

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу Жуковой Ольги Олеговны
«Механические свойства, электропроводность и термостойкость наноструктурированных
сплавов системы Al-Fe для использования в электротехнике», представленной на
соискание ученой степени кандидата технических наук

по специальности 2.6.6. Нанотехнологии и наноматериалы

Актуальность работы

Диссертация О.О. Жуковой направлена на разработку новых материалов для проводников из алюминиевых сплавов, имеющих широкое применение в электротехнике. Такими материалами выбраны сплавы системы Al-Fe, которые автор предлагает использовать взамен более дорогостоящих Al сплавов с редкоземельными металлами и цирконием. Такая замена актуальна и полностью отвечает основным требованиям, предъявляемым к современным и инновационным технологиям, имеющим важное значение на данном этапе развития производства в Российской Федерации. Актуальность темы диссертации также подтверждается тем, что предлагаемые Al-Fe композиции в наноструктурированном состоянии, полученном за счет использования оригинальной технологической схемы, обладают рациональным сочетанием прочности, электропроводности и термостойкости, что делает их перспективными для промышленного использования.

Научная новизна

В качестве наиболее важных и новых научных результатов можно отметить следующие:

1. Выявлен эффект измельчения структуры Al-Fe сплавов до наноструктурированного состояния в условиях технологической схемы, включающей метод непрерывного литья в электромагнитный кристаллизатор (ЭМК) и двухэтапную деформационную обработку равноканальным угловым прессованием с последующей холодной прокаткой (волочением).
2. Установлено, что в процессе литья в ЭМК слитков малого диаметра, вследствие высоких скоростей охлаждения расплава, в Al-Fe сплавах формируется дисперсная эвтектика с наноразмерными частицами метастабильной фазы Al_2Fe , вклад которых в упрочнение сплавов является определяющим.
3. На основании экспериментальных данных доказано, что после двухэтапной деформационной обработки отлитые в ЭМК Al-Fe сплавы имеют лучшее сочетание прочностных свойств и термостойкости по сравнению с материалами, полученными традиционными методами литья.
4. Обоснована возможность дополнительного легирования Al-Fe сплавов медью для существенного повышения прочности (в 1,5 раза) относительно прочности двойных Al-Fe сплавов, полученных в тех же условиях.

ВХОД. № 4848-13
«11» 12 2015г.

Практическая значимость выполненной работы состоит в разработке нового способа получения проводников из Al-Fe сплавов, включающего непрерывное литье слитков малого сечения в ЭМК и холодную деформацию (патент РФ №3815427). В рамках данной диссертации, с целью повышения механических и электрических свойств проводниковых сплавов, предложено усовершенствовать этот способ получения проводников путем дополнения стадии ИПД деформации (РКУП), предшествующей холодной прокатке (волочению).

В целом, результаты диссертации имеют важное значение для науки и практики и могут быть использованы для создания новых проводниковых сплавов, превосходящих по уровню свойств аналоги, полученные с использованием традиционных технологий, и заменяющих высокопрочные сплавы системы Al-Mg-Si и термостойкие Al-Zr и Al-PЗМ сплавы. Важно отметить, что результаты диссертационной работы были использованы в производственных условиях компании ООО «НПЦ магнитной гидродинамики» г. Красноярск, что подтверждено актом.

Достоверность результатов

Достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждены результатами большого объема выполненных экспериментов, проведенных с использованием передового метода литья, уникальных установок для осуществления ИПД и современного аттестованного оборудования, включая сканирующую и просвечивающую электронную микроскопию. Полученные в работе основные экспериментальные результаты дополняют и согласуются с известными литературными данными других авторов, работающих в области нанотехнологий и наноматериалов.

Замечания по работе

1. Вывод автора, что литье в ЭМК вызывает измельчение структуры слитков за счет роста скорости охлаждения расплава до 10^3 К/с необходимо уточнить, что речь идет о структурообразовании слитков малого сечения. Именно из-за размера слитков реализуются высокие скорости кристаллизации, а использование ЭМК обеспечивает интенсивное перемешивание расплава, однородность химического состава и отсутствие неметаллических включений.

2. На стр. 59 (глава 3) утверждается, что при невысокой скорости охлаждения расплава (10-20 К/с) в слитках образуется метастабильная фаза Al_6Fe , однако, это не согласуется с известными литературными данными, согласно которым замена стабильной эвтектики (Al+ Al_3Fe) на метастабильную эвтектику (Al+ Al_6Fe) происходит при высоких скоростях кристаллизации (например, в гранулах).

3. В качестве доказательств замены фазы Al_6Fe на фазу Al_2Fe при литье в ЭМК автор приводит результаты РСА, предлагая сравнить участки дифрактограмм на рис. 3.5 и рис. 4.3 в диапазоне углов $38-46^\circ$, где обе фазы имеют близкие значения межплоскостных расстояний. Для более корректной идентификации фазы Al_2Fe требуется иллюстрация участка дифрактограммы в диапазоне меньших углов (например, $24-32^\circ$), где нет интенсивных линий фазы Al_6Fe .

4. Согласно результатам главы 5, формирование более мелкой структуры литого тройного сплава обусловлено медью, т.е., растворяясь в Al твердом растворе, она

затрудняет рост и миграцию зерен. Возникает вопрос. Почему, несмотря на наличие наноразмерных интерметаллидов по границам мелких зерен, тройной сплав обладает более низкой термической устойчивостью по сравнению с двойным сплавом Al-0,5%Fe?

5. В заключении (вывод 4) указан интервал рационального содержания Fe от 1.0 до 2.2%. Необходимо объяснить, чем обусловлен выбор верхнего предела концентрации Fe в проводниках, полученных по технологии с применением ИПД.

6. Все представленные в диссертации дифрактограммы и микроэлектронограммы не расшифрованы, кроме того, не указано, в каких рефлексах фазы Al_2Fe сняты темнопольные изображения.

7. Несмотря на грамотное оформление текста диссертации, обнаружены опечатки и неточности. Например, в выводах фаза Al_6Fe указана как стабильная, а на стр. 138 эвтектическая фаза – как вторичная и т.д. В связи с тем, что все экспериментальные главы построены по одному алгоритму: структура, структура после РКУП+ХП, физико-механические свойства, термическая стабильность, в тексте диссертации много повторяющихся абзацев.

Безусловно, данные замечания не снижают общей положительной оценки всей диссертации в целом.

Заключение

Диссертация Жуковой Ольги Олеговны является законченной научно-квалификационной работой, в которой получены новые результаты в области нанотехнологии и наноматериалов.

Содержание диссертации, ее цели и задачи полностью соответствуют паспорту научной специальности 2.6.6. Нанотехнологии и наноматериалы и пунктам паспорта по специальности: п.п. 1.1, 1.2, и 1.5. Отрасль науки – технические науки, т.к. основные результаты диссертации имеют научно-прикладное значение и служат основой для разработки современных технологий получения проводников.

Диссертация хорошо структурирована, имеет все необходимые разделы от постановки задачи, обзора, методов исследования до результатов эксперимента и выводов. Диссертационная работа написана грамотным научным языком и хорошо иллюстрирована. Текст автореферата соответствует содержанию диссертации. Полученные результаты достаточно апробированы в статьях и докладах на всероссийских и международных конференциях. Результаты изложены в 19 научных работах, из них – 3 работы опубликованы в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК РФ, 4 статьи в журналах, входящих в международные базы цитирования Web of Science и Scopus, 11 публикаций в сборниках трудов конференций, имеется один патент РФ.

Считаю, что диссертационная работа «Механические свойства, электропроводность и термостойкость наноструктурированных сплавов системы Al-Fe для использования в электротехнике» полностью удовлетворяет п 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного правительством Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, а ее автор Жукова Ольга Олеговна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.6. Нанотехнологии и наноматериалы.

Официальный оппонент:

доктор технических наук (специальность 2.6.1. – Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov i spлавov),
профессор, главный научный сотрудник лаборатории цветных сплавов



Бродова Ирина Григорьевна

« 5 » __декабря__ 2025 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук (ИФМ УрО РАН)

Адрес: 620108, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, д. 18

Телефон: +7 (343)378-36-11

E-mail: brodova@imp.uran.ru

Я, Бродова Ирина Григорьевна, даю согласие на обработку моих персональных данных.



Подпись Бродовой Ирины Григорьевны заверяю

учёный секретарь ИФМ УрО РАН, к.ф.м.н.



Арапова И.Ю.