

Отзыв официального оппонента
на диссертацию Бочаровой Олеси Андреевны
«Автоматизированная система управления процессом индукционной пайки»
на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами

Актуальность темы диссертационного исследования.

Индукционная пайка изделий зарекомендовала себя как результативный метод создания неразъемных соединений, способный решать поставленные перед промышленностью задачи по снижению трудоемкости процессов, повышению их производительности и качества продукции.

Индукционная пайка может применяться для соединения широкого диапазона металлов. При этом данный технологический процесс идеально подходит для соединения металлов с разной температурой плавления.

Индукционная пайка обеспечивает высокую скорость и локальность нагрева, а также дает возможность гибкого управления режимом нагрева.

Монтажная пайка трубопроводов токами высокой частоты, в основном, получила своё применение в стратегических отраслях машиностроения, таких как авиационная, ракетостроение, судостроение, военной техники, где требуется высокая надежность соединения и невозможно применить другой тип соединения ввиду ограниченного пространства. Также индукционная пайка применяется для соединения волноводных трактов космических аппаратов. Процесс индукционной пайки волноводных трактов и трубопроводов усложняется наличием ряда внешних факторов, среди которых низкая степень повторяемости неавтоматизированного, ручного процесса пайки, сложность, а порой и невозможность, визуального контроля нагрева деталей, искажение электромагнитного поля индуктора, вследствие взаимодействия его с различными проводящими телами, находящимися вблизи зоны пайки, влияние человеческого фактора. Совокупность этих и других факторов приводит к образованию бракованных соединений, подлежащих переделке (до 40%) и неисправимых дефектов, не подлежащих исправлению (до 5 %). Для снижения влияния указанных особенностей индукционной пайки и повышения качества паяных соединений ответственных деталей необходимо автоматизировать процесс управления индукционной пайки. Таким образом, **актуальность диссертационной работы** Бочаровой Олеси Андреевны не вызывает сомнений.

Общая методология и методика исследования.

Автором диссертационной работы на основе литературного анализа определены цели и задачи, предмет и объект исследования. Проведен анализ применения различного оборудования, систем измерения для автоматизации индукционной пайки. Выявлены основные параметры, по которым осуществляется контроль и управление индукционной пайкой. Проведен обзор основных направлений и подходов при моделировании индукционной пайки. Разработана математическая модель индукционного нагрева элементов волноводной сборки и трубопроводов, позволяющая более точно рассчитывать и имитировать технологические параметры процесса индукционной пайки для повышения каче-

ства паяных соединений. Разработана двухконтурная автоматизированная система управления индукционной пайкой. На основании моделирования данной системы разработаны алгоритмы управления скоростью нагрева и положением детали относительно индуктора. На экспериментальной двухконтурной системе управления индукционной пайкой проведены исследования процесса пайки волноводных соединений и трубопроводов, в результате которых подтверждены теоретические выкладки. Также экспериментальные исследования подтверждают повышение качества паяных соединений элементов волноводных трактов и трубопроводов.

Внутреннее единство и структура работы.

Диссертационная работа изложена на 132 страницах машинописного текста, содержит 85 рисунков, 9 таблиц. Работа состоит из введения, 4 глав, заключения, библиографического списка из 118 наименований.

Во введении представлена общая характеристика проблемы, обоснована актуальность темы, определены цель и задачи работы, отражены новизна и практическая ценность научных результатов, основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрено современное состояние вопросов и проблем автоматизации индукционной пайки в промышленности. Проведен анализ применения различного оборудования, систем измерения для автоматизации индукционной пайки. Выявлены основные параметры, по которым осуществляется контроль и управление индукционной пайкой. Также показаны методы контроля качества паяных соединений, полученных при индукционной пайке. Проведен обзор основных направлений и подходов при моделировании индукционной пайки. Проведенные исследования выявили необходимость повышения степени автоматизации процесса индукционной пайки деталей, необходимость разработки систем автоматизации, основанных на использовании современных средств измерения и новых алгоритмах управления. Отмечается, что наиболее часто процесс управления основан на контроле температуры деталей, а также на точном позиционировании детали относительно индуктора.

Вторая глава посвящена исследованию электротермических процессов, протекающих при индукционном нагреве отдельных структурных элементов волноводного тракта и трубопровода. Дано физическое и математическое описание явлений, происходящих в системах индукционного нагрева.

В третьей главе описана экспериментальная двухконтурная система автоматизированного управления процессом индукционной пайки. Разработана модель двухконтурной автоматизированной системы управления процессом индукционной пайки, основанная на применении пирометрического контроля температуры элементов паяного соединения и управлении мощностью генератора, и позиционированием заготовки, позволяющая максимально приблизить зону нагрева деталей к индуктору и вести технологический процесс по заданным требованиям, повышающая качество паяных соединений. В ходе моделирования работы двухконтурной системы управления разработаны алгоритмы управления скоростью нагрева и положением детали относительно индуктора, позволяющие эффективно перераспределять энергию индукционного нагрева в системе «индуктор – деталь».

В четвертой главе проведено исследование индукционного нагрева элементов волноводной сборки и трубопроводов. Определены технологические параметры индукционного нагрева.

В заключении изложены основные выводы и результаты работы.

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 положения теории электромагнитных и тепловых полей, методов теории автоматического регулирования и управления.

Автором проведен анализ современного состояния в области автоматизации процесса индукционной пайки. Проведен обзор основных направлений и подходов при моделировании индукционной пайки. Также показаны методы контроля качества паяных соединений, полученных при индукционной пайке. Список использованной литературы состоит из 118 работ отечественных и зарубежных авторов

Результаты работы автора подтверждены созданием экспериментальной двухконтурной системы автоматизированного управления процессом индукционной пайки, на которой реализованы разработанные алгоритмы управления, а также проведены экспериментальные исследования процесса, подтверждающие теоретические выкладки исследования.

Научная новизна полученных результатов.

1. Разработана новая математическая модель индукционного нагрева элементов волноводной сборки из фланцев и трубопроводов, учитывающая конструкцию и размеры волноводов и трубопроводов, физические параметры материалов, начальные и граничные условия процесса, а также неравномерное распределение плотности вихревого тока в системе, позволяющая более точно рассчитывать и имитировать технологические параметры процесса индукционной пайки для повышения качества паяных соединений.

2. Предложены новые алгоритмы управления скоростью нагрева и положением детали относительно индуктора, позволяющие эффективно перераспределять энергию индукционного нагрева в системе «индуктор – деталь», отличающиеся от известных тем, что в процессе достижения необходимой температуры деталей и получения паяного соединения управление производится одновременно изменением мощности генератора и положения деталей относительно индуктора.

3. Разработана новая модель двухконтурной автоматизированной системы управления процессом индукционной пайки, основанная на применении пирометрического контроля температуры элементов паяного соединения и управле-

нии мощностью генератора и позиционированием заготовки, позволяющая максимально приблизить зону нагрева деталей к индуктору и вести технологический процесс по заданным требованиям.

Теоретическая и практическая значимость.

Основные результаты диссертации свидетельствуют об их важности, как в теоретической, так и практической плоскости.

Предложенная математическая модель индукционного нагрева, а также результаты моделирования электротермических процессов протекающих при индукционной пайке волноводных трактов и трубопроводов позволяют проводить исследования в области создания эффективных технологических комплексов и проектировать автоматизированные системы для индукционной пайки ответственных деталей. Полученная модель индукционного нагрева может быть востребована при переходе к передовым цифровым технологиям и интеллектуальным производственным технологиям.

Результаты работы использованы при разработке двухконтурной системы автоматизированного управления индукционной пайкой. Данная система использовалась в научных исследованиях и при отработке технологии индукционной пайки волноводных трактов различных типоразмеров.

Немаловажно отметить, что работа проводилась в рамках грантов РФФИ совместно с Красноярским краевым фондом поддержки научной и научно-технической деятельности №16-48-242029 по теме «Математическое и физическое моделирование процессов, происходящих при индукционной пайке элементов волноводных трактов», №18-48-242006 по теме «Математическое и физическое моделирование процессов, происходящих при индукционной пайке трубопроводов в защитных средах».

Соответствие содержания диссертации содержанию и качеству опубликованных работ.

Основные результаты диссертационного исследования, опубликованы автором в 21 научной работе. Две из них представлены в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК, десять статей, в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования Web of Science и/или Scopus. Автором получено 1 свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ по тематике диссертации. Также результаты исследования изложены в одной монографии.

Основные положения были доложены и обсуждены на шести международных и одной всероссийской конференциях.

Содержание опубликованного материала соответствует направлению научных исследований, изложенному в тексте диссертационной работы.

Соответствие темы диссертационной работы заявленной научной специальности

Тема диссертационной работы Бочаровой Олеси Андреевны «Автоматизированная система управления процессом индукционной пайки» соответствует шифру специальности 2.3.3 и охватывает следующие области исследований, входящие в специальность:

1. Автоматизация производства заготовок, изготовления деталей и сборки.

3. Методология, научные основы и формализованные методы построения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) и производствами (АСУП), а также технической подготовкой производства (АСТПП) и т.д.

4. Теоретические основы и методы математического моделирования организационно-технологических систем и комплексов, функциональных задач и объектов управления и их алгоритмизация.

6. Научные основы, модели и методы идентификации производственных процессов, комплексов и интегрированных систем управления.

Замечания по работе.

1. Вызывают вопросы результаты расчетов с использованием математической модели, представленной в параграфе 2.2, в т.ч.

- без рассмотрения в тексте диссертации осталось определение коэффициента теплообмена b , температуры окружающей среды $T_{ср}$;

- в диссертации отсутствует анализ сходимости, устойчивости и адекватности представленной модели, в т.ч. не говорится о пороговых значениях шага сетки и времени, используемых для расчета разностной модели индукционной пайки;

- в качестве применяемых условий однозначности указано, что, с одной стороны вихревые токи протекают по поверхности детали, с другой, что их плотность распределена неравномерно из-за формы детали и расположения индуктора. Однако геометрические условия, характеризующие форму и размеры тела, в котором протекает процесс теплообмена не определены. В результате не понятно, результаты расчета чего представлены на рис. 2.3.

2. В работе не показаны общие алгоритмы работы двухконтурной автоматизированной системы управления процессом индукционной пайки. При этом необходимо отметить найденное решение, позволяющее существенно снизить взаимное влияние контуров (стр.75).

3. В предоставленной соискателем ученой степени напечатанном экземпляре диссертации большое количество подрисовочных надписей описывают графики, ссылаясь на их цвета (рис. 3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 4.3, 4.4, 4.6 и т.д), при этом диссертационный труд издан в черно-белом исполнении.

Указанные замечания, в целом, не снижают ценность полученных результатов и общего положительного впечатления о выполненной работе. Диссертационная работа Бочаровой О.А. является самостоятельной, оригинальной и имеет значение для дальнейшего развития технологий индукционной пайки волноводных трактов и трубопроводов.

Заключение по работе.

Диссертация Бочаровой Олеси Андреевны «Автоматизированная система управления процессом индукционной пайки», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложена новая научно-обоснованная

техническая разработка автоматизированной системы управления процессом индукционной пайки, имеющей значение для развития знаний в области автоматизации и управления технологическими процессами пайки ответственных деталей.

По объему и научному уровню полученных результатов диссертационная работа удовлетворяет требованиям ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертационной работы.

Считаю, что диссертационная работа удовлетворяет критериям пп. 9, 10, 11, 13, 14, изложенным в постановлении Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842 «О порядке присуждения ученых степеней», которым должны отвечать диссертации на соискание ученых степеней, а ее автор – Бочарова Олеся Андреевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Доктор технических наук,
профессор

Лившиц Александр Валерьевич



Официальный оппонент: Лившиц Александр Валерьевич, заведующий кафедрой «Автоматизация производственных процессов» ФВГОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения».

664074, Сибирский федеральный округ, Иркутская область, г. Иркутск, ул. Чернышевского, д. 15.

Тел.: 89500813033.

e-mail: livnet@list.ru

Подпись	<i>Лившица А.В.</i>
ЗАВЕРЯЮ:	
Начальник	дела ИргУПС
Подпись	<i>Лившица А.В.</i>
2022 г.	