

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 999.100.02,
созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет
«МЭИ» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации и
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего
образования «Пермский национальный исследовательский политехнический
университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации,
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 25 декабря 2018 г. № 6/18
о присуждении **Пермякову Глебу Львовичу**, гражданину РФ,
ученой степени кандидата технических наук

Диссертация «Взаимосвязь геометрических параметров швов с параметрами тормозного рентгеновского излучения при электронно-лучевой сварке с осцилляцией луча» по специальности 05.02.10 – «Сварка, родственные процессы и технологии» принята к защите 24 октября 2018 г. (протокол заседания № 4/18) диссертационным советом Д 999.100.02, созданным на базе ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (111250, Россия, г. Москва, Красноказарменная улица, дом 14) и ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (614990, Пермский край, г. Пермь, Комсомольский проспект, дом 29) по приказу Минобрнауки России № 1199/нк от 07.10.2016 г.

Соискатель Пермяков Глеб Львович, 1989 года рождения, в 2013 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», в 2016 году окончил аспирантуру очной формы обучения Пермского национального исследовательского политехнического университета по специальности 05.02.10 – «Сварка, родственные процессы и технологии» (период обучения 01.07.2013 г. – 31.06.2016 г.), работает младшим научным сотрудником в Научно-исследовательской лаборатории «Обработка материалов высококонцентрированными источниками энергии» при кафедре «Сварочное производство, метрология и технология материалов» Пермского национального исследовательского политехнического университета.

Диссертация выполнена на кафедре «Сварочное производство, метрология и технология материалов» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук **Трушников Дмитрий Николаевич**, профессор кафедры «Сварочное производство, метрология и технология материалов» Пермского национального исследовательского политехнического университета.

Официальные оппоненты:

1. **Ластовирия Вячеслав Николаевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Оборудование и технологии сварочного производства» ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет»,

2. **Земляков Евгений Вячеславович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерные технологии» ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск, в своем положительном отзыве, подписанном заведующим кафедрой сварки летательных аппаратов, канд. техн. наук, доц. Богдановым Валерием Васильевичем, профессором кафедры сварки летательных аппаратов, д-ром техн. наук, проф. Обориным Львом Александровичем, заведующим кафедрой систем автоматического управления, канд. техн. наук, проф. Лукьяненко Михаилом Васильевичем, профессором кафедры систем автоматического управления, д-ром техн. наук, доц. Браверманом Владимиром Яковлевичем и утвержденном проректором по научной работе и инновационной деятельности доктором физ.-мат. наук, проф. Логиновым Юрием Юрьевичем, указала, что: диссертационная работа Пермякова Глеба Львовича представляет собой научную квалификационную работу, в которой изложены технические и технологические решения, направленные на повышение стабильности качества и свойств сварных соединений при электронно-лучевой сварке с осцилляцией луча. Соискателем выполнено квалификационное законченное исследование, обладающее логичным единством этапов исследования. Выводы соответствуют цели работы и поставленным научным задачам. По актуальности, научной новизне и практическому применению диссертационная работа

соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Пермяков Глеб Львович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.10 – «Сварка, родственные процессы и технологии».

Соискатель имеет 17 опубликованных работ по теме диссертации, из них 6 работ опубликовано в изданиях, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий и международные базы цитирования Web of Science и Scopus, получен 1 патент. В тексте диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1) Моделирование тепловых процессов при электронно-лучевой сварке разнородных материалов / **Г. Л. Пермяков** [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2013. - Т. 15, № 6(2). - С. 458-463 (0,36 п.л./0,18 п.л.).

2) Численное моделирование процесса электронно-лучевой сварки с продольной осцилляцией луча на основе экспериментально определенной формы канала проплавления / **Г. Л. Пермяков** [и др.] // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. - 2015. - Т. 16, № 4. - С. 828-832 (0,31 п.л./0,12 п.л.).

3) Особенности сигнала тормозного рентгеновского излучения при электронно-лучевой сварке с осцилляцией электронного луча / **Г.Л. Пермяков** [и др.] // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета «Машиностроение, материаловедение». - 2016. - Т. 18, № 3. - С. 93-106 (0,87 п.л./0,18 п.л.).

4) The Influence of Electron Beam Oscillation on the Crystallization and Structure of Dissimilar Steel-Bronze Welds / **G.L. Permyakov** [at al.]// Modern Applied Science. - 2015. - Vol. 9, № 6. - P. 296-309 (0,87 п.л./0,25 п.л.).

5) Numerical simulation of electron beam welding with beam oscillations / D.N. Trushnikov, **G.L. Permyakov** // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2017. - Vol. 177: Intern. Conf. on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems 2016, 27-29 October 2016, Tomsk, Russian Federation. - Art. 012085. 5 p. (0,31 п.л./0,18 п.л.).

6) Electron beam welding of aluminum alloy AlMg6 with a dynamically positioned electron beam / T.V. Olshanskaya, E.C. Salomatova, V.Y. Belenkiy, D.N. Trushnikov, **G.L. Permyakov** [at al.] // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. - 2017. - Vol. 89, Iss. 9. - P. 3439-3450 (0,75 п.л./0,18 п.л.).

Патент:

7) Патент № 2580266 Устройство для определения распределения плотности энергии и контроля фокусировки электронного пучка / Пермяков Г.Л. [и др.], Российская

Федерация, МПК В23К 15/02. № 2015100016/02; заявл. 12.01.2015; опубл. 10.04.2016
Бюл. № 10. - 13 с.

На диссертацию и автореферат поступило 6 отзывов, все отзывы положительные. В отзывах отмечено, что выполненная работа является законченным исследованием, выполненном на требуемом научном и техническом уровне, с использованием современных научных методов. По актуальности темы, обоснованности и новизне результатов соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

В отзывах содержатся следующие замечания, вопросы и пожелания:

Шиганов Игорь Николаевич, д-р техн. наук, проф., профессор кафедры «Лазерные технологии в машиностроении», Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана: При моделировании используется аппроксимированная форма парогазового канала, но из автореферата не понятно, как выполнялась аппроксимация. Также недостаточно обоснована необходимость исследования турбулентных явлений, поскольку из текста не ясно как она влияет на вычисления; Мелкий шрифт на рисунках 11, 17 затрудняет идентификацию параметров и считывание значений. Рисунок 15 следовало сделать крупнее и выбрать другое цветовое исполнение. Отсутствие цветовой легенды на рисунках 14, 15 также затрудняет восприятие информации.

Климов Александр Сергеевич, д-р техн. наук, профессор кафедры физики, Окс Ефим Михайлович, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой физики, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники: Каким образом производился выбор материалов для проведения исследования? Почему были выбраны именно представленные материалы? Цветовые схема на рисунках 14 и 15 (страница 15) осложняет восприятие информации. Отсутствует цветовая легенда с градацией описываемых характеристик и их размерностей; В формуле 6 на странице 14 используется коэффициент q (плотность теплового потока), а в описании приведен коэффициент Q обозначенный как подводимая тепловая мощность.

Агеев Сергей Сергеевич, канд. техн. наук, директор ООО «РАР»: На рисунке 3 (страница 9) автореферата не нанесены линии выноски и не указаны номера позиций, представленные в подписи к рисунку, что несколько осложняет восприятие информации; Из автореферата не ясно какие параметры электронного луча использовались для расчетов.

Черкашинева Наталья Николаевна, главный металлург АО «ОДК-Авиадвигатель»: Возможно ли применение предложенной методики при использовании других типов осцилляций в процессе электронно-лучевой сварки? В

заключительной части автореферата упоминаются, что были разработаны технологические рекомендации по выбору характеристик осцилляций, однако сами рекомендации не приведены.

Институт Электроники – Болгарская академия наук: член корреспондент Болгарской академии наук, профессор доктор физических наук Георги Михайлов Младенов; доцент д-р инж. Елена Георгиева Колева; директор ИЭ БАН, профессор доктор физических наук Лъчезар Аврамов: Без замечаний

Пономарев Илья Сергеевич, канд. техн. наук, инженер-конструктор ООО «АСОИК»: В автореферате не отражены теплофизические характеристики стали, используемые при расчетах; Возможно ли применение модели гидродинамического распределения металла в сварном шве при электронно-лучевой сварке к трехмерным моделям реальных деталей и узлов, разрабатываемых на предприятиях?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим:

официальные оппоненты являются ведущими специалистами в области сварки, родственных процессов и технологий, имеют публикации по данному направлению в рецензируемых научных изданиях, обладают достаточной квалификацией, позволяющей оценить новизну представленных на защиту результатов, их научную и практическую значимость, обоснованность и достоверность полученных выводов;

ведущая организация хорошо известна своими научными достижениями по направлению защищаемой работы на территории Российской Федерации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая экспериментально-расчетная методика, позволяющая связать параметры проплавления при электронно-лучевой сварке с параметрами осцилляции и тормозного рентгеновского излучения из зоны сварки;

предложены: новый подход к описанию распределения энергии луча относительно стенок парогазового канала при электронно-лучевой сварке, основанный на установлении связи экспериментальных данных распределения плотности тока электронного луча с параметрами сигнала тормозного рентгеновского излучения; трехмерная математическая модель электронно-лучевой сварки с осцилляцией луча, позволяющая определять параметры сварных швов для обеспечения стабильности свойств и качества сварных соединений;

доказана связь геометрических параметров швов с параметрами тормозного рентгеновского излучения, которая может быть использована для контроля формы проплавления с целью повышения воспроизводимости параметров и качества

сварных соединений.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

определены закономерности формирования сигналов тормозного рентгеновского излучения и выявлены особенности взаимодействия электронного луча со стенками парогазового канала в процессе электронно-лучевой сварки с осцилляцией луча при разных режимах фокусировки;

показано, что при изменении режима фокусировки изменяется характер взаимодействия луча со стенками парогазового канала, а распределение плотности потока энергии в парогазовом канале определяет процессы тепломассопереноса в сварочной ванне, форму сварных швов, и, как следствие, стабильность свойств и качества сварных соединений;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы:

экспериментально-теоретические методы исследования физических процессов при электронно-лучевой сварке с осцилляцией луча, основанные на обработке сигналов тормозного рентгеновского излучения из зоны сварки методом синхронного накопления и анализе полученных зависимостей; вычислительные эксперименты, с использованием оригинальных математических моделей процессов тепломассопереноса при электронно-лучевой сварке с осцилляцией луча, основанные на дифференциальных уравнениях в частных производных теории теплопроводности и классической механики. Решение поставленных задач выполнялось с помощью метода конечных элементов, численная реализация моделей тепловых и гидродинамических процессов выполнена с использованием прикладного пакета программного обеспечения Comsol Multiphysics;

установлена взаимосвязь параметров вторичного сигнала тормозного рентгеновского излучения с распределением тепловой энергии луча в парогазовом канале при электронно-лучевой сварке с осцилляцией луча;

получены закономерности протекания турбулентных явлений в сварочной ванне в зависимости от формы парогазового канала при электронно-лучевой сварке с осцилляцией луча;

предложена трехмерная математическая модель электронно-лучевой сварки с осцилляцией луча, связывающая геометрические параметры швов с параметрами парогазового канала при электронно-лучевой сварке с осцилляцией луча с использованием анализа тормозного рентгеновского излучения.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

получен патент РФ № 2580266 (Устройство для определения распределения плотности энергии и контроля фокусировки электронного пучка);

разработанное устройство позволяет определять распределение плотности тока и другие параметры электронного луча, повышает точность измерения за счет снижения влияния вторичных электронов благодаря коллектору специальной формы, а конструкция щелевой диафрагмы, позволяет выполнять дифференциальные и интегральные измерения параметров луча и повышает точность измерения параметров луча малых поперечных размеров с целью обеспечения воспроизводимости геометрических параметров сварных соединений;

создана модель, которая в сочетании с разработанными методами анализа сигнала тормозного рентгеновского излучения позволила сократить на 50% количество натуральных экспериментов и сроки выполнения работ при разработке технологии ЭЛС с осцилляцией луча деталей ответственного назначения;

представлена методика контроля геометрических параметров сварных швов на основе численного решения математической задачи обтекания расплавом парогазового канала экспериментально определяемой формы при ЭЛС с осцилляцией луча;

внедрены разработанные технологические рекомендации по оптимизации технологических параметров на предприятии ПАО «Протон-ПМ» при разработке технологии изготовления деталей ответственного назначения.

Диссертационная работа выполнялась в рамках Государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации (базовая часть) проект № 9.9697.2017/8.9 «Разработка технологических основ гибридных аддитивных технологий с подачей проволочного присадочного материала» и при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (RFMEFI58317X0062) в рамках проекта BRICS «Гибридный процесс изготовления деталей для аэрокосмической отрасли: моделирование, разработка программного обеспечения и верификация».

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы при отработке технологий изготовления новых деталей и сварке изделий ответственного назначения с целью повышения качества продукции, энергоэффективности и конкурентоспособности производства в различных отраслях наукоемкой промышленности на предприятиях, применяющих электронно-лучевые технологии с динамическим воздействием на луч, например, авиастроительных, ракетно-космических и энергомашиностроительных предприятиях входящих в структуры ОАО «ОАК», АО «ОДК», АО «НПО Энергомаш».

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теоретическая часть работы построена на фундаментальных положениях математического моделирования и обработки сигналов, физических основах сварочных процессов, с применением теорий теплопроводности и классической механики, полностью согласуются с полученными экспериментальными данными;

идея базируется на обобщении и анализе передового опыта из областей электронно-лучевой сварки, математического моделирования сопутствующих процессов и экспериментальных методик исследования процессов, протекающих при электронно-лучевой сварке;

использованы современные методы решения задач математической физики, регистрации и цифровой обработки сигналов тормозного рентгеновского излучения; данные **получены** на действующих технологических установках для электронно-лучевой сварки с использованием калиброванного измерительного оборудования и современных средств проведения исследований;

установлена непротиворечивость положений и выводов диссертационной работы известным научным представлениям и результатам исследований, описанных ранее в работах других авторов.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в исследовательской работе по теме диссертации на всех её этапах: формулировании основных положений и выводов диссертационного исследования; планировании и проведении научных экспериментов; обработке экспериментальных данных; анализе и обобщении полученных результатов; реализации и верификации численных моделей процесса электронно-лучевой сварки с осцилляцией луча; подготовке публикаций по выполненной работе.

Диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842: в ней изложены технические и технологические решения, направленные на совершенствование технологических процессов, повышение стабильности качества и свойств сварных соединений при электронно-лучевой сварке с осцилляцией луча, имеющие важное значение для машиностроительных предприятий авиастроительной, ракетно-космической и энергомашиностроительной отраслей Российской Федерации.

На заседании 25 декабря 2018 года диссертационный совет принял решение присудить Пермякову Глебу Львовичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 7 докторов наук по специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящего в состав совета, проголосовал: за присуждение ученой степени – 13, против присуждения ученой степени – 1, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель

диссертационного совета Д 999.100.02

доктор технических наук, доцент

Драгунов В.К.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 999.100.02

кандидат технических наук, доцент

Федосеева Е.М.

«25» декабря 2018 г.