

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Заключение диссертационного совета Д ПНИПУ.05.03

по диссертации Варушкина Степана Владимировича

на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Диссертация «Управление электронно-лучевой наплавкой проволочным материалом по параметрам тормозного рентгеновского излучения» по специальности 05.02.10 – Сварка, родственные процессы и технологии принята к защите «20» декабря 2019 г. (протокол заседания № 5) диссертационным советом Д ПНИПУ.05.03, созданным по приказу ректора Пермского национального исследовательского политехнического университета от «01» октября 2019 г. № 67-О в рамках реализации предоставленных ПНИПУ прав, предусмотренных абзацами вторым – четвертым пункта 3.1 статьи 4 Федерального закона от 23 августа 1996 г. № 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике» на основании распоряжения Правительства Российской Федерации от 23 августа 2017 г. № 1792-р.

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, работает директором департамента науки и инноваций, профессором кафедры «Сварочное производство, метрология и технология материалов» (по совместительству) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Официальные оппоненты:

Браверман Владимир Яковлевич, доктор технических наук (05.03.06 – Технологии и машины сварочного производства), доцент, профессор кафедры «Сварка летательных аппаратов» Сибирского государственного университета науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева Министерства науки и высшего образования Российской Федерации;

Мелюков Валерий Васильевич, доктор технических наук (05.03.06 – Технологии и машины сварочного производства), профессор, директор ООО «Вятский аттестационный центр».

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, г. Москва (отзыв ведущей организации утвержден Драгуновым Виктором Карповичем, доктором технических наук, проректором по научной работе, заслушан на заседании кафедры технологии металлов и подписан Гончаровым Алексеем Леонидовичем, кандидатом технических наук, доцентом, заместителем заведующего кафедрой).

По теме диссертации соискателем опубликовано 24 научных труда, в том числе 6 работ – в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени, 4 работы – в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования (Web of Science, Scopus) соискателем получено 2 патента на изобретения. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем научных трудах. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Using bremsstrahlung X-Ray for positioning of the filler wire during electron beam surfacing / S. Varushkin, D. Trushnikov, E. Koleva, D. Shamov // Journal of Physics Conference Series. - 2018. - Vol. 1089. - № art. 012009. (Scopus)

В данной работе соискателем приведены результаты анализа информативности сигнала тормозного рентгеновского излучения из технологической зоны в процессе электронно-лучевой наплавки с использованием проволоки сплошного сечения и предложен метод оперативного управления процессом электронно-лучевой наплавки проволокой.

2. Varushkin, S Optimal Mode of Beam Oscillation for Melt-Through Mode in Electron

Beam Welding and Its Influence on Penetration Control System / S. Varushkin, D. Trushnikov, G. Permyakov // Procedia Engineering. - 2017. - Vol. 206. - P. 1360-1364. (Web of Science, Scopus)

В данной работе соискателем приведены результаты исследования влияния различных видов осцилляции электронного луча на сигнал тормозного рентгеновского излучения в процессе электронно-лучевой сварки.

3. Varushkin, S. Researching signals from workpiece backside during electron beam welding in full penetration mode / S. Varushkin, V. Belenkiy, D. Trushnikov // Key Engineering Materials. - 2017. - Vol. 743 KEM. - P. 231-235. (Scopus)

В данной работе соискателем приведены результаты исследований, регистрируемых из технологической зоны, сигналов различной физической природы с целью изучения возможности их использования для контроля электронно-лучевой сварки.

4. Многослойная электронно-лучевая наплавка проволочным материалом / С.В. Варушкин, Д.Н. Трушников, Е.С. Саломатова, В.Я. Беленький, Г.Л. Пермяков // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. 2019. Т. 21, № 4. С. 89-94. (ВАК)

В данной работе соискателем показаны результаты экспериментальных исследований многослойной электронно-лучевой наплавки проволочным материалом с использованием различных схем осуществления процесса, варьированием технологических параметров, применением различных технологических приемов.

5. Осцилляция электронного луча как средство улучшения формирования корня сварного шва и облегчения контроля сквозного проплавления при электронно-лучевой сварке / С.В. Варушкин, В.Я. Беленький, Н.А. Зырянов, А.А. Кылосов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета "Машиностроение, материаловедение". - 2017. - Т. 19, № 2. - С. 151-159. (ВАК)

В данной работе соискателем показаны результаты анализа влияния осцилляции электронного луча на стабильность качества сварных швов, выполненных электронным лучом.

6. Особенности сигнала тормозного рентгеновского излучения при электронно-лучевой сварке с осциллирующей электронного луча / С.В. Варушкин, Д.Н. Трушников, В.Я. Беленький, Г.Л. Пермяков // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета "Машиностроение,

материаловедение". - 2016. - Т. 18. № 3. - С. 93-106. (БАК)

В данной работе соискателем показаны результаты экспериментальных исследований по регистрации сигнала тормозного рентгеновского излучения в процессе осцилляции электронного луча при электронно-лучевой сварке, а также и его последующей обработке этого сигнала методом синхронного накопления.

7. Варушкин, С.В. Модель формирования сигнала для контроля сквозного проплавления при электронно-лучевой сварке / С.В. Варушкин, Д.Н. Трушников, В.Я. Беленький // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - 2015. - № 6-2. - С. 244-252. (БАК)

В данной работе соискателем приведены результаты моделирования сигнала из зоны электронно-лучевой сварки, применяемого для осуществления оперативного контроля режима сквозного проплавления, приведен алгоритм расчета параметров системы, осуществляющей такой оперативный контроль.

8. Способ электронно-лучевой наплавки с контролем положения присадочной проволоки относительно электронного луча (варианты): пат. 2704682 Рос. Федерация. № 2018145458 / Трушников Д.Н., Варушкин С.В.; заявл. 20.12.18; опубл. 30.10.19, Бюл. 31. 17 с.

В данной работе соискателем предложено два варианта способа электронно-лучевой наплавки с контролем положения присадочной проволоки относительно электронного луча.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан способ электронно-лучевой наплавки с оперативным управлением положением присадочной проволоки относительно электронного луча по сигналу тормозного рентгеновского излучения из технологической зоны;

доказано, что разработанный способ электронно-лучевой наплавки с оперативным управлением положением присадочной проволоки по сигналу тормозного рентгеновского излучения из технологической зоны исключает вынужденные прерывания процесса из-за выхода присадочной проволоки из зоны воздействия электронного луча, а также, уменьшает колебания ширины наплавленных слоев и их смещения относительно друг друга на 15-55%.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что **доказано** наличие информационного параметра в спектре сигнала тормозного

рентгеновского излучения при непрерывной осцилляции электронного луча; информационный параметр отражает положение присадочной проволоки относительно центра осцилляции электронного луча при электронно-лучевой наплавке проволокой:

разработана математическая модель для описания формирования тормозного рентгеновского излучения при взаимодействии осциллирующего электронного луча с присадочной проволокой и подложкой в процессе наплавки в зависимости от технологических параметров:

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использован** комплекс существующих базовых методов исследования, экспериментальные исследования, моделирование с верификацией по экспериментальным данным:

выявлены закономерности формирования сигнала тормозного рентгеновского излучения в зависимости от параметров осцилляции электронного луча и диаметра присадочной проволоки, режима фокусировки электронного луча, положения присадочной проволоки относительно электронного луча в процессе наплавки:

раскрыты особенности формирования тормозного рентгеновского излучения в процессе электронно-лучевой наплавки проволокой для широкого класса материалов, в том числе аустенитной хромоникелевой стали и технического титана;

проведена корректировка математических моделей, описывающих формирование тормозного рентгеновского излучения при взаимодействии электронного луча с материалом мишени, путем включения в расчетную схему присадочной проволоки и осцилляции электронного луча, а также учета параметров проволоки, распределения энергии в поперечном сечении электронного луча и параметров осцилляции электронного луча.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что

разработаны и использованы (на предприятиях города Перми АО «Машиностроитель» и ПАО «Протон-ПМ») технологические рекомендации получения наплавленных электронным лучом слоев проволокой из аустенитной хромоникелевой стали, обеспечивающие стабильность процесса плавления присадочной проволоки и отсутствие дефектов наплавленных слоев, что подтверждается актами использования результатов;

разработан метод, позволяющий предоставлять визуальную информацию о положении присадочной проволоки относительно электронного луча при электронно-лучевой наплавке;

представлена схема экспериментальной установки электронно-лучевой наплавки, которая позволяет осуществлять разработанный метод управления положением присадочной проволоки относительно центра осцилляции электронного луча по параметрам рентгеновского излучения из технологической зоны.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ использованы современные методы исследований и измерений;

теория построена на известных зависимостях, описывающих поток энергии тормозного рентгеновского излучения при взаимодействии электронного пучка с поверхностью обрабатываемого материала;

идея базируется на анализе существующих подходов, методов и систем управления электронно-лучевой наплавкой и сваркой;

установлено, что результаты исследований не противоречат известным результатам других ученых;

использованы современные методы сбора и обработки экспериментально полученных данных.

Личный вклад соискателя состоит в том, что предложен способ электронно-лучевой наплавки с оперативным контролем и управлением положением присадочной проволоки по параметрам тормозного рентгеновского излучения; разработана математическая модель, описывающая формирование тормозного рентгеновского излучения от технологических параметров при взаимодействии осциллирующего электронного луча с присадочной проволокой и подложкой в процессе наплавки; выполнены экспериментальные исследования формирования тормозного рентгеновского излучения в процессе электронно-лучевой наплавки проволокой; проведена экспериментальная апробация разработанного способа управления.

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, и Порядком присуждения ученых степеней в ПНИПУ, утвержденным

приказом ректора ПНИПУ от 09 января 2018 г. № 1-О: в ней изложены и научно обоснованы теоретические, технические и технологические решения по повышению стабильности качества и свойств электронно-лучевой наплавки путем применения управления положением присадочной проволоки относительно электронного луча, что может быть использовано для изделий ответственного назначения в авиадвигателестроении.

На заседании «07» февраля 2020 г. диссертационный совет Д ПНИПУ.05.03 принял решение присудить Варушкину Степану Владимировичу ученую степень кандидата технических наук (протокол заседания № 7).

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 16 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за присуждение ученой степени – 13, против присуждения ученой степени – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного совета Д ПНИПУ.05.03,

д-р. техн. наук, проф.

 / Щицын Юрий Дмитриевич /

Ученый секретарь диссертационного совета Д ПНИПУ.05.03,

канд. техн. наук, доц.

 / Федосеева Елена Михайловна /

« 13 » февраля 2020 г. м.п.

