

ОТЗЫВ

официального оппонента Покоева Александра Владимировича на диссертационную работу Милютин В.А. “**Влияние сильного магнитного поля на эволюцию структуры и кристаллографической текстуры в процессе отжига деформированных и аморфных ферромагнитных металлических сплавов**”, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

Актуальность темы диссертации

Представленная диссертационная работа Милютин В.А. посвящена исследованию влияния сильного магнитного поля на термоактивируемые процессы структурной перестройки, протекающие в холоднодеформированных и аморфных ферромагнитных магнитомягких сплавах. Необходимо отметить, что в литературе отсутствуют четкие представления о природе и механизмах такого влияния. Это связано во многом с недостатком экспериментальных данных и комплексных исследований, поскольку подобные эксперименты на сегодняшний день могут быть реализованы в ограниченном числе лабораторий. Изучение вопроса о влиянии магнитного поля важно не только с точки зрения получения возможностей совершенствования структуры и основных свойств промышленных магнитомягких сплавов, но и для понимания физических причин такого влияния, создания теории воздействия магнитного поля на материал в процессе структурных превращений при нагреве. В этой связи, диссертационная работа Милютин В.А. является, безусловно, актуальной.

Структура и основное содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы из 164 наименований, изложенных на 139 страницах машинописного текста, включая 62 рисунка, 13 таблиц и 16 формул.

Во **введении** сформулирована актуальность работы, ее цель и задачи, положения, выносимые на защиту, изложена новизна и практическая ценность, приведен список конференций, на которых представлены результаты работы.

Первая глава содержит обзор литературы по теме исследования. Приводится анализ результатов исследований закономерностей формирования структуры сталей и сплавов в условиях наложения магнитного поля при сдвиговом мартенситном превращении, диффузионно-контролируемых фазовых и структурных превращениях. Приведены современные представления о процессах возврата и рекристаллизации в холоднокатаных

металлических сплавах с ОЦК и ГЦК решеткой. Положительным моментом обзора является то, что он выполнен с привязкой к тем видам материалов, которые исследовались в работе. Литературный обзор достаточно полно отражает современное состояние вопросов по теме работы. Поставленная цель работы достаточно полно и понятно обоснована, а поставленные задачи диссертационной работы четко определены.

Во второй главе обоснован выбор материалов для исследования, приведена кристаллографическая текстура исходных образцов, а также температурные области протекания превращений при нагреве. Описаны режимы термомагнитной обработки образцов и довольно подробно методики исследований их структуры, кристаллографической текстуры и свойств.

В третьей главе представлены результаты исследований процессов кристаллизации из аморфного состояния в условиях постоянного магнитного поля до 29 Тл двух сплавов $Fe_{81}Si_7B_{12}$ и $Fe_{73,5}Cu_1Nb_3Si_{13,5}B_9$. Структура обработанных образцов была исследована одновременно несколькими методами. Ранее было известно, что магнитное поле, прикладываемое в ходе кристаллизующего отжига, может изменять термодинамические условия превращения за счёт разного типа магнитного упорядочения исходной и формирующейся фаз при температуре кристаллизации. В то же время из литературы известен эффект замедления диффузии в магнитном поле. В диссертационной работе Милютин В.А. на примере двух сплавов показано, что в зависимости от химического состава сплава определяющую роль в формировании конечной структуры может играть тот или иной эффект обусловленный наличием внешнего поля.

Четвертая глава посвящена изучению ранних стадий структурных преобразований в прокатанных ферромагнитных сплавах в условиях сильного магнитного поля при температурах ниже температуры начала рекристаллизации. Такой подход был применен впервые, все предыдущие исследования в этой области были направлены на изучение конечной структуры после прохождения рекристаллизации без разделения на низкотемпературные и высокотемпературные процессы. В обработанных образцах была исследована структура, определена микротвердость, построены полевые зависимости намагниченности. В работе было показано, что задержка процессов структурной эволюции и ориентационная выборка, обусловленные наличием внешнего магнитного поля, происходят именно на стадии возврата. Эти изменения сохраняются при последующем рекристаллизационном отжиге без магнитного поля, что в конечном итоге приводит к отличной от традиционно формирующейся структуры.

Пятая глава содержит результаты исследования влияния сильного магнитного поля на формирование кристаллографической текстуры в широко применяемых в промышленности магнитомягких сплавах Fe-1,5 и 3 % Si; Fe-50% Ni и Ni-30% Co. Показано, что за счёт приложения магнитного поля в процессе отжига холоднокатаного образца можно усилить те текстурные компоненты, в которых направление легкого намагничивания совпадает с направлением приложенного поля. Интересной особенностью данной работы является подбор материалов для исследований. Взяты два сплава, в которых при рекристаллизации в обычных условиях без магнитного поля

формируется острая кубическая текстура, однако направление оси легкого намагничивания в одном сплаве (Fe-50%Ni) совпадает с ребром куба $\langle 100 \rangle$, а в другом (Ni-30%Co) с пространственной диагональю куба $\langle 111 \rangle$. Магнитное поле, прикладываемое в процессе отжига образцов из данных сплавов в сплаве Fe-50%Ni усиливает остроту кубической ориентировки, а в сплаве Ni-30%Co, напротив, ослабляет. Благодаря проведенному эксперименту однозначно продемонстрировано, что основной причиной текстурных изменений при отжиге в магнитном поле является зависимость магнитной свободной энергии от угла между кристаллографическими осями и магнитным полем.

В заключении представлены основные выводы по диссертационной работе Милотина В.А.

Среди полученных результатов, характеризующих **научную значимость диссертационной работы**, необходимо выделить следующие:

1) В работе впервые показано, что магнитное поле замедляет процессы возврата в холоднокатаных ферромагнитных сплавах Fe-1,5% Si; Fe-3%Si; Fe-50%Ni.

2) На основании серии экспериментов по отжигу в сильном магнитном поле ферромагнитных сплавов Fe-1,5% Si; Fe-3%Si; Fe-50%Ni и Ni-30%Co установлено, что магнитное поле, прикладываемое при температуре ниже точки Кюри, способствует формированию тех текстурных компонент, в которых направление легкого намагничивания совпадает с направлением внешнего магнитного поля.

3) Приложение магнитного поля приводит к укрупнению зерен, в которых направление легкого намагничивания направленно вдоль поля, по сравнению с зернами в образцах, отожженных при той же температуре без поля. Размер зерен, в которых направление оси легкого намагничивания не совпадает с внешним полем, напротив уменьшается.

4) Кристаллизующий отжиг в магнитном поле 29 Тл приводит к существенно более крупному зерну в сплаве $\text{Fe}_{81}\text{Si}_7\text{B}_{12}$ по сравнению с отжигом без поля. В сплаве $\text{Fe}_{73,5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{13,5}\text{B}_9$ после кристаллизации в магнитном поле, наоборот, наблюдается увеличение доли мелких зерен.

Достоверность представленных результатов исследований убедительно обеспечена использованием современного оборудования, набором большого объема экспериментальных данных и воспроизводимостью результатов эксперимента. Плюсом работы является использование комплекса дополняющих друг друга методов исследования структуры. Результаты исследований, полученные разными методами, согласуются между собой и с результатами, приводимыми в литературе. Полученные автором экспериментальные данные получены впервые, не противоречат существующим фундаментальным научным принципам.

Работа прошла апробацию на 6 российских и зарубежных научных конференциях, основные результаты опубликованы в 8 научных статьях из перечня изданий, рекомендованных ВАК РФ.

Практическая значимость полученных результатов определяется тем, что в качестве материалов для исследования влияния сильного магнитного поля на термоактивируемые процессы структурной эволюции взяты широко применяемые в промышленности магнитомягкие сплавы, в которых ключевую роль играет кристаллографическая текстура. В результате работы показано, что за счёт отжига в магнитном поле, можно усиливать остроту тех текстурных компонент, в которых направление легкого намагничивания совпадает с магнитным полем. Показано, что в сплаве Fe-50%Ni приложение сильного магнитного поля в процессе отжига позволяет получить острую кубическую текстуру при более низких температурах по сравнению с традиционной обработкой.

По диссертационной работе имеются следующие вопросы и замечания:

1. Излишне завышен объем описания методик и методов исследования.
2. Концентрированно не изложена идеология отжигов и режимов термомагнитной обработки, что затрудняет восприятие материалов и анализ результатов. В этом плане вызывает вопросы смысл высокотемпературных отжигов до 850 °С образцов Fe-Si, который мог «уничтожить» магнитные эффекты воздействия магнитного поля?
3. При анализе результатов учитывалась ли температурная зависимость констант магнитной анизотропии и намагниченности?
4. Результаты работы убедительно показывают существенное влияние сильного магнитного поля на структуру и кристаллографическую структуру исследованных материалов. Однако, в работе отсутствуют попытки количественного описания или объяснения наблюдаемых эффектов, хотя бы на уровне оценок.
5. Полевая зависимость структуры и текстуры материалов исследована всего при двух значениях магнитного поля: следовало бы выбрать больше значений напряженности магнитного поля, хотя, можно предположить, что ограничения связаны с техническими возможностями оборудования.
6. В тексте работы имеются опечатки не принципиального характера, связанные преимущественно со знаками препинания и использования смешанных единиц измерений.

Необходимо отметить, что указанные замечания не снижают в целом высокого уровня результатов диссертационной работы, выполненной на современном оборудовании и для уникальных по экстремальности состояний образцов (высокие магнитные поля). Диссертация представляет собой хорошо апробированный по публикациям и конференциям законченный научный труд, выполненный на актуальную тему, выводы работы базируются на основе материалов, имеющих практическое значение и, несомненно, будут учтены в современных технологиях, а в научном значении – считаю, что полученные результаты, имеют фундаментальный характер.

Диссертационное исследование соответствует отрасли физико-математических наук, а именно формуле специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния: «Теоретическое и экспериментальное исследование природы кристаллических и аморфных, неорганических и органических веществ в твердом и жидком состояниях и изменение их физических свойств при различных внешних воздействиях», а также пункту

2 «Теоретическое и экспериментальное исследование физических свойств неупорядоченных неорганических и органических систем, включая классические и квантовые жидкости, стекла различной природы и дисперсные системы».

По актуальности, новизне и научной ценности работа полностью соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям и удовлетворяет всем требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 года. Считаю, что Милютин Василий Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Заведующий кафедрой физики
твёрдого тела и неравновесных систем
Самарского национального исследовательского
университета имени академика С.П.Королева,
доктор физико-математических наук, профессор



28.04.17

А.В.Покоев

Почтовый адрес: 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34

Тел: 8(846)-334-54-36

E-mail: a.v.pokoev46@mail.ru

Ученый секретарь Самарского универс



В.С. Кузьмичев

С отзывом ознакомлен
04.05.17 Милютин В.А.

СВЕДЕНИЯ ОБ ОФИЦИАЛЬНОМ ОППОНЕНТЕ

по диссертации Милютин В.В. «Влияние сильного магнитного поля на эволюцию структуры и кристаллографической текстуры в процессе отжига деформированных и аморфных ферромагнитных металлических сплавов» по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Фамилия, имя, отчество	Покоев Александр Владимирович
Гражданство	Российская Федерация
Ученая степень (с указанием шифра специальности по которой защищена)	Доктор физико-математических наук, 01.04.07
Основное место работы	
Должность	Заведующий кафедрой
Наименование подразделения	Кафедра физики твердого тела и неравновесных систем
Полное наименование организации в соответствии с уставом	Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П.Королева
Почтовый индекс, адрес, веб сайт, телефон, адрес электронной почты организации	443086, ул. Московское шоссе, д. 34, г. Самара. http://www.ssau.ru (846) 335-18-26 ssau@ssau.ru
Список основных публикаций официального оппонента, составляющего отзыв, за последние пять лет по теме диссертации:	
1. Osinskaya J.V. and Pokoev A.V. Magneto-plastic Effect in Cu-Be Alloys with Ni Additives. Defect and Diffusion Forum. – 2015. – V.363. – P. 186-189.	
2. Pokoev A.V., Fedotov A.A. Magneto-diffusional Effect in Ferromagnets in the Constant and Pulsed magnetic fields. Defect and Diffusion Forum. – 2015. – V.36. – P.190-195.	
3. Осинская Ю.В., Покоев А.В. Влияние добавок никеля на магнитопластический эффект в медно-бериллиевых сплавах, состаренных в постоянном магнитном поле // Фазовые переходы, межфазные границы и наноматериалы (Электронный журнал). – 2014. – № 4. – С. 27–30.	
4. Осинская Ю.В., Петров С.С., Покоев А.В. Влияние малых добавок никеля на магнитопластический эффект в состаренных медно-бериллиевых сплавах // Известия РАН. Серия физическая. – 2013. – Т.77, № 9 – С. 1256–1259.	
5. Осинская Ю.В., Петров С.С., Покоев А.В. Влияние исходной концентрации бериллия и добавок никеля на магнитопластический эффект и кинетику старения медно-бериллиевых	

сплавов // Вестник Тамбовского университета. – 2013. – Т. 18, № 4. – С. 1701–1702.

5. Осинская Ю.В., Петров С.С., Покоев А.В., Раджабов А.К., Рунов В.В. Кинетика старения сплава Cu-Be с различной концентрацией бериллия во внешнем постоянном магнитном поле // Физика твердого тела. – 2012. – Т.54, № 3. – С.531-535.

Даю согласие на обработку моих персональных данных и на размещение их в свободном доступе в сети информационно-телекоммуникационной сети “Интернет” и в единой информационной системе.

Официальный оппонент



А.В. Покоев

Ученый секретарь Самарского университета



В.С. Кузьмичев