

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,  
Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки

ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ  
И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ  
им. А.А. Байкова  
Российской академии/наук  
(ИМЕТ РАН)

119334, Москва, Ленинский пр., 49  
Тел. (499) 135-20-60, 135-86-11; факс: 135-86-80  
E-mail: imet@imet.ac.ru <http://www.imet.ac.ru>  
ОКПО 02698772, ОГРН 1027700298702  
ИНН/КПП 7736045483/773601001

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИМЕТ РАН  
И.И. Корр. РАН

В.С. Комлев

«24» сентября 2021 г

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Тимченко Светланы Леонидовны «Управление физическими свойствами металлов и сплавов с помощью электрического и магнитного полей», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 1.3.8. – Физика конденсированного состояния

#### Актуальность работы

Решение задач, направленных на создание способов управления структурой и свойствами металлов и сплавов, выбор составляющих технологического процесса изготовления литых изделий являются актуальными и практически востребованными.

Исследования показывают, что электрический ток и магнитное поле оказывают влияние на эксплуатационные свойства алюминиевых сплавов. Модифицирование сплавов в режиме пропускания через расплав электрического тока, наложении электромагнитных полей, ультразвуковом воздействии, обуславливают изменение кристаллической структуры отливок, уменьшают пористость. Применение дополнительного электромагнитного воздействия приводит к улучшению эксплуатационных свойств материала, а именно, увеличивается прочность, твердость, уменьшается содержание газов. Существует связь между изменениями параметров структуры под действием электрического тока и физическими свойствами материала.

Для получения изделий с заданными физическими и эксплуатационными свойствами, характеристиками структуры материала необходимо создание новых технологий с применением дополнительного воздействия физическими полями. Исследования в этом направлении позволят выработать критерии для внедрения дополнительных воздействий в технологический процесс на основе детального анализа физической природы и свойств конденсированных сред. Это позволит решить задачи по развитию технологий и технологических процессов, приспособленных к реализации в условиях производства, открытых к развитию и совершенствованию.

В этой связи, исследования, представленные в данной диссертационной работе, являются актуальными, а их результаты могут быть использованы при создании методов

управления физическими свойствами электропроводных материалов, содержат рекомендации по модернизации технологических процессов, в которых внешнее электромагнитное воздействие является определяющим фактором, дающим возможность управления параметрами процессов. В диссертационной работе проведено исследование закономерностей для физических величин, параметров структуры, связанных с применяемым воздействием в кристаллических структурах (металлах и их сплавах), изучены процессы, происходящие в металлах (медь, никель) и алюминиевых сплавах в твердом и жидком состоянии, а также в состоянии фазового перехода при пропускании электрического тока.

### **Общая характеристика работы**

Диссертационная работа 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.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка обозначений и сокращений и литературы.

Во **Введении** обоснована актуальность темы диссертации, степень ее разработанности, приведены цели и задачи исследования, научная новизна, научная и практическая значимости работы, представлены методы исследования, положения, выносимые на защиту, степень достоверности полученных результатов исследования, указан вклад автора и представлена апробация результатов исследования.

**В первой главе** дается обзор литературы по результатам исследования электропластического эффекта, рекристаллизации металлов и сплавов. Показана перспективность воздействия электрическим током на процесс кристаллизации литейных сплавов. Сформулированы задачи исследования.

**Во второй главе** представлены результаты экспериментального исследования электропластического деформирования металлов и сплавов при высоких плотностях электрического тока ( $10^8 \dots 10^9$  А/м<sup>2</sup>) в условиях интенсивного охлаждения. Установлена форма закона электропроводности при высоких плотностях тока. Рассмотрены особенности механически напряженного состояния проводников при высоких плотностях постоянного электрического тока. Дан анализ результатов исследований электрических свойств структурно неоднородных проводников (никелевая фольга, медная проволока) при высокой плотности тока ( $j \leq 10^9$  А/м<sup>2</sup>) в условиях интенсивного охлаждения, достаточной для осуществления процесса необратимого, не термоактивируемого деформирования и установлена связь структурных изменений в проводящих средах с электросопротивлением материала образца.

**В третьей главе** представлены результаты экспериментального исследования влияния электрического тока на параметры ферромагнитного резонанса в пленках пермаллоя  $86Ni14Fe$  толщиной 1 мкм на стеклянной подложке и на величину



магниторезистивного эффекта в фольгах поликристаллического никеля толщиной 5 мкм при токе силой  $I = 0,1 - 10$  А и внешнем магнитном поле  $H_o = (0,5 - 6) \cdot 10^5$  А/м.

**В четвертой главе** представлено описание метода воздействия электрическим током на процесс кристаллизации при литье алюминиевых сплавов в песчаные формы (ПФ) и показаны результаты исследования процесса кристаллизации силуминов при литье в ПФ при пропускании постоянного электрического тока. Представлена физическая модель, описывающая движение фронта кристаллизации при использовании тока. Эта модель позволила проанализировать влияние теплофизических свойств окружающей среды и электрического тока на динамику движения фронта кристаллизации в условиях фазового перехода сплава. Показано, что наибольшее влияние на кинетику фазового перехода оказывает коэффициент теплоотдачи окружающей среды и плотность электрического тока. Разработан способ контроля фазового перехода при кристаллизации алюминиевого сплава, основанный на измерении падения напряжения на образце.

**В пятой главе** представлены результаты исследований структуры, физических и эксплуатационных свойств алюминиевых сплавов (силуминов), кристаллизация которых осуществлялась при протекании электрического тока через расплав. Проведен анализ факторов, влияющих на изменение структуры и свойств алюминиевых сплавов, что позволило выявить закономерности влияния электрического тока на свойства алюминиевых сплавов в процессе кристаллизации. Предложены физические модели, объясняющие влияние электрического тока на структуру и свойства алюминиевых сплавов.

Экспериментально установлено, что пропускание постоянного и импульсного электрического тока в процессе кристаллизации алюминиевых сплавов позволяет влиять на формирование структуры, физических и эксплуатационных свойств алюминиевых сплавов. Установлено, что наиболее эффективное влияние оказывает импульсный электрический ток. Показано, что при кристаллизации пористость сплавов, обработанных электрическим током, уменьшается; уменьшается размер дендритной ячейки, структура приобретает вид с тонкодифференцированной эвтектикой. Действие электрического тока проявляется также в текстурировании сплава, структура сплава носит анизотропный характер, что подтверждено результатами измерения удельного электросопротивления и рентгеноструктурного анализа.

**В шестой главе** представлены технические применения электромагнитных сил при изготовлении фасонных отливок, микроизделий, показана природа дополнительных механических напряжений и сформулированы рекомендации по корректировке технологии для получения качественных отливок при использовании электромагнитных полей.

#### **Научная новизна результатов исследования**

В ходе исследований 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:

Экспериментально установлен обобщенный закон электропроводности металлов при высоких плотностях тока.

Экспериментально установлена функциональная связь между напряженностью электрического поля и относительной деформацией проводника.

Построена модель, описывающая движение фронта кристаллизации при использовании электрического тока, которая позволяет объяснить временную зависимость падения напряжения на образце, а также контролировать процесс кристаллизации сплава.

Разработаны физические модели, объясняющие влияние электрического тока и магнитного поля на физические свойства электропроводного материала в состоянии фазового перехода.

#### **Практическая значимость полученных результатов**

Рассмотренная диссертационная работа имеет экспериментальный характер, и её результаты имеют практическую значимость в области физики конденсированного состояния, металлофизики и металловедения:

- доказано, что максимальное влияние на формирование структуры и физические свойства электропроводного сплава электрический ток оказывает на этапе фазового перехода сплава;
- предложен путь совмещения технологического процесса с электромагнитным воздействием, позволяющий создавать высокоэффективные технологические процессы по изготовлению микроизделий;
- получен новый критерий образования микропористости, пригодный в цеховой практике и практике компьютерного моделирования отливки.

Результаты диссертационной работы рекомендуются для использования в ИМЕТ РАН им. А.А. Байкова, МИСиС.

#### **Достоверность результатов**

Результаты работы получены с использованием современных методов исследования магнитных и электрических свойств ферромагнетиков, применены современные методы исследования химического состава, структуры, свойств литейных сплавов, использованы традиционные методики измерения эксплуатационных свойств литейных сплавов. Результаты работы подтверждены их воспроизводимостью и согласованностью между собой. Основные результаты работы опубликованы в ведущих научных изданиях по тематике диссертации.

#### **Замечания по диссертационной работе**

1. В третьей главе нет данных о структуре исследованных образцов (фазовый состав, размеры кристаллитов, твёрдый раствор, остаточные напряжения и т.п.), которые возможно получить с помощью металлографического анализа, электронной микроскопии, рентгеновской дифракции и др. методов.
2. На рисунке 6.4.4 приведены кривые для двух частот, однако на следующем рисунке – только для одной.



3. В подразделе 6.4 теоретически получены напряжения очень малой величины (менее 1 МПа). В тексте подраздела нет обсуждения возможного влияния таких напряжений на структуру сплава.

Сделанные выше замечания не снижают научной и практической значимости результатов, полученных в диссертационной работе, и не влияют на общую положительную оценку работы.

Диссертация в целом создаёт положительное впечатление, написана ясным языком с использованием научного стиля. Основные результаты опубликованы в 43 печатных изданиях (из них 19 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикации основных результатов научных работ соискателей ученой степени доктора наук, 19 статей в трудах конференций, 4 авторских свидетельства на изобретение и 1 патент).

Диссертация выполнена на высоком научно-исследовательском уровне, а её результаты имеют несомненную практическую ценность в области физики конденсированного состояния электропроводных сред.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

В диссертационной работе Тимченко С.Л. «Управление физическими свойствами металлов и сплавов с помощью электрического и магнитного полей» 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.

Диссертация Тимченко С.Л. соответствует специальности 1.3.8. – «Физика конденсированного состояния» и отвечает требованиям п. 9 «Положение о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 года (в редакции, утвержденной постановлением Правительства РФ от 01.10.2018 № 1168), предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор, Тимченко Светлана Леонидовна, заслуживает присуждения искомой научной степени.

Диссертация Тимченко С.Л. была рассмотрена и получила положительную оценку на заседании Секции «Металловедение и металлофизика» Учёного совета Института металлургии и материаловедения имени А.А. Байкова РАН (протокол №4/21 заседания Секции от 23 сентября 2021 г).

Заместитель директора  
по научной работе ИМЕТ РАН

к.т.н.

Зав. Лабораторией конструкционных сталей и сплавов им. академика Н.Т. Гудцова ИМЕТ РАН

Тел.: +7(499)135-77-92

Эл.почта: [ibannykh@imet.ac.ru](mailto:ibannykh@imet.ac.ru)

Банних Игорь Олегович