

ОТЗЫВ

научного руководителя, д.т.н., профессора Бецофена Сергея Яковлевича о диссертационной работе Прокопенко Дениса Алексеевича ««Исследование влияния текстуры и фазового состава на анизотропию механических свойств сплавов системы Al-Cu-Li», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Диссертационная работа Прокопенко Д.А. посвящена решению актуальной задачи – совершенствованию методик количественных исследований текстурированных полуфабрикатов сплавов системы Al-Cu-Li и выявлению на этой основе закономерностей формирования кристаллографической текстуры, количественного фазового состава и анизотропии упругих и механических свойств для повышения надежности применения этих сплавов в авиационной технике.

В качестве объекта исследования были выбраны образцы, вырезанные из листов сплавов системы Al-Cu-Li 1441, В-1461, В-1469, В-1480, В-1481 с различным содержанием легирующих элементов толщиной 1,4-2,7 мм, полученных теплой прокаткой в ОАО «КУМЗ» с последующей термомеханической обработкой, включающей закалку с охлаждением в воде, правку и одно-, двух- или трехступенчатое искусственное старение.

В ходе теоретических и экспериментальных исследований соискателем усовершенствована методика количественного фазового анализа сплавов системы Al-Cu-Li и на этой основе выявлены новые закономерности формирования текстуры и анизотропии упругих и механических свойств сплавов. Показано, что усредненная по трем направлениям в листе величина модуля Юнга пропорциональна суммарному количеству интерметаллидов δ' (Al_3Li) и $T_1(\text{Al}_2\text{CuLi})$, при этом основной вклад в это количество дает δ' -фаза. Найдена количественная корреляция между отношением содержания легирующих элементов Cu и Li в атомных % и количеством интерметаллидных фаз, так для сплава 1441 с отношением $\text{Cu/Li}=0,93$ количество T_1 и δ' -фаз составляет соответственно 0,6 и 17,5%, а для сплава В-1469 с $\text{Cu/Li}=3,45$ количество фаз составляет 6,5 и 3,5%. Это позволяет прогнозировать фазовый состав разрабатываемых Al-Cu-Li сплавов. Установлено, что формирующаяся в сплавах текстура латуни определяет анизотропию модуля Юнга с максимальной величиной модуля Юнга в поперечном прокатке направлении, в котором расположено направление $\langle 111 \rangle$ ГЦК-решетки алюминия с максимальным модулем Юнга, а минимальное значение модуля Юнга соответствует 45° направлению, с которым совпадают кристаллографические направления с низкими и средними значениями модуля Юнга.

Впервые определены значения модуля Юнга интерметаллидов в сплавах системы Al-Cu-Li на основе количественного фазового анализа, экспериментально определенных модулей Юнга и правила аддитивности. В отличие от прочностных характеристик, которые существенно выше для T_1 -фазы величины модулей Юнга δ' - и T_1 -фаз близки и составляют 93–123 ГПа для δ' -фазы и 115-123 ГПа для T_1 -фазы. Эти величины могут быть использованы при выборе составов сплавов и прогнозировании модулей Юнга разрабатываемых сплавов системы Al-Cu-Li со сбалансированными упругими и прочностными свойствами. Показано, что уникально высокие значения модуля Юнга сплавов Al-Cu-Li обусловлены более высоким количеством в них интерметаллидных фаз и их более высокими упругими свойствами по сравнению с твердым раствором (~70 ГПа).

При выполнении диссертационной работы Прокопенко Д.А. проявил себя как квалифицированный исследователь, способный решать сложные аналитические и технологические проблемы материаловедческого характера применительно к процессам

формирования кристаллографической текстуры и анизотропии свойств в сплавах алюминия. Соискателем получен ряд значимых результатов, научная новизна, достоверность и объективность которых не вызывает сомнения. Методические разработки, полученные в ходе выполнения работы, найдут применение в организациях авиационного профиля, таких как ВИАМ, ОАО «КУМЗ» и др.

Результаты, полученные в ходе диссертационных исследований Прокопенко Д.А., используются в учебном процессе МАИ, являясь составной частью лекционных курсов, практических и лабораторных занятий со студентами. Он активно консультирует выполнение студентами выпускных дипломных работ, участвует в научных мероприятиях различного уровня.

В целом соискателем успешно решены поставленные перед ним задачи, в полной мере реализованы планы исследований, что очевидным образом отражает содержание автореферата и диссертационной работы.

Результаты работы достаточно полно опубликованы в 7 научных работах, из них 7 в изданиях, входящих в перечень ВАК и 3 в журналах, включенных в международные системы цитирования, доложены на 10 всероссийских и международных научных конференциях.

Считаю, что диссертация Прокопенко Дениса Алексеевича выполнена на актуальную тему, представляет собой законченную работу, обладающую несомненной научной новизной, практической значимостью и внутренней целостностью, удовлетворяет требованиям ВАК, а диссертант является сложившимся научным исследователем и заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор, профессор
кафедры 1101 «Технологии и системы
автоматизированного проектирования
металлургических процессов» ФГБОУ ВО
«Московский авиационный институт (Национальный
исследовательский университет)»



15.09.2025 г.

Бецофен Сергей
Яковлевич

125993 г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4
+7-910-459-9525
e-mail: s.betsofen@gmail.com

Подпись С.Я. Бецофена удостоверяю:

Заместитель начальника
Управления по работе с персоналом



Иванов М.А.