

ОТЗЫВ

официального оппонента Лобанова Михаила Львовича на диссертационную работу Милютина Василия Александровича «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. Обуславливается потенциальной возможностью улучшения ориентационно зависимых характеристик функциональных магнитомягких материалов (электротехнические стали, сплавы на основе никеля, аморфные сплавы), используемых для производства магнитопроводов различного рода преобразующих электроэнергию устройств. Улучшение эксплуатационных характеристик данных материалов происходит, главным образом за счет повышения степени совершенства кристаллографической или магнитной текстур, формирование которых происходит при фазовых или структурных превращениях за счет деформационных и/или термических воздействий. Воздействие сильным магнитным полем на материал на определенной стадии формирования его структуры может оказаться решающим фактором в получении уникальных его характеристик.

Структура и основное содержание работы. Диссертационная работа Милютина В. А., изложенная на 139 страницах машинописного текста, состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы, который включает 164 источника.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи работы, представлены научная и практическая значимость, а также положения, выносимые на защиту.

Первая глава содержит аналитический обзор литературы по теме диссертационной работы, на основании которого осуществлены постановка цели и задач исследования. Приведены результаты современных работ, посвященных термообработке различных материалов с использованием магнитного поля. Для сравнения описаны процессы структурной перестройки в холоднокатаных ферромагнитных сплавах при отжиге в обычных условиях.

Во **второй главе** помимо традиционного описания методик исследования структуры и свойств особое внимание уделено выбору материалов для исследования. Приводятся данные об исходной структуре и текстуре образцов из выбранных сплавов, описаны режимы их обработок. Основным методом структурных исследований являлась дифракция обратно рассеянных электронов, в качестве дополнительных методов применялась просвечивающая электронная микроскопия и рентгеноструктурный анализ.

Третья глава посвящена изучению процессов кристаллизации из аморфного состояния в условиях приложения сильного постоянного магнитного поля. Исследуются сплавы $\text{Fe}_{81}\text{Si}_7\text{B}_{12}$ и $\text{Fe}_{73,5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{13,5}\text{B}_9$. Показано, что магнитное поле может либо ускорять процессы кристаллизации из аморфного состояния - сплав $\text{Fe}_{81}\text{Si}_7\text{B}_{12}$, либо замедлять - сплав $\text{Fe}_{73,5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{13,5}\text{B}_9$. Проанализированы причины различного (разнонаправленного) воздействия магнитного поля на кристаллизацию аморфных сплавов.

В **четвертой главе** приведены результаты экспериментов по дорекристаллизационному отжигу холоднокатаных образцов из сплавов Fe-1.5%Si; Fe-3%Si и Fe-50%Ni в магнитном поле. При температурах ниже начала рекристаллизации данные сплавы находятся в ферромагнитном состоянии. Структурными исследованиями и измерениями микротвердости показано, что в образцах, подвергнутых отжигу в магнитном поле степень прохождения процессов возврата существенно ниже, чем в образцах,

отожженных без поля. Указаны наиболее вероятные причины «тормозящего» воздействия сильного магнитного поля на процессы возврата.

Пятая глава содержит данные об исследовании формирования кристаллографической текстуры в подвергнутых отжигу в сильном магнитном поле образцах. Ранее было известно, что внешнее магнитное поле, прикладываемое на стадии отжига, может оказывать существенное воздействие на конечную текстуру металлов и сплавов. В качестве возможных причин упоминались магнестрикционные искажения решетки, изменение подвижности определенных межзеренных границ, магнитокристаллическая анизотропия. В данной работе, за счет уникальных экспериментов было продемонстрировано, что в исследуемых сплавах первопричиной влияния поля на текстуру является зависимость магнитной энергии от угла между вектором индукции внешнего поля и кристаллографическими осями зерен. Показано, что магнитное поле всегда усиливает те текстурные компоненты, у которых ось легкого намагничивания совпадает с направлением этого поля.

В **заключении** приведены основные выводы по диссертационной работе.

Научная новизна результатов диссертационной работы

Диссертационная работа Милютин В. А. вносит существенный вклад в развитие современных представлений о влиянии сильного магнитного поля на термоактивируемые процессы в металлических материалах:

- на примере сплавов Fe-Si и Fe-Ni впервые показано, что приложение сильного магнитного поля приводит к значительно более медленному протеканию процессов возврата по сравнению с отжигом без магнитного поля;
- установлены первопричины (энергетические) влияния магнитного поля на текстурообразование в сплавах Fe-50%Ni; Ni-30%Co и Fe-3%Si;

- показано, что эффект, оказываемый магнитным полем на кристаллизацию из аморфного состояния, может иметь различную направленность, что, прежде всего, зависит от состава кристаллизуемого сплава.

Практическая значимость полученных результатов

В работе показана возможность усиления степени совершенства кубической текстуры в магнитомягком ферромагнитном сплаве железо-никель при пониженных относительно обычно используемых температурах отжига за счет приложения сильного магнитного поля. У данного класса материалов совершенство кристаллографической текстуры определяет основные эксплуатационные характеристики конечных изделий.

Полученные результаты работы полностью соответствуют поставленным целям и задачам, их **достоверность** подтверждается высоким уровнем воспроизводимости. Для экспериментов и исследований в работе использовалось аттестованное оборудование. Результаты, полученные в работе, хорошо согласуются с более ранними литературными данными.

По диссертационной работе имеются следующие вопросы и замечания:

1. В литературном обзоре, как и в обсуждениях результатов, используются разные физические величины и разные единицы измерения для характеристики силы поля. При чем магнитная индукция приводится в Тл (СИ), а напряженности магнитного поля в эрстедах и килоэрстедах (СГС). С точки зрения удобства сравнения, как величин воздействия, так и результатов измерения имело бы смысл привести всё к одним величинам и к одной системе единиц.

2. Наиболее полное представление о текстуре дают функции распределения ориентировок. В работе использованы прямые полюсные фигуры, причем в двух видах: распределение полюсных плотностей и распределение проекций полюсов для различных случаев. Почему?

3. В параграфе 3.1. утверждается, что магнитное поле влияет только на количество зародышей кристаллизации в аморфном сплаве, при этом приведена ориентационная карта, где явно видна вытянутость зёрен, правда не ясно в каком направлении. С чем реально может быть связана подобная вытянутость?

4. На тех же ориентационных картах (параграф 3.1) видно различие в текстуре. В случае отжига без магнитного поля имеется слабая «желтая» компонента. При этом автор диссертации игнорирует этот факт, утверждая, что магнитное поле оказывает влияние только на число зародышей.

5. С чем связан различный «знак» эффекта, который оказывает сильное магнитное поле на кристаллизацию аморфных материалов?

6. Страница 97. Фраза «Видно, что отжиг в магнитном поле уменьшает скорость рекристаллизации, что проявляется в уменьшении среднего размера зерна». Не очевидно, что уменьшение среднего размера зерна является следствием меньшей скорости рекристаллизации. А приведенные ориентационные карты говорят скорее о том, что магнитное поле не влияет на скорость рекристаллизации.

Вышеуказанные замечания не снижают общий высокий уровень представленной работы. Диссертация представляет собой завершённую работу, в рамках которой проведено большое количество уникальных экспериментальных исследований.

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».

Содержание автореферата В.А. Милютин соответствует содержанию диссертации.

Результаты работы докладывались на 6 российских и зарубежных научных конференциях, основные данные проведенных исследований опубликованы в 8 научных статьях из перечня изданий, рекомендованных ВАК РФ.

Считаю, что диссертационная работа «Влияние сильного магнитного поля на эволюцию структуры и кристаллографической текстуры в процессе отжига деформированных и аморфных ферромагнитных металлических сплавов» полностью удовлетворяет требованиям пункта 9 Положения «О присуждении ученых степеней» ВАК Министерства образования и науки РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Милютин Василий Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент:

профессор кафедры термообработки и физики металлов Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, доктор технических наук



Лобанов
Михаил Львович

Дата подписания отзыва: «27» апреля 2017 г.

620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19
ФГАОУ ВО Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
Тел: +7(343)-37...; e-mail: m.l.lobanov@urfu.ru

Подпись
УЧЕНЫЙ
УРФУ
МОРОЗОВ



Заверяю:
С отзывом ознакомлен
28.04.17
Милютин В.А.

СВЕДЕНИЯ ОБ ОФИЦИАЛЬНОМ ОППОНЕНТЕ

по диссертации Милютин Василий Александровича «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	Лобанов Михаил Львович
Гражданство	Российская Федерация
Ученая степень (с указанием шифра специальности по которой защищена)	Доктор технических наук, 05.16.01
Основное место работы	
Должность	Профессор
Наименование подразделения	Кафедра термообработки и физики металлов
Полное наименование организации в соответствии с уставом	ФГАОУ ВО Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
Почтовый индекс, адрес, веб сайт, телефон, адрес электронной почты организации	620002, ул. Мира, д. 19, г. Екатеринбург, http://www.urfu.ru +7(343) 375-44-44 rector@urfu.ru

Список основных публикаций официального оппонента, составляющего

отзыв, за последние пять лет по теме диссертации:

1. Lobanov M.L., Danilov S.V., Pastukhov V.I., Averin S.A., Khrunyk Y.Y., Popov A.A. The crystallographic relationship of molybdenum textures after hot rolling and recrystallization // *Materials and Design*. – 2016. – V. 109. – P. 251-255.
2. Lobanov M.L., Rusakov G.M., Redikul'tsev A.A., Belikov S.V., Karabanalov M.S., Struina E.R., Gervas'ev A.M. Investigation of special misorientations in lath martensite of low carbon steel using the method of orientation microscopy // *The Physics of Metals and Metallography*. – 2016. – V.117. – № 3. – P.254-259.
3. Lobanov M.L., Redikul'tsev A.A., Rusakov G.M., Belyaevskikh A.S. Influence of pass aging in cold rolling on the structure and properties of Fe-3% Si steel // *Steel in Translation*. – 2015. – V.45. – № 7. – P. 494-498.
4. Rusakov G.M., Lobanov M.L., Redikul'tsev A.A., Mel'chaev E.S. Effect of recrystallization on the texture and properties of powder hard magnetic materials based on SmCo₅ // *Metal science and heat treatment*. – 2015. – V.57. - № 7-8. – P.498-502.
5. Lobanov M.L., Redikul'tsev A.A., Rusakov G.M., Danilov S.V. Interrelation between the orientations of deformation and recrystallization in hot rolling of anisotropic electrical steel // *Metal Science and Heat Treatment*. – 2015. – V. 57. - № 7-8. – P.492-497.
6. Lobanov M.L., Redikul'tsev A.A., Rusakov G.M., Danilov S.V. Effect of carbon on texture formation in electrical steel Fe – 3% Si under hot rolling // *Metal Science and Heat Treatment*. – 2015. – V. 59. - № 11-12. – P. 646-649.
7. Rusakov G.M., Lobanov M.L., Redikul'tsev A.A., Karabanalov M.S., Lobanova L.V. Special misorientations in localized deformation regions in Fe-3%Si alloy single crystals // *Technical Physics*. – 2014. – V. 59. – № 8. – P. 1180-1184.
8. Rusakov G.M., Lobanov M.L., Redikul'tsev A.A., Belyaevskikh A.S. Special misorientations and textural heredity in the commercial alloy Fe-3%Si // *The Physics of Metals and Metallography*. – 2014. – V. 115. – № 8. – P. 775-785.

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

М. Л. Лобанов


Ученый секретарь УрФУ

В. А. Морозова