

**Отзыв  
официального оппонента**

на диссертационную работу Губина Антона Михайловича  
«Влияние параметров сварки трением с перемешиванием на структуру и  
свойства соединений композиционных материалов на основе алюминия»,  
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 технологии получения неразъемного соединения в твердой фазе из дисперсно-упрочненных алюмоматричных композиционных материалов.

В связи с этим не вызывает сомнений актуальность диссертационной работы Губина А.М., направленной на исследование влияния параметров режима сварки трением с перемешиванием на структуру и свойства соединений дисперсно-упрочненных алюмоматричных композиционных материалов

**Научная новизна**

Губиным А.М. основе детального анализа полученных в процессе работы над диссертацией экспериментальных данных установлено, что при

рациональном выборе основных параметров режима сварки трением с перемешиванием возможно получение качественных бездефектных соединений дисперсно-упрочненных алюмоматричных композиционных материалов в условиях сварки трением с перемешиванием при объемной доле упрочняющих частиц  $Al_2O_3$ , SiC и  $B_4C$  10–30 об. %.

Разработаны расчетные модели зависимостей прочности и шероховатости поверхности сварных соединений дисперсно-упрочненных алюмоматричных композиционных материалов от параметров режима сварки (обобщенный показатель подача инструмента на один его оборот) и объемной доли упрочняющих частиц. Определено критическое значение шероховатости поверхности шва, при котором обеспечиваются высокие значения малоциклового усталости.

Детально исследовано и показано, что очагами разрушения являются поверхностные несовершенства сварного шва. Установлено, что при шероховатости поверхности  $Rz \geq 60$  мкм разрушение является многоочаговым и развивается от неровностей сварного шва на все сечение образца, а при  $Rz \leq 50$  мкм – одноочаговым с присутствием вязкой составляющей.

Показано, что коэффициент прочности сварного соединения дисперсно-упрочненных алюмоматричных композиционных материалов составляет 0,81–0,88 и снижается с увеличением объемной доли упрочняющих частиц. При этом временное сопротивление зоны перемешивания превышает значения временного сопротивления сварного соединения.

На основе выполненных экспериментальных исследований установлено, что при сварке трением с перемешиванием в сварных соединениях сохраняется равномерное распределение упрочняющих частиц и отсутствует химическое взаимодействие между матричным сплавом и упрочняющими частицами с образованием нежелательных фаз типа  $Al_4C_3$ .



### **Практическая значимость**

Практическое значение диссертации заключается в разработке производственной инструкции, комплект технологической оснастки и рабочего инструмента для сварки трением с перемешиванием дисперсно-упрочненных алюмоматричных композиционных материалов.

Определены диапазоны изменения основных технологических параметров процесса сварки трением с перемешиванием, которые рекомендуются для получения сварных соединений ДУКМ на алюминиевой основе с учетом их влияния на свойства композиционных материалов при повышенных температурах.

Выполнена оценка уровня свойств и работоспособности соединений дисперсно-упрочненных алюмоматричных композиционных материалов в сочетании с деформируемыми теплостойкими алюминиевыми сплавами.

### **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. Полученные в работе результаты относятся к сварке трением с перемешиванием пластин ДУАКМ толщиной 5 мм. Поэтому возникает вопрос о возможности распространения полученных и рекомендаций на сварку ДУАКМ других толщин.

2. В третьей главе диссертации отмечено, что средний размер зерен в зоне перемешивания при СТП ДУАКМ существенно меньше, чем при сварке

алюминиевого сплава, служащего матрицей ДУАКМ. Однако, такая весьма важная закономерность по получила своего толкования в работе.

3. В диссертации показано, что очагами разрушения являются поверхностные несовершенства сварного шва. В то же время не предложены технологические меры по снижению шероховатости поверхности швов, полученных сваркой трением с перемешиванием на ДУАКМ.

4. В пятой главе диссертации приведены результаты исследований структуры и свойств соединений ДУАКМ с деформируемыми алюминиевыми сплавами, показано дискретное изменение химического состава шва вдоль направления сварки. В тоже время эти вопросы весьма скромно освещены в автореферате.

5. В материале диссертации весьма детально исследован механизм разрушения рабочего инструмента при сварке ДУАКМ. Отмечается, что одним из путей снижения износа рабочего инструмента является сопутствующий подогрев свариваемых заготовок из ДУАКМ. В тоже время не рассмотрены такие возможные пути повышения стойкости рабочего инструмента как рациональный выбор материала для его изготовления и нанесение защитных покрытий на его поверхность.

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 15 печатных работах, в том числе в 12 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 Губин Антон Михайлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение (технические науки).

Официальный оппонент  
доктор технических наук,  
профессор



19.06.2023

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.

