

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.316.02
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «КОМСОМОЛЬСКИЙ-НА-АМУРЕ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ», ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 24 октября 2025 г. № 5

О присуждении **Бахматову Павлу Вячеславовичу**, гражданину **Российской Федерации**, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Научное обоснование технологических процессов, повышающих качество изготовления авиационных тонкостенных титановых конструкций» по специальности 2.5.13 – «Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов» принята к защите 09 июня 2025 г. (протокол заседания № 3) диссертационным советом 24.2.316.02, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» (ведомственная принадлежность – Министерство науки и высшего образования Российской Федерации; адрес – Российская Федерация, 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, проспект Ленина, д. 27; приказ о создании от 01.04.2013 № 156/нк, приказ от 05.03.2015 № 220/нк, приказ от 18.06.2015 № 339/нк, приказ от 29.07.2015 № 848/нк, приказ от 28.04.2016 № 512/нк, приказ от 09.08.2016 № 1054/нк, приказ от 16.03.2017 № 212/нк, приказ от 12.07.2017 № 748/нк, приказ от 01.07.2019 № 569/нк, приказ от 18.10.2023 № 1986/нк, приказ от 22.10.2024 № 1017/нк, приказ от 10.12.2024 № 1182/нк).

Соискатель Бахматов Павел Вячеславович, 31.05.1977 года рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук

«Исследование технологического процесса получения непрерывнолитых деформированных полых заготовок» защитил в 2003 году в диссертационном совете, созданном на базе Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет», работает в должности заведующего кафедрой «Технологии сварочного и металлургического производства им. В.И. Муравьева» в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет».

Диссертация выполнена на кафедре «Технологии сварочного и металлургического производства имени В.И. Муравьева» в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет».

Официальные оппоненты:

Шатульский Александр Анатольевич, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева», заведующий кафедрой «Материаловедения, литья и сварки».

Овчинников Виктор Васильевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Материаловедение», Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет», заведующий кафедрой «Материаловедение».

Медведев Александр Юрьевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры сварочных, литейных и аддитивных технологий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий».

Официальные оппоненты дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация акционерное общество «Национальный институт авиационных технологий», г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном Коваленко Артемом Валерьевичем, кандидатом технических наук, заместителем генерального директора по научно-исследовательской деятельности, Егоровым Виталием Николаевичем, доктором технических наук, профессором, директором по науке, и утвержденном Плихуновым Виталием Валентиновичем, первым заместителем генерального директора, доктором технических наук, профессором, указала, что диссертация Бахматова Павла Вячеславовича соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, а также п.9 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 и паспорту специальности 2.5.13, а её автор, Бахматов Павел Вячеславович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.13 – Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов (технические науки).

Соискатель имеет 277 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 42 работы, из них 2 коллективные монографии, 2 патента на изобретения, в рецензируемых изданиях опубликовано 13 статей.

В работах, опубликованных в рецензируемых изданиях, в полной мере изложены материалы и основные научные результаты диссертации. Требования, предъявляемые к публикации основных результатов диссертации, предусмотренные пунктами 11 и 13, а также установленные пунктом 14 «Положения о присуждении ученых степеней», выполнены полностью.

Наиболее значительные работы соискателя:

1. Влияние режимов термического цикла сварки на структуру и свойства металла шва титановых сплавов / В. И. Муравьев, О. Н. Клешина,

А. А. Кузнецов, П. В. Бахматов // Сварочное производство. – 2010. – № 8. – С. 3-9.

Effect of the conditions of the welding thermal cycle on the structure and properties of weld metal in titanium alloys / V. I. Murav'ev, O. N. Kleshnina, A. A. Kuznetsov, P. V. Bakhmatov // Welding International. – 2012. – Vol. 26, No. 1. – P. 22-29. – DOI 10.1080/09507116.2011.592708.

2. Муравьев, В. И. Расчет остаточных деформаций по тепловым полям при сварке тонких пластин встык / В. И. Муравьев, П. В. Бахматов, А. А. Дебеляк // Сварочное производство. – 2012. – № 2. – С. 9-12.

Muravev, V. I. Calculation of residual stresses on the basis of thermal fields in butt welding of thin sheets / V. I. Muravev, P. V. Bakhmatov, A. A. Debelyak // Welding International. – 2013. – Vol. 27, No. 5. – P. 358-361. – DOI 10.1080/09507116.2012.715917.

3. Влияние активации свариваемых кромок на порообразование при сварке плавлением титановых заготовок / В. И. Муравьев, П. В. Бахматов, О. П. Логвинов, К. А. Мелкоступов // Сварочное производство. – 2012. – № 6. – С. 11-16.

Effect of activation of weld edges on the formation of pores in fusion welding of titanium components / V. I. Murav'ev, P. V. Bakhmatov, O. P. Logvinov, K. A. Melkostupov // Welding International. – 2013. – Vol. 27, No. 7. – P. 548-552. – DOI 10.1080/09507116.2012.715947.

4. Влияние напряженного состояния на структуру и свойства при сварке конструкций из сталей и сплавов / В. И. Муравьев, П. В. Бахматов, Н. О. Плетнев, А. А. Дебеляк // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2016. – Т. 59, № 4. – С. 251-255. – DOI 10.17073/0368-0797-2016-4-251-255.

Influence of the stress state on the structure and properties of welded steel and alloy structures / V. I. Murav'ev, P. V. Bakhmatov, N. O. Pletnev, A. A. Debelyak // Steel in Translation. – 2016. – Vol. 46, No. 4. – P. 256-259. – DOI 10.3103/S0967091216040070.

5. Бахматов, П. В. Исследование технологических операций изготовления лимитирующих надежность (усталостную прочность) ребристых титановых панелей / П. В. Бахматов, В. И. Муравьев // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2017. – Т. 60, № 2. – С. 99-108. – DOI 10.17073/0368-0797-2017-2-99-108.

Bakhmatov, P. V. Manufacture of high-quality ribbed titanium panels / P. V. Bakhmatov, V. I. Murav'ev // Steel in Translation. – 2017. – Vol. 47, No. 2. – P. 91-98. – DOI 10.3103/S0967091217020036.

6. Муравьев, В. И. Обеспечение свойств соединений титановых конструкций летательных аппаратов, полученных сваркой плавлением, одинаковых со свойствами основного металла / В. И. Муравьев, П. В. Бахматов, В. В. Григорьев // Вестник Московского авиационного института. – 2021. – Т. 28, № 3. – С. 218-227. – DOI 10.34759/vst-2021-2-218-227.

7. Григорьев, В. В. Применение установки УСП-5000 для сварки крупногабаритных орребренных титановых панелей / В. В. Григорьев, П. В. Бахматов, С. П. Мазур // Авиационная промышленность. – 2018. – № 1. – С. 44-46.

8. Бахматов, П. В. Исследование влияния методов обработки на содержание водорода в поверхностном дефектном слое заготовок из титановых сплавов / П. В. Бахматов // Авиационная промышленность. – 2014. – № 3. – С. 28-34.

9. Активация и дезактивация конденсации загрязнений на поверхности свариваемых заготовок из титановых сплавов / В. И. Муравьев, П. В. Бахматов, С. З. Лончаков, О. П. Логвинов // Контроль. Диагностика. – 2012. – № 3. – С. 26-30.

10. Лончаков, С. З. Исследования изменения содержания водорода в поверхностном слое титановых заготовок в зависимости от природы ее формирования / С. З. Лончаков, В. И. Муравьев, П. В. Бахматов // Сварка и диагностика. – 2014. – № 5. – С. 33-36.

11. Определение содержания водорода в титановых сплавах в ходе технологического цикла / В. И. Муравьев, П. В. Бахматов, С. З. Лончаков, В. В. Григорьев // Сварочное производство. – 2018. – № 3. – С. 14-20.

12. Влияние разделительных операций на дефектность поверхности кромок заготовок из титановых сплавов под сварку / В. И. Муравьев, П. В. Бахматов, С. З. Лончаков, О. П. Логвинов // Заготовительные производства в машиностроении. – 2012. – № 3. – С. 7-16.

13. Влияние интенсификации процесса перемешивания расплавленного металла в сварочной ванне на газонасыщение и свойства титановых конструкций / С. З. Лончаков, В. И. Муравьев, Б. И. Долотов, Бахматов П.В. [и др.] // Известия вузов. Черная металлургия. – 2013. – № 8. – С. 3–7.

Монографии

1. Активация процессов формирования соединений из металлов и сплавов : монография / В. И. Муравьев, П. В. Бахматов, П. А. Саблин ; В. И. Муравьев, П. В. Бахматов, П. А. Саблин ; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования "Комсомольский-на-Амуре гос. технический ун-т". – Владивосток : Дальнаука, 2012. – 366 с. – ISBN 978-5-8044-1262-4.

2. Перспективные металлургические и технологические процессы производства, повышающие надежность изделий из конструкционных материалов: моногр. / В. И. Муравьев, П. В. Бахматов, А. В. Фролов. - Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КНАГТУ», 2016. – 330 с. – ISBN 978-5-7765-1187-5.

Патенты

1. Патент № 2491159 С2 Российская Федерация, МПК В23К 31/12, В23К 103/14. Способ оценки перед сваркой качества сварочной проволоки и заготовок сварной конструкции из титановых сплавов : № 2011149420/02 :

заявл. 05.12.2011 : опубл. 27.08.2013 / В. И. Муравьев, П. В. Бахматов, С. З. Лончаков [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВПО «КНАГТУ».

2. Патент № 2793282 С1 Российская Федерация, МПК В23К 33/00, В23К 9/235, В23С 3/00. Способ подготовки кромок титанового сплава под сварку : № 2022128801 : заявл. 07.11.2022 : опубл. 30.03.2023 / В. В. Григорьев, П. В. Бахматов, А. В. Солнцева, Н. А. Стробыкин ; ФГБОУ ВО «КНАГУ».

На диссертацию и автореферат поступили отзывы (все отзывы положительные, указаны только вопросы и замечания).

Отзывы на диссертацию:

1. Ведущая организация: акционерное общество «Национальный институт авиационных технологий», г. Москва.

Замечания:

1. Ограниченность применения критерия «насыщенности водородом».

Предложенный диссертантом критерий насыщенности капиллярно-конденсированными загрязнениями, выраженный через водородную насыщенность поверхности, безусловно, представляет собой важный и оригинальный подход. Однако в работе не раскрыта чувствительность метода определения к внешним условиям (влажность, термостатирование, сорбция из атмосферы). Также отсутствует обоснование применимости метода контроля в производственных условиях, где невозможен полный лабораторный контроль. Практическое внедрение критерия требует дополнительной проработки с точки зрения метрологии.

2. Недостаточное внимание математическому моделированию процессов.

При наличии глубокого физико-химического анализа порообразования, а также детальной проработки термических режимов сварки, работа практически не использует численное моделирование (например, CFD, FEM) для прогноза температурных полей, напряжений и деформаций в сварной

зоне. Это ограничивает воспроизводимость результатов в новых условиях (другие геометрии, толщины, марки сплавов) и несколько снижает универсальность предложенных подходов.

3. Не охвачен вопрос влияния легирующих элементов на устойчивость к порообразованию.

Хотя в работе основное внимание уделяется физико-механическим процессам и подготовке поверхности, остаётся за рамками диссертации вопрос о влиянии химического состава сплава (особенно легирующих примесей) на вероятность порообразования. Это особенно важно, учитывая использование различных марок титана в авиации (BT1-0, BT6, ПТ-3В и др.). Проведение сравнительного анализа могло бы расширить обоснованность и применимость выводов.

4. Формально изложены отдельные выводы в конце глав.

Некоторые промежуточные выводы в главах 3 и 5 сформулированы схематично и не всегда подчёркивают количественную значимость выявленных закономерностей. Более полное численное обобщение результатов (например, зависимости «уровень пористости - насыщенность - тип подготовки») усилило бы информативность и прикладной эффект текста.

5. Иллюстративный материал местами перегружен и не всегда самодостаточен.

Ряд графиков и микрофотографий (в частности, в главах 2 и 4) приведены без достаточного пояснения или привязки к конкретным режимам, что затрудняет интерпретацию данных без обращения к тексту. Часть таблиц перегружена необобщёнными числовыми массивами, без визуального или статистического выделения ключевых тенденций. Более избирательный подход к включению иллюстраций повысил бы читабельность и точность восприятия.

6. Недостаточная дискуссия в отношении зарубежных аналогов.

Работа содержит ссылки на известные научные труды, однако анализ зарубежных технологических решений и нормативных подходов (например,

AWS, ISO, ASTM) представлен ограниченно. Для докторской диссертации, претендующей на вклад в теорию и практику, было бы уместно включить сравнение с зарубежным опытом (в частности, в аспекте автоматизации и контроля качества сварки титана).

2. Официальный оппонент: Шатульский Александр Анатольевич, заведующий кафедрой «Материаловедения, литья и сварки», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева», г. Рыбинск.

Замечания:

1. В диссертации автор подробно анализирует процесс возникновения остаточных напряжений, сопровождающийся короблением панелей, однако этот анализ проводится преимущественно с позиций технолога. В то же время, для целей системной интеграции в авиастроении, полезным было бы включение проектных расчётов по допустимым искажениям геометрии элементов (в контексте аэродинамики, сборки, стыковки). Это позволило бы расширить сферу применимости результатов до этапа конструктивного проектирования.

2. Работа сконцентрирована в основном на α титановом сплаве BT20, однако в самолетостроении широко применяются и другие сплавы, в частности $\alpha+\beta$ - сплавы, которые обладают иными технологическими и эксплуатационными свойствами (BT6, BT16). Поэтому расширение диапазона изученных материалов повысило бы универсальность технологических рекомендаций.

3. Несмотря на глубокое экспериментальное обоснование причин порообразования, в работе отсутствует численная модель, позволяющая прогнозировать риск возникновения дефектов в зависимости от параметров сварки и состояния поверхности. С точки зрения современной цифровой инженерии, такая модель могла бы быть востребована для интеграции в САПР/PLM-среды авиазаводов.

4. При разработке критерия оценки качества подготовки поверхности стыкуемых кромок заготовок - «насыщенность водородом», автор не учитывает влияние на порообразование чистоты (влажности) аргона применяемого в производстве, а так же влияние таких параметров, как температура и влажность в помещении в котором выполняются сварочные работы, характер движения газа. Как известно применяемая при ААДС оснастка обеспечивает условия подачи аргона, гарантирующие качественную защиту сварочной ванны, однако требуется обеспечение ламинарного потока, так как при турбулентном потоке будет происходить замешивание воздуха из атмосферы в защитный газ.

5. Не совсем понятно утверждение автора в главе 5 «чем меньше скорость сварки, тем меньше коробление». При меньшей скорости увеличивается объём сварочной ванны (об этом говорят данные приведенные автором в табл.5 автореферата) и тем больше объём затвердевающего металла, а значит и склонность к короблению конструкции должна быть выше.

6. Не понятно утверждение автора в главе 5, что применение вакуумного отжига для ребристых панелей ограничивается из-за того, что «скорость натекания существенно влияет на отжигаемые детали и изменение их механических свойств, и неприемлемо из-за отсутствия вакуумных печей таких размеров». При работающих вакуумных насосах натекание в герметичных вакуумных печах не оказывает влияние на газонасыщение поверхностных слоёв, а применение не герметичных вакуумных печей недопустимо. (В частности, вакуумные печи для термообработки крупногабаритных сварных титановых конструкций, производства ОАО «Электромеханика» г. Ржев, имеются на «КАЗ им. С.П. Горбунова – филиал ПАО «Туполев»» г. Казань и обеспечивают высокое качество изделий).

7. В главе №6 приведены результаты влияния технологических операций на усталостную прочность, при этом отсутствует информация по зазорам в свариваемых стыках, превышения свариваемых кромок (если

были), по применяемой оснастке для защиты аргоном наружной и обратной стороны сварного шва.

8. Автор ограничивает исследование причин порообразования только методом ААДС, не рассматривая такие виды сварки, как плазменную, лазерную и электронно-лучевую, которые получили широкое распространение в авиастроении при изготовлении конструкций из титановых сплавов.

3. Официальный оппонент: Овчинников Виктор Васильевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Материаловедение», Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет», г. Москва.

Замечания:

1. Не раскрыт вопрос контроля уровня водородной насыщенности в реальном производственном цикле. Несмотря на оригинальность предложенного критерия, в диссертации не рассмотрены вопросы его метрологического обеспечения, допустимых допусков, а также способов оперативного контроля на входе и при межоперационном хранении заготовок.

2. Отсутствует связь между технологическими параметрами и экономической эффективностью. Предлагаемые решения, безусловно, повышают качество, однако не представлены расчёты технологической себестоимости, времени выполнения операций и потенциальной производственной отдачи, что важно для оценки целесообразности внедрения в серийное производство.

3. Не рассмотрены конструктивные ограничения. В работе мало внимания уделено влиянию геометрии и пространственной ориентации сварных соединений на реализацию предложенных подходов. Между тем, сварка в труднодоступных или замкнутых сечениях требует специфических технологических решений.

4. Слабая увязка с проектной документацией. В диссертации не проанализированы действующие КД/ТД на панели и узлы, на которых проводилось внедрение. Отсутствие этого анализа затрудняет понимание того, насколько глубоко изменения внедряются в техническую и нормативную структуру производства.

5. Невысокая степень статистической обработки данных. Представленные экспериментальные результаты убедительны, однако статистическая обработка сведена к минимуму. При работе с усталостной прочностью и пористостью желательно было бы показать доверительные интервалы, вариации и репрезентативность.

4. Официальный оппонент: Медведев Александр Юрьевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры сварочных, литейных и аддитивных технологий, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский университет науки и технологий», г. Уфа.

Замечания:

1. Не приведён расчёт метрологического обеспечения критерия водородной насыщенности. Хотя параметр представляет научный интерес и прикладную ценность, в диссертации отсутствует описание методики его измерения в условиях серийного производства, а также анализ точности, воспроизводимости и допустимых отклонений.

2. Анализ дефектов ограничен порообразованием. Работа глубоко раскрывает физику газовых включений, однако другие типичные дефекты сварки титана (непровары, прожоги, микротрещины) остаются вне поля рассмотрения, что ограничивает универсальность полученных рекомендаций.

3. Недостаточно освещена корреляция между проектными допусками и сварочной деформацией. Предложенные меры снижения остаточных напряжений убедительно аргументированы, но не увязаны с геометрическими допусками, регламентируемыми в проектной

документации, что затрудняет прямое использование результатов в системе технического нормирования.

Отзывы на автореферат:

1. Ефанов Владимир Владимирович, д.т.н., профессор, главный научный сотрудник, **Стрельников Илья Владимирович**, к.т.н., ведущий инженер-технолог АО «НПО Лавочкина», г. Химки.

1. При выборе методов изменения напряженно-деформированного состояния сварной конструкции автор ограничился прокаткой роликами и отжигом, исключив из рассмотрения ультразвуковую ударную обработку, обработку дробью, вибрационную обработку, нагружение (или растяжение) конструкции, которые могли привести к дополнительному экономическому эффекту, сокращению цикла изготовления и т.д. Однако задача достижения требуемого нормативной документацией уровня послесварочных деформаций была автором достигнута.

2. Для контроля напряженного состояния после прокатки рентгенодифрактометрический метод, измеряющий напряжения в малом поверхностном слое, желательно было дополнить механическим (тензометрия с предварительной установкой датчиков или засверливание отверстий с спекл-интерферометрией), измеряющим напряжения по глубине интегрально. В то же время, автором получены количественные значения напряжений, позволяющие провести сравнение технологических вариантов изготовления.

2. Букатый Станислав Алексеевич, д.т.н., профессор, профессор кафедры сопротивления материалов, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», г. Самара.

1. Усталостные испытания сварных соединений производились только в малоцикловой области. Несомненный интерес представляли бы

сравнительные многоцикловые испытания с определением предела выносливости материала.

2. Не проведены исследования повышения сопротивления усталости поверхностным упрочнением сварных швов дробеструйным способом. Известно, что упрочнение микрошариками позволяет увеличивать предел выносливости сварных швов до уровня основного материала и даже выше его.

3. Коряжкин Андрей Александрович – д.т.н., генеральный директор АО «Новые инструментальные решения», г. Рыбинск.

1. В автореферате недостаточно подробно раскрывается механизм достижения эффекта улучшения механических свойств сплава ВТ-20 за счет последовательной холодной и горячей пластической деформации, либо термообработки при температурах, близких к температуре фазового превращения, с обеспечением скоростного нагрева и охлаждения.

2. Из автореферата не ясно, учитывалось ли влияние других химических элементов, помимо водорода, на порообразование в материале сварного шва.

3. В работе приведены результаты экспериментальных исследований на примере сплава ВТ-20. Практический интерес представляет распространение результатов работы также и на другие марки титановых сплавов.

4. Прохоров Андрей Германович, к.т.н., главный технолог; **Тараканов Анатолий Анатольевич**, заместитель главного металлурга по сварке – главный сварщик, Филиал ПАО «ОАК» – «КнААЗ им. Ю.А. Гагарина», г. Комсомольск-на-Амуре.

1. На рисунках 2 и 10 автореферата представлены результаты растровой электронной микроскопии, из которых неясна кратность увеличения изображения.

2. В работе определены конкретные условия термического цикла сварки для получения свойств сварных соединений, идентичных со свойствами основного металла (сплава ВТ20). Для заготовок толщинами 1,2;

2,0 и 2,5 мм скорости охлаждения в области превращения соответственно должны лежать в пределах 650...750; 550...600 и 150...175 °C/с, но в производственных условиях такими параметрами режим сварки не задается.

5. Комаров Олег Николаевич, к.т.н., доцент, директор обособленного подразделения Институт машиноведения и металлургии Дальневосточного отделения Российской академии наук Федерального государственного бюджетного учреждения науки Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Комсомольск-на-Амуре.

Замечаний нет.

6. Пашков Андрей Евгеньевич, д.т.н., профессор, директор института авиамашиностроения и транспорта, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет», г. Иркутск.

1. Описание методики рентгенографического контроля можно было бы дополнить указанием о точности и воспроизводимости результатов.

2. Было бы целесообразно добавить краткие рекомендации по модернизации существующих производственных инструкций на основе проведенных исследований.

3. Раздел о механизме порообразования мог бы быть дополнен кратким аналитическим выражением или моделью, отражающей количественные зависимости.

4. Было бы полезно привести сравнение предложенного критерия «насыщенности загрязненными» с существующими методами контроля качества поверхности.

7. Киричек Андрей Викторович, д.т.н., профессор, проректор по перспективному развитию, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный технический университет», г. Брянск.

1. Не в полной мере раскрыта методика расчёта температурно-временных параметров термического цикла сварки.

2. В тексте встречаются единичные стилистические повторы и громоздкие синтаксические конструкции, которые можно упростить без потери научной строгости.

3. При изложении результатов по термическому циклу сварки желательно подчеркнуть физико-металлургические механизмы, определяющие оптимальные скорости охлаждения.

4. Иллюстративный материал (графики, фрактограммы, схемы) изобилует, но местами перегружен деталями, что затрудняет восприятие основных закономерностей.

Все отзывы положительные. В отзывах отмечены актуальность темы работы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, достоверность и обоснованность результатов.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их высокой квалификацией, наличием публикаций в сфере исследований по теме диссертации, практическим опытом применения научных методов в сфере производства летательных аппаратов. Выбор ведущей организации обоснован широкой известностью достижениями в научной области, связанной с проектированием, конструкцией, производством, испытаниями и эксплуатацией летательных аппаратов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны:

научно обоснованная концепция управления качеством сварных тонкостенных титановых конструкций летательных аппаратов, основанная на контроле состояния поверхностных слоёв соединяемых кромок и параметров термического цикла сварки;

экспериментальная методика оценки газонасыщения по критерию водородной насыщенности поверхности, позволившая выявить количественные закономерности порообразования;

предложены и обоснованы:

новая физико-химическая модель механизма порообразования, основанная на концепции диффузионного спекания кромок перед фронтом сварочной ванны и наличии замкнутых полостей, содержащих капиллярно-конденсированные загрязнения;

технологические решения по снижению дефектности сварных соединений: применение комплексной подготовки кромок с контролем параметра $N = H_{\text{пов}}/H_{\text{м}}$, использование комбинированного отжига в воздушной среде с последующим пескоструйным воздействием для снятия остаточных напряжений;

доказаны:

возможность получения сварных соединений титановых сплавов, идентичных по свойствам основному металлу, при обеспечении заданных диапазонов скоростей охлаждения (в зависимости от толщины заготовок) и критериев чистоты поверхности;

перспективность полной автоматизации процесса сварки авиационных титановых тонкостенных конструкций на примере аппарата УСП-5000 при соблюдении предложенных технологических условий;

введены

новые количественные критерии оценки качества подготовки торцов заготовок – «Критерий насыщенности капиллярно-конденсированными загрязнениями», используемый для оценки качества подготовки поверхности под сварку, и «Регламент термического цикла идентичности свойств», определяющий условия обеспечения свойств соединения, эквивалентных основному металлу.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны:

закономерности влияния состояния поверхностных слоёв соединяемых кромок и параметров термического цикла сварки на порообразование и свойства сварных соединений титановых сплавов;

возможность обеспечения идентичности свойств сварного соединения и основного металла при заданных условиях тепловложения и газонасыщения;

применительно к проблематике диссертации результативно использован

комплекс известных физических и металловедческих методов анализа – электронная и рентгеновская микроскопия, термодесорбционный анализ, термокинетическое моделирование, а также экспериментальные методики оценки газонасыщения, что позволило количественно описать взаимосвязь параметров подготовки и свойств соединений;

изложены

научные положения и аргументы, раскрывающие механизм порообразования на основе концепции деградации приповерхностного слоя, насыщенного капиллярно-конденсированными загрязнениями, сформулированы критерии технологического обеспечения бездефектного сварного соединения;

выявлены:

отличие между традиционными представлениями о влиянии чистоты поверхности и реальной ролью водородного загрязнения;

новые проблемы, связанные с нестабильностью оксидных плёнок при подготовке кромок под сварку;

закономерности взаимосвязи между технологическими параметрами, структурными изменениями и прочностными характеристиками;

изучены

причинно-следственные связи между технологическими операциями (механическая, химическая, лазерная обработка), структурными изменениями при сварке и механическими свойствами сварных соединений;

проведена модернизация

экспериментальных методик оценки газонасыщения и термических циклов: предложена методика определения водородной насыщенности поверхности и адаптированы способы теплового анализа для тонких титановых панелей, что расширило границы применимости результатов при проектировании сварных конструкций.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены в серийное производство на филиале ПАО «ОАК» – «КнААЗ им. Ю.А. Гагарина»:

технологические процессы подготовки кромок под сварку титановых панелей (пластическая деформация обкаткой, газолазерный раскрой в среде Ar/N, комбинированные варианты раскроя и травления), обеспечивающие исключение порообразования при критерии насыщенности поверхности $N \leq 1$ и снижение дефектности более чем в пять раз;

технологический процесс низкотемпературного отжига в воздушной среде с последующим опескоструиванием, позволяющий снизить остаточные напряжения и увеличить усталостную прочность панелей до 2 раз по сравнению с исходным состоянием;

определены

физически обоснованные пределы режимов термического цикла сварки для заготовок толщиной 1,2–2,5 мм, обеспечивающие равнопрочность шва и основного металла; установлены пределы технологической применимости разработанных режимов в условиях промышленного производства;

создана

система технологических рекомендаций и регламентов по выбору параметров подготовки поверхности, тепловложению и послесварочной обработке, обеспечивающая стабильное качество соединений и снижение трудоёмкости операций правки панелей;

предложены и обоснованы

граничные значения скорости охлаждения в области фазовых превращений, обеспечивающие оптимальную структуру без грубых колоний и снижения пластичности;

представлены

методические рекомендации по автоматизации процессов сварки тонкостенных титановых панелей на установке УСП-5000 и предложены пути дальнейшего совершенствования технологического цикла изготовления сварных конструкций летательных аппаратов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила: для экспериментальных работ

результаты получены с использованием современных экспериментальных методик на современном сертифицированном оборудовании: установках для измерения содержания водорода в поверхностных слоях, установках электронно- и рентгеноструктурного анализа, машинах для статических и усталостных испытаний; проведены контрольные измерения с калибровкой и повторяемостью не хуже $\pm 5\%$; воспроизводимость подтверждена сериями повторных экспериментов при различных условиях подготовки и сварки заготовок; эксперименты проводились как на лабораторной базе, так и в условиях действующего производства на филиале ПАО «ОАК» – «КнААЗ им. Ю.А. Гагарина», что существенно усиливает прикладную достоверность выводов;

теория

построена на известных и проверяемых данных в области физико-химии титана, термодинамики газонасыщения, теории сварочных процессов и отвечает требованиям связанности между задачами, методами и выводами; теоретические расчёты термических циклов и фазовых превращений согласуются с опубликованными экспериментальными данными по аналогичным системам и материалам;

идея базируется

на анализе производственной практики предприятий авиационной отрасли (филиал ПАО «ОАК» – «КнААЗ им. Ю.А. Гагарина») и обобщении передового отечественного и зарубежного опыта в области сварки титановых конструкций;

использованы

данные, опубликованные ранее в отечественных и зарубежных источниках, для сопоставления термических режимов и физико-механических свойств сварных соединений;

установлено

качественное и количественное совпадение авторских результатов с данными независимых источников и нормативов (ГОСТ 14782–86, AWS D17.1, ISO 5817), подтверждающее корректность выбранных подходов и адекватность предложенных зависимостей;

использованы

современные методики сбора и обработки данных: статистическая обработка экспериментальных серий, корреляционный анализ влияния параметров технологического цикла на свойства соединений, а также репрезентативные выборочные совокупности образцов, обоснованные по размерам и количеству повторов.

Личный вклад соискателя состоит в: постановке цели и задач исследования, выполнении теоретической и экспериментальной частей исследования, анализе и интерпретации полученных результатов, формулировании научной новизны, положений и выводов, выносимых на защиту. Соискатель лично участвовал в апробации результатов исследования и подготовке основных публикаций по выполненной работе, что подтверждается участием в международных и российских конференциях.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. Недостаточное внимание уделено математическому моделированию процессов. При наличии глубокого физико-химического анализа

порообразования, а также детальной проработки термических режимов сварки, работа практически не использует численное моделирование (например, CFD, FEM) для прогноза температурных полей, напряжений и деформаций в сварной зоне. Это ограничивает воспроизводимость результатов в новых условиях (другие геометрии, толщины, марки сплавов) и несколько снижает универсальность предложенных подходов.

2. При газолазерном раскрое, рекомендованном в работе, возникает дефектный слой в виде оплавленной шероховатой поверхности, которая может повлиять на качество сварного шва.

3. В работе приведены результаты экспериментальных исследований на примере сплава ВТ-20. Практический интерес представляет распространение результатов работы также и на другие марки титановых сплавов.

4. Невысокая степень статистической обработки данных. Представленные экспериментальные результаты убедительны, однако статистическая обработка сведена к минимуму.

Соискатель Бахматов П.В. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

1. Основное внимание в работе уделено экспериментальному и физико-химическому обоснованию процессов, что было необходимо для выявления первичных закономерностей порообразования и влияния технологических факторов на свойства соединений. Элементы численного моделирования использовались на уровне аналитических расчётов термических циклов и деформаций, что позволило определить диапазоны скоростей охлаждения и режимов термического цикла сварки. Применение полноценных FEM и CFD моделей не являлось целью исследования, однако полученные экспериментальные зависимости могут служить базой для их дальнейшего построения и верификации.

2. Образующийся дефектный слой при газолазерном раскрое как раз является «изюминкой» этого способа. Дело в том, что при использовании азота на поверхности реза образуется нитридный слой. Он естественно имеет

большую твердость и при сварке этот слой не позволяет осуществиться твердофазному соединению кромок, сходящихся за счет термоусадки шва. И кроме этого, после резки образуется чередующиеся каналы на торцевой поверхности стыкуемых кромок, что является дополнительным источником возможности удаления влаги при сварке. Поэтому предложен газолазерный раскрой взамен фрезерованию.

3. Работа строилась на базе применимых титановых сплавов в качестве конструкционного материала тонкостенных панелей самолетов семейства СУ, где широко применим в настоящее время сплав ВТ-20. Распространение результатов работы на другие титановые сплавы позволило бы охватить и другие семейства самолетов как военного, так и гражданского назначения.

Исследования выполнялись на сплаве ВТ20 как типичном представителе α -типа, наиболее чувствительном к газонасыщению и порообразованию. Полученные закономерности основаны на общих физико-химических принципах взаимодействия титана с газами и поведении твёрдых растворов в термическом цикле сварки. Поэтому результаты применимы и к другим конструкционным титанам, прежде всего $\alpha+\beta$ -сплавам (ВТ6, ВТ16, ВТ23), с корректировкой температурных диапазонов фазовых превращений и скоростей охлаждения.

4. Основной объём экспериментов выполнялся в производственных условиях, где приоритетом была достоверность технологических закономерностей, а не статистическая развёрнутость выборки. Тем не менее, каждый экспериментальный пункт (в частности, по усталостной прочности и пористости) основан на сериях не менее трёх повторов, что обеспечивает воспроизводимость результатов с разбросом не более $\pm 5\%$.

Заключение

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу и отвечает требованиям, установленным пунктом 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого

постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (ред. от 16.10.2024), предъявляемым к докторским диссертациям.

На заседании 24 октября 2025 года диссертационный совет принял решение: за новые научно обоснованные технические и технологические решения получения бездефектных сложных сварных тонколистовых титановых конструкций летательных аппаратов, с учетом особенностей изготовления таких конструкций, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие авиационной промышленности Российской Федерации, присудить Бахматову Павлу Вячеславовичу учёную степень доктора технических наук по специальности 2.5.13 – «Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов».

При проведении тайного голосования в удаленном интерактивном режиме с использованием информационно-телекоммуникационных технологий диссертационный совет 24.2.316.02 в количестве 12 человек, из них 7 докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 13 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 11, против 0.

Председатель

диссертационного совета

Феокистов Сергей Иванович

Учёный секретарь

диссертационного совета

Потянихин Дмитрий Андреевич

24 октября 2025 г.