

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНОБРНАУКИ РОССИИ)**

**федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Рыбинский государственный авиационный
технический университет
имени П. А. Соловьева»
(РГТУ имени П. А. Соловьева)**

Пушкина ул., д. 53, Рыбинск,
Ярославская обл., 152934.
Тел. (4855) 28-04-70. Факс (4855) 21-39-64.
E-mail: root@rsatu.ru

01.11.2025 № 08.02/3790

УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор-проректор по
науке и цифровой трансформации



Сутягин А.Н.

14 2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева» на диссертационную работу Проценко Евгения Олеговича «Закономерности структурно-фазовых превращений в сварных соединениях листов из алюмокальциевых сплавов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 «Материаловедение» (технические науки)

Актуальность темы диссертации. В настоящее время алюминиевые сплавы находят все большее применение при изготовлении деталей и узлов различных изделий в машиностроении и авиастроении благодаря уникальному комплексу механических и эксплуатационных свойств. Однако достаточно часто при изготовлении крупных монолитных узлов из заготовок, полученных с использованием различных технологий (литье, обработка давлением, 3D-технологии) возникают серьезные проблемы при обеспечении требуемого комплекса механических свойств особенно в зоне сварного шва из-за существенного различия химического состава литейных и деформируемых сплавов.

Поэтому проведенные соискателем исследования структурных и фазовых превращений, протекающие в алюминиево-кальциевых сплавах, легированных цинком и магнием, в условиях сварки, являются, несомненно, актуальными, тем более что автором рассматривается как сварка плавлением (аргонодуговая и лазерная), так и сварка в твердой фазе – сварка трением с перемешиванием.

Общая характеристика работы.

Соискателем в литературном обзоре представлено подробное описание современного состояния исследований в области сварки высокопрочных деформируемых алюминиевых сплавов и сплавов средней прочности, рассмотрены различные системы легирования и методы упрочнения алюминиевых сплавов, проанализировано влияние легирующих элементов на механические свойства и свариваемость данной группы сплавов. Большое внимание уделено анализу применяемых способов сварки конструкций из алюминиевых сплавов и особенностям формирования структуры сварного шва. Установлено, что имеется противоречие между высокими требованиями к сплавам и существующими системами их упрочнения, что позволило автору вполне обоснованно сформулировать цель исследования и определить задачи, обеспечивающие достижение указанной цели.

В частности установлено, что для листов сплава $Al-1Ca-5,5Zn-1,5Mg-0,5Mn$ коэффициент трещинообразования по пробе «рыбий скелет» находится в пределах 51–58%, легирование цирконием приводит к снижению показателей стойкости против образования трещин при сварке, доказано, что дополнительное легирование скандием листов сплава $Al-1Ca-5,5Zn-1,5Mg-0,5Mn$ особенно благотворно сказывается на снижении склонности сплава к трещинообразованию (коэффициент трещинообразования снижается на 21–27%), применение присадочной проволоки приводит к повышению критической скорости деформирования (7,1 мм/мин для проволоки СвАМг63 и 7,4 мм/мин, а для проволоки Св1575 соответственно). При этом наиболее высокая стойкость листов исследуемого сплава к трещинообразованию наблюдается при использовании для сварки присадочной проволоки, легированной скандием, и при наличии скандия в основном материале.

Интересные результаты получены и по предупреждению образования пористости в зоне сварного шва, установлено, что для устранения этого дефекта необходим комплексный подход, а именно: уменьшение количества растворенного водорода в основном металле до 0,48 см³ /100 г и тщательное

соблюдение технологии подготовки свариваемых кромок под сварку с созданием при сварке условий для интенсивной пузырьковой дегазации сварочной ванны. Показано, что и лазерная очистка поверхности позволяет снизить количество и средний диаметр пор по сравнению с зачисткой механической щеткой примерно в 2–2,5 раза и по качеству соединений равноценна химическому травлению листов перед сваркой.

Для доказательства разработанных соискателем предложений по совершенствованию технологических процессов сварки были определены механические свойства сварных соединений листов сплава $\text{Al-1Ca-5,5Zn-1,5Mg-0,5Mn}$ при автоматической аргонодуговой сварке с присадочными проволоками СвАМг63 и Св1575. Установлено, что бездефектные сварные соединения при испытаниях на растяжение имеют прочность на уровне 0,79–0,89 от временного сопротивления основного металла. Временное сопротивление литого металла шва в зависимости от применяемой присадочной проволоки находится в диапазоне 144–165 МПа (проволока СвАМг63) и 158–185 МПа (проволока Св1575), образцы, полученные автоматической лазерной сваркой с присадочной проволокой Св1575, при испытаниях на растяжение имеют прочность на уровне 0,74–0,79 от временного сопротивления основного металла. Разрушение соединений при испытаниях на растяжение происходит по зоне сплавления.

Автором были получены и качественные бездефектные сварные соединения листов сплава $\text{Al-1Ca-5,5Zn-1,5Mg-0,5Mn}$ в горячекатанном состоянии методом сварки трением с перемешиванием. Выявлена высокая термическая стабильность микроструктуры зоны перемешивания соединения СТП листов сплава, разрушение соединений при испытаниях на растяжение происходит по зоне термомеханического воздействия. Таким образом, можно констатировать, что заявленная цель и поставленные задачи автором были решены.

Научная новизна работы Проценко Евгения Олеговича не вызывает сомнения и заключается в установлении взаимосвязи между значением коэффициента трещинообразования для сплавов $\text{Al-1Ca-5,5Zn-1,5Mg-0,5Mn}$ при различных скоростях деформирования; в доказательстве, что при сварке плавлением листов сплава $\text{Al-1Ca-5,5Zn-1,5Mg-0,5Mn}$ в металле шва формируется литая мелкозернистая структура с отсутствием фаз грубой морфологии, что объясняется наличием в сплаве кальция, который связывает такие примесные элементы как железо и кремний в тройные соединения типа

$\text{Al}_{10}\text{CaFe}_2$ и Al_2CaSi_2 , а также в разработке режимов термической обработки сварных соединений, при которых обеспечивается повышение прочности, обусловленное образованием в процессе отжига упрочняющих наночастиц фазы $\text{Al}_3(\text{Zr},\text{Sc})$ структурного типа L12, средний размер которых, составляет порядка 20 нм.

Практическая значимость диссертационной работы также не вызывает сомнения и заключается в разработке технологических рекомендаций по сварке листов сплава $\text{Al}-1\text{Ca}-5,5\text{Zn}-1,5\text{Mg}-0,5\text{Mn}$, включающих выбор рациональных режимов аргонодуговой и лазерной сварки, а также сварки трением с перемешиванием, а также в разработке химического состава присадочной проволоки, близкий к составу основного металла листов сплава $\text{Al}-1\text{Ca}-5,5\text{Zn}-1,5\text{Mg}-0,5\text{Mn}$. Кроме того результаты диссертационной работы были внедрены в учебно-образовательный процесс при подготовке бакалавров и магистров по направлениям 22.03.01 и 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов».

Достоверность результатов работы обеспечена использованием поверенного и сертифицированного оборудования и методик исследования, проведением исследований и испытаний в соответствии с требованиями научно-технической документации, действующей на территории Российской Федерации (ГОСТ, ОСТ); хорошим совпадением экспериментальных и теоретических результатов, использованием методов математической статистики при обработке результатов.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли достаточную апробацию на научно-технических конференциях и опубликованы в тринадцати печатных работах, в том числе в пяти, входящих в перечень ВАК.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

По диссертационной работе можно сделать следующие замечания:

1. Не совсем понятно как были выбраны соискателем интервалы варьирования химического состава сплавов, и какие методы использовали для проведения тонкой доводки оптимального химического состава сплавов;
2. Не совсем понятно, каким образом при проведении исследований были выбраны температура прокатки листов экспериментальных сплавов и степень деформации, было бы весьма интересным

выявить влияние этих параметров в некотором диапазоне на структуру и свойства изготавливаемых заготовок из экспериментальных сплавов;

3. В тексте автореферата и диссертации на фотографиях микроструктур было бы целесообразно указать фазовый состав сплавов, что облегчило бы анализ результатов исследований, кроме того, на графиках, приведенных в автореферате и диссертации отсутствуют доверительные интервалы;
4. Сварку трением с перемешиванием автор проводил на экспериментальном стенде при фиксированных значениях параметров (частота вращения инструмента, угол наклона, скорость сварки, усилие прижатия), однако весьма интересным было бы варьирование этих параметров с целью выявления их влияния на процессы структурообразования и фазовый состав в зоне сварного шва для экспериментальных сплавов;
5. В работе было уделено очень большое внимание вопросам подготовки поверхности свариваемых заготовок на качество сварного шва при разных способах сварки, однако целесообразно было провести и анализ их себестоимости, что можно бы в последствие использовать эти данные при разработке технологии изготовления заготовок в условиях реального производства;
6. При сварке с перемешиванием для уменьшения прилипания металла к штырю и отвода избыточного тепла очень часто применяют конструкции инструмента с наружным охлаждением, проводилась ли оценка уровня механических свойств с применением инструмента с охлаждением;

Однако имеющиеся недостатки не снижают качество и ценность проведенных автором исследований, и носят частный характер. Таким образом, диссертационная работа Проценко Евгения Олеговича выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой самостоятельную законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены научно-обоснованные технические и технологические решения проблемы повышения комплекса свойств сварных соединений при изготовлении крупных монолитных конструкций из алюминий-кальциевых сплавов.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор Проценко Евгений Олегович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение (технические науки).

Отзыв рассмотрен на заседании кафедры «Материаловедения, литья и сварки», протокол № 10/25 от 1.11.2025 года. На заседании кафедры присутствовало 13 членов кафедры из 13. Результаты голосования: «за» – 13, против – нет, воздержавшихся – нет.

Заведующий кафедрой
«Материаловедения, литья и сварки»
доктор технических наук, профессор

Шатульский
Александр
Анатольевич

Подпись Шатульского А.А. заверяю
Начальник отдела кадров



И.С. Сударкина