

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

В диссертационной работе проведено исследование физической природы процессов, происходящих в электропроводных средах в твердом, жидком состояниях и в состоянии фазового перехода. Подробно исследованы физические и эксплуатационные свойства металлов и сплавов и предложены способы изменения структуры материала под действием электрического и магнитного полей. В итоге, были выработаны методы управления физическими свойствами электропроводных материалов в условиях электромагнитного воздействия.

Актуальность темы исследований

Экспериментальное изучение физических свойств металлов и их сплавов при внешних воздействиях является значимым при создании проводящей среды с управляемыми физическими характеристиками. Как установлено в процессе экспериментальных исследований, использование электромагнитного воздействия при формировании структуры и свойств конденсированных проводящих сред в условиях фазового перехода приводит к улучшению эксплуатационных свойств материала, а поэтому такие исследования достаточно актуальны для практики. В целом исследование процессов, происходящих в металлах и сплавах в твердом и жидком состояниях, в результате электромагнитного воздействия, представляется актуальным в силу отсутствия единой физической модели.

Общая характеристика работы

В диссертационной работе представлены результаты экспериментального исследования состояния конденсированных веществ. Предпринята и реализована попытка комплексного решения задачи о влиянии электрического тока и магнитного поля на физические свойства электропроводных металлов, найдено техническое решение по возможности управления состоянием структуры и физическими свойствами электропроводных металлов (медь, никель, пермаллой) и алюминиевых сплавов, изучены особенности процесса электропроводности под действием электрического тока высокой плотности и магнитного поля на этапах процесса кристаллизации алюминиевых сплавов. Положительными результатами применения электромагнитного воздействия при кристаллизации сплавов являются изменения в структуре сплава, уменьшение размера дендритной ячейки, увеличение твердости сплава, возникновение дополнительной структурной анизотропии и связанной с ней анизотропии электрических свойств образцов.

Результаты исследований по влиянию электрического и магнитного полей на физические свойства электропроводного материала в состоянии фазового перехода при воздействии постоянного и импульсного электрического тока позволили сформировать физические модели, объясняющие результаты такого воздействия.

Для доказательства нетеплового действия электрического тока высокой плотности и магнитного поля на физические свойства ферромагнитных металлов и их соединений были использованы метод ферромагнитного резонанса и магниторезистивного эффекта.

Исследования диссертационной работы направлены на создание методов управления физическими свойствами электропроводных материалов, модернизацию технологических процессов, в которых внешнее электромагнитное воздействие является определяющим фактором, дающим возможность управления параметрами техпроцессов.

Диссертация состоит из введения, шести глав, выводов, заключения, списка цитируемой литературы. Общий объем диссертации составляет 290 страниц.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, показана степень ее разработанности, формулируется научная задача исследований, а также локальные цели и задачи исследования для их достижения, научная новизна, практическая значимость работы, положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен литературный обзор. Дан анализ результатов исследования электропластического эффекта, рекристаллизации металлов и сплавов под действием электрического тока высокой плотности. Разобрано физическое содержание моделей электропластического состояния металлов. Показаны преимущества использования электрического тока при кристаллизации сплавов, что выражается в изменении их эксплуатационных свойств.

Во второй главе проведен детальный анализ результатов экспериментального исследования электропластического деформирования металлов при высокой плотности электрического тока. В ходе исследований установлена аналитическая форма закона электропроводности металлов, получена связь напряженности электрического поля в проводнике и электроупругих деформаций при высокой плотности тока. Описан способ косвенного определения энергии, запасенной в деформированной текстуре образцов, основанный на анализе вольтамперных характеристик, имеющий практическое значение. Учтено влияние магнитного поля тока на перемещение вакансий в твердом теле.

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

В условиях интенсивного охлаждения образцов методом ФМР доказано обратимое влияние постоянного электрического тока на магнитные свойства ферромагнетиков – тонких магнитных пленок. Результаты экспериментов объясняются наличием в пленках угловой дисперсии поля магнитной анизотропии, зависящей от плотности электрического тока в образце. Для подтверждения влияния электрического тока высокой плотности, пропускаемого в металлических ТМП на параметры ФМР в указанных пленках, была использована статистическая модель магнитонезвзаимодействующих блоков.

С помощью магниторезистивного эффекта экспериментально доказано, что в фольгах ферромагнитного металла (поликристаллический никель) электрический ток высокой плотности и внешнее магнитное поле оказывают необратимое влияние на электросопротивление образцов, что сопровождается структурными изменениями в них.

В четвертой главе приводится подробное описание способа воздействия электрического тока на процесс кристаллизации и представлены результаты экспериментального исследования параметров процесса кристаллизации алюминиевых сплавов при литье в песчаные формы. Предложен нестандартный способ контроля параметров процесса кристаллизации отливки, осуществляемый за счет действия электрического тока, пропускаемого в процессе кристаллизации образца, заключающийся в измерении временной

зависимости падения напряжения на образце. При этом электрический ток оказывает необратимое влияние на структуру и свойства сплава, что подтверждается результатами экспериментальных исследований, подробно изложенными в главе 5.

В пятой главе даны результаты экспериментальных исследований особенностей структуры, физических и эксплуатационных свойств алюминиевых сплавов, кристаллизация которых осуществлялась под действием электрического тока при литье в песчаные формы и в кокиль, которые были реализованы при использовании способа изготовления фасонных отливок, представленного автором в его патенте.

Металлографическим анализом структуры материала доказано влияние электрического тока на размеры и характер распределения эвтектики в алюминиевых сплавах. Параметры структуры сплава были измерены с помощью компьютерной программы анализа изображений Qwin. Обнаружено уменьшение расстояния между осями дендритов второго порядка в алюминиевых сплавах, изменение в распределении эвтектики, увеличение твердости, плотности, что подтверждает формирование тонкодифференцированной эвтектики в структуре сплава. Изменения структуры отражаются на эксплуатационных свойствах сплавов. Выявлено необратимое ориентирующее действие электрического тока на параметры структуры и физические свойства сплава, которые имеют в результате действия тока анизотропный характер. Возникающая анизотропия электросопротивления в образцах из силуминов при их кристаллизации в присутствии тока имеет не тепловую природу, что доказывает гипотезу автора о возникновении дополнительных механических напряжений при пропускании тока высокой плотности.

В шестой главе представлены способы управления свойствами проводящих сред (алюминиевые сплавы, а также сплав Вуда), в которых используется электромагнитное воздействие. Даны схемы установок, описана методика проведения эксперимента, результаты применения прецизионного электромагнитного воздействия при изготовлении фасонных отливок из алюминиевых сплавов и микроизделий. Исследования влияния электрического тока на процесс кристаллизации алюминиевых сплавов включают использование способа управления процессом формирования фасонных отливок, разработанный и запатентованный автором диссертационной работы.

Рассмотрены особенности нового критерия для оценки вероятности образования микропористости в отливках. Предложенный автором критерий образования микропористости наряду с термическими условиями процесса затвердевания учитывает ряд существенных технологических факторов, среди которых атмосферное и металлостатическое давление, газонасыщенность сплава. Отличительной особенностью и важностью предлагаемого критерия является отсутствие в расчетной части критерия необходимости использования радиуса критического зародыша формируемой микропоры. Вместо этого используется его оценка по расстоянию между вторичными осями дендритов. Практическая ценность критерия заключается также и в том, что он имеет безразмерную форму, содержит только измеряемые или контролируемые параметры и не требует дополнительной экспериментальной информации.

В заключительной части диссертации сформулированы основные выводы и результаты исследований, выносимые в положениях на защиту, которые показывают, что решена практически важная научная проблема – создана среда с управляемыми электрическим током и магнитным полем физическими характеристиками.

Степень достоверности результатов

Достоверность полученных экспериментальных результатов обеспечена корректностью постановки решаемых в диссертационной работе задач, их физической обоснованностью, а также большим объемом экспериментальных данных. При выполнении экспериментальной части работы автором были использованы современные методы исследования магнитных и электрических свойств ферромагнетиков, создана установка для реализации способа изготовления литого изделия при пропускании электрического тока, а также использованы современные методы исследования химического состава, структуры, свойств литейных сплавов.

Научная новизна и практическая ценность

В диссертационной работе получены ценные научные и практические результаты, которые могут применяться в инженерной практике при получении металлов и сплавов с заданными физическими свойствами за счет применения прецизионного электромагнитного воздействия:

- обобщенный закон электропроводности металлов при высоких плотностях тока;
- функциональная связь между напряженностью электрического поля и относительной деформацией проводника;
- способ определения предела прочности электропроводных материалов, позволяющий без использования механического контакта измерить механическую прочность токопроводящих покрытий на изоляционном основании;
- модель, описывающая движение фронта кристаллизации при использовании электрического тока, которая позволяет объяснить временную зависимость падения напряжения на образце, а также контролировать процесс кристаллизации сплава;
- метод изготовления фасонной отливки, в котором используется действие электрического тока на материал в процессе его кристаллизации, что дает возможность обратно изменять соотношение между твердой и жидкой фазами сплава;
- совмещение технологического процесса и электромагнитного воздействия, позволяющий создавать высокоэффективные инновационные технологические процессы по изготовлению микроизделий, в частности разработан способ электромагнитоимпульсного заполнения микроформ расплавом при использовании сплава Вуда;
- безразмерный критерий образования микропористости в отливках, пригодный в практике компьютерного моделирования формирования отливки.

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

Автореферат в достаточном объеме отражает содержание диссертации.

По работе имеются следующие замечания:

1. Присутствуют небрежности при оформлении текста диссертации. Так, например, в главе 2, раздел 2.1, в формулах (2.1.4) и (2.1.5) скалярные величины выделены жирным шрифтом наряду с векторными физическими величинами.
2. В работе имеется большое количество косвенных измерений физических свойств, которые подтверждают наличие структурных изменений. Однако недостаточно исследована структура, полученная при деформировании образцов под действием тока высокой плот-

ности. Например, в главе 2 (раздел 2.1) предложен способ косвенного определения энергии, запасенной в деформированной текстуре образцов, основанный на анализе вольтамперных характеристик, не дающий возможность прямого подтверждения, как конкретно происходят структурные изменения в образцах. В этом случае целесообразным было бы проведение металлографического и рентгеноструктурного анализа.

3. 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.

Сделанные выше замечания не снижают общую научную значимость и практическую ценность результатов проведенных исследований, которые представлены в диссертационной работе, и носят скорее рекомендательный характер.

Заключение

Диссертация Светланы Леонидовны Тимченко «Управление физическими свойствами металлов и сплавов с помощью электрического и магнитного полей», представленная на соискание ученой степени доктора технических наук, в которой сформулирована и решена практически важная задача – создание среды с управляемыми электрическим током и магнитным полем характеристиками, – отвечает требованиям п. 9 «Положение о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, а ее автор, Светлана Леонидовна 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:

профессор кафедры социально-гуманитарных, естественно-научных и общепрофессиональных дисциплин филиала Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения» в г. Воронеж,
доктор технических наук, специальность 05.16.05 – Обработка металлов давлением,

профессор _____ Соломонов Константин Николаевич

30 сентября 2021 года.

Адрес: 394026, Российская Федерация.

г. Воронеж, ул. Урицкого, д. 75а;

тел.: +7 473 221 03 53 (раб.), +7 951 562 53 87 (моб.);

e-mail: voronezh@rgups.ru, konssol@list.ru

