

ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата физико-математических наук,
Медведева Павла Николаевича на диссертационную работу Прокопенко Дениса Алексеевича по теме «Исследование влияния текстуры и фазового состава на анизотропию механических свойств сплавов системы Al-Cu-Li», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Актуальность работы

Сплавы системы Al-Cu-Li обладают высокими показателями удельной прочности и удельной жесткости, пониженной плотностью, свариваемостью, коррозионной стойкостью. К недостаткам данных сплавов относят более высокую анизотропию физико-механических свойств, склонность к локализации деформации и ограниченную пластичность. Также добавление Li приводит к ликвационной неоднородности и более высокой стоимости конечных изделий относительно остальных алюминиевых сплавов. Управление структурно-фазовым и текстурным состоянием позволит уменьшить негативные эффекты, характерные для сплавов данного класса. Необходимо отметить, что работ, посвященных анизотропии прочностных свойств отечественных Al-Cu-Li сплавов немного, а исследования анизотропии упругих свойств полностью отсутствуют.

Таким образом, диссертационная работа Прокопенко Д.А., направленная на исследование связи кристаллографической текстуры, фазового состава и анизотропии упругих и механических свойств сплавов Al-Cu-Li для повышения надежности их применения в авиационной технике несомненно является актуальной.

Общая характеристика работы

В диссертации исследовали кристаллографическую текстуру, фазовый состав и анизотропию упругих и механических свойств в листах сплавов системы Al-Cu-Li 1441, В-1461 и сплавов В-1469, В-1480 и В-1481 системы Al-Cu-Li-Ag.

Показано, что в сплавах 1441, В-1461, В-1469 и В-1480 формируется выраженная текстура типа латуни $\{110\}\langle 112\rangle$, для которой характерно расположение самого прочного и жесткого для Al сплавов направления $\langle 111\rangle$ в поперечном прокатке направлении, а наименее прочных и жестких кристал-

логографических направлений в 45° направлении. В сплаве В-1481 показан минимальный уровень анизотропии механических свойств, что связано с прохождением рекристаллизации, которая рассеивает кристаллографическую текстуру - ответственную за анизотропию.

В работе с помощью анализа рентгеновских дифракционных спектров доказано наличие текстурной неоднородности по толщине листов и предложен подход усреднению результатов текстуры и фазового состава по всей толщине исследуемых образцов. Данный подход по усреднению реализован с применением наборных образцов. Параметры решетки, модуль упругости и факторы Шмидта и Закса усреднены с учетом объемной доли зерен выбранной ориентации с помощью нормировки на полюсные плотности.

Объемная доля вторичных фаз оценена по оригинальной методике анализа периода решетки твердого раствора на основе Al. Смысл данной методики заключается в том, что при распаде твердого раствора его параметр решетки должен закономерно изменяться в зависимости от того, какие химические элементы из него ушли.

Оценка модуля упругости листа проведена по аддитивной модели, применяемой для композитных материалов, согласно которой суммарный модуль упругости является суммой произведений модулей упругости компонент на их объемную долю. Тем самым методика оценки доли фаз органически вошла в аддитивную модель, что позволило впервые провести оценку модулей упругости интерметаллидов δ' и T_1 -фаз.

В проанализировано влияние кристаллографической и металлографической текстуры на анизотропию механических свойств. В работе проведено сопоставление для разных внешних направлений факторов Закса и пределов текучести. Полученная разница экспериментальных и предполагаемых значений механических свойств объяснила с позиций закона Холла-Петча, поскольку для продольных образцов эффективный размер зерна существенно меньше, а прочность выше, чем для поперечных образцов.

Данные подходы и полученные результаты имеют как научный, так и практический интерес и открывают возможности для получения новых сплавов системы Al-Cu-Li с заданными физико-механическими свойствами и фазовым составом. Предложенные подходы могут быть применены для других сплавов.

Научная новизна диссертационной работы Прокопенко Д.А. не вызывает сомнения и заключается в следующем:

1. Использование методики количественного фазового анализа установлено, что интегральная величина модуля Юнга в листах сплавов системы Al-Cu-Li пропорциональна суммарному количеству интерметаллидов δ' (Al_3Li) и T_1 (Al_2CuLi), при этом основной вклад дает δ' -фаза.
2. Впервые определены значения модуля Юнга интерметаллидов в сплавах системы Al-Cu-Li, показано, что уникально высокие значения модуля Юнга сплавов системы Al-Cu-Li обусловлены большим количеством в них интерметаллидных фаз с более высокими упругими свойствами по сравнению с α -твердым раствором.
3. Для сплавов системы Al-Cu-Li найдена корреляция между отношением Cu и Li в атомных % и количеством интерметаллидных фаз, что дает возможность прогнозировать фазовый состав разрабатываемых Al-Cu-Li сплавов.
4. Сопоставление анизотропии, полученной расчетом из текстурных данных текстурной и экспериментом показало, что расчеты объясняют минимум прочности в 45° -ном направлении, но дают завышенные значения прочности для поперечного и заниженные для продольного направлений, что можно объяснить с позиций закона Холла-Петча, поскольку для продольных образцов эффективный размер зерна существенно меньше, а прочность выше, чем для поперечных образцов.

Рекомендации по практическому использованию основных результатов работы

1. Показано, что пределы текучести в долевым и поперечном направлениях сплава В-1480 значительно выше, чем для сплава, однако минимальные показатели для обоих сплавов равны (в 45° -ном направлении) демонстрирует необходимость учета текстурного фактора и анизотропии при оценке прочности изделия и необходимость испытаний листов сплавов Al-Cu-Li в 45° -ном направлении.
2. В отличие от прочностных характеристик, которые существенно выше для T_1 -фазы величины модулей Юнга δ' - и T_1 -фаз, впервые оцененные в работе близки и составляют 93–123 ГПа для δ' -фазы и 115–123 ГПа для T_1 -фазы, что необходимо использовать при выборе составов новых сплавов системы Al-Cu-Li со сбалансированными упругими и прочностными свойствами.

Достоверность полученных результатов обусловлена применением в исследовании оригинальных дифракционных методов исследования. Экспе-

риментальные результаты по механическим свойствам и по структурно-фазовому состоянию согласуются между собой.

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научных семинарах и многочисленных конференциях, в том числе и международных.

Диссертация и автореферат написаны ясным технически грамотным языком, хорошо оформлены, содержат достаточное количество данных и иллюстраций для понимания и оценки результатов работы.

Автореферат и основные публикации по теме диссертации отражают ее основное содержание.

Замечания

- 1) В методической части представлена методика высокотемпературных исследований, которая на применялась в работе, а методика измерения параметра решетки и оценки доли δ' - и T_1 -фаз не описана в полной мере. Без оценки точности измерения параметра решетки сложно оценить причины разброса параметров решетки для разных плоскостей hkl по разным направлениям.
- 2) Модуль упругости матрицы в аддитивной модели взят для чистого Al, а не для твердого раствора, в котором растворенный Li может повышать модуль упругости. В данной модели не учитывается наличие или отсутствие когерентности, а также размеры состаренных фаз.
- 3) Примененная методика оценки доли δ' - и T_1 -фаз не учитывает возможного наличия фаз θ' (Al_2Cu) или S' (Al_2CuMg) при присутствии которых, расчетные формулы изменятся, что может привести к некорректным оценкам доли δ' - и T_1 -фаз.

Сделанные замечания не снижают научной и практической ценности диссертации и общей высокой оценки работы.

Диссертационная работа Прокопенко Дениса Алексеевича выполнена на высоком научно-техническом уровне. Она является законченным научным исследованием, в котором получены новые научные результаты, расширяющие понимание процессов формирования анизотропии физико-механические свойства за счет кристаллографической текстуры в листах из алюминиевых сплавов системы Al-Cu-Li. Работа представляет практическое значение для повышения стабильности структуры и физико-механических свойств.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 6 международных научно-технических конференциях, опубликованы в 7 статьях в изданиях, входящих в перечень ВАК, из которых 3 в журналах, включенных в международные системы цитирования. Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-16 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор Прокопенко Денис Алексеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Официальный оппонент,
Кандидат физико-математических
наук, начальник сектора
лаборатории металлофизических
исследований
НИЦ «КУРЧАТОВСКИЙ
ИНСТИТУТ» - ВИАМ



Медведев
Павел
Николаевич

20.11.2025

Подпись Медведева П.Н. удостоверяю

Начальник управления
«Научно-образовательная
деятельность»
(должность)



Свириденко
Данила
Сергеевич

Тел.: +7-(910)-435-29-46

E-mail: pnmedv@gmail.com

Адрес организации: 105005, Россия, Москва, ул. Радио, д. 17