

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке
Пермского национального
исследовательского политехнического
университета
доктор физико-математических наук,
доцент



Швейкин А.И.

«12» 04 2023 г.

Отзыв ведущей организации

на диссертационную работу Курашкина Сергея Олеговича на тему
«Модели и методы для автоматизации процесса электронно-лучевой сварки
тонкостенных деталей»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и
производствами

Актуальность

Диссертационная работа С.О. Курашкина посвящена повышению качества сварного соединения в процессе электронно-лучевой сварки для тонкостенных деталей за счет определения и установления требуемых технологических параметров процесса сварки в установившемся режиме и оптимизации скорости сварки и тока луча, где под качеством сварного соединения понимается обеспечение требуемых по технологии геометрических размеров сварного шва. Использование электронно-лучевой сварки при изготовлении ответственных деталей в аэрокосмической отрасли сопряжено с рядом сложностей.

Разработка новых методов и моделей для автоматизации процесса электронно-лучевой сварки тонкостенных деталей с последующей реализацией программного продукта и внедрением на производство предложенного подхода, позволит снизить количество дефектов, возникающих в процессе сварки, обеспечить повторяемость технологического процесса при ЭЛС, а также снизить материальные и трудовые затраты при отработке технологического процесса ЭЛС.

Таким образом, можно утверждать, что разработка новых методов и моделей для автоматизации процесса электронно-лучевой сварки тонкостенных конструкций является актуальной научно-технической задачей.

Научная новизна

1) Разработана новая математическая модель электронно-лучевой сварки для расчета распределения температуры на поверхности свариваемой детали в процессе электронно-лучевой сварки для тонкостенных деталей, основанная на уравнениях подвижных мгновенных источников энергии (точечного и линейного), учитывающая геометрические размеры изделия и технологические параметры процесса сварки, позволяющая с помощью траектории движения луча получать распределение температуры на поверхности свариваемой детали, обеспечивающее качество сварного соединения.

2) Разработана методика для оценки глубины провара и ширины сварного шва при электронно-лучевой сварке тонкостенных деталей, основанная на уравнениях быстро движущихся мгновенных источников энергии: точечного и линейного, отличающаяся тем, что она учитывает геометрические размеры и теплофизические параметры детали, а также технологические параметры процесса сварки, позволяющая получать стыковые соединения заданных геометрических размеров.

3) Разработан метод адаптивного управления скоростью сварки и током луча при электронно-лучевой сварке тонкостенных деталей в установившемся режиме, основанный на использовании аппарата теории тепловых процессов, отличающийся применением комплекса четырех источников нагрева, позволяющий стабилизировать подводимую энергию к зоне сварного соединения и снизить количество дефектов.

Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в разработке методик и модели находящих дальнейшее применение в теории сварочных процессов для объяснения механизма воздействия тепловых процессов при электронно-лучевой сварке для получения бездефектного соединения тонкостенных деталей.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в разработке автоматизированной системы управления электронно-лучевой сваркой, позволяющая использовать результаты исследования на предприятиях ракетно-космической отрасли, применяющих электронно-лучевую сварку, таких как АО «Информационные спутниковые системы им. М. Ф. Решетнева», г. Железногорск, АО «Красноярский машиностроительный завод», а также на предприятии по изготовлению электронно-лучевого оборудования ОАО «НИТИ «Прогресс», г. Ижевск.

Результаты использовались при изготовлении действующих макетов электронно-лучевого оборудования разработанного при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания № FEFE-2023-0004 «Адаптивные методы синтеза и управления проектированием компонентов сложных систем», в рамках проекта № 20-48-242917 выполненного при финансовой поддержке РФФИ, Правительства Красноярского края и Краевого фонда науки по теме

«Модели и методы управления процессом электронно-лучевой сварки тонкостенных конструкций, также в рамках стипендии Президента РФ молодым ученым и аспирантам, осуществляющим перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики, на 2022-2024 (приказ №38 от 20.01.2022) по теме «Разработка комплексной системы автоматизации электронно-лучевой сварки тонкостенных конструкций аэрокосмического назначения».

Значимость работы подтверждается актом о внедрении научных и практических результатов на АО «Информационные спутниковые системы им. М. Ф. Решетнева».

Соответствие требований к выполнению, оформлению и апробации диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы из 173 наименований и приложений. Текст работы изложен на 126 страницах, включая 56 рисунков и 8 таблиц. В приложении приведены свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ и акт о внедрении и использовании результатов.

Материал диссертации носит научно-обоснованный характер, соответствует предъявляемым требованиям, логически выверен и последовательно отражает суть выполненной работы.

По тематике опубликовано 21 печатная работа. Из них 7 публикаций в журналах, входящий в перечень ВАК, 14 работ опубликованы в материалах конференций, индексируемых Web of Science/Scopus. Получено 8 свидетельств о регистрации программ ЭВМ.

Научные положения, выводы и результаты диссертационной работы корректные и научно обоснованы. Библиографический список из 173 наименований определяет научную базу, которая была использована соискателем, и которую можно использовать как достаточную.

Диссертация и автореферат оформлены в соответствии с принятыми требованиями и нормами ГОСТ Р 7.0.11-2011. Автореферат адекватно и в полной мере отражает основные научные результаты и положения, сформулированные в тексте диссертации. Автореферат содержит 23 страницы текста.

Замечания по диссертационной работе

1. Из результатов исследования не следует, каким образом авторы экстраполируют полученные режимы при моделировании на реальное оборудование.
2. Параграф 3.2 больше напоминает руководство оператора, что слабо относится к научному исследованию.
3. Отсутствует обоснование выбора предложенной математической модели расчёта распределения температуры, предлагаемой в диссертационной работе. Не до

конца ясно, какие преимущества по отношению к известным моделям обеспечивает предложенная с введенными эффективными источниками Q4, Q3. В описании к рисунку 2.6 по разработанной математической модели непонятно, что подразумевается под симметриями одного источника по отношению к другому. В формуле 2.4 не понятно, какие значения коэффициент температуропроводности используются в слагаемых с фиктивными источниками.

4. В Главе 2.5 проводится «верификация» разработанной модели с результатами численных решений методом конечных элементов в средах (пакетах) COMSOL Multiphysics и ANSYS Discovery AIM. Верификация приведена только на качественном уровне. Отсутствует оценка адекватности с помощью общепринятых критериев. Не приведены общепринятые критерии, используемые при верификации (погрешность модели и тд).

5. На рисунке 2.35 представлен алгоритм управления ЭЛС, в котором присутствует блок оптимизации. Однако, отсутствует явное решение задачи оптимизации. Возможно, под оптимизацией подразумевался поиск требуемых параметров процесса сварки с применением критерия 2.6.

6. Непонятно использование понятия «тока коллектора вторичных электронов» (стр. 56 диссертационной работы) в рамках оценки тока электронного пучка, обеспечивающего ввод энергии в свариваемый металл, так как существенную долю вторично-эмиссионного потока составляют электроны с низкими значениями энергии, не участвующие в формировании теплового баланса в зоне формирования сварного соединения.

7. Также непонятно, как формула 2.15, описывающая величину тока электронного пучка, может содержать ток пучка в качестве одного из сомножителей.

Заключение

Отмеченные недостатки не снижают научной значимости и не влияют на общую положительную оценку диссертации в целом. Диссертационная работа Курашкина Сергея Олеговича выполнена на высоком научном уровне и является завершенной научно-квалификационной работой, а автором получен ряд новых результатов, представляющих интерес для автоматизации управления процессом электронно-лучевой сварки.

Диссертационная работа Курашкина С.О. является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, содержащей новые научные результаты, имеющие широкие перспективы практического применения на предприятиях ракетно-космической отрасли. Автореферат полностью отражает содержание диссертации. В целом, Диссертация четко структурирована, цель и задачи полностью соответствуют полученным научным результатам. Выводы достаточно обоснованы.

Диссертационная работа «Модели и методы для автоматизации процесса электронно-лучевой сварки тонкостенных деталей» соответствует паспорту специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами и отвечает требованиям пп. 1, 12-13 и 15 «Положение о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Автор диссертационной работы Курашкин Сергей Олегович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Диссертация и отзыв были обсуждены и одобрены на заседании кафедры «Сварочное производство, метрология и технология материалов» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (протокол № 1 от 12.09, 2023 г.).

Отзыв на диссертацию и автореферат подготовил профессор кафедры СПМТМ ПНИПУ д.т.н. Трушников Дмитрий Николаевич.

Заведующий кафедрой «Сварочное производство,
метрология и технология материалов»
д-р техн. наук, профессор

Щицын Юрий Дмитриевич

Профессор кафедры «Сварочное производство,
метрология и технология материалов»
д-р техн. наук, профессор

Трушников Дмитрий Николаевич

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Адрес организации:

614990, Пермский край, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29

Телефон: +7 (342) 239-12-83 E-mail: science@pstu.ru