

ОТЗЫВ

официального оппонента Лившица Александра Валерьевича
на диссертацию Тынченко Вадима Сергеевича
на тему «Модели и методы управления процессами создания неразъемных
соединений на предприятиях ракетно-космической отрасли»,
по специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами
на соискание ученой степени доктора технических наук

Актуальность темы диссертационного исследования.

Актуальность темы диссертации связана с высокой интенсивностью использования высокотехнологичных методов формирования неразъемных соединений, в частности, на предприятиях ракетно-космической отрасли (РКО). Использование таких высокотехнологичных методов формирования неразъемных соединений, как электронно-лучевая сварка (ЭЛС), диффузионная сварка и индукционная пайка, связано с потребностью обеспечения потребного объема и качества изделий, необходимых для создания современных космических аппаратов. Однако само по себе применение указанных выше методов формирования неразъемных соединений без уделения значительного внимания управлению технологическими процессами не позволяет гарантированно, экономически эффективно получать высококачественные изделия в условиях вариативности номенклатуры изделий и их конструктивно-технологической сложности. Для обеспечения соответствия изделий (в части сформированных неразъемных соединений) техническим требованиям, а также для обеспечения ресурсной и временной эффективности процессов, необходимо создание комплекса научно-технических решений, обеспечивающих оптимальное, модельно-подкрепленное ведение процессов в автоматизированном режиме. Это позволит снизить влияние человеческого фактора и обеспечить управление технологическими процессами в соответствии с наилучшим приближением к обоснованным траекториям, тем самым обеспечивая повышение эффективности производства в целом. Таким образом, создание новых методик, моделей, алгоритмов и способов автоматизации и управления процессами формирования неразъемных соединений, обеспечивающих комплексирование современных перспективных подходов в целях создания адаптивных производственных линий на предприятиях ракетно-космической отрасли с широкой областью применимости является весьма актуальной задачей.

Общая методология исследования.

При выполнении работы использовался аппарат системного анализа и машинного обучения, теории тепловых процессов в части теории сварочных процессов, теории оптимизации, теории алгоритмизации, теории автоматического управления, теории вероятностей и математической статистики, методология создания прикладных программных систем, включая прикладные интеллектуальные системы. Для решения поставленных задач оптимизации применен гибридный многокритериальный эволюционный алгоритм.

Внутреннее единство и структура работы.

Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 388 наименований и приложений. Текст работы изложен на 394 страницах, включая 246 рисунков и 38 таблиц.

Во введении обоснована актуальность исследования; поставлена цель, сформулированы задачи исследования; сформулирована научная новизна, практическая значимость и защищаемые положения; описана апробация результатов исследования на научных конференциях; приведена информация о грантах, государственных субсидиях и хозяйственных договорах, в рамках которых были получены представляемые результаты.

Первая глава работы посвящена анализу методов и средств управления процессами создания неразъемных соединений на предприятиях РКО. В данной главе рассматривается ЭЛС тонкостенных конструкций, автоматизированная индукционная пайка при производстве волноводных трактов космических аппаратов, а также диффузионная сварка ответственных изделий. Кроме того, затрагиваются вопросы разработки цифровых двойников процессов создания неразъемных соединений, а также формируется методология управления такими технологическими процессами.

Во второй главе на основе теории тепловых процессов предлагаются новые модели распределения энергии в процессе индукционной пайки как для отдельных элементов волноводов (труба, фланец, муфта), так и для волноводной сборки в целом; модели распределения энергии в пятне нагрева в процессе ЭЛС для этапов ввода электронного луча в месте начала сварки и его вывода в месте окончания сварки.

Третья глава работы посвящена оптимизации процессов создания неразъемных соединений тонкостенных конструкций. В данной главе предлагаются постановки задач оптимизации управления режимами индукционной пайки и оптимизации этапов ввода и вывода луча при ЭЛС.

Четвертая глава диссертации посвящена разработке семейства алгоритмов одно-, двухконтурного и оптимального управления индукционной пайкой, а также алгоритма управления с оптимизацией этапов ввода и вывода электронного луча для процесса ЭЛС.

Пятая глава работы посвящена практической реализации компьютерного управления процессами создания неразъемных соединений тонкостенных конструкций. Описывается комплекс программных решений, позволяющих повысить эффективность управления процессами ЭЛС, индукционной пайки и диффузионной сварки.

В заключении диссертации обобщаются результаты, полученные в ходе исследования, делаются выводы по применимости результатов диссертационного исследования на предприятиях РКО, а также намечаются дальнейшие пути продолжения исследований по теме диссертации.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций.

Цель исследования отражает тематику диссертационной работы, и достигнута автором. Поставленные и решенные задачи соответствуют цели исследования, а

их последовательность и реализация в комплексе определяют актуальность и научность тематики работы.

Результаты, полученные автором, являются новыми научными знаниями, достоверность которых обеспечивается использованием современных средств и методик проведения исследований, согласованностью теории и результатов экспериментальных исследований; корректным использованием основных положений аппарата системного анализа и машинного обучения, теории тепловых процессов в части теории сварочных процессов, теории оптимизации, теории алгоритмизации, теории автоматического управления, теории вероятностей и математической статистики, методология создания прикладных программных систем, включая прикладные интеллектуальные системы.

Основные результаты диссертации.

Наиболее значимыми результатами диссертации следует признать:

1. Выполненный анализ методов и средств управления технологическими процессами создания неразъемных соединений на предприятиях ракетно-космической отрасли и предложенную по результатам указанного анализа новую методологию управления, построенную на основе применения цифровых двойников таких процессов.
2. Разработанный комплекс математических моделей, включающий в себя модели для оценки распределения температуры по поверхности элементов паяемых конструкций и эффективности технологического процесса индукционной пайки.
3. Разработанные модели режимов ввода и вывода луча в процессе электронно-лучевой сварки тонкостенных конструкций.
4. Разработанные модели оптимизации управления индукционной пайкой и электронно-лучевой сваркой, использование которых при управлении процессами позволяет уменьшить тепловложения в околошовную зону.
5. Разработанные алгоритмы одноконтурного, двухконтурного и оптимального управления технологическим процессом индукционной пайки.
6. Комплекс программ компьютерного управления, реализующих разработанные модели и алгоритмы управления технологическими процессами индукционной пайки, электронно-лучевой и диффузионной сварки, обеспечивающих автоматизацию выполнения таких технологических процессов.

Результаты выполненных в ходе диссертационного исследования натурных и вычислительных экспериментов, связанных с внедрением и применением комплекса разработанных моделей, методов и алгоритмов в составе средств автоматизации рассматриваемых технологических процессов формирования неразъемных соединений, свидетельствуют о значимом повышении качества управления, в том числе, в соответствии с установленными критериями перерегулирования, отклонения от желаемых траекторий, рассогласования температур элементов изделия и критерием успешности выполнения технологического процесса (в смысле успешного прохождения контроля качества).

Таким образом, результаты, полученные в ходе диссертационного исследования, считаю имеющими существенное значение, вносящими вклад в развитие науки в области автоматизации и управления технологическими процессами. Практи-

тическая значимость результатов исследования подтверждается эффективностью применения на предприятиях ракетно-космической отрасли.

Научная новизна.

Новыми научными результатами, полученными автором, являются:

1. Новая методология построения систем управления технологическими процессами создания неразъемных соединений, основанная на использовании цифровых двойников процессов индукционной пайки и электронно-лучевой сварки.

2. Новые модели технологических процессов создания неразъемных соединений, построенные на основе теории тепловых процессов, отличающиеся от известных учетом геометрических и теплофизических характеристик соединяемых конструкций, позволяющие осуществлять оценку распределения энергии в объеме производимых изделий для повышения качества управления.

3. Новые многокритериальные постановки задач оптимального управления технологическими процессами создания неразъемных соединений тонкостенных конструкций, отличающиеся от известных учетом распределения энергии в объеме элементов нагреваемых конструкций, позволяющие повысить качество управления.

4. Новый способ пайки волноводных трактов, основанный на двухконтурном управлении, отличающийся от известных тем, что контроль и программное управление температурой нагрева элементов паяемого соединения осуществляется за счет управления мощностью индукционного генератора и изменения расстояния от индуктора до волновода.

5. Разработан новый способ ввода и вывода электронного луча в процессе электронно-лучевой сварки тонкостенных конструкций, отличающийся от известных учетом геометрических и теплофизических характеристик свариваемых деталей.

6. Разработан комплекс алгоритмических решений, включающий в себя методы одно- и двухконтурного регулирования, управления на основе предварительно сформированных оптимальных траекторий для процесса индукционной пайки, позволяющий гарантированно проводить технологический процесс при различных вариантах компоновки производственного оборудования и вычислительных ресурсов предприятия ракетно-космической отрасли.

Теоретическая и практическая значимость.

Основные результаты диссертации свидетельствуют об их теоретической и практической значимости.

Предложенные математические модели технологических процессов создания неразъемных соединений тонкостенных конструкций, а также разработанные многокритериальные модели оптимизации управления позволяют проводить исследования в области создания эффективных технологических комплексов и проектировать автоматизированные системы для индукционной пайки и электронно-лучевой сварки ответственных деталей. Разработанные алгоритмы могут быть востребованы в процессе теоретических разработок при переходе к передовым цифровым технологиям в рамках направления Индустрии 4.0, применяемым при создании ответственных деталей. Результаты исследования могут быть использованы для развития подходов к управлению технологическими процессами создания неразъем-

ных соединений ответственных деталей тонкостенных конструкций на предприятиях РКО.

Разработанные программные системы, реализующие управление технологическими процессами создания неразъемных соединений тонкостенных конструкций, внедрены на предприятии АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева» (АО «ИСС») и участвуют в создании соединений ответственных изделий при производстве спутников.

Соответствие содержания диссертации содержанию и качеству опубликованных работ.

По теме диссертации автором опубликовано 85 печатных работ, из них 25 статей в рецензируемых научных изданиях, входящих в Перечень ВАК, 7 статей в журналах Q1/Q2 Web of Science и/или Scopus, 1 монография. В указанных публикациях материалы диссертации отражены достаточно полно.

При выполнении диссертационного исследования получено 20 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ, 1 патент на изобретение.

В автореферате представлены наиболее значимые публикации в количестве 60 работ.

Замечания

1. В формуле (2.1) представляется некорректным использование одного и того же обозначения t в качестве верхнего предела интегрирования и переменной интегрирования либо требуется дополнительное разъяснение.

2. Не ясно, по какой причине автор приводит схему на рисунке 2.31 на английском языке, поясняя при этом лишь часть используемых англоязычных терминов и обозначений. В целом, не прояснено, каким образом поясняемые подходы в спецификации для задачи классификации, соотносятся с задачами и областью диссертационного исследования.

3. В главе 4 на рисунке 4.1 представлена структурная схема одноконтурной системы управления, в соответствии с которой, на вход регулятора мощности индукционного генератора подается рассогласование $e(t)$ между значением скорости нагрева по программе нагрева и скоростью нагрева изделия. Однако на рисунке 4.3, где представлен детализированный алгоритм одноконтурного управления процессом пайки, где значение рассогласования $e(t)$ не используется ни в каком виде. Представленный алгоритм слабо согласуется с принципом работы стандартного пропорционального регулятора, так как в изменение управляющей величины не рассчитывается пропорциональным рассогласованию (отклонению). Таким образом автором wrongly трактуется стандартное представление о пропорциональном регуляторе и принципе его использования.

4. На представленном в главе 4 на стр. 173 рисунке 4.3, описывающем алгоритм одноконтурного управления из приведенных далее пояснений не ясно: является ли требуемая скорость нагрева постоянной величиной, либо в соответствии с ранее рассмотренными моделями может изменяться, но тогда на схеме алгоритма нет соответствующего входа, параметра по времени процесса. Из этой же схемы и пояснения не ясно, почему управление осуществляется без задания допуска по отклонению температуры $T_{\text{упр}}[i]$ от $T_{\text{уст}}$, с учетом погрешности используемых средств

измерения. При этом изменение уставки даже при малейшем отклонении реализуется с шагом 0,1В.

5. Автореферат диссертации, на мой взгляд, неоправданно большого объема в т.ч. за счет большого количества табличных данных.

Указанные замечания не являются принципиальными с точки зрения корректности подходов, практической и теоретической значимости полученных результатов диссертации и не снижают общего положительного впечатления о представленной диссертации.

Общее заключение по диссертации.

Текст диссертации свидетельствует о глубокой проработке темы и направления диссертационного исследования. Содержание диссертации тематически и методологически выверено, представлено в строго логически корректном изложении.

Диссертация Тынченко Вадима Сергеевича соответствует специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, имеет внутреннее единство и является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных лично автором исследований изложены научно обоснованные технологические решения в области автоматизации и управления технологическими процессами формирования неразъемных соединений, обеспечивающие стабильно высокое качество выполнения таких процессов на предприятиях ракетно-космической отрасли, что имеет существенное значение для экономики и технологического развития страны.

Диссертация соответствует критериям пп. 9, 10, 11, 13, 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842), а ее автор Тынченко Вадим Сергеевич достоин присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Заведующий кафедрой
«Автоматизация производственных процессов»
ФГБОУ ВО «Иркутский государственный
университет путей сообщения»
доктор технических наук, профессор

Александр Валерьевич Лившиц

« 8 » 10 2023 г.

Адрес: 664074, Сибирский федеральный округ, Иркутская область, г. Иркутск,
ул. Чернышевского, д. 15.
ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО «ИрГУПС»)

Тел.: +7950-08-130-33
E-mail: livnet@list.ru

