

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Григорьева Владимира Владимировича “Разработка и исследование технологических процессов изготовления элементов силовых титановых конструкций летательных аппаратов электронно-лучевой сваркой”, представленную на соискание ученой степени кандидата наук по специальности 2.5.13 – Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов.

Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Григорьева Владимира Владимировича направлена на повышение качества элементов силовых титановых конструкций летательных аппаратов, выполняемых электронно-лучевой сваркой, за счет исключения факторов, вызывающих порообразование в сварных соединениях, путем совершенствования операций подготовки поверхности стыкуемых кромок.

Актуальность проводимых исследований определяется тем, что титановые сплавы ВТ20, ВТ23 активно используются при изготовлении силовых конструкции летательных аппаратов с использованием электронно-лучевой сварки, которая позволяет соединять изделия толщиной до 400 мм за один проход. При многих преимуществах данного способа сварки остается нерешенным вопрос с наличием дефектов в узлах соединения силовых конструкций возникающих в процессе формирования сварного шва. Дефекты регистрируются в виде цепочек пор, подрезов, непроваров, несплавлений, также при рентгенографическом контроле вдоль линий сплавления фиксируется явление - «темные полосы». Исследования отражающие проблематику данного явления и его влияние на свойства сварного соединения практически отсутствуют, что несомненно требует изучения этой темы. Операции устранения дефектов увеличивают трудоемкость, ухудшают прочностные свойства сварного соединения из-за образования внутренних напряжений, вызывающих риск разрушения силовых элементов в процессе эксплуатации.

Таким образом, для решения существующей проблемы необходимо разработать технологические рекомендации по предотвращению образования дефектов при электронно-лучевой сварке для повышения эксплуатационных свойств и снижения трудоемкости изготовления элементов силовых титановых конструкций летательных аппаратов.

Общая характеристика работы

Представленная диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы и 6 приложений. Работа изложена на 138 страницах машинописного текста (включая приложения), содержит 26 таблиц, 57 рисунков, список литературы из 87 наименований.

Во введении на основе проведенного литературного обзора, указываются цели и задачи исследования, формулируется научная новизна, практическая значимость и достоверность полученных результатов.

В первой главе проведен анализ зарубежных и отечественных литературных источников, в которых поднимаются проблемы возникающие в процессе формирования сварного соединения титановых сплавов, также приведены основные существующие подходы по улучшению качества сварных соединений, выполняемых электронно-лучевой сваркой. Представлены результаты анализа конструкторско-технологического обеспечения производства элементов силовых титановых конструкций, с применением электронно-лучевой сварки. Проанализированы основные проблемы технологического процесса изготовления силовых титановых конструкций, а также проведена статистическая оценка образования дефектов. Выдвинуты предположения, что основным источником образования «темных полос» и порообразования является абсорбция капиллярно-конденсированной влаги в поверхность стыкуемых кромок.

Вторая глава посвящена описанию основных методик исследований, определяемых поставленными задачами и применяемыми материалами, а также оборудованием. Рассмотрена последовательность экспериментов и объекты исследований, определяющие выбор методик. Приведены методики оценки насыщенности капиллярно-конденсированных загрязнений, заключающиеся в оценке отношения поверхностного содержания водорода к содержанию его в основном металле. Представлены способы подготовки образцов под электронно-лучевую сварку и методы определения механических свойств, химического состава и структуры сварного соединения.

В третьей главе приведены результаты анализа распределения водорода, легирующих и других химических элементов, представленных в различных зонах сварных соединений, полученных электронно-лучевой сваркой. Выявлено, что основные места концентрации высоких значений водорода представлены в зонах сплавления и усиления сварного шва. Определены основные положения, подтверждающие гипотезу порообразования при сварке плавлением титановых сплавов.

В четвертой главе определено влияние различных методов подготовки кромок на образование дефектов при определенных режимах электронно-лучевой сварки. Установлена зависимость механических свойств и структур сварных соединений от различных дефектов, сформированных в металле сварного шва и зоны сплавления. Показано, что дефекты, представляющие собой цепочки субмикро- и микропор регистрируемые на рентгенографическом контроле в виде «темных полос», приводят к снижению пластических свойств сварных соединений, но при этом прочностные свойства не уступают бездефектным сварным соединениям.

В пятой главе определена зависимость параметров режима резания при фрезеровании и вида механической обработки на процентное содержание водорода и качество поверхности стыкуемых кромок под электронно-лучевую сварку. Установлено, что предлагаемые автором режимы резания способствуют устранению капиллярно-конденсированных загрязнений в приповерхностном и поверхностном

слоях стыкуемых кромок, за счет термомеханического воздействия режущего инструмента на обрабатываемую поверхность, о чем свидетельствует упрочнение поверхностного слоя и его структурные изменения. Это позволяет минимизировать порообразование в сварном соединении, при электро-лучевой сварке. Автор произвел апробацию исследованных режимов резания стыкуемых кромок при изготовлении детали узел навески лонжерона и внедрил предлагаемую технологию подготовки кромок в производство на ПАО "ОАК" - "КнААЗ им. Ю.А.Гагарина".

Одним из важных достижений этой работы является применение полученных научно-исследовательских результатов в производственном процессе предприятия. Сформулированные выводы и полученные результаты представляются обоснованными и достоверными.

Научная новизна

Автор установил характер и выявил механизм образования «темных полос», представляющих собой цепочки субмикро- и микропор, достигающих в диаметре от 5 нм до 50 мкм, расположенных в плоскости линий сплавления шва, преимущественно в верхней части. Данная взаимосвязь выявлена на основе экспериментальных исследований порообразования в сварных соединениях силовых титановых конструкций летательных аппаратов и качества подготовки поверхности стыкуемых кромок под электронно-лучевую сварку.

Экспериментально установлено, что наличие «темных полос» на рентгенограммах сварных соединений силовых элементов титановых конструкций летательных аппаратов приводит к снижению пластических свойств.

Выявлено, что снижение уровня содержания капиллярно-конденсированной влаги в поверхности стыкуемых кромок сплава ВТ20 и дефектности сварных соединений, выполняемых электронно-лучевой сваркой достигается управлением параметрами режима резания при механической обработке.

Теоретическая и практическая значимость

Одним из основных моментов практической значимости работы является определение рациональных параметров режима резания при механической обработке титанового сплава ВТ20, способствующие минимизации количества капиллярно-конденсированной влаги в торцах стыкуемых кромок и снижению уровня дефектности сварных соединений, за счет термомеханического воздействия режущего инструмента на обрабатываемую поверхность, при торцевом и цилиндрическом фрезеровании таковыми параметрами являются: скорость резания 40 ± 5 м/мин; подача 100 ± 10 мм/мин; обороты 800 ± 100 об/мин.

В работе установлено, что операция контроля насыщенности капиллярно-конденсированными загрязнениями в дополнение к контролю шероховатости поверхности, позволит минимизировать порообразование в сварных соединениях элементов силовых титановых конструкций.

Автором разработаны технологические рекомендации по изготовлению элементов силовых титановых конструкций электронно-лучевой сваркой, гарантирующих исключение образования дефектов, улучшение механических и эксплуатационных свойств неразъемных соединений, снижение себестоимости.

Результаты работы внедрены в технологический процесс изготовления элементов силовых титановых конструкций ПАО "ОАК" - "КнААЗ им. Ю.А.Гагарина" (акт внедрения предложения по улучшению ППУ №19/0021-2453 22 от 05.08.2022, акт об использовании диссертационной работы).

Теоретическая значимость работы заключается в подтверждении гипотезы порообразования, утверждающей, что готовыми зародышами газовой фазы являются заваренные дефекты торцов кромок перед сварочной ванной, для объяснения природы возникновения и механизма образования «темных полос» в сварных соединениях толстостенных титановых деталей при электронно-лучевой сварке.

Замечания по работе

1. В диссертации, на странице 58 не ясно, выполнялось ли перед сваркой обезжиривание ацетоном и обезвоживание спиртом после высокопроизводительного фрезерования стыкуемых кромок?

2. На странице 73 из таблицы 3.1 не ясно, какие участки (кратер; центр; корень сварного шва) зоны сплавления представлены под номерами 1, 2, 3.

3. В третьей главе говорится о многократном превышении содержания легирующих элементов (Fe в 2,25 раз Zr до 5 раз) в зоне сварного соединения. Чем обуславливается механизм концентрации содержания этих химических элементов в конкретных областях? И возможно ли, что рост содержания водорода происходит по тому же принципу?

4. На странице 86 диссертации, в таблице 4.2 не ясно где присутствует дефект «темных полос».

5. На странице 88 диссертации говорится, что при скорости резания 125 м/мин образцов из сплава ВТ23 снижается предел прочности до 19%, но данные об образце полученного на этом режиме в таблице 4.2 отсутствуют.

6. На странице 88 автор констатирует факт, что повышение параметров режима резания сплава ВТ23 приводит к порообразованию и ухудшению механических свойств, но не объясняет это явление. Проводили ли исследования влияния режимов механической обработки сплава ВТ23 на изменение содержания водорода?

Заключение

Несмотря на отмеченные замечания и недостатки, представленная диссертация Григорьева Владимира Владимировича «Разработка и исследование технологических процессов изготовления элементов силовых титановых конструкций летательных аппаратов электронно-лучевой сваркой» выполнена на высоком научном уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, содержащую

теоретические и экспериментальные положения, обосновывающие новый подход к способу повышения качества сварных соединения из сплава ВТ20, выполняемых электронно-лучевой сваркой, за счет исключения факторов, вызывающих порообразование, путем термомеханического воздействия режущего инструмента на обрабатываемую поверхность стыкуемых кромок.

По материалам диссертационной работы автором опубликовано 13 печатных работ, в том числе 6 входящих в перечень изданий рекомендованных ВАК РФ, 1 публикация в зарубежном издании, входящая в перечень Scopus, 5 в сборниках научных трудов и трудов международных и всероссийских научно-технических конференций, 1 монография (в соавторстве).

Автореферат диссертации полностью отражает ее суть и основное содержание, включает наиболее важные аспекты работы, раскрывает общий смысл проводимых исследований, содержит анализ результатов, положения, выносимые на защиту и сформулированные выводы.

На основании выше изложенного считаю, что представленная к защите диссертационная работа отвечает требованиям пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842. и паспорту специальности 2.5.13, а ее автор, Григорьев Владимир Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.13 – Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов.

Официальный оппонент



Е.Е. Абашкин

Абашкин Евгений Евгеньевич, кандидат технических наук по специальности 01.02.04 - Механика деформируемого твердого тела, младший научный сотрудник Института машиноведения и металлургии Дальневосточного отделения Российской академии наук Федерального государственного бюджетного учреждения науки Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук, почтовый адрес: 681005, Россия, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, ул. Металлургов, дом 1, <http://www.imim.ru/>, mail@imim.ru

20.04.2023 г.

Подпись Абашкина Е.Е. заверяю

Директор ИМиМ ДВО РАН



О.Н. Комаров