

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Газизова Марата Разифовича  
на тему «Влияние литья и термомеханической обработки на структуру и механические  
свойства сплава Al-Cu-Mg-Ag»,  
представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук

Алюминиевые сплавы системы Al-Cu-Mg-Ag являются перспективным материалом для применения в конструкции планера сверхзвуковых пассажирских самолётов благодаря высоким характеристикам жаропрочности, превышающим соответствующие характеристики серийных жаропрочных алюминиевых сплавов. В то же время объём имеющейся информации относительно свойств полуфабрикатов из сплавов системы Al-Cu-Mg-Ag, особенно подвергнутых большой пластической деформации, явно недостаточен для их осознанного и эффективного использования.

В связи с этим, поставленная в настоящей диссертационной работе цель – установление влияния условий литья и гомогенизации слитков, режимов термомеханической обработки с большими пластическими деформациями на свойства перспективного сплава системы Al-Cu-Mg-Ag с микродобавками скандия, циркония и германия, является актуальной и имеет не только научную, но и практическую ценность.

Следует отметить системность и последовательность подхода автора при экспериментальном изучении структуры выбранного сплава в различных состояниях при анализе влияния деформирования при ТМО и РКУП на микроструктуру сплава и последовательность выделения фаз при старении и при определении механических свойств.

Для изучения структуры сплава автор использует самые современные методы и средства исследования, включающие оптическую микроскопию, электронную микроскопию с использованием растрового и просвечивающего электронного микроскопа с приставками для энергодисперсионного анализа и дифракции обратно отраженных электронов. Рентгенофазовые исследования и анализ текстуры проводили на современных дифрактометрах. Результативно использованы методы дифференциальной сканирующей калориметрии. Механические свойства сплава оценивали путём измерения микротвёрдости и проведения испытаний на растяжение, на ползучесть и длительную прочность.

Комплексно использованные в работе методики исследования структуры и определения механических свойств позволили получить достоверную информацию о состоянии сплава.

В результате автором были установлены новые интересные закономерности.

1. При легировании сплава, содержащего 5,6 % меди, скандием в количестве 0,17 %, в процессе литья и гомогенизации образуется избыточная мало растворимая фаза  $W(Al, Cu, Sc)$ , которая связывает скандий и уменьшает количество дисперсоида из наночастиц фазы  $Al_3(Sc, Zr)$ . Легирование Ge приводит к образованию в литом сплаве частиц избыточной фазы  $Mg_2Ge$ , которая связывает магний и уменьшает его концентрацию в твёрдом растворе.

2. Легирование скандием и цирконием не оказывает влияния на распределение в алюминиевой матрице частиц  $\Omega$ -фазы, образующихся при искусственном старении, а легирование магнием и серебром не влияет на морфологию частиц фазы  $Al_3(Sc, Zr)$ .

3. Деформирование сплава при комнатной температуре между закалкой и старением со степенью деформации от 1 до 80 % оказывает сложное влияние на последовательность метастабильных превращений при выделении  $\Omega$ - и S-фаз, происходящую во время старения при 190 °C. Тонкие пластины  $\Omega$ -фазы гомогенно выделяются из пересыщенного твёрдого раствора с получением максимальной прочности после деформирования на 60-80 % при толщине пластин 2,8 нм и длине 25 нм. Длительная выдержка при старении приводит к превращению  $\Omega$ -фазы в  $\theta$ -фазу с некогерентными границами, что сопровождается снижением прочности.

4. Исследована эволюция микроструктуры в процессе РКУП при повышенной температуре (0,4-0,5)  $T_{пл}$ , приводящая к формированию структуры с различной степенью рекристаллизации и ускорению превращения  $\Omega$ -фазы в  $\theta$ -фазу. После продолжительной выдержки при 250 °C обнаружено присутствие в структуре фазы  $\beta(MgAg)$ , сосуществующей с  $\theta$ - и S-фазами, а также гетерогенное выделение частиц (Ag)-фазы, как продукта распада  $\Omega$ -фазы. Закалка сплава после нагрева при 500 °C после РКУП приводит к вторичной рекристаллизации, несмотря на тормозящее действие дисперсоида фазы  $Al_3(Sc, Zr)$ , и как следствие к снижению механических свойств сплава.

5. Анализ вкладов различных механизмов упрочнения в итоговую величину прочности показал, что для достижения максимальной прочности при растяжении при комнатной температуре с получением  $\sigma_B = 570$  МПа и  $\sigma_{0,2} = 520$  МПа является ТМО Т840 с 40 % деформированием перед искусственным старением. Однако сопротивление ползучести при этом снижается относительно состояния Т651.

6. Применение РКУП не улучшает механические свойства материала.

Приведённые в автореферате результаты исследований автора и их обсуждение свидетельствуют о высокой квалификации соискателя как при проведении исследований, так и при интерпретации полученных результатов.

Полученные в работе результаты исследований существенно расширяют объём наших знаний о природе сложного легированного сплава системы Al-Cu-Mg-Ag при ТМО и РКУП и позволяют обоснованно выбрать оптимальный режим ТМО для получения лучшего комплекса механических свойств.

К недостаткам изложения материала в автореферате можно отнести следующее.

1. Отсутствует указание на способ литья и размеры используемых слитков, что определяет исходную дисперсность структуры сплава, влияющую на последующую трансформацию структуры.

2. Вывод о нецелесообразности введения в сплав скандия недостаточно обоснован, т. к. его наличие влияет на структуру сплава в состоянии Т6.

3. Не дано определение понятию «геометрически необходимые границы», формирование которых необходимо для начала процесса непрерывной динамической рекристаллизации, впервые упомянутому на стр. 5 автореферата.

4. Не приведены характеристики текстуры в альфа, бета и гамма волокнах, отличающих их друг от друга.

5. В автореферате показано, что в процессе распада пересыщенного твёрдого раствора при РКУП образуются, в частности, частицы чистого Ag, появление которых в многокомпонентном алюминиевом сплаве нам представляется невозможным. Целесообразно было бы более подробно изложить экспериментальные данные, подтверждающие их наличие, и дать теоретическое объяснение причинам их появления.

Имеющаяся неполнота изложения материала в автореферате не мешает восприятию основных научных и практических результатов проделанной работы и не снижают её научную ценность и практическую значимость.

Основные результаты работы опубликованы в статьях автора и в докладах на внутренних и международных конференциях.

Работа удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01

Главный научный сотрудник ОАО «ВИЛС», доктор т  
Захаров Валерий Владимирович  
13.05.2015

Телешов Телешов Виктор Владимирович  
13 мая 2015г.

121596, Москва, ул. Горбунова, дом 2, ОАО «ВИЛС».

Подпись руки главного научного сотрудника Захарова В. В. и главного научного сотрудника Телешова В. В. удостоверяю.

Заместитель Генерального директора ОАО «ВИЛС»

по науке и производству

доктор экономических наук, профессор

мических наук, профессор  
Ковалёв Г. Д.

