

**СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ  
НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОРОШКОВ FENI-50,  
FESI И ПОРОШКОВ ЖЕЛЕЗА ASC100.29**

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

*ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», г. Минск, Республика Беларусь ,  
vetcher@physics.by*

**Введение**

Широкое применение вентильных электродвигателей с инверторным приводом, для которых рабочая частота перемагничивания существенно превосходит промышленную частоту, потребовало разработки новых магнитно-мягких материалов.

В последние несколько лет во многих исследовательских центрах интенсивно проводятся исследования магнитно-мягких композиционных материалов (SMC), основанных на использовании магнитно-мягких частиц, обычно на основе железа, с электроизолирующим покрытием на каждой частице.

В [1] изолированный порошок получают обработкой железного порошка раствором, содержащим фосфорную кислоту и хромовую кислоту. Прессованный продукт, полученный из изолированных порошков, затем подвергают тепловой обработке.

Другой тип покрытий описан в [2]. В соответствии с указанным патентом, сердечник из магнитного порошка получают в результате обработки железного порошка водным раствором дихромата калия, сушки, прессования порошка и тепловой обработки изделия при температуре приблизительно 600°C. В другом известном способе частицы магнитно-мягкого железа перед прессованием покрывают термопластичными материалами [3].

Существенных успехов в создании композиционного магнитно-мягкого материала достигла компания “Hoganas” [4–7]. Отдельные изделия этой фирмы, к примеру с использованием порошков “Somaloy 500, 750”, приближаются по своим параметрам устройства из электротехнической стали. Однако результаты этих исследований не позволяют однозначно говорить о успешном решении задачи по разработке композиционного магнитно-мягкого материала

В этой связи разработка и исследование композиционного магнитно-мягкого материала, магнитные свойства которого близки к ламинированным металлическим магнетикам, а потери на перемагничивание ниже, чем у металлических магнетиков является весьма актуальной.

**Методика эксперимента**

Технология изготовления изолированных порошков магнитно-мягких материалов и изготовление из них изделий представляет собой многостадийный процесс, включающий следующие основные операции.

1. Операция по предварительной подготовки исходных порошков, включающая очистку поверхности, в том числе высокотемпературную очистку, воздушную сепарацию порошка по размерным фракциям.

2. Операция по пассивации поверхности исходных порошков – защита поверхности порошков от окисления, состоит в нанесении на поверхность частиц порошка защитных компонентов.

3. Операция по реакционному нанесению изоляционных покрытий из газовой фазы в вакууме при температуре 150 – 200°C. В данной работе исследовались порошки, полученные при нанесении спиртового раствора ортофосфорной кислоты.

4. Операция по изготовлению изделий путем компримирования изолированных порошков проводится в специальных пресс-формах под давлением 7-8 тн/см<sup>2</sup> (0,7-0,8 ГПа) при нормальных условиях.

Одним из главных достоинств разработанной технологии, даже с учетом того, что технология в стадии доработки, является возможность равномерного нанесения защитных и изоляционных покрытий в широком диапазоне от нанометров до микрометров

Для исследования магнитных свойств изготавливались образцы композиционного магнитного материала с размерами 24x13x8 мм методом порошковой металлургии путем прессования приготовленного изолированного порошка под давлением 7-8 тн/см<sup>2</sup> и затем были подвергнуты отжигу вакууме при температуре 400С в течение 1 часа.

Измерения магнитных свойств выполнялись на экспресс магнетометре, на котором регистрировались кривые перемагничивания образцов и определялась площадь петли гистерезиса в пикселях. Размерность пикселя затем определялась по измерениям магнитного потока на градуированном микроверберметре Ф5050.

### Результаты и их обсуждение.

Проведены измерения В(Н) для образцов из порошков до обработки и после обработки. Результаты приведены на рис.1,2.

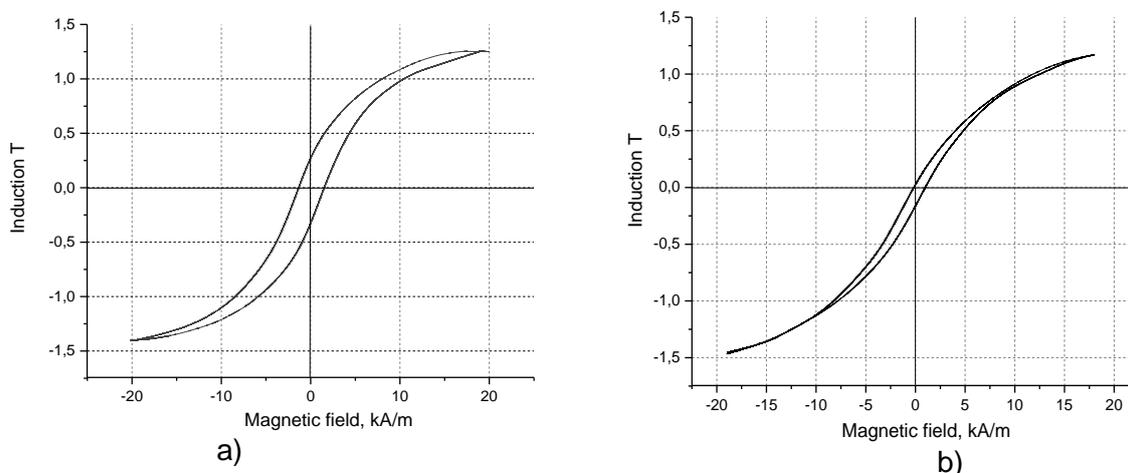


Рисунок1 - Петля гистерезиса на частоте 1 кГц для образца на основе порошка FeNi-50 а)без изоляционного покрытия частиц при спекании его до металлического состояния при температуре 700С б) с нанесенным на поверхность частиц изоляционным покрытием оксида фосфора

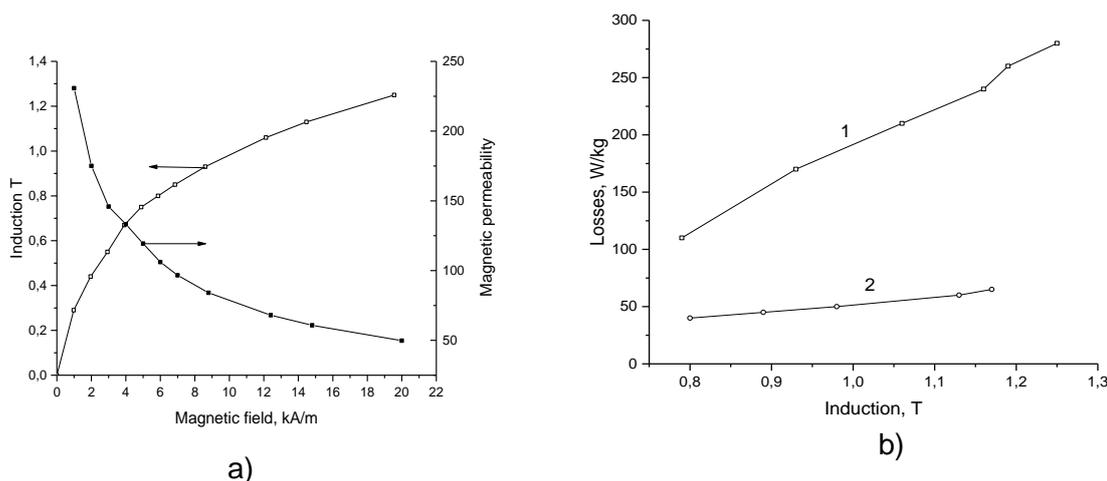


Рисунок 2 - Зависимости магнитной индукции и магнитной проницаемости от величины напряженности магнитного поля (а) и потери на перемагничивания (б) на частоте 1 кГц для композиционного материала на основе порошков FeNi-50 в зависимости от величины магнитной индукции для металлического состояния и при нанесении на порошки изоляционного покрытия показано соответственно кривые 1 и 2.

Соответствующие измерения проведены и для порошков FeSi и ASC100.29

**Выводы:** Выполненные в настоящей работе предварительные исследования показали, что более высокие значения магнитных параметров – магнитной индукции и магнитной проницаемости характерны для композиционных материалов на основе чистых водно-распыленных порошков железа ASC100.29 с размером частиц меньше 100 мкм и количеством примесей не более 1%, по сравнению с материалами на основе порошков сплавов железа FeNi и FeSi, при сохранении относительно низких значений потерь на перемагничивание.

Предложенный способ получения композиционных магнитных материалов позволяет в широких пределах изменять как толщину покрытий, так и непосредственно химический состав покрытий. Все это открывает широкие возможности в плане создания новых магнитных материалов с заданными свойствами. При этом следует отметить, что много стадийность предложенного способа получения требует индивидуального подхода и решения в каждом отдельном случае с выбором:

- режима предварительно подготовки порошков;
- сепарации порошков по размерам;
- выбор режима и веществ пассивации и защиты поверхности порошков;
- выбор химического состава изоляционных покрытий;
- оптимизация и выбор толщины изоляционных покрытий;
- оптимизация способа изготовления изделий из изолированного порошка.

### Литература

1. Production of iron powder having high electrical resistivity : pat. US 3245841 / F.A. Jack, G.C. Sydney. – Publ. date 12.04.1966.
2. Magnetic powder compacts : pat. US 4602957 / H.C. Pollock, A.L. Smith. – Publ. date 29.07.1986.
3. Stator assembly for an alternating current generator : pat. US 4947065 / R.W. Ward, R.E. Campbell, W.E. Boys. – Publ. date 07.08.1990.
4. Магнитно-мягкие композиционные материалы : пат. RU 2389099 / С. Бьерн, Е Чжоу, Я. Патрися. – Оpubл. 10.05.2010.
5. Jansson. P. Advance in Soft Magnetic Composites. Soft Magnetic Materials 98, Barcelona, 1998, Paper 7.
6. Jack A.G. Exploitation of Soft Magnetic Composites for Electrical Machines. 1998 PM World Congress Special Interest Seminar.
7. Фиш Г.Е. Магнитно-мягкие материалы. ТИИЭР, 1990, Т.78, №6, с.60 – 86.