

ОТЗЫВ НАУЧНОГО КОНСУЛЬТАНТА

на диссертационную работу

Савченко Александра Григорьевича

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫСОКОКОЭРЦИТИВНОГО СОСТОЯНИЯ В МИКРО- И НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАГНИТОТВЁРДЫХ МАТЕРИАЛАХ НА ОСНОВЕ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Nd-Fe-B

представленную к защите по направлению

1.3.8 – физика конденсированного состояния

на соискание учёной степени **доктора физико-математических наук**

Диссертационная работа Савченко Александра Григорьевича посвящена развитию научных основ физики металлов и физического материаловедения магнитотвёрдых материалов (далее – МТМ) на основе сплавов систем R-Fe-B, где R – РЗМ, дидим (Dd), мишметалл (ММ) или их смеси, включая установление влияния способов и режимов получения и систем легирования на закономерности формирования высококоэрцитивного состояния (далее – ВКС), магнитные гистерезис-ные свойства, фазовый состав и микроструктуру **микрокристаллических** спечённых постоянных магнитов. Далее – СПМ) на их основе, теоретическое обоснование и экспериментальную апробацию принципов моделирования фазового состава и микроструктуры МТМ на основе микрокристаллических сплавов системы Nd-Fe-B с улучшенными гистерезисными свойствами. В работе установлены закономерности влияния химического состава и режимов получения на процессы формирование высококоэрцитивного состояния, магнитные гистерезисные свойства, фазовый состав и морфологию микроструктуры трех типов **нанокристаллических** МТМ на основе быстрозакалённых сплавов системы Nd-Fe-B: (а) наноструктурированных сплавов Nd-Fe-B застехиометрического состава (высоконеодимовых); (б) нанокомпозитов типа $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\alpha\text{-Fe}$, – достехиометрических сплавов Nd-Fe-B (близких по составу к стехиометрии интерметаллического соединения $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$), (в) нанокомпозитов типа $\text{Fe}_3\text{B}/\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$, – сплавов Nd-Fe-B с низким содержанием неодима и высоким содержанием бора. В свете вышесказанного, на мой взгляд, успех диссертационной работы А.Г. Савченко предопределён складывающейся в нашей стране ситуацией в реальном секторе экономики и, в частности, твёрдым курсом нашей страны на импортозамещение в стратегически важных секторах экономики. Ведь в ней в концентрированном виде представлены научные основания и методы скорейшего решения важной народно-хозяйственной задачи по воссозданию в Российской Федерации на современном уровне отрасли редкоземельных постоянных магнитов. При этом актуальность этой задачи со всей очевидностью была подтверждена на состоявшемся 4 декабря 2023 года на площадке НИТУ МИСИС под эгидой госкорпорации «Росатом» Всероссийской стратегической сессии «Постоянные магниты: Технологии. Производство. Применение».

Объём выполненных А.Г. Савченко исследований и, как следствие, объём самой диссертации значителен. Однако логика изложения работы и требования, предъявляемые к докторским диссертациям, не оставляют места для принципиальных упреков в этой связи. Что же касается содержания работы, то наиболее важными мне представляются следующие научные результаты, полученные А.Г. Савченко, выносимые на защиту: (а) сосуществование двух механизмов формирования ВКС и гистерезисных свойств СПМ на основе сплавов системы Nd-Fe-B, полученных «методом смесей», – механизмов «магнитного» и «фазово-структурного» твердения; (б) установление, что в основе механизма «фазово-структурного твердения» лежат превращения в обогащенной Nd зернограницной фазе, которые протекают в соответствии с предложенной гипотетической метастабильной диаграммой состояния системы Nd-Fe, причём именно они ответственны за сложное поведение коэрцитивной силы H_{ci} спечённых магнитов Nd-Fe-B после низкотемпературных отжигов, а также её обратимость (эффект «порчи-восстановления»); (в) наглядное подтверждение того, что ВКС в микрокристаллических МТМ с улучшенными гистерезисными свойствами (высокоэнергетических и высококоэрцитивных) контролируется процессом *зарождения доменов обратной намагниченности*; (г) показано, что обменное взаимодействие между соседними зёрнами магнитотвёрдой, а также магнитотвёрдой и магнитомягких фаз определяет ВКС 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 ВКС: *сильное закрепление* доменных стенок (является доминирующим примерно до 150 °С) и *трудное зарождение* доменов обратной намагниченности (доминирует при температурах выше 150 °С); (д) наконец то, что впервые построенные диаграммы «температура обработки – фазовый состав – магнитные гистерезисные свойства» 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 $(Nd,Zr)_2(Fe,Co)_{14}B \rightarrow Nd_2(Fe,Co)_{17} + \alpha-(Fe,Co) + ZrB$.

Несколько слов о соискателе. Савченко Александр Григорьевич с отличием закончил физико-химический факультет Московского института стали и сплавов в 1983 г., кандидат физико-математических наук с 1986 г. С 1985 г. по настоящее время (с перерывом в 2 года в 1987-1989 гг., когда по распределению, после окончания аспирантуры в декабре 1986 г., он был направлен для работы в ВИАМ) Савченко А.Г. работает в Московском институте стали и сплавов. Сначала в должности младшего научного сотрудника, с июля 1989 г. по декабрь 2002 г. – старшего научного сотрудника, с января 2003 по ноябрь 2009 г. – ведущего научного сотрудника НИИ постоянных магнитов (с марта 2006 года – по совместительству). В марте 2006 г. Савченко А.Г. переведён на работу в Федеральное агентство по науке и инновациям на должность заместителя директора департамента – начальника отдела. После реорганизации Роснауки в 2010 г., до августа 2012 г. работал заместителем директора департамента

Министерства образования и науки Российской Федерации. С ноября 2009 г. А.Г. Савченко работает заведующим кафедрой физического материаловедения.

Возглавляя кафедру, в период с 2009 по 2019 год А.Г. Савченко активно занимался модернизацией её учебно-научной и технологической базы, что способствовало повышению рейтинга кафедры, сохранению и развитию научно-педагогических кадров кафедры, закреплению молодых учёных и преподавателей, увеличению притока студентов, желающих проходить обучение по направлениям подготовки кафедры, расширению сотрудничества кафедры с другими учебными и научными подразделениями НИТУ МИСиС и ведущими материаловедческими центрами (РХТУ им. Д.И. Менделеева, химический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, ЦНИИчермет им И.П. Бардина, ИМЕТ РАН им. А.А. Байкова, ВНИИНМ, АО «Спецмагнит» и др.).

Савченко А.Г. непосредственно участвует в учебном процессе: он разработал и читает лекции по курсам *«Металлофизика»*, *«Физика магнетизма»*, *«Теория фаз и фазовых превращений»*, *«Атомное строение фаз»*, *«Строение неорганических материалов»*, *«Физика наноструктур»* бакалаврам, магистрам и аспирантам ИНМиН, руководит научно-исследовательской работой, курсовыми и выпускными квалификационными работами бакалавров, магистров и аспирантов. В 2014 г. А.Г. Савченко совместно с д.х.н. Мажуга А.Г. (Химический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова) создана лаборатория *«Биомедицинские наноматериалы»*, которая специализируется на исследованиях и разработке биомедицинских материалов на основе магнитных наночастиц для диагностики (контрастные агенты МРТ), магнитной гипертермии и адресной доставки лекарств. В этом же году под руководством А.Г. Савченко разработан учебный план, и уже с 2015 г. по настоящее время осуществляется набор и подготовка магистров по профилю *«Биомедицинские наноматериалы»* (направление подготовки *«Материаловедение и технологии материалов»*).

Подводя итог, могу отметить, что А.Г. Савченко – признанный специалист в области физики металлов и магнетизма, физического материаловедения редкоземельных сплавов для постоянных магнитов. На основе полученных им экспериментальных данных А.Г. Савченко была разработана и развита модель формирования высококоэрцитивного состояния в магнитотвёрдых материалах на основе сплавов системы Nd-Fe-B, которая позволила запатентовать технологию и первыми в России получить экспериментальные образцы постоянных магнитов с энергией более 48 МГсЭ (~ 382 кДж/м³). Им выполнено большое число экспериментальных исследований, посвящённых изучению закономерностей формирования ВКС и магнитных гистерезисных свойств в микро- и МТМ на основе сплавов систем Nd-Fe-B, Sm-Fe, Fe-O, Sr-Fe-O и др., синтезированных методами порошковой металлургии, быстрой закалки расплавов, высокоэнергетического измельчения, а также различными химическими методами. В качестве научного руководителя и ответственного исполнителя А.Г. Савченко принимал участие в выполнении большого числа научных проектов по государственным контрактам и хозяйственным договорам с предприятиями России.

А.Г. Савченко награждён Почётными грамотами Федерального агентства по науке и инновациям и Министерства образования и науки Российской Федерации, имеет звание «Заслуженный деятель науки РФ» и классный чин Государственного советника Российской Федерации 3-го класса.

А.Г. Савченко автор или соавтор более 250 научных публикаций, из которых 100 – в изданиях, индексируемых в базах WoS и Scopus, 145 публикаций входят в ядро РИНЦ, более 80 – в изданиях, входящих в перечень ВАК, более 50 публикаций – по теме диссертационного исследования, включая 48 публикаций, входящие в базы цитирования WoS и Scopus. За последние пять лет им в соавторстве опубликовано 33 статьи (по перечню РИНЦ), большая часть из которых – в высокорейтинговых журналах.

Представляемая Савченко А.Г. диссертационная работа является итогом многолетних плодотворных научных исследований, выполненных в стенах НИТУ МИСИС. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные автором в диссертации, теоретически обоснованы и не вызывают сомнений. В целом, по совокупности достижений, опыту исследований и преподавания, Савченко А.Г. безусловно является признанным специалистом в области физики конденсированного состояния, физики металлов и магнетизма, физического материаловедения редкоземельных магнитотвёрдых материалов. Я знаю Александра Григорьевича почти 40 лет и сегодня уверен, что он состоявшийся учёный. Он сделал отличную работу, удовлетворяющую всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, которая, безусловно, может быть рассмотрена в Диссертационном совете НИТУ МИСИС.

Научный консультант:

д.ф.-м.н., профессор, ведущий эксперт по учебно-методической работе Лилеев А.С.

 «05» марта 2024 г.

