

ОТЗЫВ

официального оппонента 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

Несмотря на то, что существует достаточно много результатов, подтверждающих тепловое и механическое действие электрического тока и магнитного поля на процесс пластического деформирования, физические и служебные свойства металлов и сплавов, полученных путем кристаллизации расплава, отсутствуют исследования закономерностей изменения физических характеристик, параметров структуры, обусловленных дополнительным воздействием электрических и магнитных полей на металлы и сплавы в кристаллическом состоянии. Поэтому, экспериментальное изучение закономерностей формирования физических свойств металлов и их сплавов под влиянием внешних воздействий весьма значимо для создания проводящей среды с заданными физическими характеристиками, а исследование протекающих при этом процессов в жидких и твердых металлах и сплавах является **актуальным** в силу отсутствия единых физических принципов учета электромагнитного воздействия. Использование электромагнитного воздействия для формирования структуры и свойств конденсированных проводящих сред в условиях фазового перехода, как установлено экспериментально, также является достаточно актуальным.

Общая характеристика работы

Диссертационная работа С.Л. Тимченко содержит результаты экспериментального исследования изменения состояния конденсированного вещества (металлы – медь, никель, алюминиевые сплавы) при электромагнитном воздействии. Для определения результатов нетеплового действия электрического тока и магнитного поля на физические свойства металлов (никель) и сплавов (пермаллой) были использованы методы ферромагнитного резонанса (ФМР) и магниторезистивного эффекта (МРЭ). Исследования, представленные в диссертационной работе, направлены на создание методов управления физическими свойствами электропроводных материалов, а также на модернизацию технологических процессов, в которых

внешнее электромагнитное воздействие является определяющим фактором. В работе изучено применение воздействия электрического тока (постоянного, импульсного), магнитного поля, на процесс кристаллизации алюминиевого сплава, с целью достижения положительных эффектов: изменения структуры, уменьшения размера дендритной ячейки, увеличения твердости, возникновения дополнительной структурной анизотропии и связанной с ней анизотропии электросопротивления сплава.

Диссертация состоит из введения, шести глав, выводов, заключения, списка использованных источников. Также представлен акт об использовании научных и практических результатов работы. Общий объем диссертации составляет 290 страниц.

Во введении диссертации приводится обоснование актуальности темы диссертации, показана степень ее разработанности, сформулированы цели и задачи исследования, научная новизна, практическая значимость работы, положения, выносимые на защиту.

В первой главе содержится обзор современной литературы по результатам исследования электропластического эффекта, рекристаллизации металлов и сплавов. Представлены модели электропластического состояния металла. Отражены преимущества использования воздействия электрического тока на процесс кристаллизации литейных сплавов. Из литературного обзора не совсем четко следуют далее поставленные задачи экспериментальных исследований. Однако, в последующих главах, кроме результатов исследований присутствует сопоставление с ранее полученными данными..

Во второй главе представлены результаты экспериментального исследования электропластического деформирования металлов при высоких плотностях электрического тока $j > 10^8$ А/м² и проведен их анализ, установлена аналитическая форма закона электропроводности металла при высокой плотности тока. Показан способ косвенного определения энергии, запасенной в деформированной текстуре образцов, основанный на анализе вольтамперных характеристик.

В третьей главе содержатся результаты экспериментального исследования влияния электрического тока на параметры ферромагнитного резонанса в тонких магнитных пленках и на величину магниторезистивного эффекта в фольгах поликристаллического никеля.

Методом ферромагнитного резонанса доказано обратимое влияние постоянного электрического тока на магнитные свойства ферромагнетиков в условиях интенсивного охлаждения образцов.

Результаты экспериментального исследования, выполненного с помощью метода магниторезистивного эффекта в фольгах ферромагнитного металла, показывают, что электрический ток высокой плотности и внешнее магнитное поле оказывают необратимое влияние на величину электросопротивления образцов, вызванное структурными изменениями сплава.

В четвертой главе описан способ воздействия электрического тока на процесс кристаллизации при литье алюминиевых сплавов в песчаные формы и представлены результаты экспериментального исследования параметров процесса кристаллизации алюминиевых сплавов при литье в песчаные формы. Показан оригинальный способ контроля параметров процесса кристаллизации под действием электрического тока, пропускаемого в процессе кристаллизации сплава. А именно, за счет измерения временной зависимости падения напряжения на образце, является возможным без измерения температурной зависимости материала отливки при ее кристаллизации определить скорость, а также время фазового перехода сплава. При этом электрический ток оказывает влияние на структуру и свойства сплава, что подтверждается результатами экспериментального исследования, представленными в главах 5 и 6.

В пятой главе представлены результаты экспериментальных исследований параметров структуры, физических и служебных свойств алюминиевых сплавов, кристаллизация которых осуществлялась под действием электрического тока при литье в песчаные формы и в кокиль.

С помощью металлографического анализа структуры материала доказано влияние электрического тока на размеры и характер распределения эвтектики в сплавах *AK 12* и *AK12M2MzH*. Установлено, что происходит уменьшение расстояния между осями второго порядка алюминиевых сплавов, увеличивается твердость, плотность, происходит формирование тонкодифференцированной эвтектики в структуре сплава. Наряду с изменениями в служебных свойствах алюминиевых сплавов выявлено ориентирующее действие электрического тока на параметры структуры и физические свойства сплава, которые имеют в результате действия тока анизотропный характер.

В шестой главе рассмотрены способы управления свойствами проводящих сред с помощью электромагнитного воздействия. Показаны

результаты применения прецизионного электромагнитного воздействия при изготовлении фасонных отливок из алюминиевых сплавов и микроизделий, в частности на примере способа управления процессом формирования фасонных отливок. Предложен новый критерий для оценки вероятности образования микропористости в отливках. Данный критерий образования микропористости наряду с термическими условиями процесса затвердевания учитывает ряд существенных технологических факторов, среди которых атмосферное и металлостатическое давление, газонасыщенность сплава. Критерий имеет безразмерную форму, содержит только измеряемые или контролируемые параметры и не требует дополнительной экспериментальной адаптации.

В заключении сформулированы основные результаты исследований, которые имеют перспективы дальнейшего развития.

Степень достоверности результатов

Степень достоверности полученных экспериментальных результатов и выводов обеспечивалась корректностью постановки решаемых задач, их физической обоснованностью, большим объемом экспериментальных данных, полученных с помощью сертифицированного оборудования и апробированных, современных методов исследования физических и служебных свойств, структуры материалов.

Научная новизна и практическая ценность

В диссертационной работе получены практически важные научные и практические результаты, которые могут быть использованы при формировании новых технических и технологических решений получения металлов и сплавов с использованием прецизионного воздействия электрического и магнитного полей:

1. Экспериментально обоснован обобщенный закон электропроводности металлов при высоких плотностях тока.
2. Экспериментально установлена функциональная связь между напряженностью электрического поля и относительной деформацией проводника, которая показывает, что напряженность электрического поля пропорциональна относительной деформации проводника. Это указывает на связь между механическими и электрическими характеристиками материала.
3. 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.

4. Разработаны физические модели для трактовки влияния электрического тока и магнитного поля на физические свойства электропроводного материала в состоянии фазового перехода.

5. Разработан метод изготовления фасонной отливки, в котором использовано действие электрического тока в широком диапазоне плотностей ($10^5 - 10^9$ А/м²) на материал в процессе его кристаллизации. Это позволяет обратимо изменять соотношение твердой и жидкой фаз при затвердевании отливки.

6. Предложен путь совмещения технологического процесса и электромагнитного воздействия, позволяющий создавать высокоэффективные инновационные технологические процессы по изготовлению микро- изделий, в частности разработан способ электромагнитоимпульсного заполнения микроформ расплавом.

7. Получен новый безразмерный критерий образования микропористости в отливках, пригодный в производственной практике, и для компьютерного моделирования формирования отливки, учитывающий не только термические условия процесса затвердевания, но и технологические параметры.

Все защищаемые положения и основные результаты диссертационной работы опубликованы в 43 научных печатных изданиях (из них 19 работ - научные статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикации основных результатов научных работ соискателей ученой степени доктора наук, 16 - статьей в трудах конференций, 4 авторских свидетельства на изобретение и 1 патент).

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

Тема диссертации соответствует специальности 1.3.8. – физика конденсированного состояния.

В диссертационной работе имеются следующие недостатки:

1. В диссертации нет никаких результатов исследования трудно деформируемых материалов. Напротив, все внимание уделено меди и никелю с пластической деформацией которых особых проблем нет, больше внимания уделено магнитным свойствам.
2. 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/м² 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.

3. В работе делается акцент электромагнитного влияния на кристаллизацию алюминиевых сплавов и деформацию немагнитных и магнитных материалов, таких как медь и никель, однако с практической точки зрения не менее интересным и перспективным является пропускание тока по полосе между клетями при прокатке сталей. Таким образом, можно расширить область применения электромагнитного воздействия в производстве широкого круга важных материалов.
4. Присутствуют небрежности по оформлению текста. Например, в разделах 2.1, 2.2 скалярные величины, представленные в формулах (2.1.4), (2.1.5), (2.2.7) выделены жирным шрифтом. Более правильным является оперировать палением потенциала, а не напряжения, поскольку, в этом случае нужно учитывать падение напряжения на подводящих проводниках.
5. В разделе 3.2, в формуле (3.2.10) не описан параметр b , который выделен жирным шрифтом, а по сути, является скалярной физической величиной.

В целом работа выполнена на высоком научно-исследовательском уровне. Сделанные выше замечания и пожелания не снижают общую научную значимость и практическую ценность результатов исследований, представленных в диссертационной работе.

Заключение

Диссертация Тимченко Светланы Леонидовны является самостоятельной, завершенной научно-квалификационной работой в области физики конденсированного состояния, в которой решена важная для практики научная проблема – создание материалов электропроводной среды с управляемыми электрическим током и магнитным полем физическими свойствами. Предложены новые технические и технологические решения получения металлов и сплавов прецизионным воздействием электрического и магнитного

полей. Данная работа вносит существенный вклад в развитие методов управления процессами, в частности, кристаллизации алюминиевых сплавов и формирования структуры, управления физическими свойствами в процессе фазового перехода под влиянием внешних воздействий.

Учитывая, что диссертация Тимченко Светланы Леонидовны «Управление физическими свойствами металлов и сплавов с помощью электрического и магнитного полей», представленная на соискание ученой степени доктора технических наук, отвечает требованиям п. 9 «Положение о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842, можно утверждать, что ее автор, С.Л. Тимченко заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 1.3.8. – физика конденсированного состояния.

Автор отзыва согласен на обработку персональных данных.

Официальный оппонент:

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

Зайцев Александр Иванович

Дата «27» сентября 2021 г.

Место работы:

ФГУП «ЦНИИчермет им. И. П. Бардина»

Адрес: 105005, Москва, ул. Радио 23/9,

стр. 2. Тел. +74957779301

e-mail: aizaitsev1@yandex.ru

Подпись Зайцева А.И. заверяю

Ученый секретарь

ФГУП «ЦНИИчермет им. И. П. Бардина»

Москвина Т.П.