

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

по защите диссертации К.А. Цыденова на тему «Обоснование состава и режима деформационно-термической обработки сплавов системы Al-Cu-Mn, не требующих закалки и выплавляемых на основе вторичного сырья», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» и состоявшейся в НИТУ МИСИС 19.02.2025 г.

Диссертация принята к защите Диссертационным советом НИТУ МИСИС 16.12.2024 г. (протокол № 25 от 16.12.2024 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 № 25 от 16.12.2024 г.) в составе:

1. Галкин Сергей Павлович, доктор технических наук, профессор кафедры обработки металлов давлением НИТУ МИСИС - председатель комиссии;

2. Бецофен Сергей Яковлевич, доктор технических наук, профессор кафедры 1101 «Технологии и системы автоматизированного проектирования металлургических процессов» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»;

3. Шереметьев Вадим Алексеевич, доктор технических наук, доцент кафедры обработки металлов давлением НИТУ МИСИС;

4. Дубинский Сергей Михайлович, доктор физико-математических наук, доцент кафедры обработки металлов давлением НИТУ МИСИС;

5. Прусов Евгений Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии функциональных и конструкционных материалов» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»;

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. Обоснован фазовый состав и режим деформационно-термической обработки сплавов на базе системы Al-Cu-Mn изготавливаемых из вторичного сырья, предназначенных для получения листового проката повышенной прочности.



2. Выявлены особенности формирования структуры (включая фазовый состав и морфологию избыточных фаз) в слитках сплавов системы Al-2%Cu-1,5%Mn-Mg,-Zn-Fe-Si) и закономерности распределения элементов между (Al) и фазами кристаллизационного происхождения в слитках и листовом прокате.
3. Обоснован состав сплавов типа АЛТЭК, выплавляемых на основе вторичного сырья, не требующих закалки и обладающих временным сопротивлением более 300 МПа в отожжённых листах. Выполнен подбор параметров сварки трением с перемешиванием при соединении горячекатаных листов сплавов Al-2%Cu-2%Mn-0,4%Si-0,25%Zr и Al-1,8%Cu1,5%Mn-0,5%Mg-1,5%Zn-0,4%Fe-0,4%Si

### ***Теоретическая значимость работы***

1. Показано, что в листовых полуфабрикатах сплавов системы Al-Cu-Mn-Mg-Zn-FeSi, содержащих 2%Cu и 1,5%Mn, можно реализовать структуру, в которой железо и кремний (до 0,5 мас. %) полностью связаны в компактные частицы фазы  $Al_{15}(Fe, Mn)_3Si_2$ , магний и цинк (до 1 мас.%) полностью входят в твердый раствор алюминия, а основное количество меди и марганца связаны в фазу  $Al_{20}Cu_2Mn_3$ , которая выделяется в виде дисперсоидов размером до 100 нм.

2. На примере модельных сплавов, содержащих 1,5-2%Cu, 1,5-2%Mn, установлено, что магний в количестве до 1% включительно полностью остается в (Al), обеспечивая твердорастворное упрочнение. Это позволяет повысить прочность сплавов типа АЛТЭК (на 10-15%) без создания структурной дестабилизации при повышенных температурах вплоть до 400 °С. Легирование цинком не оказывает значительного влияния на прочность.

3. Показано, что совместное добавление Fe, Si, Mg и Zn в количестве около 3% к сплаву Al-2%Cu-1,5%Mn не снижает механические свойства отожженных деформируемых полуфабрикатов.

4. Равномерное распределение Fe-содержащих фаз в структуре холоднокатаных листов способствует сохранению вязкого мелкоячеичного механизма разрушения в углублениях, что позволяет поддерживать пластичность на уровне “чистых” сплавов.

5. На примере сплавов Al-2%Cu-2%Mn(Si,Zr) и Al-1,8%Cu-1,5%Mn-0,5%Mg1,5%Zn (Fe,Si) показана возможность получения неразъёмных соединений с помощью СТП, с прочностью близкой к прочности основного материала с сохранением термостойкости.

### ***Практическая значимость работы***

1. Предложена технология деформационно-термической обработки сплавов Al2%Cu-1,5%Mn-1%Mg-1%Zn и Al-2%Cu-1,5%Mn-1%Mg-1%Zn-0,5%Fe-0,4%Si-0,25%Zr, включающая горячую и холодную прокатку, для получения деформированных полуфабрикатов, обладающих временным сопротивлением выше 340 МПа.
2. Предложены составы деформируемых алюминиевых сплавов на основе системы Al-2%Cu-1,5%Mn (Mg, Zn, Fe, Si), не требующие гомогенизации и закалки,



производство которого возможно с использованием вторичного сырья. Разработан способ получения холоднокатаных листов из вторичного алюминиевого сплава и получен патент RU №2826055 от 03.09.2024.

3. Предложен режим обработки трением с перемешиванием, который позволяет получить неразрывные соединения листовых горячекатаных заготовок толщиной 4 мм из сплава Al-1,8%Cu-1,5%Mn-0,5%Mg-1,5%Zn-0,4%Fe-0,4%Si.

**Оценка достоверности результатов исследования.** О достоверности и надежности полученных результатов свидетельствует хорошая корреляция между результатами математического моделирования в программе Thermo-Calc и физическим экспериментом, который выполнялся с использованием современного аналитического и испытательного оборудования. Все испытания проводились согласно рекомендациям действующих ГОСТов. О надежности результатов свидетельствует повторяемость и воспроизводимость результатов, их согласованность с известными литературными источниками.

**Личный вклад соискателя** заключается в проведении анализа литературных источников по проблеме, определении целей и задач работы, проведении экспериментов, осуществление обработки и интерпретации полученных данных, подготовке рукописи диссертации и автореферата, написании статей.

По основным результатам работы опубликовано 11 статей в изданиях, входящих в базы данных Web of Science (Core Collection)/Scopus и перечень ВАК.

Пункт 2.6 Положения о порядке присуждения ученой степени кандидата наук НИТУ МИСИС соискателем ученой степени не нарушен.

Диссертация К. А. Цыденова 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 термомеханической обработки сплавов с памятью формы, имеющие существенное значение для развития металловедения.

Экспертная комиссия приняла решение о возможности присуждения Цыденову Кириллу Андреевичу 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 -, недействительных бюллетеней -.

Председатель Экспертной комиссии



С.П. Галкин

19.02.2025 г.