

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Савченко Александра Григорьевича на тему **«Закономерности формирования высококоэрцитивного состояния в 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

Диссертационная работа Савченко Александра Григорьевича посвящена очень **актуальному сегодня научному направлению**, а именно, созданию теоретических и экспериментальных основ и принципов разработки оптимальных композиций и эффективных методов получения микро- и нанокристаллических магнитотвёрдых материалов (МТМ) на основе сплавов системы Nd-Fe-B, базирующихся на закономерностях формирования в них высококоэрцитивного состояния. Для достижения цели диссертационной работы, А.Г. Савченко исследованы закономерности влияния на магнитные гистерезисные свойства, фазовый состав и микроструктуру *микрокристаллических* спечённых магнитов на основе тройных сплавов систем R-Fe-B, где R – РЗМ, дидим (Dd), мишметалл (ММ) или их смеси, химического состава, режимов и параметров основных этапов порошковой технологии их получения (Глава 1 диссертации), а также частичного или полного замещения Nd на лёгкие РЗМ (Ce, Pr), Dd, ММ или их смеси, легирования сплавов Nd-Fe-B тяжёлыми РЗМ (Dy, Tb) и/или Al, Ga, Sc, Ti, Mo и Nb, содержания кислорода в сплавах и магнитах (Глава 2). Систематизированы и обоснованы базовые принципы моделирования фазового состава и микроструктуры спечённых магнитов из сплавов Nd-Fe-B с улучшенными гистерезисными свойствами, а для определения природы и механизмов формирования высококоэрцитивного состояния, детально исследованы закономерности влияния различных режимов низкотемпературного отжига на коэрцитивную силу, а также процессы намагничивания и перемагничивания спечённых магнитов на основе сплавов системы Nd-Fe-B (Глава 3). Наконец, 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: наноструктурированных сплавов Nd-Fe-B застехиометрического состава (высоконеодимовых); 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 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$), нанокомпозитов типа $\text{Fe}_3\text{B}/\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$, – сплавов Nd-Fe-B с низким (менее 6 ат. %) содержанием неодима и высоким (более 15 ат. %) содержанием бора.

Научная значимость работы заключается, в частности, в развитии теории формирования высококоэрцитивного состояния в спечённых магнитах из сплавов Nd-Fe-B, базирующейся на предложенной соискателем гипотетической метастабильной диаграмме системы Nd-Fe и схеме фазовых превращений в сплавах Nd-Fe, состав которых соответствует составу обогащённой Nd зернограницной фазы в МТМ на основе сплавов Nd-Fe-B, позволивших разделить эффекты «магнитного» и «фазово-структурного» твердения в соответствующих спечённых магнитах, а также непротиворечиво объяснить явление «порчи-восстановления» и сложное немонотонно поведение коэрцитивной силы H_{ci} магнитов Nd-Fe-B после низкотемпературных отжигов при разных температурах и по разным режимам.

Несомненным достоинством и **научной новизной** работы является установление того факта, что в интервале температур от комнатной до 250 °С обменное взаимодействие между соседними зёрнами магнитотвёрдой, и магнитотвёрдой и магнитомягкой фаз определяет высококоэрцитивное состояние быстрозакалённых нанокристаллических сплавов Nd-Fe-B достехиометрического состава (нанокompозитах типа $Nd_2Fe_{14}B/\alpha\text{-Fe}$), при этом одновременно реализуются оба механизма, – и сильное закрепление доменных стенок на дефектах структуры (является доминирующим примерно до 150 °С), и трудное зарождение (становится основным выше 150 °С), при этом, при температурах выше 250 °С порошки перестают проявлять анизотропию магнитных свойств.

Практическая значимость работы заключается в том, что полученные в работе результаты могут стать научной основой эффективных технологических решений и разработки композиций микрокристаллических спечённых магнитов посредством реализации зернограницного структурирования для повышения свойств магнитов при ресурсосберегающем потреблении тяжёлых РЗМ, а также разработки композиций и режимов быстрой закалки расплавов, кристаллизационных отжигов и/или механоактивации порошков нанокристаллических МТМ 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 предприятиях. В частности, установленные в диссертационной работе закономерности формирования высококоэрцитивного состояния в микро- и нанокристаллических МТМ на основе сплавов системы Nd-Fe-B могут быть использованы при разработке МТМ на основе сплавов систем R-Fe-B, где R – РЗМ, Y, Th, Dd, MM или их смеси, с наперёд заданными гистерезисными свойствами и эксплуатационными параметрами.

Достоверность полученных результатов подтверждена комплексным подходом к исследованиям, использованием большого количества различных, в ряде случаев взаимодополняющих, экспериментальных методов, применением методов математического моделирования, повторяемостью и воспроизводимостью экспериментальных и расчётных результатов, публикациями полученных

результатов в научных рецензируемых изданиях (их более 50), в материалах и докладах на более чем 80 научных конференциях и семинарах, а также надлежащим сопоставлением полученных результатов с экспериментальными и теоретическими данными других авторов по тематике, близкой к теме диссертационного исследования, о чём свидетельствует приведённый библиографический список, содержащий около 1000 наименований.

В целом, диссертационная работа А.Г. Савченко **удовлетворяет** всем требованиям ВАК РФ, предъявляемых к докторским диссертациям, а также соответствующим требованиям «Положения о порядке присуждения учёной степени в НИТУ МИСИС», а её автор, Савченко Александр Григорьевич, **заслуживает присуждения** учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

доцент, заведующий кафедрой «Физика»
Московского технического университета связи и информатики,
доктор физико-математических наук

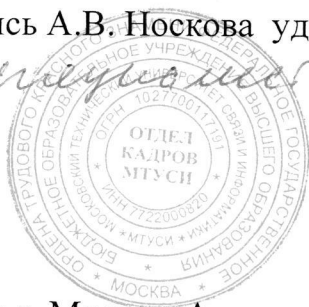
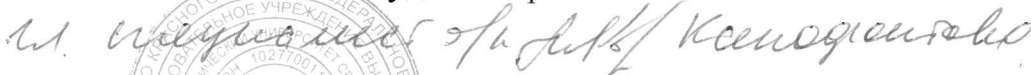
Носков Антон Валерьевич



23 мая 2024 г.

Я, Носков А.В, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Савченко А.Г., и их дальнейшую обработку.

Подпись А.В. Носкова удостоверяю.



Адрес: г. Москва, Авиамоторная 8А, МТУСИ

Телефон (рабочий): +7 (495) 957-77-31

Адрес электронной почты: a.v.noskov@mtuci.ru