

Ученому секретарю диссертационного совета Д 212.125.10 на базе Московского авиационного института (национального исследовательского университета) к.т.н., доценту Денискиной А.Р.

ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата технических наук Кочергина Сергея Александровича на диссертационную работу Курицына Дениса Николаевича на тему «Разработка технологического обеспечения сварки трением с перемешиванием в производстве аэрокосмических конструкций», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 – «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов»

Актуальность темы диссертации. В диссертационной работе Д.Н. Курицына рассматриваются проблемы технологического обеспечения сварки трением с перемешиванием – нового метода получения неразъемных соединений конструкций авиационной и ракетно-космической техники. Вопросы свариваемости различных групп материалов, особенности получения различных типов швов, создание инструмента повышенной стойкости на сегодняшний момент недостаточно изучены и ограниченно реализованы в отечественном высокотехнологичном машиностроении. Наблюдается сильная зависимость от дорогостоящего импортного оборудования. Поиск новых научных, конструкторских и технологических решений на основе процессов сварки трением весьма актуален в области авиа- и ракетостроения, где новые разработки позволяют повысить массогабаритное, прочностное совершенство авиакосмической техники, надежность и эффективность производственных технологий.

Автором также предложены технологические рекомендации по соединению сваркой трением высокопрочных авиационных материалов, ограниченно или с высокими энергозатратами поддающихся сварке традиционными методами, что весьма актуально для расширения области применения метода для теплонапряженных конструкций двигателей летательных аппаратов, теплообменных агрегатов и специальных устройств.

Цель исследований и решаемые задачи. Анализ современных проблем в выбранной актуальной области позволил автору поставить серьезную цель исследований – разработку научно-методического обеспечения повышения эффективности и надежности технологического процесса сварки трением с перемешиванием при производстве аэрокосмических конструкций для улучшения их эксплуатационных характеристик при сокращении затрат и производственного цикла.



Согласно целям в работе решались задачи:

- анализа технологических возможностей и ограничений в области технологии формирования неразъемных соединений авиационных и ракетно-космических конструкций методом сварки трением с перемешиванием;
- исследования возможности высокоскоростных режимов сварки трением с перемешиванием с учетом особенностей формирования неразъемных соединений;
- разработки методики технологии сварки трением с перемешиванием с использованием инструмента с новой геометрией для получения неразъемных соединений конструкций из алюминиевых и титановых сплавов, жаропрочных сталей. Выполнить экспериментальную отработку методики;
- разработки конструкции и технологических схем изготовления сварочного инструмента с выбором его геометрии по результатам моделирования вязкого течения материала в зоне обработки;
- апробации разработанных методик и моделей высокоскоростной сварки трением с перемешиванием в процессе изготовления опытных образцов конструкций.

Цели и задачи реализованы автором в отношении таких **объектов исследования**, как конструкции элементов авиационных и космических летательных аппаратов, выполняемые в виде неразъемных соединений различной геометрии, включая листовые материалы, пространственные профильные конструкции, трубы, обечайки, коробчатые конструкции: отсеки для спутников, внешних резервуаров топливных баков ракетносителей, космических аппаратов, стендовых образцов, конструкции фюзеляжа, баков, панелей различного назначения, теплообменные агрегаты, корпуса приборов, резервуары. Исследованию подвергались такие конструкционные материалы, как высокопрочные алюминиевые сплавы, титановые сплавы, жаропрочные стали.

Общая характеристика содержания работы.

Содержание диссертационной работы изложено на 177 страницах и включает введение, четыре главы, заключение, список литературы из 131 наименования.

Введение диссертации дает представление о целях и задачах диссертационной работы; обозначен объект и предмет исследований, основные результаты и положения, выносимые на защиту; обоснованы методики, подтверждающие достоверность выводов; приведены сведения о личном вкладе соискателя, апробации и внедрении результатов исследований.

Первая глава посвящена анализу отечественных и зарубежных исследований в области «холодной» сварки авиационных материалов. Выявлены имеющиеся технологические ограничения и обозначена область актуальных нерешенных конструкторских, технологических, производственных проблем.

Во второй главе представлены результаты теоретического и экспериментального исследования особенностей протекания процесса сварки трением с перемешиванием, его моделирования, разработки методики назначения технологических режимов и условий протекания процесса. Обоснованы условия высокоскоростной обработки,

позволяющей значительно снизить механические нагрузки на технологическую систему. Приведены результаты испытаний сварного шва по параметрам прочности, микротвердости, распределения остаточных напряжений.

Третья глава посвящена вопросам конструирования и технологии изготовления высокотвердого инструмента для сварки трением с перемешиванием на основе численного моделирования вязкого течения материала в зоне обработки; предложены новые концепции формы инструмента; по результатам ресурсных испытаний определены формы и материалы инструментов, обладающих достаточной степенью стойкости при соединении жаропрочных материалов – титановых сплавов, сталей.

Четвертая глава содержит технологические схемы и проекты специального технологического оборудования и оснащения для сварки трением с перемешиванием различных пространственных конструкций, в том числе представляемых на выставках и внедренных в производственные процессы.

В заключении диссертации приводятся основные результаты выполненного исследования.

Диссертационная работа написана грамотным научным языком, оформлена в соответствии с действующими стандартами оформления научных работ. Материал диссертации дает необходимую информацию для эффективного использования результатов в машиностроении.

Автореферат диссертации Курицына Д.Н. отражает содержание диссертации и удовлетворяет требованиям по оформлению.

Основные научные результаты, полученные автором в работе:

1. Методика создания параметрических моделей сварочного инструмента при различных конструкторско-технологических ограничениях и требованиях, учитывающая результаты моделирования вязкого течения материала в зоне сварки и обеспечивающая высокое качество сварного шва.

2. Методика выбора технологических режимов и условий сварки трением с перемешиванием авиационных конструкций из алюминиевых и титановых сплавов, жаропрочных сталей инструментом с разработанной геометрией.

3. Результаты исследования возможности высокоскоростных режимов сварки трением с перемешиванием с учетом особенностей формирования неразъемных соединений.

4. Технология изготовления сварочного инструмента, профиль которого образован сочетанием винтовых канавок различного шага, глубины и диаметра.

5. Технологические схемы и проекты специального оборудования и средств технологического оснащения для СТП.

6. Методическая и программная реализация технологической экспертизы производственной целесообразности применения сварки трением с перемешиванием в специальных задачах аэрокосмического производства.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, их новизна.

Научная новизна исследования состоит в разработке комплексного научно-методического обеспечения повышения эффективности и надежности технологического процесса сварки трением с перемешиванием при производстве аэрокосмических конструкций, включающая модели, методики, технологические рекомендации, конструкции инструмента и оборудования.

Аналитические зависимости локального тепловыделения в зоне сварки трением от скорости поступательного и вращательного движений инструмента, величины нормальной силы прижатия инструмента к свариваемым листам, геометрии рабочей части инструмента позволили автору на основе тепломеханического баланса установить режимы высокоскоростной обработки, в том числе сварки материалов высокой прочности (титановых сплавов, жаропрочных сталей), спроектировать установки для высокоскоростной сварки трением с перемешиванием.

Моделирование процессов вязкотекучести и неразрывности позволило автору найти новые решения в области геометрии сложнопрофильного инструмента. Полученные новые конструкции инструмента для сварки трением с перемешиванием запатентованы, прошли ресурсные испытания и производственную апробацию. Отработана технология его изготовления методом электроэрозионного фрезерования.

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что они обладают научной новизной и имеют практическую ценность. Автором решен ряд важных технологических и конструкторских проблем, касающихся создания специального инструмента из твердых и теплостойких материалов для перемешивающей и точечной сварки трением металлов и сплавов с высокой температурой плавления, эффективных конструкций оборудования и оснастки, обеспечивающих гибкость процесса сварки.

Оценка достоверности полученных результатов.

Исследования выполнены с помощью эмпирического, экспериментального метода, включающего анализ качества сварных соединений, состояния инструмента, статистическую обработку данных. Конструкторско-технологические решения отработаны модельно и экспериментально до стадии производственного применения на предприятиях отрасли. Для оценки свариваемости выполнены металлографические исследования, измерение микротвердости, уровня остаточных напряжений и прочностные испытания. Полученные результаты моделирования верифицированы при экспериментах, которые проводились по стандартизированным методикам с помощью аттестованной аппаратуры. Достоверность полученных результатов подтверждается результатами испытаний эксплуатационных характеристик образцов сварного шва.

Полученные неразъемные соединения приняты в эксплуатацию. Технологические рекомендации внедрены в производственный процесс. Технологическое оборудование, оснащение и инструмент используются в производственном процессе нескольких

предприятий. Научные результаты не противоречат опубликованным работам других авторов.

Апробация работы.

Результаты диссертации, ее основные положения и выводы в полном объеме отражены в 37 печатных работах, в том числе 6-ти статьях в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК РФ, 1-й монографии, 1-м учебном пособии; в 2-х аннотированных указателях Международных выставок. Научные результаты защищены 1-м патентом.

Материалы исследований были доложены и обсуждены на профильных научных конференциях «Гагаринские чтения» (2008, 2009, 2011, 2012, 2013, 2014 гг. МАТИ, г. Москва, 2016, 2017 гг. МАИ, г. Москва), «Новые материалы и технологии» (2012 г., МАТИ, г. Москва), «ИНЖИНИРИНГ ТЕХНО-2014» (СГТУ имени Ю.А. Гагарина, г. Саратов), «Проблемы и перспективы развития авиации и авиастроения России» (2013 г., УГАТУ, г. Уфа), «Технологии сварки плавлением новых конструкционных материалов» (2014 г., ВИАМ, г. Москва), «Космодром «Восточный» и перспективы развития российской космонавтики» (2015 г., АмГУ, Амурская область, г. Благовещенск / ЗАТО Углегорск); XXI Научно-технической конференции молодых ученых и специалистов (2017 г., РКК «Энергия» имени С.П. Королёва, г. Королёв) и др. Экспонаты нового инструмента и установок представлялись на Международных выставках «МЕТАЛЛООБРАБОТКА» (2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 гг., ЭКСПОЦЕНТР, г. Москва), «ТЕХНОФОРУМ» (2014, 2016, 2017 гг., ЭКСПО-ЦЕНТР, г. Москва).

Личный вклад автора диссертации Курицына Д.Н. отмечен корпоративными наградами Федерации Космонавтики России, Госкорпорации «РОСТЕХ», РКК «ЭНЕРГИЯ» имени С.П. Королёва.

К недостаткам диссертационной работы следует отнести:

1. При слишком большом объеме первой главы автором не указаны причины, объясняющие невозможность или проблемы оснащения отечественного производства зарубежным оборудованием фирм производителей роботизированной техники ESAB (Швеция), TWI (Англия) и других.

2. Не приведены сведения по технологии специальной подготовки поверхностей стыка свариваемых материалов к процессу сварки. Не акцентировано влияние наличия оксидной пленки на поверхности алюминия на качество сварного шва при сварке трением с перемешиванием.

3. При многочисленных экспериментах по сварке материалов, склонных к возгоранию в процессе высокоскоростной механической обработки на воздухе (титановые, магниевые сплавы) автор не поясняет, какие применялись конструктивно-технологические методы защиты.

4. Анализ рациональности применения различных методов сварки в создании неразъемных соединений реальных конструкции выполнен методом экспертных оце-

нок, причем оценка безотносительна к определенному свариваемому материалу, в то время как интересны были бы реальные числовые значения физических величин оценок технических, технологических, эксплуатационных, экономических показателей.

5. Диссертационная работа хорошо оформлена, однако, в тексте встречаются опечатки, на которые автору указано.

Отмеченные выше недостатки не затрагивают научной ценности и практической значимости полученных результатов и не влияют на положительную оценку диссертационной работы Курицына Д.Н. в целом.

Заключение

В диссертационной работе Курицына Д.Н. на тему «Разработка технологического обеспечения сварки трением с перемешиванием в производстве аэрокосмических конструкций» разработаны и изложены новые научно обоснованные конструкторские и технологические решения и разработки, связанные с перспективным направлением изготовления элементов авиационной и ракетно-космической техники с применением сварки трением.

Диссертационная работа обладает логическим единством, содержит новые научные результаты и положения, выносимые на защиту. Автореферат в достаточной степени отражает существенные положения диссертационной работы и оформлен в соответствии с действующими нормами и правилами.

Работа имеет прикладной характер и содержит сведения о разработанных технологических процессах, режимах, образцах оборудования и изготовленного инструмента. Технологическое обеспечение позволило выполнить конкретные образцы элементов длинномерных конструкций корпуса самолета, корпусов приборных отсеков, элементов вертолетной техники, сварку образцов из жаропрочных материалов, используемых в теплонапряженных конструкциях двигательных установок. Изготовление конструкций по новой технологии позволяет сократить производственные издержки, снизить вес при сохранении эксплуатационных характеристик. Некоторые материалы и сочетания материалов могут быть сварены без потери эксплуатационных свойств исключительно при помощи сварки трением.

Подтвержденное актами внедрения использование полученных в диссертационной работе результатов в производстве и в высшем образовании имеет существенное значение для развития как непосредственно производства летательных аппаратов, так и подготовки кадров в данном новом направлении комплексной технологии сварки трением в авиа- и ракетостроении.

Основные научные результаты диссертации представлены в шести публикациях в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ, что является достаточным для их апробации в научных и производственных кругах. Научные результаты защищены патентом РФ на изобретение.

