

ОТЗЫВ

официального оппонента Царева Романа Юрьевича
на диссертацию Курашкина Сергея Олеговича
на тему «Модели и методы для автоматизации процесса электронно-лучевой
сварки тонкостенных деталей», представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности 2.3.3 – Автоматизация и
управление технологическими процессами и производствами

Актуальность темы: В работе С.О. Курашкина рассматривается решение задачи разработки модели и методов для автоматизации процесса электронно-лучевой сварки тонкостенных деталей. Широкое применение электронно-лучевая сварка получила для тонкостенных изделий. На сегодняшний день тонкостенные конструкции (толщина которых составляет до 2 мм) широко используются в аэрокосмической технике, судостроении, приборостроении и промышленном строительстве. Для создания неразъемных соединений зачастую на производстве используется электронно-лучевая сварка (ЭЛС). Существует проблема, заключающаяся в неизвестности оптимальных режимов сварки для тонкостенных деталей при ЭЛС в установившемся режиме при вводе новых деталей. Соединение тонкостенных деталей требует равномерности зоны нагрева стыка свариваемых деталей, так как при неравномерности их нагрева возникают дефекты сварных соединений. Требуемые параметры технологического процесса сварки обычно подбираются при помощи натурных экспериментов. Однако, проведения натурных экспериментов является материально затратным и требует большого количества времени. 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, разработка новых методов и моделей для автоматизации процесса электронно-лучевой сварки тонкостенных конструкций является актуальной научно-технической задачей.

Цель диссертационной работы состоит в повышении 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.

Общая характеристика работы: Диссертационная работа включает введение, три главы, заключение, список литературы из 173 наименований и приложения. Текст работы изложен на 126 страницах, включая 56 рисунков и 8 таблиц.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулирована цель и поставлены задачи исследования, изучена степень разработанности тема, представлены методы исследования, рассмотрены вопросы научной новизны и

практической значимости проведенных исследований, изложены основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена анализу моделей и методов для автоматизированного управления ЭЛС. Выполнен анализ современных подходов к решению задачи управления и моделирования процесса ЭЛС. Приводится описание методов моделирования тепловых процессов при ЭЛС.

Вторая глава посвящена разработке математической модели для расчета распределения температуры на поверхности свариваемых деталей в процессе электронно-лучевой сварки тонкостенных конструкций. В данной главе на основе теории сварочных процессов, а также применяя метод наложения была разработана математическая модель электронно-лучевой сварки для расчета распределения температуры в установившемся режиме в процессе ЭЛС для тонкостенных конструкций. На основе данной модели был предложен критерий оптимальности для нахождения требуемых технологических параметров процесса ЭЛС. В результате представлена блок-схема алгоритма поиска требуемых технологических параметров процесса сварки. Была разработана методика для оценки глубины провара и ширины сварного шва при ЭЛС тонкостенных деталей в установившемся режиме позволяющая осуществлять оценку концентрации энергии в зоне сварного соединения учитывая геометрические размеры детали, технологические параметры сварки и теплофизические параметры. Результаты исследования показывают адекватность распределения энергии, разработанной математической модели, а также соотносятся с теплофизическими особенностями изучаемых материалов. Такая модель позволяет проводить исследования по оценке влияния технологических параметров процесса электронно-лучевой сварки на интенсивность нагрева зоны вблизи и также непосредственно в зоне сварного шва. Для процесса ЭЛС был разработан метод адаптивного управления скоростью сварки и током луча при электронно-лучевой сварке тонкостенных деталей в установившемся режиме позволяющий стабилизировать подводимую энергию к зоне сварного соединения и снизить количество дефектов. На практике применение предложенного в исследовании подхода позволит существенно снизить трудовые и материальные затраты на отработку технологического процесса ЭЛС тонкостенных деталей аэрокосмического назначения как при коррекции существующих процессов, так и при вводе в производство новых типоразмеров и материалов изделий.

В главе три разрабатывается макет автоматизированной системы управления ЭЛС, а также приводятся результаты натурных экспериментов для верификации разработанного макета автоматизированной системы управления (АСУ) ЭЛС и полученных режимов в результате моделирования. Применение разработанных методик и модели позволяет устранить воздействие неустойчивости скорости сварки на качество сварного шва изменением тока луча, а также компенсировать недостаток энергии в процессе ЭЛС при напылении на катодный узел путем увеличения тока на катодном узле или изменением скорости сварки. Данные недостатки выражаются неустойчивыми геометрическими размерами сварных швов. Применение разработанной АСУ ЭЛС, а также разработанных методик и модели позволяет получать требуемое распределение

температуры на поверхности свариваемой детали, снизить количество дефектов в зоне сварного соединения и получать стыковые соединения заданных геометрических размеров.

Основные результаты и выводы работы достаточно полно и всесторонне обоснованы. В целом работа производит хорошее впечатление, ее результаты можно трактовать как новое решение научно-технической задачи, имеющей существенное значение для автоматизации электронно-лучевой сварки. Автор грамотно подошел к построению новой математической модели и численных методов, успешно реализовал предлагаемые алгоритмы в виде программной системы.

Материал работы логически структурирован, последовательность изложения материала создает целостное представление о содержании проводимого исследования.

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 соответствует специальности 2.3.3 - «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

Научная новизна работы:

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 быстродвижущихся 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.

Практическая значимость: 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». Разработанная автоматизированная система управления электронно-лучевой сваркой может использоваться 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. Подтверждается актом о внедрении научных и практических результатов на АО «Информационные спутниковые системы им. М. Ф. Решетнева».

Замечания по диссертационной работе:

1. В алгоритмах, показанных на рисунке 2.7 и рисунке 2.35, вводится параметр b (коэффициент теплопередачи), но в математической модели (2.4) данный параметр отсутствует.
2. Не понятно, как соотносится мощность Q на рисунке 4 с введенными при расчете математической модели источниками $Q_1 - Q_4$.
3. В тексте диссертации рисунки 2.32 и 2.33 (стр. 60-61) малоинформативны. Не понятно, что автор хотел показать, рисунок 2.33 требует дальнейшей декомпозиции

Заключение. Диссертационная работа Курашкина С.О. направлена на исследование процесса электронно-лучевой сварки тонкостенных деталей. В процессе исследования разработана математическая модель для расчета распределения температуры на поверхности свариваемых тонкостенных деталей в процессе ЭЛС. Разработана методика оценки глубины провара и ширины сварного шва, что позволяет получить стыковые соединения заданных геометрических размеров и подобрать соответствующие режимы сварки для достижения данных геометрических параметров. Также автором разработан метод адаптивного управления скоростью сварки и током луча. Разработанная автоматизированная система управления электронно-лучевой сваркой позволяет проводить сварку тонкостенных деталей при подобранных оптимальных режимах технологического процесса и обеспечить повторяемость процесса и качество сварного соединения при заданных геометрических параметрах шва.

Высказанные замечания не снижают высокого уровня проведенной соискателем работы, из чего следует, что диссертационная работа Курашкина Сергея Олеговича «Модели и методы для автоматизации процесса электронно-лучевой сварки тонкостенных деталей» является завершенной научно-квалификационной работой. Полученные автором результаты являются достаточно новыми, обоснованными и достоверными.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации. Оформление автореферата и диссертации соответствует требованиям ВАК РФ.

Несмотря на приведенные замечания, диссертация Курашкина С.О. является законченной научно-технической работой, соответствует требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор Курашкин Сергей Олегович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Официальный оппонент, доцент
доцент кафедры прикладной математики
ФГБОУ ВО «МИРЭА - Российский технологический университет»
кандидат технических наук

Роман Юрьевич Царев

« 04 » сентября 20 23 г.

Адрес организации:
119454 г. Москва, проспект Вернадского, дом 78
ФГБОУ ВО «МИРЭА - Российский технологический университет»
тел. +7 499 600-80-80 доб. 20563
E-mail: tsarev.sfu@mail.ru

Подпись руки

удостоверен

Начальник Управления ка

М. Буханова



