

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

по защите диссертации **Зуйко Ивана Сергеевича** на тему «Влияние деформации и старения на структуру, фазовый состав и механизмы упрочнения сплава Al–Cu», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния» и состоявшейся в НИТУ «МИСиС» 12 февраля 2019 года.

Диссертация принята к защите Диссертационным советом НИТУ «МИСиС» 26.11.2018, протокол № 04.

Диссертация выполнена на кафедре материаловедения и нанотехнологий ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет».

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, руководитель Лаборатории механических свойств наноструктурных и жаропрочных материалов НИУ «БелГУ» Кайбышев Рустам Оскарович.

Экспертная комиссия утверждена Диссертационным советом НИТУ «МИСиС» (протокол № 04 от 26.11.2018) в составе:

1. Белов Николай Александрович, доктор технических наук, главный научный сотрудник кафедры обработки металлов давлением НИТУ «МИСиС – председатель комиссии;

2. Бецофен Сергей Яковлевич, д.т.н., профессор кафедры материаловедения и технологии обработки материалов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»;

3. Глезер Александр Маркович, д.ф.-м.н., главный научный сотрудник кафедры физического материаловедения НИТУ «МИСиС», по совместительству директор Научного центра материаловедения и физики металлов ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина»;

4. Еникеев Нариман Айратович, д.ф.-м.н., профессор кафедры Материаловедения и физики металлов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет»;

5. Калошкин Сергей Дмитриевич, д.ф.-м.н., директор института новых материалов и нанотехнологий НИТУ «МИСиС».

В качестве ведущей организации утверждено ОАО «Всероссийский институт лёгких сплавов».

Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований установлено, что:

- Длительное естественное старение сплава Al–Cu–Mg с соотношением Cu/Mg>10 и низким уровнем Si после закалки приводит к феномену отложенного упрочнения, что позволяет значимо повысить прочностные свойства за счет повышения плотности зон Гинье-Престона и выделения зон Гинье-Престона-Багаряцкого. По сравнению с искусственным старением, естественное старение обеспечивает более высокую прочность и пластичность.
- Выявлено, что максимальные прочностные свойства после искусственного старения без промежуточной деформации обеспечиваются за счёт гомогенного выделения θ'' -фазы и небольшого количества θ' -фазы. Перестаривание обусловлено растворением θ'' -фазы и гетерогенным выделением θ' -фазы на дислокациях. Пластины Ω -фазы с плоскостью габитуса $\{111\}_\alpha$ и большим (>100) коэффициентом формы гомогенно выделяется по всему объему сплава. Однако удельный объем и количество частиц этой фазы незначительны.
- Прокатка закалённого на пересыщенный твердый раствор Al–Cu–Mg сплава с соотношением Cu/Mg>10 приводит к повышению плотности дислокаций до $\sim 10^{15} \text{ м}^{-2}$. При средних степенях обжатия (до 40%) формируется ячеистая структура, а при большей деформации образуются микрополосы сдвига в зернах с ориентацией Госсса, а также проходящие через несколько зерен полосы сдвига. Упрочнение при прокатке обусловлено, в основном, повышением плотности дислокаций. Вклад зернограничного механизма упрочнения по закону Холла-Петча становится значимым при степенях обжатия >40%, что связано с образованием границ микрополос сдвига. Формирование ячеистых и полосовых структур не приводит к разупрочнению материала.
- Промежуточная деформация при НТМО приводит к гетерогенному выделению частиц θ' -фазы на дислокациях, а также гетерогенному зарождению Ω -фазы с коэффициентом формы пластин <30 на межфазной границе θ' -фаза/матрица. Увеличение прочности при НТМО (обработка Т87) преимущественно обеспечивается увеличением плотности дислокаций. С повышением степени промежуточной деформации прирост прочности за счет дисперсионного упрочнения при старении на максимальную прочность снижается. После прокатки со средними и большими обжатиями искусственное старение приводит лишь к незначительному повышению прочностных свойств и только при условии выделения зон Гинье-Престона и/или θ'' -фазы. Старение после больших степеней деформации либо не приводит к повышению прочности, либо приводит к разупрочнению материала, что связано с выделением стабильной θ -фазы по границам деформационного происхождения.
- Установлено, что промежуточная деформация методом РКУП с $\varepsilon \sim 1$ обработанного на твёрдый раствор сплава приводит к образованию полос деформации. С увеличением степени деформации цепочки из новых субзёрен\зёрен в местах пересечения деформационных полос. Как и в случае прокатки, высокотемпературное старение после РКУП не приводит к увеличению прочности.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- Установлены механизмы упрочнения при прокатке сплава Al–Cu–Mg с соотношением Cu/Mg>10 и низким уровнем Si.

- Выявлено влияние малой добавки магния, а также степени промежуточной деформации в стадийности старения.

Результаты могут быть использованы при уточнении теории прочности и пластичности пересыщенных твердых растворов, а также теории фазовых превращений.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- Определено оптимальное легирование и обработки сплава Al–Cu–Mg с соотношением Cu/Mg>10. Показано, что оптимальное сочетание высокой прочности с высокой пластичностью достигается при использовании термомеханической обработки, на которую соискателем получен патент РФ № 2618593 «Способ термомеханической обработки полуфабрикатов из алюминиевых сплавов систем Al–Cu, Al–Cu–Mg и Al–Cu–Mn–Mg для получения изделий с повышенной прочностью и приемлемой пластичностью».
- Результаты могут быть использованы для разработки новых сплавов Al–Cu–Mg с соотношением Cu/Mg>10 и режимов их деформационно-термической обработки.

Оценка достоверности результатов исследования:

- обеспечивается комплексным подходом к решению поставленных задач с использованием современных методик на сертифицированном структурно-аналитическом оборудовании, прошедшего процедуры аккредитации и поверки; согласованностью результатов, полученных различными способами; сопоставимостью их с данными других авторов.

Личный вклад соискателя состоит в:

непосредственном проведении экспериментов и исследований, обработке и анализе полученных результатов, сопоставлении их с литературными данными, представлении докладов на научных конференциях. Постановка цели и задач диссертационной работы, обсуждение полученных результатов, формулировка основных положений и выводов, а также подготовка статей совместно с научным руководителем Кайбышевым Рустамом Оскаровичем.

Соискатель представил 10 опубликованных работ в рецензируемых научных изданиях из перечня, утвержденного Минобрнауки России, 8 из них опубликованы в изданиях, индексируемых в наукометрических базах данных Web of Science, Scopus.

Пункт 2.6 Положения о порядке присуждения степени кандидата наук в НИТУ «МИСиС» соискателем учёной степени не нарушен.

Экспертная комиссия приняла решение о возможности присуждения Зуйко Ивану Сергеевичу ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния».

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

Председатель Экспертной комиссии

Н.А. Белов

12.02.2019 г