

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 Терентьева Сергея Александровича  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

Диссертация «Разработка технологии и оборудования аддитивного производства металлических изделий плазменной наплавкой плавящимся электродом» по специальности 05.02.10 – Сварка, родственные процессы и технологии принята к защите «20» декабря 2019 г. (протокол заседания № 4) 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, профессор Щицын Юрий Дмитриевич, заведующий кафедрой «Сварочное производство, метрология и технология материалов» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

**Официальные оппоненты:**

1. Мелюков Валерий Васильевич – доктор технических наук (05.02.10 - Сварка, родственные процессы и технологии), профессор, директор ООО «Вятский аттестационный центр».
2. Терентьев Егор Валериевич – кандидат технических наук (05.02.10 - Сварка, родственные процессы и технологии), доцент кафедры «Технологии металлов»

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

**Ведущая организация** Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента Б.Н. Ельцина» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, г. Екатеринбург (отзыв ведущей организации утвержден ректором Кокшаровым Виктором Анатольевичем, кандидатом технических наук, доцентом, заслушан на заседании кафедры «Технология сварочного производства» и подписан Шалимовым Михаилом Петровичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Технология сварочного производства»).

По теме диссертации соискателем опубликовано 6 научных трудов, в том числе 5 работ – в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени, из них 2 работы – в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования (Web of Science, Scopus), соискателем получен 1 патент на изобретение. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем научных трудах. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Formation of 04Cr18Ni9 steel structure and properties during additive manufacturing of blanks / Y.D. Shitsyn, S.D. Neulybin, S.A. Terentiev, A.O. Artemov // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2019. – Vol. 102. – № 9-12. – pp. 3719-3723. (Scopus)

*Соискателем в работе представлены результаты исследования особенностей формирования структуры и свойств стали 04X18H9 в технологиях аддитивных процессов (Cold Metal Transfer (CMT) наплавке, плазменной наплавке током обратной полярности и плазменной наплавке плавящимся электродом). Показано, что для аддитивных технологий перспективным является применение гибридного способа плазменной наплавки плавящимся электродом, при этом механические характеристики образцов, не ниже, чем для стали аналогичного состава в деформированном состоянии.*

2. Development of Layered Growth Technology for a Workpiece of Highly Alloyed Steel by Plasma Surfacing / Y.D. Shitsyn, D.S. Belinin, S.D. Neulybin, S.A. Terentiev, N.V. Plotnikova // Metallurgist. – 2017. – Vol. 61. – №5-6. – pp. 418-423. (Scopus, Web of Science, ВАК)

3. Использование плазменной наплавки для аддитивного формирования заготовок из алюминиевых сплавов / Ю.Д. Щицын, Е.А. Кривоносова, С.Д. Неулыбин, Т.В.

Ольшанская, Р.Г. Никулин, Е.М. Федосеева, С.А. Терентьев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета «Машиностроение, материаловедение». – 2019. – Т. 21. – № 2. – С. 63-72. (ВАК)

4. Создание слоистых материалов на основе высоконикелевых сплавов с использованием плазменной дуги на токе обратной полярности / Ю.Д. Щицын, Д.С. Белинин, С.Д. Неулыбин, С.А. Терентьев, А.А. Ефимова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета «Машиностроение, материаловедение». – 2016. – Т. 18. – № 2. – С. 7-20. (ВАК)

*В статьях 2-4 соискателем показана возможность получения габаритных металлических заготовок различной формы из высоколегированных сталей, никелевых и алюминиевых сплавов послойной плазменной наплавкой. Подтверждено, что послойной плазменной наплавкой возможно получение заготовок, материал которых обладает высокими механическими и эксплуатационными свойствами.*

5. Формирование структуры и свойств стали 04X18H9 при аддитивном производстве заготовок / Ю.Д. Щицын, С.А. Терентьев, С.Д. Неулыбин, Д.С. Белинин, А.О. Артемов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета «Машиностроение, материаловедение». – 2018. – Т. 20. – № 3. – С. 55-61. (ВАК)

*Представлены результаты исследования структуры и свойств материала аустенитной стали, полученного послойной плазменной наплавкой плавящимся электродом.*

6. Пат. 2702512. Российская Федерация, МПК В23К 10/00. Плазмотрон / С.А. Терентьев; заявитель и патентообладатель Терентьев С.А. - №2019107987; заявл. 20.03.19; опубл. 08.10.19, Бюл. №28.

*Соискателем приведено описание особенностей конструкции разработанного компактного плазмотрона для плазменной наплавки плавящимся электродом.*

**Диссертационный совет отмечает,** что на основании выполненных соискателем исследований

**разработан** высокопроизводительный способ послойной плазменной наплавки плавящимся электродом изделий и оборудование для его реализации применительно к аддитивному формированию металлических изделий, обеспечивающий получение равнопрочного материала с требуемыми механическими характеристиками на уровне основного материала;

**установлены** диапазоны параметров режимов устойчивого процесса плазменной наплавки плавящимся электродом при минимальных значениях токов дуги плавящегося электрода и плазменной дуги; особенности плавления плавящегося электрода и переноса электродного металла; особенности теплопередачи в плазмотрон

и изделие; закономерности влияния параметров процесса на размеры и форму наплавленного валика;

**получена** математическая модель, обеспечивающая прогнозирование размеров одиночного наплавленного валика при плазменной наплавке плавящимся электродом с точностью не менее 90%;

**изготовлены** компактный надежный плазмотрон для плазменной наплавки плавящимся электродом и гибридный многофункциональный комплекс для аддитивного производства металлических изделий.

**Теоретическая значимость исследования** обоснована тем, что

**выявлены** взаимосвязи параметров плазменной наплавки плавящимся электродом, при работе с минимальными плотностями дуг, на устойчивость взаимного горения дуг, характер переноса электродного металла и формирования наплавленного валика;

**разработана** статистическая математическая модель, описывающая геометрическую форму наплавленного одиночного валика, полученного плазменной наплавкой плавящимся электродом;

**установлено** влияние конструктивных параметров плазмотрона и технологических параметров плазменной наплавки плавящимся электродом на теплопередачу в узлы плазмотрона и изделие.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики**

подтверждается тем, что:

**разработаны** технологические рекомендации аддитивного формирования изделий из высоколегированных сталей аустенитного класса, обеспечивающие высокие механические характеристики, а также отсутствие дефектов наплавленного металла. Принято решение о применении технологии формирования изделий послойной плазменной наплавки на предприятии АО «ОДК-Авиадвигатель» (г. Пермь) для изготовления натурных образцов деталей из аустенитных сталей, что подтверждается актом использования № 519-794 от 24.12.2019 г.;

**создан** плазмотрон (патент РФ № 2702512), как составная часть оборудования для аддитивного производства полного цикла (обрабатывающий центр АТ-300, разработанный совместно с ПАО «Протон-ПМ» (г. Пермь); акт использования № 490/2-01А от 27.11.2019 г.).

Диссертационная работа выполнена при поддержке Фонда содействия инновациям (договор № 11708ГУ/2017, «Разработка технологии аддитивного формирования металлических изделий послойной плазменной наплавкой»), Минобрнауки России (проведение исследований в рамках многосторонней научно-исследовательской инициативы БРИКС (RFMEFI58317X0062), «Гибридный процесс изготовления

деталей для аэрокосмической отрасли: моделирование, разработка программного обеспечения и верификация»), Министерства образования Пермского края (грант на поддержку проектов, реализуемых международными исследовательскими группами №26/795, «Гибридные аддитивные технологии. Послойное деформационное упрочнение»).

#### **Оценка достоверности результатов исследования** выявила

экспериментальные работы выполнялись с использованием современного поверенного аттестованного оборудования и общепринятых методов исследования;  
теоретическая часть работы построена на фундаментальных положениях теории сварочных процессов, математического моделирования и материаловедения;  
использованы современные методы сбора и статистической обработки экспериментально полученных данных;  
установлено, что результаты работы не противоречат известным научным представлениям и результатам исследований, описанных ранее в работах других авторов.

#### **Личный вклад соискателя** состоит в том, что

соискателем предложено использование способа комбинированной плазменной наплавки плавящимся электродом для аддитивного формирования металлических изделий; определены диапазоны режимов устойчивого процесса плазменной наплавки плавящимся электродом на минимальных токах дуги плавящегося электрода и плазменной дуги; области плавления электродной проволоки и переноса электродного металла, закономерности влияния параметров наплавки на размеры и форму наплавленного валика; разработана математическая модель, позволяющая прогнозировать размеры и форму одиночного валика при плазменной наплавке плавящимся электродом для создания алгоритма формирования металлического изделия; спроектирован и изготовлен плазмотрон для автоматической плазменной наплавки плавящимся электродом, адаптированный к требованиям аддитивного производства; исследованы структура и свойства аустенитной стали, полученной послойной плазменной наплавкой плавящимся электродом.

**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 теоретические,

технические и технологические решения и разработки в области применения послойной плазменной наплавки плавящимся электродом для получения металлических изделий различного назначения, имеющие важное значение для развития перспективных технологий изготовления ответственных деталей в машиностроении.

В диссертации приведены ссылки на авторов и источники заимствованных материалов и отдельных результатов. В работе соискатель отмечает вклад в научные труды, опубликованные лично и/или в соавторстве.

На заседании «07» февраля 2020 г. диссертационный совет Д ПНИПУ.05.03 принял решение присудить Терентьеву Сергею Александровичу ученую степень кандидата технических наук (протокол заседания № 6).

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.

Заместитель председателя

диссертационного совета

Д ПНИПУ.05.03,

д-р техн. наук, профессор

/Симонов Юрий Николаевич/

Ученый секретарь диссертационного

совета Д ПНИПУ.05.03

канд. техн. наук, доцент

/Федосеева Елена Михайловна/

«07» февраля 2020 г.

