

ПОРОШКОВЫЕ МАГНИТОПРОВОДЫ ДЛЯ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

А.Е.Антонов, докт.техн.наук, **А.А.Филоменко**
Институт электродинамики НАН Украины,
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина.
e-mail: filomenko86@mail.ru

Экспериментально определены частотные зависимости потерь на вихревые токи и гистерезис в магнитопроводах, изготовленных методом порошковой металлургии из различных исходных материалов. Изложена методика эксперимента, приведены кривые потерь. Библ. 2, табл. 1, рис. 2.

Ключевые слова: порошковый магнитопровод, потери на вихревые токи и гистерезис, бесконтактный магнитоэлектрический двигатель.

Цель и метод исследования. Важнейшим направлением повышения КПД электромеханических преобразователей энергии является снижение их собственных потерь. Особенно актуально это для систем, в которых для возбуждения потока применены современные магнитотвердые материалы на основе редкоземельных элементов (NdFeB, SmCo5), обладающие высоким значением удельной магнитной энергии. Как показали проводившиеся ранее исследования, в структуре потерь бесконтактных магнитоэлектрических двигателей (БМД) наибольшую величину составляют потери электромагнитной природы на вихревые токи и гистерезис [1]. С учетом воздействия высших гармоник магнитного поля ротора такие потери для машин малой мощности в режиме номинальной нагрузки могут составлять 5...6% от ее общего энергопотребления. Снижение потерь на гистерезис связано в основном с применением специальных материалов с узкой петлей гистерезиса, а снижение потерь на вихревые токи может быть достигнуто как за счет снижения электрической проводимости материала магнитопровода [2], так и за счет уменьшения объема элементов, из которых магнитопровод составлен. Кроме того, важным аспектом построения БМД является повышение их технологичности, в том числе и за счет реализации структур с неподвижным магнитопроводом. Для таких структур особенно актуально принятие мер по снижению электромагнитных потерь. Стационарный (неподвижный относительно вращающегося магнитного поля) магнитопровод с низким значением потерь на вихревые токи может быть изготовлен методом порошковой металлургии, причем безотходно и практически любой формы. Применение такой технологии особенно эффективно для получения магнитопроводов сложной формы, например, с полостями для установки датчиков положения ротора или полых магнитопроводов сферической формы для двухкоординатных электрических машин.

Цель исследования состояла в поиске наилучшего химического состава ферромагнитного порошка для стационарного магнитопровода, а также полимерного связующего и его оптимального количества по критерию минимума электромагнитных потерь в магнитопроводе. Практический интерес представляла также частотная зависимость потерь в магнитопроводе при его перемагничивании в составе БМД.

Потери в магнитопроводе оценивались по разности потребления эталонного электродвигателя на фиксированной частоте вращения при холостом ходе и нагрузке, создаваемой вращающимся намагниченным ротором во внутренней полости испытываемого магнитопровода.

Основной материал. На базе Казенного завода порошковой металлургии (г.Бровары, Украина) были изготовлены образцы полых цилиндрических магнитопроводов с размерами ($\varnothing 38 \times \varnothing 21 \times 40$ мм) из порошка железа марки PASC-60 производства фирмы Höganas (Швеция). Были изготовлены также магнитопроводы таких же размеров из порошковых материалов, созданных в Институте проблем материаловедения НАН Украины: чистого железа, соединения железа с оловом (FeSn), железа с кобальтом (FeCoP), а также из измельченной отожженной ленты аморфного железа толщиной 20 мкм. Геометрия магнитопроводов была выбрана, исходя из компоновки магнитной системы БМД, построенной на основе цилиндрического двухполюсного постоянного магнита ($\varnothing 14,6 \times \varnothing 6 \times 40$ мм), выполненного из материала NdFeB с параметрами: $B_r = 1,1$ Тл; $\mu_m = 1,04$.

Исследования проводились на стенде, состоящем из коллекторного двигателя ДПР-72 с бес-

пазовым полым ротором, вал которого жестко соединен с валом намагниченного двухполюсного ротора, установленного в шарико-подшипниковых опорах. На основании стенда расположено посадочное место для установки испытываемых цилиндрических магнитопроводов таким образом, чтобы они располагались концентрично намагниченному ротору. К обмотке ДПП-72 подключался источник питания с приборами для измерения его энергопотребления и частоты вращения ротора. На первом этапе эксперимента была снята частотная зависимость энергопотребления ДПП-72, вал которого соединен только с намагниченным ротором. Затем на тех же частотах вращения было измерено его энергопотребление при поочередно установленных на посадочное место стенда испытываемых магнитопроводов. Поскольку намагниченный ротор, используемый в эксперименте, двухполюсный, то частота его вращения соответствует частоте перемагничивания неподвижного магнитопровода. Электромагнитные потери в испытываемом магнитопроводе определялись по разности энергопотребления двигателя ДПП-72 при вращении только намагниченного ротора и потребления при вращении намагниченного ротора с концентрично расположенным по отношению к нему неподвижным магнитопроводом.

№ образца	Состав	Размер частиц, мм	Кол-во полимера, в % к общему объему
1	Fe	0,04...0,07	1%
2	Fe	0,04...0,07	5%
3	Fe-Sn	0,04...0,07	5%
4	Fe-P	0,04...0,07	5%
5	PASC - 60	0,04...0,07	1,5%
6	Аморфный Fe	0,025 x3	5%

В ходе эксперимента были исследованы порошковые магнитопроводы, спеченные из материалов, приведенных в таблице. Частота перемагничивания изменялась в диапазоне 20...130 Гц. Магнитопроводы, изготовленные на КЗПМ из материала PASC-60, имели различное наполнение связующим полимером (от 0 до 5%).

В нашем исследовании мы использовали образец, показавший наилучшие результаты при предварительных испытаниях (1,5% полимера).

На рис. 1 показаны зависимости суммарных потерь на вихревые токи и гистерезис от частоты перемагничивания, приведенные к единице массы магнитопровода в 1 кг: 1 – аморфного железа; 2 – порошка PASC-60; 3 – порошка чистого железа с 5% связующего полимера; 4 – порошка чистого железа с 1% связующего полимера; 5 – порошка Fe-P; 6 – порошка Fe-Sn.

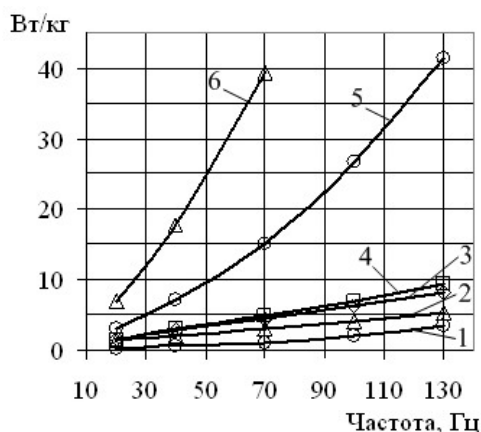


Рис. 1

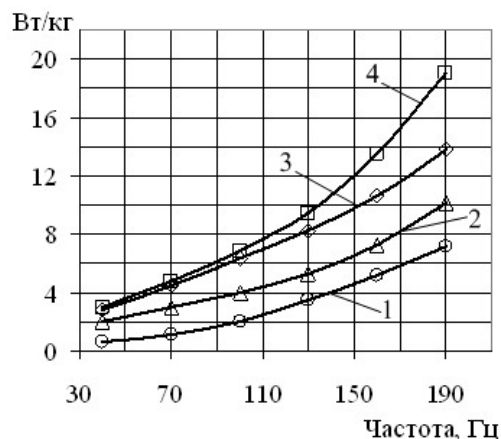


Рис. 2

Средняя величина индукции в материале магнитопровода составляла 0,8 Тл и определялась расчетным путем в пакете FEMLAB 3.1i при допущении об идентичности кривых намагничивания исследуемых ферромагнитных материалов.

Как следует из рис. 1, наилучшие результаты получены при использовании измельченной аморфной ленты и порошков чистого железа с 1 и 5-процентным содержанием полимера. Для этих материалов были исследованы потери в более широком диапазоне частот (от 20 до 190 Гц). Эти результаты показаны на рис. 2, где изображены кривые потерь для: 1 – аморфного железа; 2 – порошка PASC-60; 3 – порошка чистого железа с 5% связующего полимера; 4 – порошка чистого железа с 1% связующего полимера.

Таким образом, наименьшие потери дает применение магнитопровода из измельченного аморфного железа. Это можно объяснить более высоким, чем в чистом кристаллическом железе, омическим сопротивлением и малой толщиной плоских частиц, располагаемых в магнитопроводе в плоскости вращения поля магнита. Более крутой подъем кривой потерь с однопроцентным наполнением объема полимером (кривая 1) можно объяснить более быстрым ростом потерь на вихревые токи, поскольку при малом объеме полимера становится более вероятным касание соседних частиц металлического порошка при прессовании. Для магнитопровода с 5% наполнением полимером рост потерь в исследуемом диапазоне происходит практически линейно, что указывает на преимущественно гистерезисный характер потерь в стали. Лучшие показатели для порошка PASC-60 можно объяснить меньшим содержанием в нем примесей.

Выводы. Уровень потерь в магнитопроводах, изготовленных методом порошковой металлургии, существенно зависит от характеристик исходных материалов. Ввиду доступности и меньшей стоимости наиболее пригодными для практического применения являются порошки на основе чистого железа.

1. Антонов А.Е., Акинин К.П., Киреев В.Г. Структура потерь в беспазовом магнитоэлектрическом двигателе с вентильным управлением // Пр. Ин-ту электродинамики НАН Украины. – 2007. – №1(16). – С. 86–91.

2. Троцкий В.А., Ролик А.И., Яковлев А.И. Магнетодиэлектрики в силовой электротехнике. – К.: Техніка, 1983. – 207 с.

УДК 621.313.8

ПОРОШКОВІ МАГНІТОПРОВІДИ ДЛЯ МАГНІТОЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

О.Є.Антонов, докт.техн.наук, **А.А.Філоменко**

Інститут електродинаміки НАН України,

пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна.

e-mail: filomenko86@mail.ru

Експериментально визначено частотні залежності втрат на вихрові струми та втрат на гістерезис в магнітопроводах, виготовлених методом порошкової металургії з різних вихідних матеріалів. Викладено методику експерименту та подано криві загальних втрат вихідних матеріалів. Бібл. 2, табл. 1, рис. 2.

Ключові слова: порошковий магнітопровід, втрати на вихрові струми і гістерезис, безконтактний магнітоелектричний двигун.

POWDER MAGNETIC CONDUCTORS FOR MAGNETOELECTRIC MOTOR

Antonov O.E., Filomenko A.A.

Institute of electrodynamic National Academy of Sciences of Ukraine,

pr. Peremohy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraina.

e-mail: filomenko86@mail.ru

Experimentally determined frequency dependence of the loss whirling currents and hysteresis in magnetic conductors for brushless magnetolectric motors type manufactured by powder metallurgy from various starting materials. The method of experimental determination of magnetic losses is expounded. A research purpose consisted of search of the best chemical composition of ferromagnetic powder for stationary magnetic conductors, and also amount of polymeric minimum of electromagnetic losses connective on a criterion in magnetic conductors. Frequency dependences of losses in magnetic conductors are got. The minimum losses are provided in magnetic conductors, which are made from amorphous iron, PASC-60 powder and clean iron with the 1% and 5% the polymer amount. It is set that in the range of frequencies of magnetic reversal 200 Hertz in them have character of growth of losses practically linear character.

References 2, table 1, figures 2.

Key words: powder magnetic conductors, losses of whirling current and hysteresis, brushless magnetolectric motor type.

1. Antonov A.E., Akinin K.P., Kireev V.G. Structure losses brushless magnetolectric motor type with valve control // Pratsi Instytutu Elektrodynamiky Natsionalnoi Akademii Nauk Ukrainy. – 2007. – №1(16). – Vol. 1. – Pp. 86–91. (Rus)

2. Troitskii V.A., Rolik A.I., Yakovlev A.I. Magnetodielectrics in power electrotechnics. – K.: Tekhnika, 1983. – 207 p. (Rus)

Надійшла 30.08.2013
Остаточний варіант 30.10.2013