

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по
стратегическому развитию,
науке и инновациям



Е.В. Скрипникова

11.02.25

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» на диссертационную работу Жуковой Ольги Олеговны на тему **«Механические свойства, электропроводность и термостойкость наноструктурированных сплавов системы Al-Fe для использования в электротехнике»**, представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.6. Нанотехнологии и наноматериалы.

Актуальность диссертационной работы

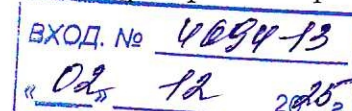
Диссертационная работа Жуковой О.О. посвящена решению актуальной задачи, связанной с достижением рационального сочетания прочности, электропроводности и термостойкости проводников из перспективных алюминиевых сплавов электротехнического назначения путем легирования железом и двухэтапной деформационной обработки непрерывнолитых заготовок методами равноканального углового прессования с последующей холодной прокаткой или холодным волочением. Повышение эксплуатационных характеристик проводников из алюминия и сплавов на его основе, как альтернативы более дорогим медным сплавам, является актуальной задачей.

Структура и содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и заключения. Общий объем диссертации составляет 168 страниц. Работа содержит 62 рисунка и 42 таблицы, список цитируемой литературы включает 226 источников. Содержание и структура диссертации соответствуют поставленной цели исследования и находятся в логическом единстве.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи работы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, основные положения, выносимые на защиту, а обоснована достоверность результатов и представлена информация об апробации работы.

В первой главе автором представлен содержательный литературный обзор, относящийся теме диссертационной работы, а именно современным проводникам на основе алюминия. В литературном обзоре рассмотрены



алюминиевые сплавы демонстрирующие высокий уровень физико-механических и эксплуатационных свойств, широко используемые и перспективные методы производства алюминиевых сплавов (литье в кокиль, непрерывное литье в электромагнитный кристаллизатор), рассмотрены методы последующей обработки алюминиевых сплавов. Автор особое внимание уделяет сплавам системы Al-Fe, обладающие невысокой стоимостью по сравнению с другими сплавами. В диссертационной работе проведен обзор литературы, посвященной исследованиям возможности улучшения свойств проводниковых сплавов за счет формирования в них УМЗ и наноструктурированных состояний, используя методы интенсивной пластической деформации.

Во второй главе автор приводит материалы исследования и описывает методы и методики проведения исследований. В работе объектами исследования были сплавы системы Al-Fe. В этой главе уделяется особое внимание исходному материалу, производителю и методу изготовления. Таким образом, в работе приводится катанка из сплава 8176 с содержанием железа 0,5 вес. %, произведенная на Кандалакшском Алюминиевом заводе ОК «РУСАЛ» (г. Кандалакша, Россия) методом совмещенного литья и прокатки. Заготовки из сплавов Al-0,5Fe, Al-1,7Fe, Al-2,5Fe, Al-0,5Fe-0,3Cu (вес. %), полученные методом непрерывного литья в электромагнитном кристаллизаторе в ООО «Научно-практический центр магнитной гидродинамики» (Красноярск, Россия). Также подробно описаны последующие технологические операции, а именно РКУП, РКУП-К, холодная прокатка и холодное волочение.

В третьей главе автором представлены результаты исследований микроструктуры и физико-механических свойств сплавов системы Al-Fe с содержанием железа от 0,5 вес.% (сплав марки 8176) до 3,4 вес.%, полученных традиционными методами литья после двухэтапной деформационной обработкой, включающей РКУП.

В четвертой главе представлены результаты исследований микроструктуры и физико-механических свойств сплавов системы Al-Fe с содержанием железа от 0,5 до 2,5 вес. %, полученных методом литья в ЭМК, подвергнутые двухэтапной деформационной обработке, осуществленной методами РКУП или РКУП-К. На втором этапе деформационной обработки автор использует холодную прокатку или холодное волочение.

В пятой главе автор приводит результаты исследования влияния легирования малой добавкой меди (0,3 вес.%) на микроструктуру, физико-механические свойства и их термическую стабильность сплава Al-0,5Fe-0,3Cu – аналога по химическому составу сплаву 8030, полученного методом литья в электромагнитном кристаллизаторе и подвергнутого двухэтапной деформационной обработке, включающей РКУП или РКУП-К, а на втором этапе холодную прокатку или холодное волочение.

В заключении приведены общие выводы, сделанные по полученным в диссертационной работе результатам.

Научная новизна результатов, изложенных в диссертации

Научная новизна диссертации Жуковой О.О. заключается в следующем:

1. Установлено, что в сплавах системы Al-Fe с содержанием железа от 0,5 до 2,5 вес.%, полученных непрерывным литьем в ЭМК, формируется микроструктура, образованная алюминиевой матрицей и эвтектикой (Al)+Al₂Fe, отличающаяся тем, что в состав эвтектики входят наноразмерные частицы (90±20 нм) метастабильной фазы Al₂Fe.

2. Установлено, что дополнение метода непрерывного литья в ЭМК двухэтапной ДО, включающей ИПД методами РКУП или РКУП-К и ХП или ХВ, обеспечивает формирование в сплавах Al-0,5Fe, Al-0,5Fe-0,3Cu, Al-1,7Fe и Al-2,5Fe, наноструктурированных состояний, характеризующихся УМЗ структурой алюминиевой матрицы, отличающейся тем, что размер наночастиц фазы Al₂Fe уменьшается до 70±10 нм, что позволяет достичь наиболее благоприятного сочетания «прочность-термостойкость» по сравнению со сплавами, полученными традиционными методами литья.

3. Установлено, что малая добавка меди (0,3 вес.%) в сплаве Al-0,5Fe, полученном литьем в ЭМК и подвергнутом двухэтапной ДО, позволяет сформировать в нем наноструктурированное состояние, обеспечивающее существенное увеличение прочности, отличающиеся тем, что предел прочности увеличивается в 1,5 раза по сравнению с наноструктурированным сплавом без меди, достигая 309 МПа.

4. Установлено, что метод непрерывного литья в ЭМК с последующей двухэтапной ДО для сплавов Al-Fe с содержанием железа 1,0-2,2 вес.% позволяет получить высокопрочные термостойкие электропроводные материалы, отличающиеся тем, что предел прочности таких материалов достигает до 310 МПа, электропроводность – до 58,5% IACS и термостойкость (температура длительной эксплуатации) до 150°C, что позволяет их использовать в качестве проводниковых материалов в электротехнике.

Степень достоверности результатов исследования

Достоверность научных результатов, полученных в диссертационной работе, обоснованность выводов и научных положений, выносимых на защиту, не вызывает сомнений, так как они обеспечены корректной постановкой задачи, использованием современных методов исследования, а также непротиворечивостью результатов диссертационного исследования исследованиям других авторов.

Теоретическая и практическая значимость результатов, полученных автором работы, заключается в следующем:

1. Предложен метод литья и двухэтапной ДО сплавов системы Al-Fe, позволяющий получить в них наноструктурированные состояния, обеспечивающие заданное сочетание прочности в диапазоне от 239 до 310 МПа, электропроводности от 51,3 до 58,5% IACS и термостойкости (температура длительной эксплуатации до 150 °C), который может быть использован при выполнении опытно-технологических работ при производстве электропроводников.

2. Определено рациональное содержание железа (1,0-2,2 вес.%) в сплавах системы Al-Fe, полученных методом непрерывного литья в ЭМК, режимы их ДО, обеспечивающий комплекс прочности, электропроводности и термостойкости, позволяющий рассматривать их в качестве альтернативы используемым традиционным сплавам системы Al-Zr, Al-PЗМ и Al-Mg-Si.

3. Предложен способ получения проводника из сплава системы Al-Fe, включающий непрерывное литье в ЭМК и ДО – холодную деформацию литой заготовки, обеспечивающий получение пластин или проволоки электротехнического назначения из сплава Al-1,7Fe вес.%. Получен патент РФ №2815427. компании

Результаты диссертационной работы были использованы в производственных условиях ООО «Научно-производственный центр магнитной гидродинамики», что подтверждено актом использования результатов от 21.11.2024 г, г. Красноярск).

Теоретические и практические результаты, полученные в диссертации, опубликованы в журналах Перечня ВАК. Всего соискателем опубликовано 13 научных работ, из которых 5 в рецензируемых журналах, входящих в Перечень ВАК, 4 публикации в журналах, входящих в международные базы цитирования Web of Science и Scopus.

Соответствие паспорту научной специальности и отрасли наук:

Диссертация соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности 2.6.6. «Нанотехнологии и наноматериалы» (отрасли науки технические) по п. 1.1. – «Технологические и экспериментальные исследования процессов получения наноматериалов и их обработки, в том числе посредством формирования наноструктур на подложках, объёмного модифицирования расплавов, пластической деформации, консолидации нанопорошков, модифицирования поверхности материалов, облучения ускоренными частицами, термической и термомеханической обработки; разработка технологий и оборудования.»; п. 1.5. – «Исследование взаимосвязи химического и фазового составов, структурного состояния с физическими, механическими, химическими, технологическими, эксплуатационными и другими свойствами наноматериалов».

Замечания по диссертационной работе

1. Когда речь идет о внедрении недорогостоящих сплавов желательно произвести экономический расчет себестоимости по химическому составу, а также отсюда вытекает и технологичность готового продукта, насколько экономически целесообразно проводить столь сложные схемы деформационных обработок по сравнению с уже применяемыми материалами?

2. Чем обусловлено ограничение до 2,5% содержания железа в сплаве и почему добавляется только 0,3% меди? Чем в выводе 4 обосновано рациональное содержание железа от 1,0 до 2,2 вес.%, поскольку указанные концентрации не были исследованы в работе?

3. Требуется ли для этих сплавов как материалов, применяемых в электротехнике, рассмотреть устойчивость к контактной коррозии гальванических пар?

4. Как поведет себя сформированная структура после непрерывного литья в ЭМК с последующей двухэтапной ДО алюминиевого сплава при необходимых в электротехнике технологических операциях горячей и холодной сварки, пайки, не снизятся ли электропроводность и другие физико-механические свойства проводника?

5. Можно ли на основе полученных данных выделить оптимальный режим получения и обработки алюминиевых сплавов Al-Fe? Соответствует ли требованиям проводниковых материалов (15% и др. значения) достигнутый уровень прочностных и пластических свойств сплавов системы Al-Fe после различных деформационных обработок?

6. Как была измерена плотность дислокаций?

7. Что имеется в виду под термической стабильностью микроструктуры? В работе не были представлены сведения о времени выдержки при различных температурах отжига для оценки стабильности микроструктуры.

8. За счет чего наблюдается увеличение прочностных характеристик Al-Fe сплавов, дополнительно легированных медью? Только ли за счет измельчения частиц вторичных фаз? Как медь влияет на размер частиц? Меняется ли их объемная доля?

Указанные замечания не оказывают влияния на общую положительную оценку диссертационной работы Жуковой О.О.

Заключение

Рассмотрев диссертационную работу Жуковой О.О., считаем, что в представленной работе получен ряд важных и новых экспериментальных результатов, выводы обоснованы и сформулированы корректно. Полученные результаты доказывают возможность использовать в электротехнике перспективные недорогостоящие сплавы системы Al-Fe.

Содержание диссертации отражено в достаточном количестве статей, опубликованных в рецензируемых периодических изданиях, входящих в список ВАК, а также в материалах и трудах научных конференций. Автореферат диссертации и публикации диссертанта достаточно полно отражают содержание диссертации. Диссертация и автореферат оформлены в полном соответствии с установленными в ГОСТ Р 7.0.11-2011 требованиями.

В целом, по научному уровню полученных результатов, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа Жуковой О.О. соответствует критериям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденных Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 (в ред. Постановления Правительства РФ от 25.01.2024 г. № 62), а её автор, Жукова Ольга Олеговна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.6 Нанотехнологии и наноматериалы.

Диссертация соискателя и отзыв на нее были заслушаны и обсуждены на расширенном заседании кафедры материаловедения и нанотехнологий ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» 10 ноября 2025 г. (протокол № 4). Результаты голосования: «За» — 15 чел., «Против» — нет, «Воздержались» — нет.

Я, Федосеева Александра Эдуардовна, даю согласие на обработку своих персональных данных.

Я, Панов Дмитрий Олегович, даю согласие на обработку своих персональных данных.

Отзыв подготовили:

Доцент кафедры материаловедения
и нанотехнологий ФГАОУ ВО НИУ «БелГУ»
д. техн. н. по специальности 2.6.1 Металловедение
и термическая обработка металлов и сплавов, доцент

/ Федосеева Александра Эдуардовна

14.11.2025

Доцент кафедры материаловедения
и нанотехнологий ФГАОУ ВО НИУ «БелГУ»
к. техн. н. по специальности 2.6.1 Металловедение
и термическая обработка металлов и сплавов, доцент

/ Панов Дмитрий Олегович

14.11.2025

Сведения о ведущей организации

Адрес: 308015, Белгородская область, г. Белгород, ул. Победы, д. 85

Наименование организации: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»

Телефон: +7 (4722) 30-12-11

Адрес электроники почты: Info@bsuedu.ru

Личную подпись удостоверяю Специалист отдела кадрового обеспечения Управления Организационного и и кадрового обеспечения	Федосеева А. Э.
	Панов Д. О.
	14 11 2025

