

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

по защите диссертации С.О. Черкасова на тему «Обоснование состава и режима деформационно-термической обработки наноструктурных проводниковых сплавов системы Al-Cu-Mn-(Zr), полученных методом литья в электромагнитный кристаллизатор», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» и состоявшейся в НИТУ МИСИС 18.04.2025 г.

Диссертация принята к защите Диссертационным советом НИТУ МИСИС 10.02.2025 г. (протокол № 26 от 10.02.2025 г.).

Диссертация выполнена на кафедре обработки металлов давлением НИТУ МИСИС. Научный руководитель - д.т.н., главный научный сотрудник кафедры обработки металлов давлением НИТУ МИСИС Белов Николай Александрович.

Экспертная комиссия утверждена Диссертационным советом НИТУ МИСИС (протокол № 26 от 10.02.2025 г.) в составе:

1. Прокошкин Сергей Дмитриевич, д.ф.-м.н., главный научный сотрудник кафедры обработки металлов давлением НИТУ МИСИС – председатель комиссии;

2. Галкин Сергей Павлович, д.т.н., профессор кафедры обработки металлов давлением НИТУ МИСИС;

3. Батышев Константин Александрович, д.т.н., профессор кафедры технологии обработки металлов, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»;

4. Прусов Евгений Сергеевич, д.т.н., профессор кафедры «Технологии функциональных и конструкционных материалов», федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»;

5. Пашков Игорь Николаевич, д.т.н., профессор кафедры «Технологии и системы автоматизированного проектирования металлургических процессов», федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк.



Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем теоретических и экспериментальных исследований:

1. Изучено влияние химического состава сплавов системы Al-Cu-Mn-Zr, получаемых традиционными методами литья, и режимов деформационно-термической обработки (ДТО) на структуру, фазовый состав и комплекс физико-механических свойств.

2. Обоснованы структура и фазовый состав проводниковых сплавов системы Al-Cu-Mn-Zr, получаемых традиционными методами литья, для обеспечения наилучшего комплекса физико-механических свойств.

3. С использованием расчетных и экспериментальных методов обоснован состав сплавов системы Al-Cu-Mn-(Zr), получаемых методом литья в электромагнитный кристаллизатор (ЭМК).

4. Определено влияние режимов ДТО на структуру, фазовый состав и комплекс физико-механических свойств сплавов системы Al-Cu-Mn-(Zr), получаемых методом литья в ЭМК.

5. Оценена возможность изготовления в промышленных условиях проволоки из экспериментальных сплавов системы Al-Cu-Mn-(Zr), получаемых методом литья в ЭМК.

6. Изучено влияние режимов ДТО на структуру, фазовый состав и механические свойства заготовок сплавов системы Al-Cu-Mn-(Zr), полученных методом литья в ЭМК с последующей обработкой кручением под высоким давлением (КВД).

Теоретическая значимость работы:

1. С использованием расчетных и экспериментальных методов обоснован состав сплава (Al-2Mn-2Cu, масс. %) применительно к промышленным условиям литья среднеразмерных слитков. Установлено, что наличие в структуре модельного сплава дисперсоидов  $Al_{20}Cu_2Mn_3$  в количестве около 7 об. % и размером менее 100 нм позволяет сохранить нерекристаллизованную структуру в отожженном состоянии (400 °С, 3 ч) после холодной прокатки на 95%.

2. Показано, что в процессе кристаллизации в условиях литья в ЭМК концентрация марганца в алюминиевом твердом растворе может быть повышена до 3 масс. %, что позволяет получить в конечной структуре проволоки наноразмерные дисперсоиды фазы  $Al_{20}Cu_2Mn_3$  в количестве более 10 об. %.

3. Обоснован состав сплава Al-3Mn-4Cu (масс. %) и режимы ДТО применительно к получению длинномерных заготовок диаметром 8-10 мм методом литья в ЭМК, позволяющие реализовать высокий комплекс прочности, удельного электросопротивления (УЭС) и термостойкости (до 400 °С).



4. Предложены модели зависимостей УЭС от температуры отжига для сплавов системы Al-Cu-Mn-Zr, согласно которым наиболее сильное влияние на УЭС оказывает концентрация Mn в (Al).

5. Показано, что применение КВД к сплавам Al-Cu-Mn-(Zr), полученным методом литья в ЭМК, позволяет существенно повысить их прочностные свойства, что обусловлено формированием зеренно-субзеренной нанокристаллической структуры с высокой плотностью дислокаций;

6. Прочность и термическая стабильность деформированных полуфабрикатов во многом зависят от промежуточной обработки перед КВД. Наилучший комплекс механических свойств достигается при низкотемпературном отжиге (до 350 °С) или его отсутствии.

Практическая значимость работы:

1. Обоснованы режимы ДТО сплавов Al-Cu-Mn-(Zr), предназначенных для традиционной технологии литья, позволяющие изготавливать деформированные полуфабрикаты прессованием, прокаткой и волочением.

2. Предложен состав и способ получения термостойкой высокопрочной проволоки из алюминиевого сплава, содержащего 3 марганца и 4 масс. % меди, получаемого методом литья в ЭМК и демонстрирующего высокий комплекс физико-механических свойств.

3. Запатентован способ получения деформированных полуфабрикатов из сплава Al-3Mn-4Cu (масс. %), полученного методом литья в ЭМК, включающий обработку КВД, позволяющий получить высокий комплекс механических свойств.

Оценка достоверности результатов исследования

Достоверность и надежность полученных результатов подтверждается хорошей корреляцией между расчетными и экспериментальными данными, полученными в ходе исследования. Подготовка образцов и испытания проведены в соответствии с действующими ГОСТами. О надёжности результатов свидетельствует повторяемость и воспроизводимость результатов, а также их согласованность с известными литературными источниками.

Личный вклад соискателя заключается в проведении анализа литературных источников по направлению исследований, постановке целей и задач исследования, проведении предварительных расчётных, а также экспериментальных исследований, обработке и интерпретации полученных данных, подготовке рукописи диссертации и автореферата, написании публикаций. По результатам работы опубликовано 19 печатных работ, из которых 11 научных статей в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ и 2 - патента.

Диссертация С. О. Черкасова соответствует критериям п. 2 «Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС», так как в ней изложены новые научно-обоснованные технологические решения в области деформационно-термической обработки проводниковых сплавов на основе алюминия, имеющие существенное значение для развития теоретического и практического металловедения.

Экспертная комиссия приняла решение о возможности присуждения Черкасову Станиславу Олеговичу ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 - «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Результаты голосования: при проведении тайного голосования экспертная комиссия в количестве 4 человек, участвовавших в заседании, из 5 человек, входящих в состав комиссии, проголосовала: за 4 человек, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель Экспертной комиссии



С.Д. Прокошкин

18.04.2025