

## О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу Газизова Марата Разифовича

"Влияние литья и термомеханической обработки на структуру и механические свойства сплава Al-Cu-Mg-Ag", представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 "Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов".

Среди алюминиевых сплавов, предназначенных для использования в качестве легких конструкционных материалов, сплавы системы Al-Cu-Mg-Ag отличаются хорошими прочностными свойствами при повышенных температурах. В соответствие с этим они предназначены для использования в изделиях, для которых, наряду с малым собственным весом, важным является также достаточно высокие прочностные свойства в нагретом состоянии. Как легкие конструкционные материалы алюминиевые сплавы находят широкое применение в авиационной технике и других летательных аппаратах, где изготовленные из них изделия могут испытывать аэродинамический нагрев или нагрев от расположенных вблизи двигателей. Именно для применения в таких изделиях сплавы Al-Cu-Mg-Ag представляют наибольший интерес. Учитывая важность использования алюминиевых сплавов Al-Cu-Mg-Ag в современной технике, целесообразно их дальнейшее совершенствование, которое может осуществляться путем дополнительного легирования небольшими добавками других элементов, а также применения к ним специальных упрочняющих обработок. Кроме того, для успешного использования сплавов и дальнейшего их совершенствования является важным более глубокое понимание природы их высоких прочностных свойств, особенности их структуры и ее изменения в различных условиях. В диссертации Газизова М.Р. представлены результаты исследований, проведенных им в указанных направлениях, в связи с чем ее следует считать весьма актуальной.

Диссертация Газизова М.Р. составлена так, как это обычно принято для диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических наук по металловедению. Она включает в себя введение, в котором отмечаются основные особенности сплавов системы Al-Cu-Mg-Ag и, обосновывается дополнительное легирование их небольшими добавками скандия, циркония и германия, а также опробование применительно к ним термомеханической обработки, к которой можно отнести также и использованное равноканальное угловое прессование. Следующие главы включают в себя достаточно подробный литературный обзор, описание методов исследования и условий проведения термической, термомеханической обработок, а также равноканального углового прессования, исследование сложной структуры исследованного сплава с добавками Sc, Zr и Ge в литом и гомогенизированном состояниях, исследование микроструктуры сплава и ее изменения при проведении термомеханической обработки, включая равноканальное угловое прессование (РКУП) в различных условиях, изучение механических свойств сплава в различных состояниях с оценкой вклада различных структурных факторов в прочностные свойства и выводы.

В выполненных диссертантом исследованиях получены важные научные результаты, из которых следует отметить следующие.

1. Установлено, в составе каких фаз присутствуют в структуре сплава Al-Cu-Mg-Ag в различном состоянии дополнительные легирующие элементы Sc, Zr, Ge, на основании

чего можно понять и оценить эффективность их влияния на структуру и свойства исследуемого сплава.

2. Установлены особенности распада пересыщенного алюминиевого твердого раствора в сплаве Al-Cu-Mg-Ag с добавками Sc, Zr и Ge, подвергнутого холодной пластической деформации между закалкой и старением. Показано, что холодная пластическая деформация может препятствовать образованию зон ГП, способствовать образованию при распаде промежуточных фаз, характерных для распада твердого раствора в сплавах Al-Cu ( $\theta'$ ) и Al-Cu-Mg ( $S''$ ,  $S'$ ), изменять морфологию пластинчатых выделений фазы  $\Omega$ .
3. Установлены изменения в структуре сплава Al-Cu-Mg-Ag при проведении интенсивной пластической деформации РКУП при повышенных температурах 250 и 300 °С, соответствующих стадиям значительного разупрочнения при распаде алюминиевого пересыщенного твердого раствора. При этом выявлена специфическая последовательность фазовых превращений при распаде, а именно  $ПТР \rightarrow \Omega \rightarrow \theta + S + \theta' (MgAg) + U(AlMgAg) + Ag$ , которое объясняется диспергированием  $\Omega$ -фазы в результате деформации, а также измельчение зерен алюминиевого твердого раствора с увеличением числа проходов при РКУП.
4. Следует также отметить проведенный диссертантом теоретический расчет вкладов различных механизмов упрочнения сплава после РКУ прессования, который показал главенствующую роль в упрочнении дисперсионного механизма в стареющих алюминиевых сплавах.

Проведенные Газизовым М.Р. исследования имеют практическую направленность. Они были связаны с разработкой легкого конструкционного сплава на основе алюминия и опробования новых путей улучшения его прочностных свойств. В итоге работ было установлено, какие обработки обеспечивают наилучшее сочетание прочности и пластичности при температурах близких к комнатной (обработка Т840) и максимальную жаропрочность (обработка Т6).

Замечания по работе:

1. На стр. 158 в выводе 2 по главе 5 снижение пределов ползучести и длительной прочности сплава в результате пластической деформации между закалкой и старением объясняется «диспергированием пластин  $\Omega$ -фазы, что облегчает трансформацию  $\Omega \rightarrow \theta$  в процессе ползучести/продолжительности старения». В таком объяснении не учитывается то, что после пластической деформации алюминиевый твердый раствор в сплаве остается деформированным и его кристаллическая решетка содержит повышенное количество дефектов, что также может сказываться на свойствах сплавов.
2. Стр. 70. В Таблице 4.1 приводятся геометрические параметры частиц  $\Omega$ -фазы после холодной промежуточной пластической деформации при ТМО. При этом с увеличением степени деформации объемная доля  $\Omega$ -частиц изменяется по кривой с максимумом, а их толщина изменяется по кривой с минимумом. Чем может быть обусловлено такое изменение объемной доли  $\Omega$ -частиц и их толщины? Этому надо дать объяснение.
3. В диссертации придается слишком большое значение растворимости скандия в равновесной фазе  $\theta$  системы Al-Cu в литом состоянии сплава, что учитывается в поведении этой фазы при гомогенизации и образовании при этом содержащей медь и скандий равновесной фазы W (стр.49-52, 60 и др.). Растворение Sc в фазе  $\theta$  в литом состоянии базируется на результатах локального химического анализа при наблюдении структуры сплава в просвечивающем электронном микроскопе (Рис. 3.3, включение С).



Однако, показываемое при этом на приведенном спектре содержание Sc составляет только 0,46 ат.% и сравнимо с показываемыми содержаниями Mn и Ag. Фактически установленное значение растворимости Sc в фазе  $\theta$  близко к уровню ошибки измерений.

4. По диссертации можно сделать некоторые замечания по ее оформлению. Так на Рис.3.1а приводится структура сплава при увеличении  $\times 75$ , которая рассматривается как макроструктура, в то время обычно считается, что макроструктура соответствует увеличению не более, чем  $\times 25$ . На Рис.3.2,г,д приведены снимки СЭМ, на которых видны только темные поля. Для Рис.5.8 (стр.142) в подрисуночной подписи следовало бы указать условия ТМО для исходного состояния.

Сделанные замечания носят частный характер и не снижают общей положительной оценки работы в целом, которая является законченной научно-исследовательской квалификационной работой, имеющей существенное значение для развития соответствующей отрасли знаний. Исследования автора актуальны и выполнены на высоком научном уровне с использованием современных методов анализа структуры и определения свойств сплавов. Особенно следует отметить проведенные автором в значительном объеме подробные исследования структуры изучаемого сплава в современных сканирующем и просвечивающем электронных микроскопах, а также теоретические расчеты. Материалы диссертации представлены в 13 публикациях в изданиях, рекомендованных ВАК. По результатам проведенных исследований получен один Патент на изобретение Российской Федерации. Они доложены и обсуждены на 7 Российских и Международных научных конференциях. Несомненна практическая значимость выполненной работы.

Учитывая вышесказанное, следует считать, что работа "Влияние литья и термомеханической обработки на структуру и механические свойства сплава Al-Cu-Mg-Ag» соответствует требованиям П.9 Положения о присуждения ученых степеней, предъявляемым к диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Газизов Марат Разифович заслуживает присуждения ему искомой степени по специальности 05.16.01 "Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов".

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

Официальный оппонент  
Рохлин Лазарь Леонович,  
профессор, докт. техн. наук, главн. научн. сотр.  
Лабора.т. металловедения цветных и легких металлов  
ФГБУН Институт металлургии и  
материаловедения им. А.А.Байкова РАН (ИМЕТ РАН)  
119991 Москва, Ленинский проспект, 49  
Тел.: 8-499-135-86-60  
E-mail: [rokhlin@imet.ac.ru](mailto:rokhlin@imet.ac.ru)

Подпись главн.научн.сотр. Л.Л.Рохлина заверяю:  
Ученый Секретарь ИМЕТ РАН  
канд.техн. наук



*Мохлин*  
28.05.2015

*Мохлин*  
О.Н.Фомина