

ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ С БЕЗОТХОДНЫМИ И КОМБИНИРОВАННЫМИ МАГНИТОПРОВОДАМИ

Проф. Яковлев А.И., с.н.с. Пашков В.Н.

Экономия энергетических и материальных ресурсов в Украине приобретает в настоящее время решающее значение. Поэтому создание электрических машин массовых серий, особенно двигателей малой мощности с элементами магнитной цепи, изготовленными из ферромагнитного прессматериала на базе железных порошков является весьма перспективным.

В лаборатории ЦНИЛАТЭМА ХАИ по теме Р-305-100/92 разработаны способы переработки отходов электротехнической стали в порошки и получение из них путем прессования магнитопроводов с удовлетворительными магнитными и прочностными свойствами. В отличие от ведущих зарубежных фирм, производящих порошки методом распыления расплава при помощи инертных газов, лаборатория применяла механический способ измельчения отходов электротехнической стали без заметного изменения её химического состава.

Макетный образец установки по измельчению отходов стали в железные порошки представляет собой дисковую гильотину. Установка эффективна в работе, особенно на предприятиях, не имеющих литейного производства. Устройство и принцип работы установки ясен из рис. 1. Измельченные на установке отходы, например, стали марки 2013 имеют размеры частиц $0,5 \times 0,2 + 1 \times 0,5 + 3$ мм.

Композиционный материал из этих измельченных частиц имеет достаточно высокое значение магнитной индукции (B_t), малые значения коэрцитивной силы (H_c) и приемлемые удельные потери ($P_{уд}$). При спрессовании магнитопровод обладает достаточными прочностными свойствами (σ_p) при условии соблюдения ренептуры композиции

и параметров технологического процесса прессования и термообработки. Опытные исследования показали, что на электромагнитные и прочностные свойства основное влияние оказывают плотность (ρ) и режим термообработки (T).

$$B_m, \mu, \rho_{уд}, \sigma = f(\rho, T).$$

Величину плотности можно записать [1] через удельное давление прессования

$$m \lg \bar{\rho} = -\lg P - \lg P_{max}$$

где $\bar{\rho}$ - относительная плотность;

m - константа;

P - давление прессования;

P_{max} - давление, соответствующее максимальному уплотнению до компактного состояния.

Взаимозависимость перечисленных факторов определялась экспериментально на кольцевых сердечниках, магнитные параметры измерялись согласно [2].

Интенсивный рост плотности происходит при повышении давления прессования до 750-800 МПа, а затем замедляется, поэтому за оптимальное принято давление 800 МПа, т.к. дальнейшее повышение снижает стойкость прессформы.

Исследование образцов магнитопроводов из отходов стали показало их низкую механическую прочность, поэтому проведен выбор упрочняющих компонентов - связующего. Вместе с тем исследования подтвердили положение о том, что наличие в композиции примесей пара- и диамагнетиков резко ухудшает магнитные свойства прессматериала, поэтому количество связующего допускается не более 0,4 - 0,6% от массы ферромагнитной основы. Наиболее удобен к применению сухой эпоксидный состав П-ЭП-971. При давлении прессования 800 МПа прочность на разрыв достигает 120 МН/м², снижение индукции состав-

ляет около 10%.

Результаты исследований по влиянию давления прессования на плотность, разрывпрочность магнитомягкого прессматериала (МПМ) и на его магнитные свойства представлены на рис. 2.

Проведенные исследования позволили разработать композиционный магнитомягкий материал для применения в ненагруженных магнитных системах с постоянным и переменным (50 Гц) током, условно обозначенный МПМ, МПМ-В, электромагнитные характеристики которых представлены на рис. 3, и в стадии доработки материал МПМ-ВС.

МПМ получен прессованием в открытой прессформе при давлении прессования 800 МПа из шихты, состоящей из измельченных в порошок фракции "К" отходов ЭТС 2013 и 0,5 масс. частей П-ЭП-971 с последующей термообработкой при температуре $220^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$. Время термообработки зависит от массы, сечения прессовки, мощности термощафа и составляет от 5 до 30 мин. Параметры материала следующие: $\rho_{\text{уд}} = 15 \text{ Вт/кг}$; $B_{2500} = 0,8 \text{ Тл}$; $B_{5000} = 1,1 \text{ Тл}$; $\sigma_p = 120 \text{ МН/м}^2$

МПМ-В по составу, термообработке и давлению прессования аналогичен МПМ, но прессуется в вакуумированной прессформе. Основные параметры: $\rho_{\text{уд}} = 13 \text{ Вт/кг}$; $B_{2500} = 0,9 \text{ Тл}$; $B_{5000} = 1,1 \text{ Тл}$; $\sigma_p = 120 \text{ МН/м}^2$.

МПМ-ВС прессуется в вакуумированной прессформе из шихты без связующего и после прессования поверхностный слой прессовки спекается ТВЧ с целью повышения прочности.

Разработанный материал МПМ использован для изготовления макета при модернизации конденсаторного двигателя КД 60-2/45 Харьковского завода "Электротяжмаш" и торцевого однофазного двигателя на 400 Вт для микромельницы-корморезки, разрабатываемой Харьковским ПО "Коммунар".

Отличительной особенностью конструктивной схемы торцевого

двигателя является то, что магнитопроводы статора и ротора представляют собой плоские кольца с зубцами и пазами в радиальной плоскости, м.д.с. обмотки статора создает основной магнитный поток в аксиальном направлении, зубцовое деление является переменным по длине паза, линейная нагрузка (A) и индукция в воздушном зазоре ($B\delta$) изменяются в радиальном направлении. Все эти особенности приходится учитывать при электромагнитном расчете [3].

Спыты на реальных двигателях показали, что отпрессованный из ферромагнитного порошка магнитопровод имеет пониженные характеристики по сравнению со стальным шихтованным. Так, при напряженности $H = 2500$ А/м индукция составила 0,8-0,9 Тл, в то время как для стали $B_{2500} = 1,5-1,6$ Тл. Поэтому для того, чтобы сохранить напряженность магнитного поля в зубцах и в спинке, необходимо их поперечные сечения увеличить в $\frac{B_{2500 \text{ стали}}}{B_{2500 \text{ порошка}}} = \frac{1,55}{0,85} = 1,3$ раза. При этом увеличение этого сечения можно производить одновременно за счет диаметра и длины магнитопровода. Так, для измененного наружного диаметра можно рекомендовать зависимость

$$D_n = (D_{ст} + \Delta D_n) + \left(\frac{AW\delta_{ст}}{AW\delta_n + AW\delta_{ст} - AW\delta_n} - 1 \right) D_{ст},$$

где D_n - новый наружный диаметр;

$AW\delta_n, AW\delta_{ст}$ - ампервитки воздушного зазора - новые при увеличенном диаметре расточки и старые соответственно;

$AW\delta_n, AW\delta_{ст}$ - ампервитки зубцов - новые и старые соответственно;

$D_{ст}$ - диаметр расточки старый.

Разработан ряд конструкций комбинированных магнитопроводов асинхронных двигателей [4,5,6]; некоторые из них представлены на рис. 4-5. Все двигатели изготовлены по безорудной технологии. Так, комбинированный магнитопровод статора на рис.4 содержит пресс-

ованную спинку I и шихтованную из электротехнической стали пазовую зону 2 с пазами 3, при этом пазовая часть тоже выполнена по безотходному раскрою листовой стали, а ребра охлаждения 4 непосредственно влиты в продольные канавки прессованной спинки I [6].

Магнитопроводы статора и ротора асинхронного электродвигателя на рис. 5 выполнены составными - часть пакетов I выполнена шихтованной по традиционной технологии, а часть пакетов 2 - отпрессованной по безотходной технологии.

В двигателях типа КД-60, КД-120 только эллинг магнитопровода выполнена прессованной из ферромагнитного порошка, все остальные части магнитопровода статора и ротора шихтованные из пластин электротехнической стали.

Результаты испытания на холостом ходу и номинальной нагрузке таких двигателей представлены на рис. 6 и 7, откуда видны показатели на номинальном режиме:

- номинальная полезная мощность	$P_2 = 60 \text{ Вт};$
- забираемая из сети мощность	$A = 130 \text{ Вт};$
- потребляемый ток	$I = 0,74 \text{ А};$
- частота вращения	$n = 2800 \text{ об/мин};$
- момент на валу	$M = 2,1 \text{ кг·см};$
- КПД, %	$\eta = 43,5\%$
- скольжение, %	$s = 6,65\%$
- коэффициент мощности, о.е.	$\cos\varphi = 0,85$

Магнитокапсулирование пазов привело к снижению потерь холостого хода на 11,5% и росту КПД на 3,5%.

Выбор двигателя на 400 Вт нетрадиционной схемы, т.е. торцевого исполнения, обусловлен компоновочными достоинствами его применительно к разрабатываемой конструкции изделия и рассчитан на изготовление предприятием не электротехнического профиля, которое не имеет специального технологического оборудования для производ-

ства магнитопроводов.

Основные параметры торцевого двухскоростного двигателя следующие:

- номинальная мощность $P_2 = 400$ Вт;
- синхронная частота вращения $n = 1500/3000$ об/мин
- наружный/внутренний диаметры статора $b_2/d = 200/130$ мм;
- напряжение $U_n = 220$ В;
- кпд $\eta = 40\%$

Проведенные электромагнитные расчеты и опытные испытания макетов двигателей подтверждают возможность применения для магнитопроводов прессматериала из измельченных отходов электротехнической стали и железных порошков.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Раковский В.С., Саклинский В.В. Порошковая металлургия в машиностроении. М.: Машиностроение, 1973,- 126 с.
2. Чернышев Е.Т., Чечурина Е.М., и др. Магнитные измерения. М.: Госстандарт, 1969.- 248 с.
3. Игнатов В.А., Вильданов К.Я. Торцевые асинхронные электродвигатели интегрального изготовления.- М.: Энергоатомиздат, 1988.- 340 с.
4. Яковлев А.И. Электрические машины с уменьшенной материалоемкостью.- М.: Энергоатомиздат, 1989.- 240 с.: ил.
5. А.с. 1746471 СССР, МКИ Н02К 1/16. Статор электродвигателя переменного тока/ Л.И.Корницкий, В.С.Сысоев, А.И.Яковлев, Ю.А.Яковлев// Открытия. Изобретения. 1992, бюл. 25.