

ОТЗЫВ

официального оппонента **Приймак Елены Юрьевны**, кандидата технических наук, доцента, заведующего лабораторией металловедения и термической обработки АО «Завод бурового оборудования» на диссертацию **Рзаева Радмира Адильбековича** на тему «Совершенствование технологии сварки трением с перемешиванием алюминия и меди с целью улучшения прочностных характеристик электромонтажных шин», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.8 Сварка, родственные процессы и технологии

1. АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Соединение разнородных материалов представляется актуальным для ряда конструкций, так как напрямую влияет на энергоэффективность их эксплуатации. Постоянный рост потребления электроэнергии требует создания более эффективных и экономичных систем распределения и передачи. Например, при производстве электромонтажных шин в шинопроводах трансформаторных подстанций необходимо соединение меди и алюминия, что обеспечивает эффективное использование свойств каждого. Соединение меди и алюминия представляет собой непростую задачу, успешность решения которой определяет работоспособность оборудования. Указанные обстоятельства определили актуальность диссертационной работы Рзаева Р.А., посвященной совершенствованию технологии сварки трением с перемешиванием алюминия и меди с целью повышения прочности соединений электромонтажных шин.

2. СТРУКТУРА, ОБЪЕМ И СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, состоящего из 188 наименований. Изложена на 167 страницах машинописного текста, а также содержит 118 рисунков, 9 таблиц и приложения.

Диссертация написана грамотным научным языком, иллюстрации хорошо дополняют текст. Существенных замечаний по оформлению диссертации и автореферата нет, оно качественное и выполнено в соответствии с нормативными требованиями.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи работы, научная новизна и практическая значимость, положения, выносимые на защиту, описан личный вклад соискателя,

степень достоверности и апробация полученных результатов, приведен библиографический список основных публикаций по теме диссертации.

В первой главе изложены характерные особенности технологии сварки трением с перемешиванием (СТП) разнородных материалов. Проведен анализ достоинств и недостатков данного метода. Осуществлен обзор научных публикаций, посвященных влиянию параметров СТП (таких как скорость вращения инструмента, скорость сварки и др.) на прочность сварных швов алюминия и меди. Отдельное внимание уделено проблеме формирования интерметаллидных фаз (ИМФ) при сварке алюминия и меди методом СТП, которые могут снижать качество шва. Установлено, что образование и рост ИМФ зависят от температуры и могут контролироваться путем регулирования подводимой энергии. Кроме того, рассмотрены методы компьютерного моделирования температурных полей и деформаций в зоне сварки при СТП. На основе анализа имеющихся научных данных определены способы оптимизации технологических параметров для получения качественных, бездефектных соединений разнородных материалов методом СТП.

Во второй главе представлены данные о теплофизических, механических свойствах и химическом составе материалов для сварки. Описаны методы и оборудование для анализа структуры и характеристик сварных соединений из разнородных материалов. Разработаны методики и аппаратные средства для изучения термических циклов и энергетических параметров процесса СТП. Представлена компьютерная модель, основанная на методе конечных элементов Эйлера-Лагранжа, для расчета распределения температуры и материала в сварном шве. Определена матрица параметров СТП для проведения экспериментальных исследований.

В третьей главе проанализировано влияние параметров СТП (частоты вращения инструмента, скорости сварки, величин смещения и заглубления инструмента, угла наклона) на образование дефектов, формирование микроструктуры и прочность сварных соединений. Выявлена взаимосвязь организации микроструктуры в ядре сварного шва на механические свойства разнородного соединения. Методом рентгеноструктурного анализа установлены основные фазы, образующиеся при сварке алюминия и меди, и их стехиометрический состав. Сделаны выводы о влиянии параметров сварки на значения пиковых температур и достижение сверхпластичного состояния меди, способного обеспечить образование бездефектного соединения. Разработана компьютерная модель, позволяющая прогнозировать температурные поля и формирование дефектов в сварном соединении.

В четвертой главе описывается разработка методики расчета режимов СТП для соединения алюминия и меди, включающая алгоритм подбора и расчета

параметров, способствующих получению бездефектного соединения. Автором проанализировано влияние формы подготовки кромок на прочность шва и предложены технологические подходы для улучшения механических характеристик соединений, защищенные патентом. Описываются результаты апробации разработанной технологии СТП разнородных соединений в условиях действующего производства электротехнических шин.

В заключении сделаны обоснованные выводы по результатам диссертационной работы.

В приложениях представлены акты промышленной апробации разработанной технологии СТП для производства электромонтажных шин

3. ОЦЕНКА СТЕПЕНИ НАУЧНОЙ НОВИЗНЫ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационная работа соответствует требованию научной новизны по заявленным автором положениям:

- установлено, что для достижения высокой прочности сварного соединения алюминия и меди необходимо создать шов, состоящий из тонких слоев алюминия, меди и интерметаллидных фаз (Al_2Cu и Al_4Cu_9), толщиной не более 3-5 микрон. Такая структура шва формируется при сварке с определенными параметрами: линейная скорость сварки должна составлять от 25 до 41 мм/мин, а частота вращения инструмента – от 800 до 1000 об/мин, которые обеспечивают достаточное время контакта металлов в центральной зоне шва и зоне термического воздействия и создающих условия для образования интерметаллидных фаз, но не их роста.

- установлено, что смещение оси вращения инструмента в сторону меди на 0,5-1,0 мм способствует увеличению скорости ее перехода в сверхпластичное состояние и позволяет увеличить линейную скорость сварки и тем самым уменьшить погонную энергию. В результате такого воздействия тепловложение в свариваемые кромки выравнивается, предотвращая локальный перегрев и рост размера зерен в зоне сварки, и создаются условия для достижения максимальных значений механических свойств в стыковом соединении меди и алюминия.

4. СТЕПЕНЬ ОБОСНОВАННОСТИ И ДОСТОВЕРНОСТИ НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ, РЕКОМЕНДАЦИЙ, ЗАКЛЮЧЕНИЙ И ВЫВОДОВ

Обоснованность и достоверность научных положений, рекомендаций, заключений и выводов, сформулированных в диссертационной работе,

подтверждаются корректной постановкой цели и задач исследований, использованием аттестованных методик проведения экспериментальных исследований на современном оборудовании и широким спектром взаимодополняющих методов исследования. Результаты экспериментов обладают удовлетворительной сходимостью с положениями теории и не противоречат результатам исследований других авторов.

Результаты диссертации и положения диссертационной работы прошли надежную апробацию на научно-технических семинарах, на международных научно-практических и научно-технических конференциях (г. Астрахань, г. Тольятти, г. Севастополь, г. Тамбов, г. Ростов-на-Дону, г. Москва), а также при рецензировании статей, опубликованных в журналах, рекомендованных ВАК. По теме диссертации опубликовано 62 печатные работы, в том числе 21 в журналах, рекомендованных ВАК, 24 в изданиях, входящих в международные базы цитирования Web of Science и Scopus.

Необходимо так же отметить, что все экспериментальные исследования, рассмотрение и трактовка полученных результатов, а также обработка и их анализ выполнены лично автором или при его участии.

5. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате выполнения диссертационной работы автором получен ряд результатов, обладающих практической значимостью, основные из которых заключаются в следующем:

- разработаны компьютерные программы для расчета температурной динамики процесса СТП алюминия и меди;
- разработана методика расчета параметров режима СТП алюминия и меди на основе тепловой модели, учитывающей физико-механические свойства материалов и позволяющая рассчитать режимы СТП, обеспечивающие получение бездефектных сварных швов с максимальной прочностью;
- предложена технология СТП алюминия и меди, обеспечивающая механические свойства сварного шва, близкие к механическим свойствам свариваемых металлов;
- результаты исследования, представленные в диссертации, используются в учебном процессе Астраханского госуниверситета им. В. Н. Татищева при подготовке студентов по направлению 15.03.01 Машиностроение (профиль «Оборудование и технология сварочного производства») и при выполнении выпускных квалификационных работ.

6. ЗАМЕЧАНИЯ И ВОПРОСЫ ПО РАБОТЕ

1. При моделировании процесса СТП использовались теплофизические и механические свойства материалов. Однако, не учитывалось их изменение с повышением температуры. Насколько это могло повлиять на результаты моделирования?

2. Не совсем понятен механизм непрерывной постдинамической рекристаллизации.

3. Из текста диссертации осталось неясным как влияет объемная доля образующихся в сварном шве интерметаллидных фаз на механические свойства соединения.

4. Представленные в диссертационной работе результаты определения механических свойств (рис. 3.23, рис. 3.46) не сопровождаются сведениями о статистической обработке, что затрудняет их оценку.

5. В диссертационной работе присутствует ряд опечаток или неточностей формулировок:

- стр. 7 «1. Определить оптимизированные режимы»;

- стр. 7 «в выявлении закономерностей формирования структуры зон сварного соединения алюминия с медью и влияния параметров режимов сварки трением с перемешиванием на их свойства»;

- стр. 28 «Но использование дополнительных приемов при СТП позволяет равномерно распределить дисперсные интерметаллиды, что делает ее равнопрочным по всей длине.» О чем идет речь?;

- стр. 43 «...способ сварки трением является относительно молодым ...»

Указанные замечания не снижают общей положительной характеристики работы, её научной и практической ценности.

7 ЗАКЛЮЧЕНИЕ О СООТВЕТСТВИИ ДИССЕРТАЦИИ КРИТЕРИЯМ, УСТАНОВЛЕННЫМ ПОЛОЖЕНИЕМ О ПРИСУЖДЕНИИ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ

Диссертация Рзаева Радмира Адильбековича «Совершенствование технологии сварки трением с перемешиванием алюминия и меди с целью улучшения прочностных характеристик электроmontажных шин» является завершённой научно-квалификационной работой, в которой изложены научно-обоснованные технические и технологические решения, которые имеют существенное значение для развития сварочного производства в металлургической промышленности.

Автореферат диссертации достаточно полно и логично отражает основные положения диссертации.

Публикации автора отражают его научные и практические достижения, а число публикаций и объем достаточно полно характеризуют защищаемую работу. Печатные труды автора, ссылки на которые имеются в диссертации и автореферате, опубликованы в научных изданиях, которые рекомендуются ВАК при Минобрнауки РФ, результаты работы апробированы на конференциях и семинарах в 2015-2025 годах.

В целом, диссертационная работа Рзаева Р.А. соответствует требованиям п.п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Рзаев Радмир Адильбекович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.8 Сварка, родственные процессы и технологии.

Официальный оппонент:

кандидат технических наук,
доцент, заведующая
лабораторией металловедения
и термической обработки
металлов АО «Завод бурового
оборудования»

« 06 » ЛИСТОВ	Вх. № 08.00-65-14 « 13 » 02 2026 г. ВолгГТУ
------------------	---

Приймак Елена Юрьевна

« 9 » февраля 2026 г.

Научная специальность: 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Контакты: 460026, Оренбургская область, г. Оренбург, проспект Победы, д. 118, Акционерное общество «Завод бурового оборудования».
Тел.: 8(905)897-24-44, e-mail: elena-pijmak@yandex.ru

Я, Приймак Елена Юрьевна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Приймак Елена Юрьевна
Подпись Приймак Елены Юрьевны заверяю.

Начальник отдела
по работе с персоналом

Дракишников Д.Н.



Сопров. специалист
Рзаев Р.А.
07.02.2026 г.