

**КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАГНИТНО-МЯГКИЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ПОРОШКОВ
ЖЕЛЕЗА ASC100.29**

Говор Г.А., Вечер А.К., Ларин А.О., Янушкевич К.И.

ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», г. Минск, Беларусь

Введение

Разработка и исследование технологии производства магнитно-мягкого композиционного материала на основе порошков железа представляет как научный, так и практический интерес для изготовления с их использованием электродвигателей с повышенной удельной мощностью, в том числе для электромобилей, инверторных источников питания и ряда других изделий. Подобные исследования проводятся во многих странах, но существенных успехов в создании композиционного магнитно-мягкого материала достигла компания «Hoganas» [1-4]. Отдельные изделия этой фирмы, к примеру с использованием порошков «Somaloy 500», превосходят по своим параметрам устройства из электротехнической стали.

Однако наличие распределенного изолирующего немагнитного зазора приводит к снижению максимальной магнитной проницаемости материала до $\mu_m=200-300$ и величины магнитной индукции порядка $B_m=1,6-1,7$ Тесла.

Прогресс в улучшении магнитных свойств композиционных материалов достигнут в настоящей работе за счет использования в качестве изолирующих покрытий различных магнитных оксидов, где толщина покрытий частиц железа была снижена до нескольких нанометров [5]. Технология изготовления порошков таких композиционных магнитно-мягких материалов приведена в патенте [6]

Экспериментальная часть

Исследования основных магнитных характеристик композиционных магнитных материалов с использованием порошков железа ASC100.29 (Китай, Hoganas) проведены в сравнении с аналогичными параметрами для электротехнической стали Э320. С этой целью изготовлены сердечники 24x13x10 мм из ленточной стали и композиционных магнитных материалов плотностью $\rho=7,6$ г/см³, исследованы статические и динамические магнитные характеристики и гистерезисные потери. Образцы из композиционного магнитного материала были подвергнуты отжигу в вакууме при температуре 400С в течение 3 часов. Статические характеристики исследовались с использованием микроверметра Ф5050, а динамические характеристики и потери – флаксометром и экспресс-магнетометром в частотном диапазоне до 10 кГц и магнитных полей до 30 кА/м. Приведены также сравнительные испытания композиционных материалов с использованием водно- и воздухомасляных железных порошков различных производителей

Результаты и их обсуждение

На рисунке 1 приведены динамические кривые намагничивания и композиционного магнитного материала на основе железного порошка ASC100.29 (кривая 1) и электротехнической стали (кривая 2), измеренные на частоте 1 кГц. Из рисунка видно, что магнитная индукция композиционного материала превосходит значение для электротехнической стали практически во всем диапазоне магнитных полей и только в слабых полях индукция электротехнической стали несколько выше. Магнитная индукция при напряженности $H=25$ кА/м для композиционного магнитного материала равна $B_m=1,95-2,0$ Т, а для стали $B_m=1,7$ Т при плотности образцов $\rho=7,6$ г/см³.

Статические характеристики – кривая намагничивания и полевая зависимость магнитной проницаемости, композиционного магнитного материала на основе порошка ASC100.29, приведены на рисунке 2.

На рисунке 3,а приведены полевые зависимости гистерезисных потерь при перемагничивании по полной петле для композиционного материала на основе ASC100.29 (кривая 1) и электротехнической стали Э320 (кривая 2). Как видно из приведенных графиков, потери в стали Э320 квадратично возрастают при увеличении

магнитной индукции. Потери в электротехнической стали во многом определяются вихревыми токами [7]:

$$P_c = (\rho \cdot B_m \cdot f \cdot h)^2 \cdot 6 \cdot c$$

f – частота перемагничивания, h – размер зерна, c – удельное сопротивление, B_m – магнитная индукция. В тоже время, в композитах потери на вихревые токи практически отсутствуют, остаются только магнитные потери, которые возрастают линейно с индукцией до величины порядка 1,5 Тесла.

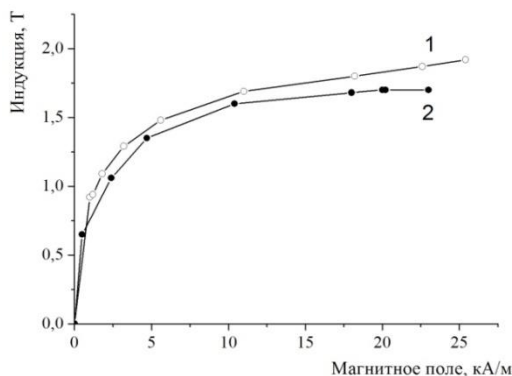


Рисунок 1 – Кривые намагничивания на частоте 1 кГц композиционного магнитного материала на основе порошка ASC100/29– 1 и ленточной стали Э320 -2 при одинаковой плотности изделий 7,6г/см³

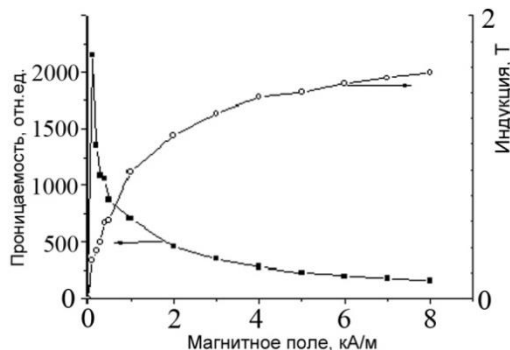
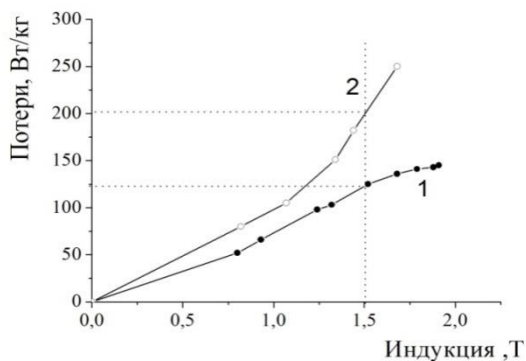
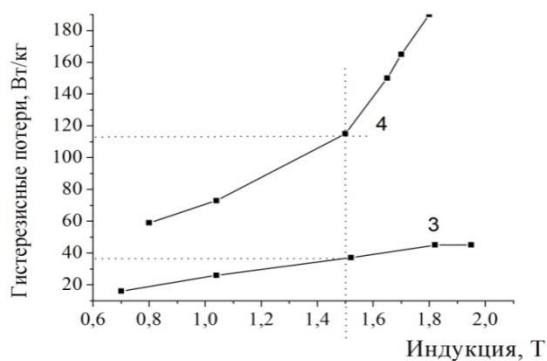


Рисунок 2 – Магнитная проницаемость и магнитная индукция в зависимости от поля композиционного магнитного материала на основе порошка ASC100

Полевые зависимости гистерезисных потерь при намагничивании по частной петле от нулевого значения для композиционного материала и стали Э320 показаны на рисунке 3,б соответственно кривые 3 и 4. Видно, что потери на частоте 1 кГц при намагничивании по частной петле для композиционного материала при индукции $B=1,5T$ составляют $P=40Вт/кг$, а для электротехнической стали примерно $P=120 Вт/кг$. Существенно меньшие потери для композиционного материала при намагничивании в сравнении с потерями при перемагничивании определяются коэрцитивной силой композиционного материала порядка, равной $H_c=150-200 А/м$.



(а)



(б)

Рисунок 3 – Зависимость гистерезисных потерь от индукции на частоте перемагничивания 1 кГц для полного цикла (а) и частного для намагничивания от нулевой точки (б) композиционного материала на основе ASC100.24 (кривые 1,3) и электротехнической стали (кривые 2,4)

Проведенные сравнительные исследования композиционных материалов на основе железных порошков, распыленных воздухом и водой показаны в таблицах. К примеру, в таблице 1 приведены сравнительные данные по потерям для композиционных материалов на основе железных порошков распыленных воздухом (поз.1 и 2 в табл.1) и водно-распыленных (поз 3-5 в табл.1)

Таблица 1 – Сравнительные данные по потерям для композиционных материалов на основе железных порошков

| | Тип железного порошка | Отн. потери в поле 2кА/м | Отн. потери в поле 10кА/м |
|---|-----------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 1 | ПЖВ2 (Россия) | 1,33 | 1,27 |
| 2 | LaiwuTaidon (Китай) | 1,25 | 1,5 |
| 3 | ASC10.29 (Китай) | 1,01 | 1,12 |
| 4 | ASC100.29 (Швеция) | 1,06 | 1,17 |
| 5 | ABC100.30 (Швеция) | 1 | 1 |

Таблица 2 – Состав распыленного воздухом порошка LaiwuTaidongPowder (Китай) и распыленного водой порошка ASC100.29 (Швеция)

| | Fe | Mn | Si | C | P |
|----------------------------|-------|------|------|-------|-------|
| LaiwuTaidongPowder (Китай) | 98,69 | 0,35 | 0,1 | 0,022 | 0,028 |
| ASC100.29 (Швеция) | 99,5 | 0,08 | 0,04 | 0,08 | 0,01 |

Заключение

В целом сравнительные исследования магнитных композиционных материалов показали некоторое преимущество в величине потерь на перемагничивание более чистых порошков железа, таких как ASC100 29, полученных водно-распылительным методом в сравнении с порошками, распыленными воздухом.

Преимущества композиционного магнитного материала перед электротехнической сталью, несомненно, обеспечат самое широкое их применение в электрических машинах повышенной удельной мощности, в особенности с высокой скоростью вращения, где электротехнические стали имеют большие потери.

Список литературы:

1. Патент RU 2389099 МПК H01F1/24, 2006
2. Jansson.P. Soft Magnetic Materials 98, Barcelona, 1998
3. Jack A.G. PM World Congress Special Interest Seminar. 1998
4. ФишГ.Е. ТИИЭР. 78. №6. 1990 с.60-86
5. Говор Г.А., Михневич В.В. Неорганические материалы. 43.№7.2007с. 805 -807.
6. Патент RU 2465669 МПК H0 1F/24, 2012
7. D.E GayD.E.. Intern. PowderMetallurgy. 32. 1996.p .13-25