

## Заключение

диссертационного совета 24.2.331.06, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по диссертации на соискание ученой степени доктора наук

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 27 октября 2021 г. № 14

О присуждении Тимченко Светлане Леонидовне, гражданке РФ, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Управление физическими свойствами металлов и сплавов с помощью электрического и магнитного полей» по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния принята к защите 02.07.2021 г. (протокол заседания № 7) диссертационным советом 24.2.331.06, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, приказ № 105/нк от 11.04.2012 г., полномочия которого установлены приказом Минобрнауки России № 561/нк от 03 июня 2021 г. на срок действия номенклатуры научных специальностей.

Соискатель Тимченко Светлана Леонидовна, 17 августа 1965 года рождения, работает доцентом на кафедре физики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Резонансные и гальваномагнитные эффекты в пленках ферромагнитных металлов с электрически управляемыми характеристиками» защитила в 1993 году по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния в диссертационном совете, созданном на базе Московского института приборостроения.

Диссертация выполнена на кафедре физики научно-учебного комплекса «Фундаментальные науки» ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Официальные оппоненты:

Зайцев Александр Иванович, доктор физико-математических наук, профессор, ГНЦ ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И. П. Бардина», директор Научного центра физико-химических основ и технологий металлургии;

Беляев Игорь Васильевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», профессор кафедры технологии машиностроения;

Соломонов Константин Николаевич, доктор технических наук, профессор, филиал ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения» в г. Воронеж, профессор кафедры социально-гуманитарных, естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин дали положительные отзывы на диссертацию.

Однако имеется ряд замечаний, наиболее значимыми из которых являются следующие:

Зайцев А.И.: «Несмотря на то, что имеется большое количество косвенных измерений, однако, не достаточно детально исследована структура, полученная при деформировании сплавов при действии тока. Особенно это проявляется в главе 2, где представлены результаты исследования электропластического деформирования металлов при высоких плотностях электрического тока  $j > 10^8$  А/м<sup>2</sup> и разобран способ оценки энергии, запасенной в дефектах. Для заявления о структурных изменениях в образцах необходимы дополнительные прямые подтверждения, которые сопровождаются исследованиями структуры материала образцов до и после обработки током».

Беляев И.В.: «Не указаны способы измерения температуры образцов при проведении экспериментов по деформированию проволок и фольг при высоких плотностях тока (главы 2 и 3), а также при кристаллизации (главы 4, 5 и 6)».

Соломонов К.Н.: «В работе делается акцент на исследование электромагнитного влияния на кристаллизацию алюминиевых сплавов и деформацию немагнитных и магнитных материалов, таких как медь и никель. С практической

точки зрения представляется также интересным исследование электромагнитного воздействия при прокатке сталей, что расширило бы область применения электромагнитного воздействия при производстве широкого круга важных для техники материалов».

Ведущая организация – ФГБУН Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН (ИМЕТ РАН, г. Москва), в своем положительном отзыве, подписанном Банных Игорем Олеговичем, кандидатом технических наук, заместителем директора по научной работе, зав. лабораторией конструкционных сталей и сплавов им. академика Н.Т. Гудцова, утвержденном Комлевым В.С., директором, чл.-корр. РАН, указала, что диссертационная работа Тимченко С.Л. посвящена экспериментальному исследованию физической природы процессов, происходящих в электропроводных средах в твердом, жидком состояниях и в состоянии фазового перехода, изучению возможности изменения структуры материала, эксплуатационных и физических свойств при воздействии энергии электрического и магнитных полей. В ней приведены результаты исследований и новые технические решения для прецизионной обработки металлов и сплавов электрическим и магнитным полями, которые вносят существенный вклад в развитие методов управления процессом кристаллизации алюминиевых сплавов и формирование структуры, управление физическими свойствами в процессе фазового перехода под влиянием внешних воздействий. В отзыве отмечено, что научная новизна результатов исследования заключается в том, что рассмотрено влияние электрического тока и магнитного поля на физические свойства электропроводного материала в состоянии фазового перехода, при воздействии постоянного и импульсного электрического тока, сформулированы физические модели, объясняющие результаты такого воздействия. Отмечено также, что диссертация Тимченко С.Л. выполнена на высоком научно-исследовательском уровне, а ее результаты имеют несомненную практическую ценность в области физики конденсированного состояния электропроводных сред. Они содержат рекомендации по модернизации технологических процессов, в которых внешнее электромагнитное воздействие является определяющим фактором, дающим возможность управления параметрами процессов, и могут быть использованы при создании методов управления физическими свойствами электропроводных материалов. Тимченко С.Л. предложен путь совмещения технологического процесса с электромагнитным воздействием, позволяющий создавать высокоэффективные технологические процессы по изготовлению

микроизделий. Ведущая организация рекомендует использовать результаты диссертационной работы в ИМЕТ РАН, МИСиС.

Соискатель имеет 80 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 43 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 36 работ, 19 из которых в журналах, рекомендованных ВАК РФ для публикации основных результатов научных работ и индексируемых в международных базах Scopus и Web of Science. Общий объем опубликованных работ по теме диссертации 16,45 п.л., из которых 10,55 п.л. принадлежат лично соискателю. Требования п.п. 11 и 13 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в редакции постановления Правительства РФ от 20.03.2021 г. № 426), предъявляемые к публикации основных научных результатов диссертации, выполняются. Требования, установленные п. 14 действующего Положения о присуждении ученых степеней, соблюдаются. Сведения об опубликованных работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, достоверны.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Kornev Yu.V., Sidorenkov V.V., Timchenko S.L. The physical nature of the electric-conduction law for metals // Doklady Physics. 2001. Т. 46, №10. P. 690-693 (0,3 п.л./0,1 п.л.).
2. Сидоренков В.В., Тимченко С.Л. О механизме влияния электрического тока высокой плотности на ферромагнитный резонанс в пленках ферромагнитного металла // Вестник МГТУ. Сер. «Естественные науки». 2003. №2. С. 112-118 (0,5 п.л. /0,25 п.л.).
3. Rybkin V.A., Timchenko S.L. Crystallization of aluminum alloy under the action of electric current // Litejnoe Proizvodstvo. 2003. №10. P. 17-19 (0,3 п.л. /0,15 п.л.).
4. Timchenko S.L., Zadorozhnyj N.A. Effect of electric current on the crystallization of an aluminum alloy // Litejnoe Proizvodstvo. 2005. №9. (0,3 п.л./0,2 п.л.).
5. Тимченко С.Л. Изменение твердости в отливках из силумина // Литейное производство. 2010. №10. С. 28-30 (0,3 п.л.).
6. Тимченко С.Л. Движение жидкого металла в форме под действием электромагнитной силы // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Естественные науки». 2011. №2. С. 78-86 (0,6 п.л.).
7. Тимченко С.Л. Исследование кристаллизации сплава под действием электрического тока // Расплавы. 2011. №4. С.53-61 (0,6 п.л.).

8. Тимченко С.Л., Хартман Р. Применение электромагнитных сил в литейном процессе // Литейное производство. 2011. №9. С.29-32 (0,3 п.л./0,15 п.л.).
9. С Тимченко.Л., Кобелева Л.И., Задорожный Н.А. Влияние электрического тока на структуру и свойства алюминиевого сплава // Физика и химия обработки материалов. 2011. №6. С.82-87 (0,4 п.л. /0,2 п.л.).
10. Тимченко С.Л. Способ контроля кристаллизации алюминиевого сплава // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Естественные науки». 2012. №1. С. 64-73 (0,7 п.л.).
11. Тимченко С.Л. Особенности ВАХ структурно-неоднородных проводящих сред // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Естественные науки». 2012. №5 (специальный выпуск). С. 56-64 (0,6 п.л.).
12. Тимченко С.Л., Кобелева Л.И., Задорожный Н.А. Влияние электрического тока на пористость алюминиевых сплавов // Расплавы. 2013. №4. С.58-68 (0,8 п.л./0,4 п.л.).
13. Тимченко С.Л., Кобелева Л.И. Особенности дендритного строения силумина АК12 при кристаллизации под действием тока //Физика и химия обработки материалов. 2013. №4. С. 78-83 (0,4 п.л./0,2 п.л.).
14. Тимченко С.Л., Задорожный Н.А. Особенности формирования структуры алюминиевого сплава при кристаллизации под действием тока // Литейное производство. 2016. №8. С. 11-14 (0,3 п.л./0,2 п.л.).

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: **Коротаева С.М.**, доктора физико-математических наук, заместителя директора Центра геоэлектромагнитных исследований Института физики Земли РАН им. О.Ю. Шмидта; **Харитонов А.О.**, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры инженерного проектирования технологического оборудования ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»; **Переверзенцева В.Н.**, доктора физико-математических наук, профессора, руководителя научного направления Института проблем машиностроения РАН – филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук»; **Смыкова А.Ф.**, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры технологий и систем автоматизированного проектирования металлургических процессов Института № 11 ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»; **Герасимова С.И.**, доктора физико-математических наук, профессора ФГУП «Российский федеральный ядерный центр Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» (ФГУП «РФЯЦ-

ВНИИЭФ»; **Ивахно Н.В.**, доктора технических наук, доцента, профессора кафедры газовой динамики Института высокоточных систем им. В.П. Грязева ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»; **Тарасова В.П.**, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой цветных металлов и золота ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»; **Шафеева Г.А.**, доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника Научного центра волновых исследований ФГБУН Федерального исследовательского центра «Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН».

Все отзывы на автореферат являются положительными, однако дан ряд замечаний.

В автореферате имеются стилистические описки. Отмечена необходимость более детального изучения учета влияния магнитного поля тока, электрического тока на перемещение вакансий в твердом теле, что требует построения более строгой физической модели, учитывающей особенности среды (Коротаев С.М.).

Указывается на необходимость более детального изучения особенностей структуры проводников, структурные изменения в которых произошли под действием электрического тока высокой плотности (Харитонов А.О.).

В автореферате приведен способ обработки электрическим током алюмоматричного композиционного материала, однако в научной новизне и практической значимости он не отражен. Недостаточной является информация, отражающая изменения структуры сплава, кристаллизация которого происходила в присутствии электрического тока (Смыков А.Ф.).

Необходимо представить более подробно результаты анализа структурных изменений, которые автор косвенно наблюдал в экспериментах с деформированием электрическим током высокой плотности проволок и фольг и которые описаны в главе 2 (Герасимов С.И.).

Не приведены сведения о методах статистической обработки большого количества экспериментальных исследований, на стр. 17 автореферата приведена погрешность в определении времени кристаллизации, но не указано достаточная ли точность для определения этого параметра, не указана погрешность приближения (рис. 8) на стр. 19 автореферата (Ивахно Н.В.).

В автореферате представлено малое количество результатов исследования по металлографии, которые в избытке представлены в тексте самой диссертации (Тарасов В.П.).

В отзывах сделан вывод о том, что диссертация Тимченко Светланы Леонидовны отвечает требованиям, предъявляемым ВАК Минобрнауки РФ к докторским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Выбор официальных оппонентов обоснован тем, что они являются компетентными специалистами в области физики конденсированного состояния. Зайцев Александр Иванович является специалистом в области физикохимии. Беляев Игорь Васильевич – специалист в области технологии машиностроения и исследования свойств магнитных материалов. Соломонов Константин Николаевич – специалист в области обработки металлов давлением, в частности, моделировании технологических методик пластического деформирования металлов и сплавов. Выбор ведущей организации обусловлен тем, что ИМЕТ РАН известен своими экспериментальными и теоретическими исследованиями свойств конденсированных сред.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработана** концепция, объясняющая влияние электрического тока и магнитного поля на физические свойства электропроводного материала;

**предложены** математические модели, описывающие физику движения фронта кристаллизации при воздействии электрического тока, которая объясняет временную зависимость снижения напряжения на исследуемых образцах;

**доказана** реальность того, что электрический ток высокой плотности ( $j \leq 10^8-10^9$  А/м<sup>2</sup>) в условиях интенсивного охлаждения вызывает структурные изменения в проводнике и то, что он и внешнее магнитное поле влияют на магнитные характеристики ферромагнитных металлов, а изменение физических характеристик тонких магнитных пленок (ТМП) и тонких образцах ферромагнитной фольги определяют возможность динамического обратимого влияния тока на их высокочастотные характеристики;

**введены** новые подходы к процессу формирования кристаллической структуры фасонной отливки при ее кристаллизации в условиях электромагнитного воздействия.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: **доказана** экспериментально-модельными способами зависимость напряженности электрического поля от относительной деформации электропроводного материала;

**применительно к проблематике диссертации результативно** (то есть с получением обладающих новизной результатов) **использован** метод ферромагнитного резонанса (ФМР) для выявления структуры проводников при воздействии токов высокой плотности;

**изложены** основные физические закономерности влияния электрического тока на структуру и эксплуатационные свойства кристаллизуемых металлов и сплавов;

**раскрыты** особенности управления формированием кристаллического строения отливок воздействием электрических и магнитных полей;

**изучены** факторы влияния параметров примененных устройств плавления металлов и сплавов на структуру отливок.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

**разработаны и внедрены** экспериментальные устройства, применимые для определения энергии, выделяемой при перестройке дислокационной структуры, имеется акт внедрения результатов работы;

**создана** модель кристаллизации под действием постоянного электрического тока, согласно которой в алюминиевых сплавах происходят структурные изменения, выражающиеся в уменьшении дендритного параметра, увеличении твердости, плотности сплава, что подтверждает факт влияния электрического тока на интенсивность массопереноса, газосодержание металлов, растворимость примесей и что приводит к уменьшению газовых пор;

**представлены** математические модели и **предложен** новый критерий образования микропористости, имеющий безразмерную форму и учитывающий не только термические условия процесса затвердевания отливки, но и технологические параметры, такие как атмосферное и металлостатическое давление, газонасыщенность сплава.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

**экспериментальные результаты** получены на сертифицированном современном оборудовании, воспроизводимость результатов не вызывает сомнений;

**теория** построена на известных фундаментальных данных путем корректного использования методов физики конденсированного состояния, методов экспериментальной физики, электродинамики, математической статистики, а полученные результаты в предельных случаях согласуются с опубликованными данными других авторов;



**идеи** базируются на обобщении междисциплинарных литературных данных и на анализе результатов, полученных экспериментальными методами;  
**использовано** сравнение полученных результатов с ранее полученными экспериментальными данными (в том числе, при сопоставлении результатов с работами Спицына В.И., Троицкого О.А., Батышева А.И., и других авторов);  
**установлено** количественное и качественное совпадение полученных в работе результатов с независимыми экспериментальными данными;  
**использованы** современные методы обработки полученных результатов, соответствующие целям и задачам исследований.

**Личный вклад соискателя состоит в:** формулировке научной проблемы, постановке и решении ее задач, создании установки по исследованию магнитных свойств ферромагнетиков методом магниторезистивного эффекта, в проведении исследований электрических свойств анизотропных тонких магнитных пленок, создании установки по кристаллизации алюминиевых сплавов в присутствии электрического тока, проведению исследования свойств и параметров структуры алюминиевых сплавов, кристаллизация которых происходила при воздействии электрического тока, в проведении обработки, апробации и анализе полученных результатов. Все представленные результаты получены автором лично, либо при непосредственном его участии.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: не сформулирована цельная концепция нетеплового воздействия электрического тока и магнитных полей на металл, были представлены измерения лишь на меди, никеле и алюминиевых сплавах, а насколько эти методы работают на другой группе металлов не рассмотрено. Желательно было бы сравнить с альтернативными методами воздействия. Рассмотрен только процесс литья, и то ограниченного количества цветных металлов. А можно ли распространить эти результаты на другие композиции? Возможно ли прогнозировать надежность работы металлов в условиях сильноточковой нагрузки.

Соискатель Тимченко С.Л. ответила на вопросы, задаваемые ей в ходе заседания членами диссертационного совета: д.ф.-м.н. Горбуновым А.К., д.т.н. Косушкиным В.Г., д.т.н. Шаталовым В.К., д.ф.-м.н. Степановым В.А. д.ф.-м.н. Шагаевым В.В., д.т.н. Корнюшиным Ю.П., согласилась с замечаниями д.ф.-м.н. Харитонова А.О., д.ф.-м.н. Коротаева С.М., д.т.н. Смыкова А.Ф., д.т.н. Герасимова С.И., д.т.н. Ивахно Н.В., д.т.н. Тарасова В.П., а также привела собственную аргументацию на замечания ведущей организации, официальных оппонентов: д.ф.-м.н. Зайцева А.И., д.т.н. Беляева И.В., д.т.н. Соломонова К.Н.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертационная работа Тимченко С.Л. «Управление физическими свойствами металлов и сплавов с помощью электрического и магнитного полей» является самостоятельной завершенной научно-квалификационной работой. Она соответствует критериям, установленным п.п. 9 и 10 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. (в редакции постановления Правительства РФ от 20.03.2021 г. № 426) и паспорту специальности Физика конденсированного состояния.

На заседании 27 октября 2021 года диссертационный совет принял решение – за решение научной проблемы, имеющей важное хозяйственное значение, связанное с созданием электропроводных материалов с управляемыми, за счет применения воздействия электрического тока и магнитного поля, физическими и эксплуатационными характеристиками – присудить Тимченко С.Л. ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 14 докторов наук по научной специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 14, против 1, недействительных бюллетеней 0.

Председатель

диссертационного совета

Коржавый Алексей Пантелеевич

Ученый секретарь

диссертационного совета

Лоскутов Сергей Александрович

Дата оформления ~~Заключения~~ 27 октября 2021 года