

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

«Тихоокеанский государственный
университет»



ул. Тихоокеанская, 136, Хабаровск, 680035
Тел. (4212) 37-51-86, факс: (4212) 72-06-84
Email: mail@pnu.edu.ru, <http://pnu.edu.ru>

15.08.2022 № 01-20-070/251

На № _____

УТВЕРЖДАЮ

Ректор ФГБОУ ВО

«Тихоокеанский государственный
университет» С.Н. Иванченко



2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

Труновой Алины Игоревны «Разработка технологии получения литейных дисперсно-упрочненных сплавов электротехнического назначения на основе меди и исследование их свойств», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.3 – «Литейное производство»

Актуальность для науки и практики

Актуальность темы определяется недостаточной разработкой вопросов получения новых композиционных сплавов электротехнического назначения на медной основе, обладающих улучшенными функциональными свойствами в широком интервале температур и давлений. Сегодня для практического использования требуются функциональные и простые способы получения композиционных материалов в отличие от традиционных способов.

В рассматриваемой диссертационной работе представлен усовершенствованный способ получения литых медноматричных композитов электротехнического назначения с заданным комплексом свойств, основанный на методе реакционного синтеза (in-situ) и характеризующийся

быстротечностью процесса, высокой адгезией фаз, термической стабильностью и высокой дисперсностью упрочняющих фаз. В последнее время возрастает роль наноразмерных фаз, сформированных в реакциях in-situ, в решении задач получения материалов высокого качества при минимальных затратах.

Основное внимание в работе уделено достижению цели по разработке комплекса новых технических и технологических решений, обеспечивающих получение литейных дисперсно-упрочненных сплавов на основе меди электротехнического назначения с заданной структурой и исследование их свойств. Решение поставленных задач исследования позволило на основе термодинамического анализа теоретически обосновать синтез упрочняющих карбидных и боридных фаз в расплаве меди при получении литых композиционных сплавов; разработать состав флюса и доказать его эффективность для раскисления и рафинирования расплавов при открытой плавке дисперсно-упрочненных сплавов; установить влияние одиночной и комплексной обработки (синтез дисперсных армирующих фаз карбидов и боридов хрома, микролегирование РЗМ и модифицирование Cd) расплавов на процесс структурообразования и свойства литых дисперсно-упрочненных сплавов; разработать технологический регламент получения дисперсно-упрочненных сплавов. В этой связи тема диссертационной работы Труновой А.И. является весьма актуальной для литейного производства.

Новизна основных научных результатов и их значимость для науки и производства.

Новизна проведенных исследований заключается в следующем:

Впервые научно обоснована возможность глубокого раскисления расплава электротехнической меди наноразмерным алмазграфитом (побочный продукт взрывного синтеза алмазов) и синтеза в бескислородной меди упрочняющих фаз карбидов титана, хрома и диборида хрома заданного количества и состава.

На основе физико-химического анализа реакций взаимодействия

наноразмерного алмазографита и фторсодержащих солей с примесями, присутствующими в расплаве технической меди, научно обоснована возможность применения флюса растворно-химического действия, повышающего эффективность экстрагирования из расплава технической меди вредных примесей.

Впервые получен дисперсно-упрочненный сплав системы $\text{Cu-Cr}_3\text{C}_2$, в котором с увеличением содержания карбида хрома до 3,0 масс. %, синтезированного в расплаве меди, одновременно повышается прочность и увеличивается в 2,0-3,5 раза его пластичность.

Научно обоснована возможность получения дисперсно-упрочненного сплава системы Cu-CrV_2 с применением комплексной модифицирующей добавки, состоящей из поверхностно-активного кадмия, обеспечивающего получение мелкозернистой структуры матрицы композиционного материала, и микролегирующей добавки РЗМ, способствующей глобуляризации нано- и микроразмерных частиц упрочняющих фаз.

Основные научные результаты, полученные автором:

1. Обоснованы требования и условия практического использования наноразмерного алмазографита (побочного продукта взрывного синтеза алмазов) для глубокого раскисления расплава электротехнической меди и синтеза в бескислородной меди упрочняющих фаз карбидов титана, хрома и диборида хрома заданного количества и состава.

2. Даны рекомендации по особенностям применения:

- флюса растворно-химического действия, повышающего эффективность экстрагирования из расплава технической меди вредных примесей;
- комплексной добавки, состоящей из поверхностно-активного кадмия, выполняющего роль модификатора металлической матрицы, и РЗМ в составе мишметалла марки МЦ50ЖЗ, выполняющих рафинирующую роль и предотвращающих укрупнение армирующих частиц за счет коагуляции.

3. Предложены новые дисперсно-упрочненные сплавы:

- система Cu-TiC с содержанием упрочняющих фаз в количестве 0,1–3,0 %;

- система $\text{Cu-Cr}_3\text{C}_2$ с содержанием синтезированного в расплаве меди карбида хрома до 3 масс. %, при котором одновременно повышается прочность и увеличивается в 2-3,5 раза его пластичность;

- система Cu-CrB_2 с содержанием упрочняющих фаз в количестве 0,3–1,0 масс. %.

4. Разработаны:

- на основе термодинамического анализа состав эффективного флюса системы $\text{CaF}_2\text{-Na}_3\text{AlF}_6$, надежно защищающий расплав меди от кислорода и водорода;

- новый способ получения литых дисперсно-упрочненных сплавов на основе меди с карбидными и боридными фазами (TiC , Cr_3C_2 , CrB_2) электротехнического назначения.

Значимость результатов для науки заключается в том, что результаты исследований развивают новые теоретические решения по созданию литых дисперсно-упрочненных композиционных сплавов, в частности медноматричных сплавов электротехнического назначения:

- термодинамически доказана возможность целенаправленного синтеза карбидных и боридных упрочняющих частиц непосредственно в процессе литья;

- на основе термодинамического анализа экстрагирующей способности флюса разработан эффективный флюс системы $80\% \text{CaF}_2 + 20\% \text{Na}_3\text{AlF}_6$, надежно защищающий расплав меди не только от кислорода, но и от водорода.

Практическое значение результатов работы определяется тем, что они позволяют реализовывать новые технологические решения по созданию литых дисперсно-упрочненных композиционных сплавов, в частности медноматричных сплавов электротехнического назначения:

1. Разработана технология получения дисперсно-упрочненных сплавов системы $\text{Cu-Cr}_3\text{C}_2$ и Cu-TiC с содержанием упрочняющих фаз в количестве 0,1–3 %, синтезированных непосредственно в расплаве при температурах 1150–1350 °С с последующей кристаллизацией в металлическом кокиле. Установлено, что наряду с повышением прочности (с 160 МПа для чистой меди

до 198 МПа для сплава системы Cu-3% Cr₃C₂) существенное увеличение пластичности дисперсно-упрочненного материала на медной основе по сравнению с чистой медью (с 17 до 65 %), что объясняется высокой рафинирующей способностью алмазографита, глобулярной морфологией упрочняющей фазы размером менее 2 мкм и ее равномерным распределением.

2. На основании исследования микроструктур медноматричных композиционных сплавов с различным содержанием Cr₃C₂ установлено модифицирующее влияние при небольшом количестве (до 0,2 масс. %) упрочняющей фазы на измельчение зерна.

3. Разработана технология получения дисперсно-упрочненных сплавов системы Cu-CrB₂ с содержанием упрочняющих фаз в количестве 0,3–1,0 %, синтезированных непосредственно в расплаве при температурах 1250–1350 °С с последующей кристаллизацией в металлическом кокиле. Установлено, что прочность композиционных сплавов системы Cu-CrB₂ в 1,3 раза выше прочности чистой меди, и выше прочности образцов композиционного материала системы Cu-Cr₃C₂ (210 и 198 МПа соответственно).

4. Для улучшения структуры меди, упрочненной синтезированными в расплаве частицами диборида хрома, разработана комплексная добавка, состоящая из поверхностно-активного кадмия, выполняющего роль модификатора металлической матрицы и РЗМ в составе мишметалла марки МЦ50ЖЗ, выполняющих рафинирующую роль и предотвращающих укрупнение армирующих частиц за счет коагуляции.

5. Разработанный новый способ получения литого дисперсно-упрочненного сплава электротехнического назначения на основе меди при модифицировании расплава кадмием в количестве до 0,1 масс. % позволяет получать литые композиционные материалы с улучшенной структурой при общепринятых температурах плавки и литья. А при микролегировании РЗМ в количестве до 0,1 % улучшаются показатели физико-механических свойств образцов из композиционных сплавов, что достигается за счет уменьшения среднего размера упрочняющей фазы до двух и менее мкм.

На основании результатов по теме диссертации автором опубликовано 13 (тринадцать) научных работ, в том числе в 6 (шести) статьях, опубликованных в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ и в 2 (двух) статьях, индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus. Зарегистрирован способ получения литого композиционного материала на основе меди (Патент РФ № 2715513, опуб. 28.02.2020, Бюл. №7.). Основные положения диссертационной работы и результаты неоднократно докладывались на научно-технических конференциях с международным участием, XII всероссийском съезде литейщиков России и IX международном конгрессе «Цветные металлы и минералы».

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Считаем целесообразным продолжить работу по созданию новых дисперсно-упрочненных материалов, обладающих повышенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами в широком интервале температур и давлений. В частности, композиционные сплавы электротехнического назначения на медной основе с улучшенными функциональными свойствами находят широкое применение в электротехнике для создания силовых кабелей, контактов в электрических машинах, электродов контактной точечной сварки и др. Интересным для промышленного (практического) использования является метод реакционного синтеза для получения композиционных материалов. Данный подход способствует усовершенствованию технологий и разработке новых методов производства медноматричных материалов электротехнического назначения высокого качества при минимальных затратах.

Общие замечания

1. В тексте диссертации встречаются названия «медноматричные композиционные материалы» (стр. 2, 3, 4, 5, 30, 53, 64, 95, 97, 98) и «медематричные композиционные материалы» (стр. 22, 23, 30, 33, 39, 54, 78, 80, 82, 98), требуется уточнение по общепризнанному определению материалов.

2. При оценке эффективности раскисления и рафинирования меди

флюсом разработанного состава исследовали пористость литых образцов?

3. Из текста диссертации на стр. 66-67 нет ясности к какой серии опытов относятся результаты механических испытаний, представленных на рис. 4.4.

4. На рис. 4.5 (в) приведена микроструктура с размерностью 20 мкм, что затрудняет оценить модифицирующее влияние 3 % синтезированного карбида хрома по сравнению с 0,2 % Cr_3C_2 .

5. На рис. 4.10 (б) представлена микроструктура композиционного материала Cu-CrB_2 , но не указано содержание борида хрома. В диссертационной работе отсутствуют макроструктуры образцов с различным содержанием борида хрома.

6. На рис. 4.15 (а и б) представлены одинаковые микроструктуры меди с и без модификатора, в связи с чем, затруднительно оценить модифицирующее влияние добавок на структуру.

7. В основных выводах автореферата в п.4 указано «...углеродсодержащий флюс системы $80\%\text{CaF}_2 + 20\%\text{Na}_3\text{AlF}_6$...», возникает вопрос, какое соотношение графита и других компонентов флюса рассматривалось в работе?

8. Как недостаток отмечаем, что в работе не уделено внимание литейным свойствам медноматричных композиционных сплавов.

Заключение

По итогам обсуждения диссертационной работы Труновой Алины Игоревны приняты следующие заключения:

1. Итоги диссертационной работы в виде сформулированных выводов, построенных закономерностей и рекомендаций, полученных в ходе анализа и обработки теоретических и экспериментальных данных, обоснованы общепринятыми теориями и гипотезами в соответствующих областях знаний.

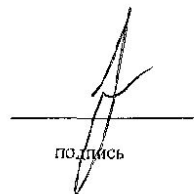
2. Замечания по диссертации, приведенные выше несущественны, не несут в себе указания на фундаментальные заблуждения, противопоставления теории литейного производства и неточности интерпретации полученных результатов, касаются в большей степени оформительской ее части, не

снижают качества и научно-практической ценности проводимых исследований, не ставят под сомнение актуальность, обоснованность и достоверность результатов работы.

3. Диссертация Труновой А.И. представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу на актуальную тему. Новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для технической науки и практического использования. Работа отвечает требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата наук по специальности 2.6.3 – «Литейное производство».

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден на заседании кафедры «ЛПИТМ» №10 от "28" июня 2022г., протокол №1.

Председатель семинара,
д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой
«Литейное производство и технологии
металлов» ФГБОУ ВО «Тихоокеанский
государственный университет»



подпись

Ри Эрнст Хосенович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тихоокеанский государственный университет»
Адрес: 680035, Хабаровский край, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136;
Тел.: +7 (4212) 76-85-00
E-mail: info@toqu.ru