

## ОТЗЫВ

официального оппонента Медведева Александра Юрьевича на диссертационную работу Григорьева Владимира Владимировича «Разработка и исследование технологических процессов изготовления элементов силовых титановых конструкций летательных аппаратов электронно-лучевой сваркой», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.13 – Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов

### **Актуальность темы диссертации**

В настоящее время титановые сплавы активно используются при изготовлении крупногабаритных силовых элементов летательных аппаратов с использованием электронно-лучевой сварки, которая позволяет соединять изделия толщиной до 400 мм за один проход. Однако при многих преимуществах данного способа сварки остается нерешенным вопрос в области порообразования. Наличие дефектов способствует увеличению трудоемкости изготовления силовых элементов титановых конструкций.

Диссертация Григорьева В.В. направлена на разработку научно-обоснованных путей и технологических рекомендаций по предотвращению образования дефектов при электронно-лучевой сварке для повышения эксплуатационных свойств и снижения трудоемкости изготовления элементов силовых титановых конструкций летательных аппаратов (шпангоуты, лонжероны, центроплан и пилоны), что, несомненно, является актуальной задачей.

### **Структура работы**

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

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, определены цели и основные задачи работы, отражена научная новизна, теоретическая и практическая значимость.

**В первой главе** 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. Проведен анализ литературных источников, где приведены основные



существующие подходы к улучшению качества сварных соединений, выполняемых электронно-лучевой сваркой.

**Во второй главе** показаны используемые в работе методы исследования и применяемые материалы. Приведены методики оценки насыщенности капиллярно-конденсированных загрязнений, способы подготовки образцов под электронно-лучевую сварку и методики неразрушающего и разрушающего контроля качества.

**В третьей главе** приведены результаты анализа распределения водорода и других химических элементов в сварных соединениях, полученных электронно-лучевой сваркой. Определены основные положения, подтверждающие гипотезу порообразования при сварке плавлением титановых сплавов.

**В четвертой главе** установлено влияние дефектов на механические свойства и структуру сварных соединений, определено влияние различных методов подготовки кромок на образование дефектов, не выявляемых рентгенографическим контролем. Показано, что дефекты, не выявляемые рентгенографическим контролем, приводят к снижению пластических свойств сварных соединений, но при этом прочностные свойства не уступают бездефектным сварным соединениям.

**В пятой главе** определено влияние параметров режима резания при фрезеровании и вида механической обработки на качество стыкуемых кромок под электронно-лучевую сварку. Установлено, что предлагаемые автором режимы резания способствуют обезводороживанию в приповерхностном и поверхностных слоях стыкуемых кромок, что способствует минимизации порообразования. Автор произвел апробацию предлагаемых 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".

Пятая глава, на мой взгляд, является наиболее удачным достижением автора диссертации, что подтверждает его высокую квалификацию, наряду с научной новизной и практической ценностью самой работы.

### **Научная новизна**

Научная новизна полученных результатов состоит в следующем:

1. Установлен характер и выявлен 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. Это выполнено на основе экспериментальных исследований взаимосвязи порообразования в сварных соединениях силовых



титановых конструкций летательных аппаратов и качества подготовки поверхности стыкуемых кромок под электронно-лучевую сварку.

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

3. Установлено, 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.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, их достоверность**

В диссертационной работе автором проведен подробный анализ достижений и теоретических положений отечественных и зарубежных авторов. Все утверждения подтверждены ссылками на источники. Автор корректно использует в работе основные положения гипотезы порообразования применительно к процессам изготовления элементов силовых титановых конструкций, выполняемых электронно-лучевой сваркой. Полученные результаты работы удовлетворительно совпадают с данными, представленными в отечественных и зарубежных открытых источниках.

### **Теоретическая и практическая значимость**

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.

Практическая значимость диссертационного исследования отражается в промышленном применении разработанного способа подготовки стыкуемых кромок титановых конструкций под электронно-лучевую сварку обеспечивающим отсутствие внутренних дефектов в виде пор и «темных полос» с возможностью уменьшения затрат при изготовлении силовых элементов летательных аппаратов, выполняемых электронно-лучевой сваркой и подтверждается документами о внедрении результатов работы в производство.

### **Замечания и вопросы**



1. 1. В обзоре показано, что режим сварки и характеристики электронного луча оказывают существенное влияние на порообразование при ЭЛС. При этом в работе не приведено описание и технические характеристики применяемого сварочного оборудования, не проведен анализ возможности снижения вероятности образования пор за счет изменения режимов и условий ЭЛС.

2. В подрисуночной надписи к рис. 3.1 лицевая сторона шва названа зоной усиления, а обратная сторона шва названа корневой зоной, что не соответствует общепринятой терминологии. Из графиков, приеденных на том же рисунке следует, что ширина шва с лицевой стороны больше, чем с обратной стороны.

3. В 3 главе показано превышение некоторых легирующих элементов (Zr, Al, V, таблицы 3.1-3.5), но при этом на основании полученных данных не сформированы выводы по их влиянию на порообразование.

4. Как следует из приведенных в главе 4 данных, для исследованного диапазона свариваемых толщин – 20...70 мм, наибольшая вероятность образования дефектов отмечалась на образцах с толщинами более 50 мм. При этом не совсем ясно, почему апробация принятых технологических решений была проведена только на образцах толщиной 30 мм.

Указанные выше замечания не снижают научной и практической ценности диссертации.

Работа написана грамотно и логично, стиль изложения – доказательный.

### **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.

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).

Публикации и автореферат полностью отражают основное содержание диссертации и соответствуют паспорту специальности 2.5.13 – Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа «Разработка и исследование технологических процессов изготовления элементов силовых титановых конструкций летательных аппаратов электронно-лучевой



сваркой» удовлетворяет требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842.

Считаю, что Григорьев Владимир Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.13 – Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов.

Подтверждаю свое согласие на включение моих персональных данных в аттестационные документы соискателя ученой степени кандидата технических наук Григорьева Владимира Владимировича и их дальнейшую обработку.

**Официальный оппонент:**

Доктор технических наук, доцент

Медведев Александр Юрьевич

Учёная степень: доктор технических наук,

Шифр научной специальности: 05.16.08 –

Нанотехнологии и наноматериалы

(металлургия и материаловедение)

Учёное звание: Доцент по кафедре оборудования  
и технологии сварочного производства

Должность: профессор кафедры сварочных,  
литейных и аддитивных технологий Федерального  
государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования

«Уфимский университет науки и технологий»

Адрес: 450076, Приволжский федеральный  
округ, Республика Башкортостан,

г. Уфа, ул. Заки Валиди, дом 32

Телефон: 8-917-456-7066

E-mail: medvedev.ayu@ugatu.su

Подпись А.Ю. Медведева заверяю  
Начальник Отдела документационного  
обеспечения и архива

Д.Ф. Рахимова

20.09.2023