

## ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертационную работу Растопчина Руслана Николаевича «Влияние легирования присадочной проволоки скандием на структуру и свойства соединений сплава 1565чМ, выполненных плазменной сваркой», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – «Материаловедение (технические науки)»**

Современное транспортное машиностроение требует постоянного повышения эффективности перевозок, что достигается, в частности, за счёт снижения собственной массы автомобильных цистерн при сохранении их грузоподъёмности и надёжности. Широко применяемый в настоящее время для изготовления цистерн бензовозов и цементовозов алюминиевый сплав АМг5М при толщине стенки 7 мм практически исчерпал возможности для дальнейшего облегчения конструкций без потери прочности. В этой связи перспективным является использование более прочного деформируемого сплава 1565чМ системы Al–Mg, который позволяет уменьшить толщину листа до 6 мм и снизить массу цистерны на 500–600 кг.

Однако повышение прочности не должно сопровождаться ухудшением технологической пластичности и свариваемости, особенно при автоматической плазменной сварке – основном способе получения продольных швов обечаек. Одним из эффективных путей управления структурой и свойствами металла шва является легирование присадочной проволоки скандием, который образует дисперсные интерметаллидные фазы  $Al_3Sc$ , измельчает зерно и повышает стабильность свойств. Вместе с тем, для сплава 1565чМ влияние скандия применительно к условиям плазменной сварки с полым анодом оставалось недостаточно изученным, не были определены оптимальные концентрации и не исследовано влияние на стойкость к образованию трещин и пор.

Кроме того, в промышленности остро стоит проблема отказа от экологически опасных и трудоёмких химических методов подготовки поверхности перед сваркой (травление в щелочах и кислотах). Разработка альтернативных «чистых» технологий – лазерной очистки свариваемых кромок и скальпирования (механического удаления поверхностного слоя) присадочной проволоки – позволяет не только повысить экологическую безопасность, но и улучшить качество сварных соединений за счёт снижения пористости и оксидных включений.

Таким образом, диссертационная работа Растопчина Р.Н., направленная на установление закономерностей формирования структуры и свойств сварных соединений сплава 1565чМ при плазменной сварке в зависимости от содержания скандия в присадочной проволоке и разработку экологически безопасных

методов подготовки поверхности (лазерная очистка, скальпирование), имеет высокую научную и практическую актуальность для отечественного транспортного машиностроения и сварочного производства.

Научная новизна результатов диссертационной работы Растопчина Р.Н. состоит:

- в количественном определении содержания скандия в присадочной проволоке (0,15–0,20 масс. %), при котором обеспечивается полное устранение горячих трещин в металле шва при плазменной сварке листов сплава 1565чМ;

- в установлении структурного механизма повышения деформационной способности металла шва: показано, что при сварке листов из сплава 1565чМ присадочной проволокой Св1575, легированной скандием формируется измельченная литая структура с равномерным распределением дисперсных интерметаллидных частиц  $Al_3Sc$  как по границам, так и в объеме зёрен;

- в установлении закономерности изменения состава и напряжённого состояния поверхностного слоя присадочной проволоки Св1575 в результате скальпирования, а именно: снижения концентрации магния с 5,9 до 2 масс. % и возникновения в нем сжимающих напряжений, а также в формировании оксидного слоя из  $Al_2O_3$  и  $MgO$ ;

- в установлении эффективности лазерной зачистки как самостоятельного метода подготовки свариваемых кромок, обеспечивающей уменьшение толщины оксидной плёнки с 345–415 мкм до 10–26 мкм без применения химических реагентов.

Практическая ценность диссертационной работы определяется созданием законченных промышленных разработок: производственной инструкции по плазменной сварке листов сплава 1565чМ и двух технологических регламентов — сварки с полым катодом и сварки с полым анодом с совмещённой лазерной подготовкой поверхности. Обе технологии внедрены в серийное производство сварных автоцистерн на АО «БЕЦЕМА», что подтверждено актом о внедрении. Принципиально важным прикладным результатом является также разработка «зелёной» технологии подготовки материалов к сварке, полностью исключающей применение химического травления.

Достоверность полученных результатов обеспечивается комплексным подходом к верификации данных: результаты получены на современном сертифицированном оборудовании с применением апробированных методов структурного анализа и механических испытаний, согласуются с результатами других исследователей в данной области, а методологическая база работы опирается на государственные стандарты РФ и фундаментальные труды ведущих отечественных и зарубежных учёных.

По содержанию диссертационной работы можно сделать следующие замечания:

1. В работе приведены результаты испытаний на статическое растяжение и ударную вязкость в широком диапазоне температур. Однако сварные цистерны коммерческого транспорта в процессе эксплуатации подвергаются также вибрационным и знакопеременным нагрузкам (особенно при движении по неровностям дорожного полотна). Учёт этих факторов мог бы быть осуществлён проведением испытаний на циклическую прочность, что позволило бы более полно оценить работоспособность разработанных технологических решений. Данное замечание следует рассматривать как перспективное направление для дальнейших исследований.

2. В диссертации исследовано влияние скандия в присадочной проволоке на структуру и свойства сварных соединений сплава 1565чМ в диапазоне содержаний 0,15–0,30 мас.%. Однако известно, что в соответствии с ГОСТ 7871-2019 промышленностью освоены проволоки с более широким диапазоном легирования скандием: Св1575 (0,20–0,28% Sc), Св1587 (0,10–0,18% Sc) и Св1597 (0,36–0,50% Sc). В связи с этим возникает вопрос о поведении сварных соединений при выходе за исследованные пределы: будет ли дальнейшее увеличение содержания скандия (до 0,36–0,50%) способствовать дополнительному упрочнению или приведет к охрупчиванию металла шва? И наоборот, каковы свойства швов, сваренных экономнолегированной скандием проволокой Св1587? Расширение концентрационного диапазона с привлечением указанных марок проволоки позволило бы более полно обосновать выбор оптимального состава для практического применения.

3. В диссертации приведены результаты испытаний на склонность к межкристаллитной коррозии (раздел 2.10) и указана методика, однако в экспериментальных главах (3 и 4) эти данные отсутствуют. Не ясно, как изменилась коррозионная стойкость сварных соединений при легировании присадочной проволоки скандием и при применении лазерной очистки, что снижает полноту оценки эксплуатационных свойств.

4. В главе 3.4 и в выводах к главе 3 утверждается, что скальпирование позволяет получать беспористые сварные соединения после 60 суток хранения проволоки, однако из рисунка 3.22 видно, что интенсивность порообразования при скальпировании хотя и низкая, но не равна нулю. Следовало бы указать допустимый уровень пористости (по ГОСТ или ТУ), а не использовать термин «беспористые».

5. В работе не проведено сравнение экономической эффективности предложенной технологии (лазерная очистка + скальпирование) с традиционной

химической подготовкой. Это снижает обоснованность вывода о целесообразности замены.

6. Известно, что импульсная лазерная обработка алюминиевых сплавов в наносекундном диапазоне не только удаляет оксидную пленку, но и существенно повышает поверхностную энергию материала, переводя его в гидрофильное или супергидрофильное состояние. В диссертации исследована кинетика изменения состава и толщины оксидной пленки после лазерной очистки, однако влияние указанного эффекта на сорбционную способность поверхности (в частности, на скорость повторного накопления влаги) и, как следствие, на пористость сварных швов при различной длительности хранения очищенных кромок не рассматривалось. Учет этого фактора позволил бы более полно обосновать рекомендуемые сроки хранения заготовок после лазерной подготовки

7. В литературном обзоре (глава 1) подробно рассмотрены причины и механизмы порообразования при сварке алюминиевых сплавов, что справедливо подчеркивает актуальность данной проблемы. Однако в постановке задач исследования (раздел 1.7) эта проблема не выделена в отдельное направление, а в формулировках научной новизны (стр. 7–8) отсутствуют положения, непосредственно отражающие решение вопроса снижения пористости, несмотря на то, что в экспериментальной части (главы 3–4) автором получены содержательные результаты в этой области. Представляется, что включение соответствующей задачи и формулировка одного из пунктов научной новизны, касающегося снижения пористости (например, за счет комбинации лазерной очистки и скальпирования), усилило бы логическую стройность работы.

8. Имеются некоторые стилистические погрешности и опечатки, присутствует задвоение таблиц, рисунков и текстовых описаний. В целом оформление работы удовлетворительное, но требует тщательной вычитки.

Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки диссертации.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 5 научно-технических конференциях, опубликованы в 14 печатных работах, в том числе в 10 статьях в ведущих рецензируемых научных журналах из перечня ВАК РФ, из которых 2 статьи опубликованы в журналах, входящих в международные базы цитирования Scopus и Web of Science.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

В целом представленная диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены научно обоснованные технические и технологические решения по управлению структурой и свойствами сварных соединений алюминиевого сплава 1565чМ путём

микролегирования присадочной проволоки скандием и применения экологически безопасных методов подготовки поверхности при автоматической плазменной сварке конструкций автоцистерн.

Диссертационная работа удовлетворяет критериям пп. 9-14 Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а её автор, Растопчин Руслан Николаевич, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – «Материаловедение (технические науки)».

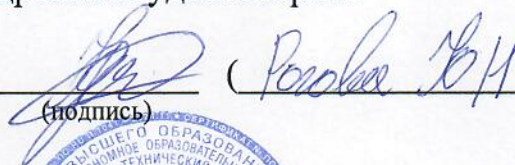
Официальный оппонент:  
Доцент кафедры «Лазерные технологии  
в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кандидат технических наук, доцент

  
(подпись)  
03.06.2026г.

Холопов Андрей Андреевич

Подпись Холопова Андрея Андреевича удостоверяю:

ВЕРНО  
(должность)  
СПЕЦИАЛИСТ ПО ПЕРСОНАЛУ  
КАДРОВОЕ АДМИНИСТРИРОВАНИЕ  
РОГОВА ЮЛИЯ НИКОЛАЕВНА

  
(подпись)



Адрес организации:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»,

105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

Электронный адрес: xol@bmstu.ru

Телефон: +7 (916) 522-23-13