

ОТЗЫВ

официального оппонента Медведева Александра Юрьевича на диссертационную работу Бахматова Павла Вячеславовича «Научное обоснование технологических процессов, повышающих качество изготовления авиационных тонкостенных титановых конструкций», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.13 - Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов

Актуальность темы диссертации

Современное авиационное производство характеризуется высокими требованиями к качеству сварных соединений, особенно при работе с титаном - материалом, критичным с точки зрения свариваемости и чувствительности к технологическим нарушениям. Тонкостенные титановые конструкции широко применяются в агрегатах, находящихся под воздействием знакопеременных нагрузок, вибраций и тепловых полей, что предъявляет повышенные требования к отсутствию внутренних дефектов, прежде всего - пористости.

Несмотря на наличие развитой нормативной базы и отработанных практик, проблема стабильного получения беспористых соединений в условиях серийного производства остаётся актуальной. Особенно остро она стоит в условиях внедрения автоматизированных и роботизированных комплексов, где человеческий фактор минимизирован, а отклонения в подготовке или термокинетике могут накапливаться системно.

Работа Бахматова П.В. нацелена на решение именно этой проблемы - выявление причин дефектообразования и формирование научно обоснованных, технически реализуемых рекомендаций по их предотвращению. С учётом перехода отрасли на цифровые технологии и необходимость предсказуемости процессов на всех стадиях жизненного цикла изделия, тематика диссертации является несомненно актуальной и соответствует стратегическим приоритетам развития авиационной промышленности.

Структура работы

Диссертационная работа Бахматова П.В. представляет собой последовательное, методологически выверенное исследование, охватывающее весь цикл анализа, оптимизации и внедрения технологических процессов сварки тонкостенных титановых конструкций авиационного назначения. Работа построена логично, включает введение, шесть содержательных глав, заключение, список литературы и приложения.

Во введении автором обоснована научная проблема: противоречие между требованиями к надёжности сварных соединений из титановых сплавов и нестабильностью их получения в условиях реального производства. Сформулированы цель, задачи, научная новизна и практическая значимость работы, определены объект и предмет исследования.

Первая глава содержит обзор современных технологий сварки титановых сплавов, включая аргонодуговую сварку плавлением, электронно-лучевую, лазерную и гибридные процессы. Анализируются причины дефектообразования, особенности подготовки поверхностей, термокинетика сварки, а также недостатки существующих методов оценки качества шва. Выявлены недостатки нормативных подходов, ограничивающих предотвращение пористости только мерами визуального и рентгенографического контроля.

Вторая глава посвящена анализу влияния подготовки кромок и загрязнённости поверхностей на формирование газовых дефектов. Автором предложен информативный критерий - удельная водородная насыщенность поверхности, основанный на данных термодесорбционного анализа. Проведены исследования различных методов механической и химической подготовки кромок, оценено их влияние на содержание водорода и вероятность образования пор.

В третьей главе представлена обобщённая модель порообразования, учитывающая наличие трудноудаляемых загрязнений и их активацию в сварочной ванне. Модель подтверждена экспериментально и позволяет прогнозировать склонность к дефектообразованию в зависимости от предшествующей обработки и микропрофиля кромок. Здесь же рассматриваются технологические параметры, влияющие на термический режим сварки.

Четвёртая глава содержит экспериментальные исследования тепловых циклов сварки. Определены критические параметры температурного градиента, скорости охлаждения и ширины зоны термического влияния. Показано, что корректный подбор параметров позволяет избежать резкого роста остаточных напряжений и способствует формированию равнопрочной структуры. Результаты сопровождаются микроструктурным анализом.

Пятая глава посвящена методам термообработки и снижению остаточных деформаций. Автором предложена технологически простая схема низкотемпературного отжига в воздушной среде, показавшая эффективность при обработке панелей без использования защитной атмосферы. Отдельно рассмотрено влияние закрепления панелей при сварке и отжиге на геометрическую стабильность.

Шестая глава представляет собой завершающий этап исследования и включает оценку прочностных характеристик. Проведены статические и усталостные испытания как стандартных образцов, так и фрагментов реальных конструкций. Доказано, что при реализации разработанных технологических решений достигается существенное повышение долговечности сварных соединений.

В заключении подведены итоги, обобщены научные и практические результаты, сформулированы рекомендации по внедрению. Работа снабжена актами внедрения, методическими указаниями и иллюстративным материалом, подтверждающим применимость результатов на практике.

Таким образом, структура диссертации отражает поступательное развитие исследования - от постановки проблемы до подтвержденной промышленной реализации.

Научная новизна и основные результаты исследования

Диссертационная работа Бахматова П.В. содержит ряд положений, обладающих признаками научной новизны и представляющих самостоятельный вклад в развитие технологий сварки авиационных конструкций из титановых сплавов.

К числу основных научно новых результатов относятся:

1. Разработка физико-химической модели порообразования в сварных соединениях титановых сплавов, учитывающей остаточную загрязненность поверхности и капиллярные явления в микрорельефе кромок. Модель позволяет обосновать причины устойчивого дефектообразования при визуальном удовлетворительном качестве подготовки.

2. Введение критерия оценки технологической готовности соединяемых поверхностей - параметра водородной насыщенности, измеряемого методами термодесорбционного анализа. Это позволяет перейти от субъективной оценки чистоты поверхности к количественно верифицируемому диагностическому признаку.

3. Обоснование параметров термического цикла сварки, обеспечивающих формирование равнопрочной структуры и снижение остаточных напряжений в зоне шва. Экспериментально подтверждено влияние скорости охлаждения и режимов переноса тепла на структуру и дефектность шва.

4. Предложение практико-ориентированных решений по термообработке сварных панелей, в том числе применения низкотемпературного отжига в воздушной среде без использования дорогостоящих камер с инертной средой.

5. Установление взаимосвязи между режимами подготовки, сварки и усталостной прочностью, подтверждённой результатами испытаний на типовых образцах и образцах-имитаторах панелей авиационного назначения.

Совокупность этих результатов позволяет говорить о научно обоснованной системе повышения качества сварки титановых конструкций, ранее не представленной в комплексе в отечественной литературе.

Достоверность и обоснованность результатов и выводов диссертации

Достоверность полученных автором результатов подтверждается как широтой экспериментальной базы, так и корректностью применённых методов исследования и анализа.

В работе использованы современные методы контроля качества сварных соединений, включая: рентгенографию для обнаружения пор, металлографический и фрактографический анализ микроструктуры зоны шва и зоны термического влияния, измерения остаточных напряжений, термодесорбционный анализ содержания водорода на поверхности, механические и усталостные испытания образцов и фрагментов реальных конструкций.

Эксперименты проведены на широком наборе типоразмеров, применяемых в авиационной промышленности, с учётом стандартных условий производства. При этом тщательно зафиксированы исходные параметры, характеристики оборудования и условий проведения сварки, что обеспечивает воспроизводимость результатов.

Особо следует отметить, что ключевые положения диссертации проверены в условиях промышленной апробации на действующем авиастроительном предприятии (филиал ПАО «ОАК» - «КнААЗ им. Ю.А. Гагарина»), с оформленными актами внедрения. Это придаёт результатам не только лабораторную достоверность, но и прикладную устойчивость.

Выводы, сделанные автором, корректно соотносятся с полученными данными, логично обоснованы, не содержат необоснованных экстраполяций и укладываются в рамки решаемой задачи. Это позволяет утверждать, что научные положения и практические рекомендации, сформулированные в диссертации, являются обоснованными и надёжными.

Значимость полученных автором результатов диссертации для развития соответствующей отрасли науки

Результаты, представленные в диссертационной работе Бахматова П.В., имеют существенное значение для развития научно-технического направления, связанного с обеспечением качества сварных соединений в авиационном

производстве, в частности - при изготовлении тонкостенных титановых конструкций.

Предложенные научные положения:

- способствуют углублению понимания механизмов дефектообразования в сварных соединениях титана, включая капиллярную и диффузионную составляющие;

- расширяют научно-методическую базу оценки технологической готовности поверхностей путём использования измеряемых параметров (водородная насыщенность);

- формируют основу для разработки технологических процессов нового поколения, сочетающих требования к качеству, воспроизводимости и интеграции в цифровые среды проектирования и производства.

В отраслевом контексте диссертация представляет собой важный шаг к переводу технологии сварки из разряда эмпирически отработанных процессов в область научно управляемых, диагностически подконтрольных операций. Это особенно актуально в условиях автоматизации, импортнезависимости и внедрения цифровых двойников в авиастроении.

Научные результаты могут быть использованы не только для совершенствования существующих технологических процессов, но и при создании новых регламентов, технических условий, а также в учебных курсах и методических разработках для подготовки инженерных кадров в области производства ЛА.

Таким образом, вклад П.В. Бахматова имеет значение не только в рамках конкретного технологического участка, но и в более широком контексте развития прикладной науки о материалах и процессах авиационного производства.

Замечания по работе

Несмотря на высокое качество и завершённость представленного исследования, в работе имеются отдельные положения, которые могут быть уточнены или развиты в дальнейшем:

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.

Указанные замечания не снижают научной и прикладной значимости диссертационной работы и носят уточняющий характер. Их можно рассматривать как направления дальнейшего развития научного исследования.

Заключение

Диссертационная работа Бахматова Павла Вячеславовича на тему «Научное обоснование технологических процессов, повышающих качество изготовления авиационных тонкостенных титановых конструкций» посвящена решению актуальной, научно сложной и технически значимой задачи повышения надёжности и ресурса авиационных сварных конструкций из титана путём глубокой проработки механизмов порообразования, оптимизации подготовки соединяемых кромок и совершенствования режимов термического цикла сварки.

Исследование отличается:

- высокой степенью научной новизны, подтверждённой теоретическим обоснованием, оригинальными экспериментальными результатами и новым критерием оценки технологической готовности сварки;
- комплексностью охвата: от анализа физических причин дефектов до внедрения оптимизированных технологических процессов в реальное производство;
- глубокой прикладной значимостью, подтверждённой внедрением на производственной базе ведущего авиастроительного предприятия, актами внедрения, техническими протоколами;
- соответствием диссертации требованиям к докторскому уровню работ - как по масштабности и глубине исследования, так и по степени влияния полученных результатов на развитие отрасли.

Несмотря на ряд частных замечаний, работа представляет собой логически завершённое, самостоятельно выполненное научное исследование, вносящее существенный вклад в развитие технологий проектирования и производства авиационных конструкций из титановых сплавов, и может служить основой для дальнейших теоретических разработок, технологического

стандартизации и внедрения в смежных отраслях (космос, энергетика, судостроение).

На основании вышеизложенного, считаю, что диссертация соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а её автор Бахматов Павел Вячеславович, заслуживает присуждения учёной степени доктора 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 доктора технических наук и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент:

Доктор технических наук, доцент  Медведев Александр Юрьевич

Ученая степень: доктор технических наук;

Шифр научной специальности: 05.16.08 – Нанотехнологии и наноматериалы (металлургия и материаловедение);

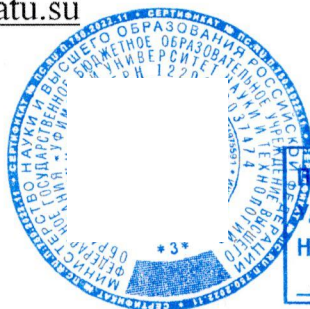
Ученое звание: доцент по кафедре оборудования и технологии сварочного производства;

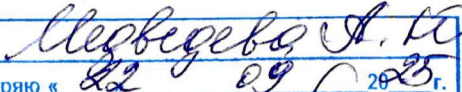
Должность: профессор кафедры сварочных, литейных и аддитивных технологий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий»;

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 
 достоверно « 22 09 2023 г.
 Начальник общего отдела УУНИТ
