

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАГНИТОПРОВОДА СТАТОРА АВИАЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ИЗ ЖЕЛЕЗОКОБАЛЬТОВЫХ СПЛАВОВ

Шарабан Ю.В.

Государственное предприятие "Харьковское агрегатное конструкторское бюро"

Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская, 132, ГП "ХАКБ"

тел. (057) 707-02-71, факс (057) 707-02-73, e-mail: khadb@ukr.net

Наведено опис технології виготовлення магнітопровода статора авіаційних електродвигунів зі сплавів з високою індукцією насичення.

Приведено описання технології виготовлення магнітопровода статора авіаційних електродвигателів из сплавов с високою індукцією насичення.

К авиационным электрическим машинам предъявляются более высокие требования, чем к общепромышленным. Основными требованиями являются [1]: надежность и безотказность, минимальные габариты и масса, высокая прочность и стойкость, независимость работы от изменяющихся внешних воздействующих факторов и положения в пространстве и т.п.

Оптимально спроектированная электрическая машина будет удовлетворять необходимым требованиям при условии правильного изготовления ее узлов и сборки.

Перспективным направлением в авиационном электромашиностроении является применение для изготовления магнитопроводов сталей с высокой индукцией насыщения, например, железокобальтовых сталей типа 27 КХ и 49К2ФА. Эти стали позволили поднять средний уровень индукций в магнитопроводах до 2,2Тл при приемлемом уровне удельных потерь, в результате чего уменьшились габариты и масса электрических машин. Однако внедрение этих сталей сопряжено с целым рядом трудностей, основной из которых является высокая чувствительность кобальтовых сплавов к механическим воздействиям (удары, сжатие, механическая обработка). Допустимая величина удельного давления на материал, которая еще не приводит к значительному снижению магнитных свойств, составляет примерно 196-392 кПа (2-4 кг/см²) [2]. Указанное ограничение заставляет разрабатывать новые технологии изготовления магнитопроводов из кобальтовых сплавов. Этот вопрос в литературе освещен недостаточно, информации о применении в Украине указанных сплавов для электродвигателей не найдено.

Целью настоящей работы является разработка технологии изготовления магнитопровода статора из железокобальтовых сплавов для электродвигателей авиационных агрегатов, которая обеспечивает получение и сохранение максимально возможных магнитных свойств магнитопровода и является оптимальной для мелкосерийного производства электрических машин.

Большинство магнитопроводов выполняют шихтованными из штампованных листов. В зависимости от вида производства (опытное, мелкосерийное, серийное) применяют пазовую, раздельную или компа-

ундную штамповку.

В настоящее время промышленностью выпускается лента из стали 49К2ФА толщиной 0,2 мм, которая имеет ширину 135 мм.

В мелкосерийном производстве она предварительно разрезается на квадраты и штампуется пазовым штампом на пазовом прессе.

Качество вырубki зависит от заточки штампа и величины зазора между пуансоном и матрицей. Для указанной стали этот зазор должен быть от 5 до 20 мкм [3], пуансон должен углубляться в матрицу при штамповке не более чем на 1,5 толщины штампуемого листа.

При появлении заусенцев, которые замыкают листы между собой и приводят к повышению потерь в стали, вводится дополнительная операция по их снятию на гратосъемных станках (рис. 1)

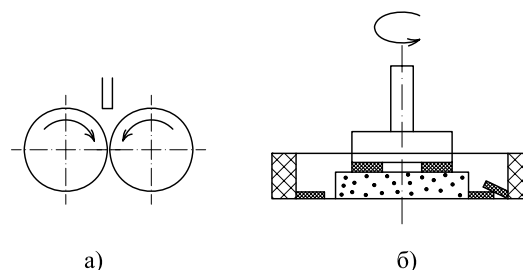


Рис. 1. Схема снятия заусенцев: а) шлифование периферией круга; б) зачистка торцом круга.

Так как магнитные свойства кобальтовых сплавов обладают повышенной чувствительностью к механическим воздействиям [4] и снижаются при любых видах деформаций, перед сборкой магнитопроводов листы подвергаются термообработке в магнитном поле. Термагнитная обработка способствует улучшению магнитных свойств [5] (возрастанию магнитной индукции и магнитной проницаемости, снижению коэрцитивной силы и удельных потерь) магнитопроводов за счет создания в сплаве магнитной текстуры в заданном направлении, которая соответствует направлению магнитного потока в магнитопроводе в рабочем режиме. Магнитные параметры сплава 49К2ФА при термообработке в магнитном поле и без него приведены в табл. 1.

Таблица 1

Марка сплава	Толщина, мм	Способ термообработки	Магн. индукция, В, Тл при напряженности поля Н, А/м			Коэрцитивная сила, Н _с , А/м	Удельные потери, Р, Вт/кг	
			В ₄₀₀	В ₁₀₀₀	В ₂₅₀₀		Р _{1,8/400}	Р _{2/400}
49К2ФА	0,2	ТО	1,85-1,96	2,08-2,15	2,2-2,24	40-45	32-39	48-55
		ТММО	2,06-2,17	2,16-2,24	2,26-2,36	18-27	21-30	28-39

ТО – термообработка по ГОСТ 10160-75;

ТММО – термомангнитно-механическая обработка.

Вместе с листами на термообработку поступают контрольные образцы-свидетели, изготовленные из материала той же плавки или партии. Перед началом термообработки листы и образцы обезжиривают и во избежание спекания при отжиге пересыпают окисью алюминия (глиноземом).

Кобальтовые сплавы являются анизотропными, в процессе термообработки структурные изменения материала приводят к изменению геометрических размеров листа (увеличению внутреннего диаметра и появлению эллиптичности). Эти отклонения можно устранить в дальнейшем механической обработкой собранного пакета, но при этом ухудшаются магнитные свойства материала. Поэтому гораздо эффективнее производить отжиг листов в приспособлении (рис. 2) на калибрующих термооправках, которые при правильном их расчете за счет расширения при нагреве обеспечивают требуемые размеры, калибруют листы по внутреннему диаметру и исключают последующую механическую обработку магнитопровода. Термооправка 1 изготовлена из немагнитной стали 12Х18Н10Т, устанавливается на основание 2 с теплоизолятором 3; листы 7 шихтуются по внутреннему диаметру и прижимаются грузами 4, которые поджимаются кронштейном 5 с помощью клиньев 6. Усилие сжатия деталей при этом должно быть не более 294-392 кПа (3-4 кг/см²). Рабочий диаметр термооправки определяется по формуле:

$$D = \frac{d \cdot (1 + \alpha \cdot T)}{1 + \alpha_1 \cdot T}, \text{ мм},$$

где d – внутренний диаметр листов, мм; α – коэффициент линейного расширения материала листов при температуре термообработки, 1/°С; α_1 – коэффициент линейного расширения материала оправки в интервале температур термообработки, 1/°С; T – температура термообработки, °С.

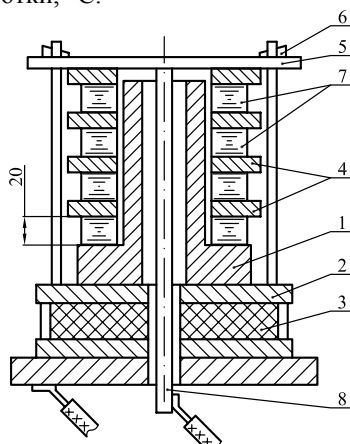


Рис. 2. Приспособление для отжига

Термооправка подлежит перепроверке после 30 циклов термообработки.

Перед началом отжига в вакуумных печах проверяется натекание. При этом при достижении остаточного давления в печи не более 0,133Па (1·10⁻³ мм рт. ст.) перекрывается кран; работу в печи разрешается производить в том случае, если в течение 30 минут остаточное давление в ней будет не более 0,8 Па (6·10⁻³ мм рт. ст.)

Отжиг листов производится в печи типа СЭВ-3,3 в вакууме с остаточным давлением не более 0,133Па (1·10⁻³ мм рт. ст.) по следующему режиму: нагрев со скоростью 300-500°С/ч до температуры (820±20)°С, выдержка 3-5 часов, затем охлаждение в магнитном поле со скоростью 300-600°С/ч до 400°С, далее произвольно в вакууме до температуры 150°С.

Продольное магнитное поле включается за 15 минут до окончания изотермической выдержки в печи и поддерживается до момента охлаждения печи до температуры 300°С. Оно создается током, протекающим по стержню 8 приспособления (рис. 2), который рассчитывается по формуле [6]:

$$I = \pi \cdot H \cdot D_{\text{ср}}, \text{ А},$$

где H = (1200-1600) А/м – напряженность магнитного поля; $D_{\text{ср}}$ – средний диаметр листов магнитопровода, м.

При выявлении в процессе контроля несоответствия магнитных свойств материала установленным требованиям, допускается повторная термообработка.

После отжига в вакууме листов магнитопроводов производится их термовоздушная оксидация. Листы обезжириваются, помещаются в печь с песчаным затвором, выдерживаются при температуре 440-460°С в течение 40 минут и охлаждаются непосредственно на воздухе. Такой экспериментально подобранный режим обеспечивает получение довольно эластичной окисной пленки толщиной около 5 мкм.

Поскольку при сборке сердечников недопустимо применять механические удары, рихтовку, стягивание и сварку, то практически единственным способом сборки магнитопровода статора является его склейка. На предварительно обезжиренные нефрасом поверхности листов наносится термостойкий клей ВК-26М (рабочие температуры до 250-280°С) в три слоя валковым способом по рис.3 или суммарный расход клея должен быть в пределах 150-300 г/м², при этом толщина клеевой пленки должна быть равна 4-8 мкм на сторону.

После нанесения каждого слоя происходит сушка при температуре 15-30°С в течение 30 минут и последнего слоя в течение 1,5 ч.

Срок хранения лакированных листов до сборки не

должен превышать 30 дней. Хранить листы необходимо в спецтаре на ребре.

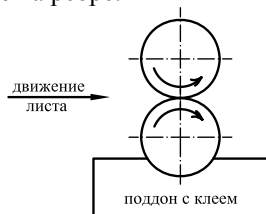


Рис. 3. Схема установки для нанесения клея

Для сборки пакетов листы шихтуются на специальной оправке (рис. 4) по внутреннему диаметру и установочным пальцам в пазах листов. Оправка может иметь стальную разрезную гильзу 1 или сплошную стальную гильзу со вставкой 2 из бронзы, латуни, которая при нагревании, расширяясь, дополнительно калибрует внутренний диаметр пакета статора с целью исключения последующей его механической обработки. На оправку предварительно наносится разделительная смазка СКТ. Пакет 3 опрессовывается на прессе до размера, указанного в чертеже, фиксируется в этом положении и снимается с прессы.

При этом удельное давление при опрессовке и склеивании пакета из стали 49К2ФА должно быть не более 294-490 кПа (3-5 кг/см²). После этого происходит сушка при температуре 180-200°C в течение 30-60 мин, дополнительная подпрессовка и запекание при температуре 250°C в течение трех часов. Остывший пакет снимается с оправки, убираются остатки клея, на торцы приклеиваются крайние изоляционные листы для предотвращения повреждения изоляции обмотки о кромку стального листа при выходе из паза.

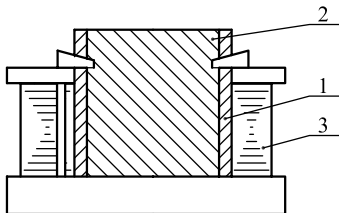


Рис. 4. Оправка для склейки

Наиболее прогрессивным технологическим процессом сборки пакетов является способ капиллярной склейки эпоксидными компаундами ЭК-1М или УП-505. При этом собранный и слегка подпрессованный пакет после нагревания в печи до температуры 180°C в горизонтальном положении промазывается по наружному диаметру эпоксидным компаундом, который под действием капиллярного эффекта проникает внутрь пакета между листами, обеспечивая одновременно склейку и изоляцию. После этого пакет дополнительно подпрессовывается, запекается при температуре 180°C в течение 6 часов и охлаждается вместе с печью до комнатной температуры.

Механическая обработка пакетов магнитопроводов должна осуществляться шлифовкой с минимальными припусками и малой подачей резания, чтобы избежать больших механических воздействий, а также наволакивания материала с образованием поверхностных мостиков, которые могут стать источниками дополнительных поверхностных потерь. По этой же

причине необходимо избегать распиловки пазов. Биение наружного диаметра относительно внутреннего должно быть не более 0,05мм. Уменьшение размеров паза "в свету" по сравнению с размерами паза "в штампе" при диаметрах пакета до 200 мм должно быть не более 0,1-0,15 мм.

Полностью подготовленный пакет магнитопровода поступает для укладки обмотки статора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Применение железокобальтовых сталей для изготовления магнитопроводов электродвигателей и других электрических машин позволяет уменьшить их массогабаритные показатели.

2. Максимально возможные магнитные свойства сталей достигаются благодаря их термомагнитной обработке – отжигу в вакууме и в магнитном поле.

3. Применение термооправок, калибрующих диаметры листов магнитопроводов при их отжиге позволяет повысить точность размеров и исключить последующую механическую обработку собранных пакетов.

4. Способ капиллярной склейки пакетов магнитопроводов способствует уменьшению потерь за счет надежной изолировки листов; увеличению коэффициента заполнения стали и уменьшению трудоемкости их производства.

5. Для сохранения полученных высоких магнитных свойств магнитопроводов, необходимо избегать больших усилий прессования и натягов при установке в корпус электродвигателя.

6. Асинхронные электродвигатели различных мощностей от 800Вт до 15кВт, магнитопроводы статоров которых изготовлены в ГП "ХАКБ" по приведенной технологии, имеют стабильно высокие энергетические показатели, применяются для приводов различных гидравлических насосных станций, автономных рулевых приводов летательных аппаратов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Комисар М.И. Авиационные электрические машины.- М.: Оборонгиз, 1959.-500 с.
- [2] Науменко В.И. Конструирование электрических машин летательных аппаратов: Учебное пособие.-М.: МАИ, 1987.-52 с.
- [3] Виноградов Н.В. Производство электрических машин Учебное пособие для вузов. Изд. 2-е, переработ. М.: "Энергия", 1970. 288 с.
- [4] Гетья А.Н., Шарабан Ю.В., Матусевич В.А.. Вопросы применения железокобальтовой стали в электродвигателях авиационных агрегатов. // Вестник НТУ "ХПИ". - 2003.-№11.-С. 28-35.
- [5] Способ термомагнитно-механической обработки магнитопроводов из железокобальтовых сплавов: А.с. №1463771 СССР, МКИ С21D 1/04./ В.Н. Воробьев, О.С. Сорокина и др. (СССР).-№4308894/23-02; Заявлено 29.06.87,. Оpubл. 07.03.89, Бюл. №9.
- [6] Справочник технолога-приборостроителя: в 2-х т./ Под ред. Е.А. Скороходова –М.: Машиностроение, 1980, 463 с.
- [7] ГОСТ 12119.0-98 Сталь электротехническая. Методы определения магнитных и электрических свойств. Общие требования.

Поступила 04.04.2006