

Федеральное государственное унитарное предприятие
«Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов



“ПРОМЕТЕЙ”



Государственный научный центр



ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» 191015, Россия, Санкт-Петербург, улица Шпалерная, дом 49
Телефон (812) 274-37-96, Факс (812) 710-37-56, mail@crism.ru, www.crism-prometey.ru
ОКПО 07516250, ОГРН 1037843061376, ИНН 7815021340/ КПП 783450001

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора

ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей»

д.т.н. М.Г. Шарапов



« 02 »

2016 г.

ОТЗЫВ

Ведущей организации Федерального Государственного Унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» на диссертационную работу «Влияние деформации на структуру и механические свойства Al-Mg-Sc-Zr сплава» соискателя ученой степени кандидата технических наук Жемчужниковой Д.А. по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Актуальность работы

В настоящее время возрастает потребность в использовании облегченных корпусных конструкций из алюминиевых сплавов в области низких и криогенных температур. Способность алюминиевых сплавов 5XXX серии (Al-Mg) сохранять высокие прочностные и пластические характеристики при низких температурах является основой их широкого использования в различных областях техники.

Повышение прочности и пластичности этих сплавов с понижением температуры обусловлено тремя основными факторами. Во-первых, в области низких температур подавляется динамическое деформационное старение,

которое выражается в появлении осцилляций нагрузки на кривых растяжения (эффект Портвена-Ле Шателье) Это явление в Al-Mg сплавах с содержанием Mg более 2%, соответствует переходу к нестабильному пластическому течению и локализации пластической деформации. Во-вторых, в области низких температур затрудняются процессы возврата, происходящие в сплавах с высоким значением энергии дефекта упаковки и способствующие уменьшению деформационного упрочнения. В результате при низких температурах коэффициент деформационного упрочнения увеличивается, что повышает стабильность пластического течения и, соответственно, пластичность Al-Mg сплавов. В-третьих, вплоть до температуры $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$ в алюминиевых сплавах 5XXX серии при статическом нагружении сохраняется вязкий межзеренный механизм разрушения, требующий большую пластическую деформацию для формирования поверхности излома.

Существенным недостатком, ограничивающим применение промышленных Al-Mg сплавов, является их относительно невысокая прочность в отожженном состоянии. Так при комнатной температуре предел прочности σ_B не превышает 335 МПа, а предел текучести $\sigma_{0,2}$ не превышает 175 МПа. Повышение прочности алюминиевых сплавов в области низких температур при сохранении пластичности материала позволило бы повысить эксплуатационные свойства изготавливаемых конструкций, а также снизить их вес. Возможными способами повышения прочности Al-Mg сплавов является дополнительное легирование и термомеханическая обработка. Увеличение содержания Mg в сплаве до 5-6 % и дополнительное легирование сплава такими элементами, как Sc и Zr, образующими когерентные $\text{Al}_3(\text{Sc}, \text{Zr})$ частицы размером до 10 нм, повышает величину предела текучести почти на 100 МПа. Также эффективным способом повышения прочностных свойств Al-Mg сплавов при сохранении удовлетворительных характеристик пластичности, стойкости к расслаивающей коррозии является нагартовка с последующим стабилизационным отжигом. Такая обработка, как правило, применяется для листов и плит Al-Mg сплавов.

Тем не менее, до настоящего времени опубликовано недостаточное количество работ по комплексному рассмотрению влияния нескольких упрочняющих факторов на низкотемпературные свойства материалов, что ограничивает представление о взаимосвязи между условиями обработки, развитием микроструктуры и механическими свойствами материала.

Не менее важным является изучение процессов и методов соединения высокопрочных корпусных конструкций, работающих при низких и криогенных температурах. Одним из самых перспективных методов создания неразъемных соединений листов из термически неупрочняемых листов алюминиевых сплавов является сварка трением с перемешиванием (СТП), которая позволяет получать сварные соединения по прочности, не уступающей прочности основного материала. Однако в большинстве исследования свойств сварных соединений, полученных данным методом, выполнены при комнатной, либо при повышенных температурах. В этой связи экспериментальные исследования поведения сварного соединения в целом и его отдельных зон в условиях криогенных температур, а также установление связи между их структурой и механическими свойствами является важной научной и практической задачей.

Важность и актуальность работы Жемчужниковой Д.А. определяется тем, что определена возможность значительного повышения механических свойств Al-Mg сплавов, дополнительно легированных Sc и Zr, при комнатной и криогенных температурах за счет термомеханической обработки, в том числе методом интенсивной пластической деформации, например, методом равноканального углового прессования (РКУП); изучено влияние деформационной структуры на механические свойства деформированных полуфабрикатов и металла сварных соединений, полученных СТП; исследовано влияние низких температур на механизм разрушения при статическом и динамическом нагружении исследуемого сплава со Sc.

На основании выполненных в диссертационной работе исследований получены результаты, обладающие научной новизной.

1. Показано, что в отличие от процессов холодной и горячей прокатки при которых зерна в процессе деформации вытягиваются вдоль направления деформации, процесс интенсивной пластической деформации методом РКУП обеспечивает формирование структуры с равноосными зернами размером 0,7 мкм и объемной долей более 90%.

2. Подтверждено, что одновременное увеличение прочности и пластичности в исследуемых деформационных состояниях Al-Mg-Sc-Zr сплава при понижении температуры от комнатной до -196 °С скорее всего связано с подавлением динамического деформационного старения, увеличением коэффициента деформационного упрочнения и сохранением вязкого внутризеренного разрушения в качестве основного механизма.

3. Подтверждено, что ударная вязкость высокопрочного горячекатаного Al-Mg-Sc-Zr сплава слабо зависит от температуры, так как разрушение происходит, в основном, по вязкому внутризеренному механизму, что характерно для Al-Mg сплавов.

4. Установлено, что близкие значения многоциклового усталости металла сварных соединений и основного металла связаны с образованием мелкозернистой структуры металла шва, препятствующей зарождению усталостных трещин.

Практическая значимость выполненной работы заключается в следующем:

1. Показана возможность применения горячекатаных листов и заготовок, полученных равноканальным угловым прессованием, из Al-Mg-Sc-Zr сплава для изделий, работающих в области низких и криогенных температур.

2. Показана возможность использования метода сварки трением с перемешиванием для получения сварных соединений листов Al-Mg-Sc-Zr сплава с коэффициентом прочности 0,9-1,0 от прочности основного металла при температурах от +20°С до -196°С. По результатам работ подана заявка на патент по получению сварных конструкций сплава с высокой вязкостью разрушения.

3. Результаты работы и методы исследования по изучению влияния термомеханической обработки на структуру и механические свойства экспериментального Al-Mg-Sc-Zr сплава при криогенных температурах могут быть использованы при решении практических задач по применению промышленных деформируемых алюминиевых сплавов со скандием в сварных изделиях, работающих в области низких и криогенных температур.

Общая характеристика работы

Тема данной диссертационной работы является перспективной и актуальной как с научной, так и с практической точки зрения. Цели и задачи автором сформулированы четко и ясно, объекты исследований выбраны обоснованно, комплексные исследования проведены довольно системно и тщательно.

Результаты диссертационной работы были получены в рамках выполнения государственного контракта №16.740.11.0395 «Разработка высокопрочного сплава системы Al-Mg-Sc для работы при температуре сжиженного природного газа», реализуемого в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры России на 2009-2013», а также при выполнении государственного задания № 11.1533.2014/К по теме «Разработка научных основ получения высокопрочных сварных конструкций из листов алюминиевых сплавов методом сварки трением с перемешиванием», выполняемого в 2014-2016 годах, при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

В результате выполненных исследований автором установлено влияние пластической деформации на структуру Al-Mg-Sc-Zr сплава, на статические и динамические свойства сплава в интервале температур $-196...+20$ °С, на усталостную выносливость при комнатной температуре.

На основании выполненных работ определены характеристики прочности и пластичности сварных соединений сплава, полученных СТП, в интервале температур $-196...+20$ °С, циклической прочностью при комнатной температуре. Практическая значимость не вызывает сомнений.

Содержание научного материала, представленного в диссертационной работе, полностью соответствует заявленной специальности. Выводы отражают суть проделанной работы и соответствуют современным научным представлениям.

Основные результаты работы опубликованы в 7 печатных трудах, в изданиях, входящих в перечень ВАК, подана заявка на патент РФ (№2015139340 от 16.09.2015 г). Материалы работы докладывались и обсуждались на 10 российских и международных конференциях

Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации в доступном изложении.

Личный вклад автора представлен в диссертации и автореферате и заключается в постановке задач исследований, планировании и подготовке экспериментов, руководстве и непосредственном участии в их проведении, получении, анализе и обобщении научных результатов, подготовке научных публикаций и докладов материалов работы на научно-технических конференциях.

Рекомендации по использованию результатов диссертационной работы.

Результаты работы могут быть использованы при решении практических задач по применению деформированных полуфабрикатов из алюминиевых сплавов со скандием в сварных конструкциях судов-газовозов по перевозке и хранению сжиженных газов, для скоростных судов, работающих в условиях Крайнего Севера. Область применения может расширяться за счет использования результатов работ в других областях промышленности для изделий, работающих в низкотемпературных и криогенных условиях эксплуатации.

Замечания по диссертационной работе:

1. С нашей точки зрения соискателем уделено неоправданно большое внимание изучению механических свойств деформируемого алюминиевого сплава в литом состоянии при низких температурах, так как деформируемые Al-Mg сплавы в литом состоянии не применяются в изделиях криогенной техники.

2. Не ясно, чем можно объяснить низкое содержание Fe (0,01%) и Si (0,001%) в исследуемом сплаве, а также низкие скорости горячей и холодной прокатки (~1 м/мин), что совсем не характерно для этого процесса.

3. В большинстве работ по РКУП больше 4-6 проходов при прессовании не производится, так как большее количество проходов (у соискателя 12 проходов) не приводит к увеличению механических свойств.

4. Следует уточнить, по каким параметрам структура после РКУП и в зонах СТП близка. «Близость» можно ожидать в размерах зерен, а другие структурные характеристики: равноосность, текстурированность, конфигурация границ зерен, термодинамическая равновесность и др. различаются даже в зависимости от способа РКУП.

5. Не совсем аккуратное оформление рисунков и графиков в диссертации. Так пояснения на графиках и подписи осей на рисунках разноязычные.

Перечисленные в отзыве замечания не снижают научной и практической ценности выполненной работы, а также ее высокой оценки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

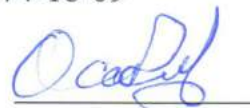
Диссертация Жемчужниковой Дарьи Александровны «Влияние деформации на структуру и механические свойства Al-Mg-Sc-Zr сплава» является целостной и законченной научной работой, выполненной на достаточно высоком научном уровне, которая будет способствовать решению практических задач при использовании промышленных алюминиевых сплавов со скандием в сварных конструкциях различного назначения, работающих в условиях низких и криогенных температур.

По критериям актуальности темы, научной новизны и практической значимости полученных результатов диссертационная работа полностью соответствует п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842), а ее автор Жемчужникова Дарья Александровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Отзыв на диссертацию Жемчужниковой Д.А. рассмотрен и одобрен на секции НТС НПЭК ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» протокол № 1 от 24 февраля 2016 года.

Заместитель начальника
научно-производственного
экспериментального
комплекса по научной работе

Осокин Евгений Петрович
(812) 274-18-09



«25» 02 2016 г.