

**Отзыв  
официального оппонента**

на диссертационную работу Соловьевой Ирины Валерьевны  
«Влияние технологии охлаждения в процессе сварки трением с перемешиванием на структуру и свойства соединений из алюминиевых сплавов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение (технические науки)

**Актуальность**

Технология сварки трением с перемешиванием (или фрикционной перемешивающей сварки) в настоящее время претерпевает стремительное развитие как с фундаментальной, так и с прикладной точки зрения. С использованием сварки трением с перемешиванием возможно получение неразъемных соединений из различных алюминиевых сплавов, в том числе ограниченно свариваемых или не свариваемых методами сварки плавлением.

Кроме того, сварка трением с перемешиванием позволяет значительно повысить производительность процесса изготовления крупногабаритных листовых конструкций из алюминиевых сплавов по сравнению с аргонодуговой и плазменной сваркой.

Несмотря на явные преимущества по сравнению с традиционными технологиями фрикционная перемешивающая сварка имеет ряд недостаточно изученных аспектов. Одним из таких аспектов является разработка методов управления зеренной структурой зоны перемешивания и термическим циклом зоны термического влияния сварного соединения.

В связи с этим не вызывает сомнений актуальность диссертационной работы Соловьевой И.В., направленной на исследование влияния технологии охлаждения в процессе сварки трением на структуру и свойства соединений алюминиевых сплавов систем легирования Al–Cu–Mg и Al–Mg–Mn.

**Научная новизна**

Соловьевой И.В. на основе детального анализа полученных в процессе работы над диссертацией экспериментальных данных установлено, что при рациональном выборе основных параметров режима сварки трением с пере-

мешиванием исследуемых алюминиевых сплавов в зоне перемешивания формируется полностью рекристаллизованная структура со средним размером зерна в интервале 4–7 мкм. Доля большеугловых границ в рекристаллизованной структуре составила около 72% от общего числа межзеренных границ.

Детально исследовано и показано, что в структуре ядра шва алюминиевых сплавов систем легирования Al–Cu–Mg и Al–Mg–Mn при сварке трением с перемешиванием наблюдается образование высокодисперсной структуры, которое является результатом процесса динамической рекристаллизации.

Показано, что временное сопротивление сварных соединений сплава системы легирования Al–Cu–Mg, выполненных аргонодуговой сваркой составила 0,67–0,74 от прочности сплава в термоупрочненном состоянии, в то время как для СТП этот показатель выше – 0,78–0,80. При этом временное сопротивление металла шва для сварки трением с перемешиванием превосходит временное сопротивление сварного соединения в целом для обоих изученных в работе алюминиевых сплавов.

Установлено, что дополнительное охлаждение соединений сплавов систем легирования Al–Cu–Mg и Al–Mg–Mn струей воды в процессе сварки трением с перемешиванием сопровождается снижением среднего размера зерна зоны перемешивания с 7–10 мкм до 2–4 мкм. При этом наблюдается повышение значения временного сопротивления сварного соединения, особенно для сплава системы легирования Al–Cu–Mg.

На основе выполненных экспериментальных исследований установлена высокая термическая стабильность структуры сварных соединений листов сплава системы легирования Al–Cu–Mg при нагреве до 200 °С с выдержкой до 8 часов. При этом в соединениях указанного сплава при нагреве не отмечается существенного роста зерна.

Выявлено, что дополнительное охлаждение водно-воздушной струей при сварке трением сплавов систем легирования Al–Cu–Mg и Al–Mg–Mn приводит к существенному (1,4–2 раза) снижению склонности различных

зон соединения к межкристаллитной коррозии и является весьма эффективным методом повышения коррозионной стойкости.

Также Соловьевой И.В. показано, что эффективность охлаждения соединений алюминиевых сплавов в процессе сварки трением с перемешиванием выше при использовании водно-воздушной струи по сравнению с полным погружением соединяемых заготовок и рабочего инструмента в ванну с проточной водой.

### **Практическая значимость**

Практическое значение диссертации заключается в разработке процесса выполнения соединений сплавов систем легирования Al–Cu–Mg и Al–Mg–Mn сваркой трением с перемешиванием с дополнительным охлаждением металла зоны перемешивания струей воды. Предложено оборудование для реализации разработанной технологии в условиях производства.

На основе результатов проведенных исследований разработаны рекомендации по применению разработанного процесса для изготовления сварных конструкций ответственного назначения.

### **Достоверность результатов**

Достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждена результатами большого объема выполненных исследований и экспериментов, проведенных с использованием современных статистических методов и аттестованного оборудования. Интерпретация полученных экспериментальных зависимостей и трактовка предложенных теоретических положений не противоречат классическим научным представлениям, принятым в материаловедении и технологии конструкционных материалов.

### **Замечания**

1. Работа выполнена на толщине металла 5,0 мм, однако не указано это минимальная, средняя или максимально возможная свариваемая толщина.

2. Сварное соединение при сварке трением с перемешиванием состоит из четырех структурных зон: зоны перемешивания, зоны термомеханического воздействия, зоны термического влияния и основного металла. В работе подробно рассмотрено влияние технологии охлаждения сварного соединения в процессе сварки на структуру зоны перемешивания и зоны термического влияния. При этом практически не проанализировано влияние дополнительного охлаждения на структуру зоны термомеханического воздействия.

3. Непонятно зачем проводились исследования с подогревом в процессе сварки с перемешиванием в то время как рассматривается наоборот охлаждение.

4. При анализе влияния подварок на свойства сварных соединений (глава 5, раздел 5.4) не указано какого типа дефекты устраняются повторным проходом СТП и возможно ли устранение такого дефекта как "линия стыка".

Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки диссертации.

## **6. Заключение**

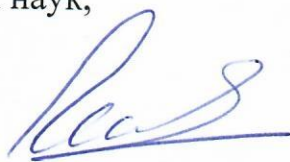
В целом представленная диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены научно-обоснованные технические и технологические решения по управлению структурой зоны перемешивания алюминиевых сплавов в процессе сварки трением с перемешиванием.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли достаточную апробацию на научно-технических конференциях, опубликованы в 8 печатных работах, в том числе в 7 статьях в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК. Результаты диссертационной работы могут быть использованы в авиационной, судостроительной, автомобильной и других отраслях промышленности.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

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 Соловьева Ирина Валерьевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение (технические науки).

Официальный оппонент  
доктор технических наук,  
профессор

1.12.2022 

Шиганов Игорь Николаевич

Адрес организации: 105005, г. Москва, улица 2-я Бауманская, д. 5, к. 1  
Наименование организации: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»  
Электронный адрес: inshig@bmstu.ru  
Телефон: 8 (910) 413-30-46

Подпись Шиганова Игоря Николаевича удостоверяю.

