Ом при двукратном.

8. ИСПЫТАНИЕ АКТИВНОЙ СТАЛИ

Испытание активной стали на отсутствие замыкания между листами и определение при этом испытании удельных потерь в стали от вихревых токов и перемагничивания являются одними из главных способов определения состояния межлистовой изоляции. Испытания до ремонта и после позволяют оценить эффективность произведенных работ.

Испытание производят при возбуждении в спинке сердечника магнитной индукции 1 Т или близкой к ней величине при частоте переменного тока 50 Гц. Возбуждение магнитного потока производится пропусканием тока через намагничивающую обмотку *1*, показанную на рис. 48 схемы испытания.

Сердечник статора испытывают при разобранной машине. Испытание сердечника ротора или якоря можно производить, если их кон-

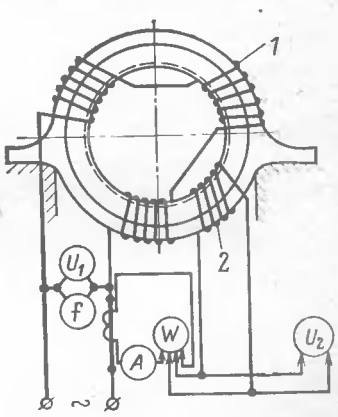


Рис. 48 Схема испытания активной стали

струкция позволяет намотать намагничивающую обмотку.

Намагничивающую обмотку накладывают равномерно по окружности сердечника статора или ротора и выполняют медным или алюминиевым монтажным проводом без металлической защитной оболочки. Допускается применение обмоточного провода, дополнительно изолированного хлопчатобумажной или стеклянной лентой, пропитанной в лаке. Во избежание повреждения изоляции провода обмотку наматывают на прокладки из дерева или электрокартона.

Допускаемые нагрузки провода намагничивающей обмотки составляют:

Сечение провода, мм²	6	10	16	25	35	50	70
Допускаемая нагрузка, А . . .	30	45	60	85	105	130	170

Для обеспечения формы кривой напряжения, наиболее близкой к синусоидальной, рекомендуется питать намагничивающую обмотку линейным (а не фазным) напряжением. Обмотку к источнику питания присоединяют через отдельные предохранители и двухполюсный рубильник, выбираемые по току, потребляемому намагничивающей обмоткой.

Для контроля параметров при испытании служит контрольная обмотка *2*, включение которой также показано на рис. 48.

Все измерительные приборы, применяемые в схеме испытания, должны быть класса не ниже 0,5.

При установке термометров и термопар принимают меры для увеличения точности измерения температуры: применяют только точные(прецизионные) термометры; завертывают шарик термометра в алюминиевую фольгу (для увеличения поверхности соприкосновения со сталью); по возможности плотно прижимают шарик к стали и защищают его от охлаждения теплоизоляционным материалом. Термопары предварительно тщательно градуируют. Горячий и холодный спаи термопар также защищают от охлаждения теплоизоляционным материалом и обеспечивают плотный контакт горячего спая термопары с поверхностью в точке измерения температуры.

Следует учитывать, что при включении напряжения для питания намагничивающей обмотки как сердечник, так и сама схема питания могут оказаться под опасным потенциалом и прикасаться к ним нельзя. Поэтому, по-

мимо заземления корпуса машины, принимают все меры безопасности. В частности, место испытания ограждают и устанавливают предостерегающие плакаты.

На столе, на котором установлены измерительные приборы, категорически запрещается размещать узлы схемы питания (рубильник, предохранители и т. д.) во избежание случайного к ним прикосновения. После выключения напряжения намагничивающую обмотку разряжают кратковременным соединением с землей.

Для сердечников статоров с диаметром расточки меньше 3000 мм и сердечников роторов с наружным диаметром менее 3000 мм расчетное число витков намагничивающей обмотки определяется по формуле

$$w'_1 = \frac{U_1}{U_0}, \qquad (1)$$

где U_1 — напряжение, подключаемое к выводам намагничивающей обмотки, В;

U_0 — напряжение на каждом витке намагничивающей обмотки, необходимое для возбуждения в сердечнике индукции 1 Т, В:

$$U_0 = \frac{Q}{45}, \qquad (2)$$

где Q — поперечное сечение спинки сердечника, см^2:

$$Q = (l - nb) h_{сп} k_{ст}, \qquad (3)$$

где $h_{сп}$ — высота спинки сердечника, см:

$$h_{сп} = \frac{D_н - D_в}{2} - h_{зуб} - d_{отв};$$

l — полная длина сердечника, см; n — число вентиляционных каналов; b — ширина вентиляционного канала, см; $k_{ст}$ — коэффициент заполнения сердечника сталью согласно данным, приведенным в § 2; $d_{отв}$ — диаметр отверстия для стяжных болтов (если они предусмотрены конструкцией и проходят через спинку сердечника), см; $D_н$ — внешний диаметр сердечника, см; $D_в$ — внутренний диаметр сердечника, см; $h_{зуб}$ — высота зубца, см.

Если число витков w_1', вычисленное по формуле (1), окажется дробным, его округляют до ближайшего целого числа витков w_1. Вследствие этого величина индукции в сердечнике стали будет отличаться от расчетной 1 Т и определяется по формуле, Т:

$$B = \frac{w'_1}{w_1}. \qquad (4)$$

При выборе напряжения источника питания следует учитывать, что чем выше напряжение источника питания, тем выше будет величина w_1'. Тем самым относительно меньше будет отличаться w_1 от w'_1, а величина индукции в сердечнике будет меньше отличаться от расчетной величины.

Ток, потребляемый намагничивающей обмоткой для возбуждения в спинке магнитного потока, соответствующего расчету по формуле (4), определяется по формуле, А:

$$I_1 = \frac{3{,}3\,(D_н - h_{сп})\,Aw_0 w'_1}{w_1}, \qquad (5)$$

где Aw_0 — удельная н. с., равная 2—2,5 А для повышенно-легированной и высоколегированной стали и 4,5—5 А для слаболегированной и среднелегированной стали.

Бо́льшие значения удельной н. с. относятся к статорам с числом сегментов в слое более 4 и разъемным статорам.

При отсутствии данных о марке стали руководствуются следующим: статоры машин мощностью до 10 000 кВт выпуска до 1932 г. изготовлялись из слаболегированной стали; начиная с 1932 г., статоры всех крупных машин изготовляются из высоколегированной стали.

Мощность (кажущаяся), необходимая для питания намагничивающей обмотки при испытании, определяется по формуле, кВ·А:

$$P_{исп} = \frac{I_1 U_1}{1\,000}. \qquad (6)$$

Контрольную обмотку можно устанавливать в любом удобном месте на окружности статора. Число витков контрольной обмотки w_2 определяется из соотношения

$$w_2 = w_1 \frac{U_2}{U_1}, \qquad (7)$$

где U_2 — расчетное напряжение на зажимах контрольной обмотки, выбираемое из условия удобного отсчета показаний по шкале имеющегося вольтметра.

Перед началом испытания производят пробное включение намагничивающей обмотки и проверяют напряжение на зажимах контрольной обмотки, которое не должно заметно отличаться от расчетной величины U_2. При значительном расхождении проверяют расчет и вводят необходимые коррективы в число витков намагничивающей или контрольной обмотки. Также необходимо,

чтобы при испытании частота тока в сети была стабильной, приблизительно равной 50 Гц. В случае невозможности обеспечить эти условия испытание переносят на другое более благоприятное время (в ночное время, выходные дни и т. д.).

Испытание проводят по следующей программе:

1. По истечении 10 мин после начала испытания выключают напряжение питания намагничивающей обмотки, на ощупь проверяют нагрев стали по всей расточке статора, выбирают наиболее холодный зубец и закладывают в него термопары или термометры.

2. Включают напряжение, через 10 мин выключают его и на ощупь отыскивают зубцы, имеющие повышенный нагрев. В эти зубцы также закладывают термопары или термометры. В участки активной стали, подвергавшиеся ремонту, также закладывают термопары или термометры.

3. Включают напряжение и в течение 90 мин прогревают сталь сердечника. Во время прогрева через интервалы в 10 мин записывают в журнале показания всех приборов, термопар и термометров.

Испытание немедленно прекращают и отключают намагничивающую обмотку, если температура какой-либо точки активной стали достигла 100°С, а также при возникновении искр или появлении дыма из какого-либо участка активной стали или обмотки.

Активная сталь считается выдержавшей испытания, если:

1) по истечении 90 мин после начала испытаний превышение температуры наиболее нагретой точки над температурой окружающей среды, приведенное к индукции 1 Т, не превосходит 45°С; приведение производится по формуле

$$\tau_1 = \tau \left(\frac{w_1}{w'_1}\right)^2,$$

где τ — измеренный перегрев;

2) максимальная разность между превышениями температур отдельных зубцов, приведенная к индукции 1 Т, по истечении 90 мин после начала испытаний не превосходит 25°С; приведение должно производиться по формуле

$$\Delta\tau_1 = \Delta\tau \left(\frac{w_1}{w'_1}\right)^2,$$

где $\Delta\tau$ — измеренная максимальная разность превышений температур;

3) удельные потери, приведенные к индукции 1 Т, не превосходят 2,5 Вт/кг для повышеннолегированной и высоколегированной стали и 5,5 Вт/кг для слаболегированной и среднелегированной стали.

Величину удельных потерь определяют по формуле, Вт/кг,

$$P_0 = \frac{40k_{тр}\frac{w_1}{w_2}p_в}{Q(D_н - h_{сп})}, \quad (8)$$

где $p_в$ — показание ваттметра, Вт (без учета коэффициента трансформации); $k_{тр}$ — коэффициент трансформации трансформатора тока.

Приведение измеренных удельных потерь к индукции 1 Т производится по формуле

$$P_{01} = P\left(\frac{w_1}{w'_2}\right)^2. \quad (9)$$

При испытании сердечников статоров с диаметром расточки более 3000 мм, а также сердечников роторов с наружным диаметром более 3000 мм наблюдается вытеснение части магнитного потока к основанию зубцов, что эквивалентно увеличению сечения спинки и соответствующему уменьшению индукции против расчетного значения. Вызванные этим погрешности можно устранить некоторым уменьшением числа витков намагничивающей обмотки, однако это целесообразно только в том случае, если достоверно известны марка стали и кривая намагничивания этой стали. В этом случае для уточнения числа витков намагничивающей обмотки следует:

принять предварительное значение кажущегося коэффициента увеличения сечения спинки

$$k_у = 0{,}5\left(1 + \frac{h_{зуб}}{h_{сп}}\right); \quad (10)$$

подсчитать кажущееся сечение спинки

$$Q_к = k_у Q, \quad (11)$$

где Q — расчетное сечение спинки по формуле (3);

определить величину

$$U_{оу} = \frac{Q_к}{45}; \quad (12)$$

определить число

$$w'_1 = \frac{U_1}{U_{0y}}$$

и округлить его до ближайшего целого числа w_1;

определить число витков контрольной обмотки по формуле (7).

Далее наматывают намагничивающую и контрольную обмотки, собирают схему испытания и производят пробное включение схемы.

При пробном включении измеряют (для контроля) величину напряжения питания U_1 и ток I_1 в цепи намагничивающей обмотки.

Ток I_1 сравнивают с величиной, подсчитанной по формуле (5), в которую вместо Aw_0 подставляют действительное значение н. с. при $B = w'_1/w_1$ по кривой намагничивания данного сорта стали.

Если расхождение между измеренным и рассчитанным токами намагничивающей обмотки находится в пределах $\pm 2{,}5\%$, то дальнейшее проведение испытаний и подсчеты должны производиться по формулам (6), (8) и (9). Если расхождение между током I_1, измеренным при пробном включении, и током, вычисленным по формуле (5), превышает $\pm 2{,}5\%$, число витков намагничивающей обмотки следует несколько увеличить (когда измеренный ток больше расчетного) или уменьшить (когда он меньше расчетного) таким образом, чтобы свести расхождение к минимуму. В этом случае при подсчете по формуле (8) и определении превышений температур и разности превышений температур приведение к индукции 1 Т не производят.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бокман Г. А., Пузевский И. С.** Конструкция и технология производства электрических машин и аппаратов. М., «Высшая школа», 1972, 344 с.

2. **Зунделевич М. И.** Технология производства крупных гидрогенераторов. М., Госэнергоиздат, 1961, 284 с.

3. **Маршак Е. Л.** Ремонт и модернизация асинхронных двигателей. М., «Энергия», 1972, 280 с.

4. **Осьмаков А. А.** Технология и оборудование производства электрических машин. М., «Высшая школа», 1971, 343 с.

5. **Сергеев П. С., Виноградов Н. В., Горяинов Ф. А.** Проектирование электрических машин. М., «Энергия», 1969, 632 с.

Цена 17 коп.