

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Савченко Александра Григорьевича на тему «**Закономерности формирования высококоэрцитивного состояния микро- и нанокристаллических магнитотвёрдых материалах на основе сплавов системы Nd-Fe-B**», представляемой на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния

Развитие **научной составляющей** процессов разработки новых композиций и технологий получения магнитотвёрдых материалов тесно связано как с расширением номенклатуры доступных к использованию материалов, так и с развитием самих технологических приёмов формирования в материалах фазово-структурных состояний, обеспечивающих получение наперёд заданных эксплуатационных параметров и магнитных гистерезисных свойств. Диссертационная работа А.Г. Савченко относится именно к этой **актуальной** области физики магнетизма и материаловедения редкоземельных магнитотвёрдых материалов, более точно – детальному комплексному исследованию закономерностей формирования высококоэрцитивного состояния в микро- и нанокристаллических (включая обменно-связные нанокомпозиты) магнитотвёрдых материалах на основе сплавов системы Nd-Fe-B.

Научная новизна и значимость результатов не вызывает сомнений. В частности, к наиболее важным научно значимым результатам работы следует отнести:

- разработку научных основ (системы ключевых принципов) поиска новых композиций спечённых постоянных магнитов на основе сплавов системы Nd-Fe-B с улучшенными гистерезисными характеристиками (высокоэнергетических, высококоэрцитивных), а также экономно легированных, работающих при низких температурах и др.;

- предложенную гипотетическую метастабильную диаграмму системы Nd-Fe и схему фазовых превращений в сплавах Nd-Fe, состав которых соответствует составу обогащённой Nd зернограничной фазы в магнитотвёрдых материалах, позволившую при анализе процессов формирования высококоэрцитивного состояния в спечённых магнитах разделить эффекты «магнитного» и «фазово-

структурного» твердения, а также непротиворечиво объяснить явление «порчи-восстановления» и сложное немонотонно поведение H_{ci} магнитов Nd-Fe-B после низкотемпературных отжига при разных температурах и по разным режимам;

- впервые полученные данные о том, что обменное взаимодействие между соседними зёрнами магнитотвёрдой, а также магнитотвёрдой и магнитомягкой фаз определяет высококоэрцитивное состояние порошков быстрозакалённого сплава $Nd_{9,0}Pr_{1,0}Zr_{0,6}Fe_{79,1}Co_{4,0}Al_{0,3}B_{6,0}$ в интервале температур от комнатной до 250 °С, при этом одновременно реализуются оба механизма формирования высококоэрцитивного состояния: сильное закрепление доменных стенок (является доминирующим примерно до 150 °С) и трудное зарождение доменов обратной намагниченности (доминирует при температурах выше 150 °С);

- впервые построенные диаграммы «температура обработки – фазовый состав – магнитные гистерезисные свойства», которые позволили выявить для быстрозакалённого сплава $Nd_{10,4}Zr_{4,0}Fe_{75,1}Co_{4,1}B_{6,4}$ количественные корреляции между магнитными гистерезисными свойствами и фазовым составом и микроструктурой порошков сплавов, а также обнаружить протекание при температурах отжига выше 580 °С твердофазной реакции $(Nd,Zr)_2(Fe,Co)_{14}B \rightarrow Nd_2(Fe,Co)_{17} + \alpha-(Fe,Co) + ZrB$.

Практическая значимость теоретических результатов диссертационной работы обусловлена не только наглядно продемонстрированной эффективностью их непосредственного использования при объяснении экспериментальных данных, но также и тем, что полученные в работе результаты могут стать научной основой эффективных технологических решений и разработки композиций, режимов выплавки, водородного охрупчивания, тонкого помола, компактирования порошков в ориентирующем магнитном поле, спекания пресс-заготовок и низкотемпературного отжига *микrokристаллических* спечённых магнитов посредством реализации зернограничного структурирования для повышения свойств магнитов при ресурсосберегающем потреблении тяжёлых РЗМ, а также разработки композиций и режимов быстрой закалки расплавов сплавов, кристаллизационных отжига и/или высокоэнергетического помола порошков *нанокристаллических* магнитотвёрдых материалов на основе сплавов систем R-Fe-B, где R – РЗМ, Dd, MM или их смеси, которые возможно осуществить на

оборудовании существующих или планируемых к созданию производственных предприятий. Более того, полученные в работе А.Г. Савченко данные по влиянию различных систем легирования на гистерезисные свойства магнитотвёрдых материалов на основе сплавов систем R-Fe-B, где R – РЗМ, Dd, MM или их смеси, получаемых «методом смесей», могут быть непосредственно использованы при получении спечённых магнитов с улучшенными гистерезисными характеристиками (высокоэнергетических или высококоэрцитивных), для повышения эксплуатационных характеристик существующих, а также разработки новых, в том числе инновационных изделий и систем с постоянными магнитами.

Автореферат достаточно полно и правильно передаёт содержание диссертационной работы, которая безусловно представляет собой законченное научное исследование. Работа выполнена на высоком научном и экспериментальном уровне с использованием современного оборудования, а достоверность полученных результатов подтверждается их непротиворечивой интерпретацией в рамках физических моделей, адекватно описывающих наблюдающиеся явления.

В качестве замечания можно отметить, что в тексте автореферата имеется ряд неточностей в формулировках и опечатки.

Однако это замечание не умаляет общей ценности работы и её положительной оценки, оно не затрагивает основные положения и выводы диссертационной работы.

Кроме того, хочется высказать и пожелание – подготовить к печати монографию на основе результатов диссертационной работы.

Считаю, что по актуальности темы, объёму и качеству проведённых экспериментальных и теоретических исследований, новизне и научно-практической значимости полученных результатов диссертационная работа А.Г. Савченко на тему «Закономерности формирования высококоэрцитивного состояния в микро- и нанокристаллических магнитотвёрдых материалах на основе сплавов системы Nd-Fe-B» **отвечает** всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, а также соответствующим требованиям «Положения о порядке присуждения учёной степени в НИТУ МИСИС», а её автор, Савченко Александр Григорьевич, безусловно **заслуживает присуждения** учёной степени

доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

Заведующий НИЛ энергоемких и каталитически активных веществ
Химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.
Кандидат химических наук, доцент
Митрохин Сергей Владиленович



Ведущий научный сотрудник НИЛ
энергоемких и каталитически активных веществ
Химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова,
доктор химических наук, профессор
Вербецкий Виктор Николаевич



13 мая 2024 г.

Согласны на включение в аттестационное дело и дальнейшую обработку наших персональных данных, необходимых для процедуры защиты диссертации Савченко А.Г.

Подписи **С.В.Митрохина** и **В.Н. Вербецкого** удостоверяю.

Начальник отдела делопроизводства _____ **Д.Х.Самошина**

Адрес: 119991, г. Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 3. ГСП-1. МГУ.
Химический факультет

Телефон (рабочий): +7 (495) 939-35-71

Адрес электронной почты: dekanat@chem.msu.ru

Личную подпись *Митрохин С.В., Вербецкий В.Н.*
ЗАВЕРЯЮ:  **Капустина Т.А.**
Зам. Нач. отдела делопроизводства
химического факультета МГУ

