

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»
(РГАТУ 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

07.06.2023 № 0802/1894

УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке и
цифровой трансформации

Сутягин А.Н.

« 7 »

2023 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева» на диссертационную Губина Антона Михайловича на тему 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 темы диссертации. В последнее годы сварочные технологии получают все большее распространение при изготовлении сложных монолитных конструкций из цветных сплавов для нужд самолетостроения, в частности, одним из таких перспективных способов является сварка трением с перемешиванием. Применение указанного способа сварки позволяет осуществлять формирование соединения в твердой фазе, при этом прочностные характеристики сварных соединений приближаются к характеристикам основного металла. Однако, несмотря на имеющиеся

достоинства сварки трением с перемешиванием, есть ряд факторов, ограничивающих ее применение для изготовления конструкций из дисперсно-упрочненных алюмоматричных композиционных материалов. В первую очередь, это сложность подбора технологического режима, и как следствие, формирование не оптимальной структуры, высокая вероятность возникновения дефектов, а как следствие, снижение механических свойств. Поэтому определение зависимостей свойств сварных соединений от структурно-фазового состояния и параметров режима сварки трением с перемешиванием дисперсно-упрочненных алюмоматричных композиционных материалов при создании сварных монолитных конструкций, несомненно, актуально.

Общая характеристика работы. На основании анализа зарубежных и российских литературных данных, а также обобщения производственного опыта промышленных предприятий и экспериментальных результатов собственных исследований автором в своей работе была определена область диапазонов значений параметра подачи при сварке трением с перемешиванием дисперсно-упрочненных алюмоматричных композиционных материалов на один оборот рабочего инструмента в зависимости от объемной доли упрочняющих частиц Al_2O_3 и SiC в материале. Показано, что с увеличением объемной доли упрочняющих частиц в дисперсно-упрочненном материале диапазон изменения значений подачи на один оборот инструмента, при котором формируется соединение без дефектов существенно сужается. Это позволило разработать математические модели зависимостей временного сопротивления и шероховатости соединений дисперсно-упрочненных алюмоматричных композиционных материалов, которые позволили определить области режимов сварки трением с перемешиванием (в координатах частота вращения инструмента ω , скорость сварки v), обеспечивающие высокие прочностные и ресурсные характеристики сварных соединений.

Установлено, что сварные соединения ДУАКМ, упрочненные частицами SiC , обладают более высокими значениями прочности (примерно на 6–8%) по сравнению с соединениями материала, упрочненного частицами Al_2O_3 , при одинаковой объемной доле упрочняющих частиц. При этом временное сопротивление металла шва превосходит по своим значениям временное сопротивление соединения в целом, при этом разрушение сварных соединений, выполненных сваркой трением с перемешиванием, как

алюминиевых сплавов 1565чМ и Д16АТ, так и дисперсно-упрочненных композиционных матери-алов на их основе, происходит по зоне термомеханического воздействия соединения со стороны отхода рабочего инструмента.

Автором было доказано, что разрушение сварных соединений при воздействии циклических нагрузок ДУАКМ инициируется с лицевой поверхности шва, поэтому ее шероховатость значительно влияет на уровень характеристик усталости. Фрактографический анализ образцов после испытаний показал, что наблюдается переход от многоочагового ха-рактера разрушения к одноочаговому при $Rz \leq 70$ мкм.

В результате обработки экспериментальных данных автором было установлено, что благодаря формированию швов в твердой фазе процесс СТП позволяет получать качественные неразъемные соединения упрочненных оксидными частицами алюмоматричных композиционных материалов, без изменения их фазово-структурного состояния. При СТП ДУАКМ диссоциации армирующих частиц не происходит, а их дисперсность и равномерность распределения в металле шва сохраняются на уровне основного материала. Испытания на растяжение при повышенных температурах показали, что ДУАКМ и его соеди-нения, полученные сваркой трением с перемешиванием, не проявляют склонность к сверхпластичности при повышенных температурах в отличие от матричного сплава Д16Т и его соединений.

Показано, что износ рабочего инструмента при сварке трением ДУАКМ усиливается с увеличением временного сопротивления свариваемого материала и ростом объемной доли упрочняющих керамических частиц в нем. Адгезионное взаимодействие между свариваемым металлом и инструментом может привести к диффузии и образованию хрупкого интерметаллидного слоя в стальном инструменте. Немаловажным фактором является то, что диффузия элементов в налипшем слое может усиливаться за счет механических напряжений, развиваемых в зоне перемешивания за счет сопротивления металла усилию продвижения инструмента, при этом эффективной мерой повышения скорости сварки ДУАКМ при сохранении высокого уровня механических свойств и снижением интенсивности износа рабочего инструмента является применение сопутствующего подогрева до 100–125 °С соединяемых заготовок в процессе сварки.

Проведенные исследования позволили разработать технологию сварки трением с перемешиванием соединений из дисперсионно армированных керамическими частицами материалов и деформируемых алюминиевых сплавов, которая прошла производственное опробование и рекомендована к внедрению на промышленных предприятиях отрасли

Научная новизна работы заключается: в разработке расчетных моде-лей 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, в определении критических значений шероховатости поверхности шва, при котором обеспечиваются высокие значения малоциклового усталости, в доказательстве, факта что очагами разрушения являются поверхностные несовершенства сварного шва, в установлении, 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, а коэффициент прочности 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.

Практическая значимость диссертационной работы не вызывает сомнения и заключается в установлении причины повышенного износа рабочего инструмента при сварке трением с перемешиванием дисперсно-упрочненных алюмоматричных композиционных материалов по сравнению со сваркой матричного сплава. Снижение износа инструмента может быть обеспечено за счет уменьшения частоты вращения инструмента при сопутствующем подогреве свариваемого материала до 150–180 °С, а также при нанесении на инструмент вакуумных ионно-плазменных покрытий, в разработке технологических рекомендации по изготовлению сварных узлов и сборок из ДУАКМ с применением сварки трением с перемешиванием.

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, 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 и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

По диссертационной работе можно сделать следующие замечания:

- весьма полезным было бы проведение экспериментальных исследований на большем количестве сплавов и заготовках с большим диапазоном толщин;

- целесообразно было бы провести дополнительные исследования по установлению причин снижения механических свойств сварных швов при термическом раскрое материала, так как подобные подготовительные операции весьма распространены в производственных условиях.

- так как автором было проведено огромное количество экспериментов, то весьма полезным была разработка регрессионных моделей, связывающих основные режимы сварки со свойствами зоны сварного шва. Их наличие позволило бы значительно сократить время технологической подготовки производства за счет уменьшения времени экспериментальной доводки процесса при назначении параметров сварки новых изделий.

Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки диссертации и носят в большей степени рекомендательный характер.

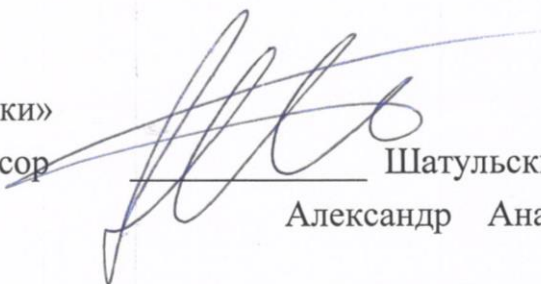
Таким образом, диссертационная работа Губина Антона Михайловича выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой самостоятельную законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены научно-обоснованные технические и технологические решения по изготовлению сварных соединений изделий из композиционных материалов

на основе алюминия сваркой трением с перемешиванием, обеспечивающие получение требуемого уровня механических и эксплуатационных свойств.

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).

Отзыв рассмотрен на заседании кафедры «Материаловедения, литья и сварки», протокол № 9/23 от 06.06. 2023 года. На заседании кафедры присутствовало 12 членов кафедры из 12. Результаты голосования: «за» – 12, 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