

## ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата технических наук  
Терентьева Егора Валериевича на диссертационную работу Терентьева  
Сергея Александровича «РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ  
АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ  
ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКОЙ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ»,  
представленную в диссертационный совет Д ПНИПУ 05.03  
на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности:  
05.02.10 – Сварка, родственные процессы и технологии

### **Актуальность избранной темы**

Проблемы современного машиностроения требуют создания и внедрения технологий, обеспечивающих качественно новый уровень производства. Например, послойное формирование металлических изделий непосредственно по цифровой модели позволяет существенно снизить затраты на подготовку производства и время производственного цикла. Аддитивные технологии позволяют реализовать инновационный подход к проектированию и изготовлению деталей по сравнению с традиционными методами формообразования. В отечественной и зарубежной практике начинают использовать разные способы построения изделий, например, лазерную и электронно-лучевую наплавку, дуговую наплавку и другие способы. Для создания габаритных деталей предпочтительнее использовать дуговые способы наплавки, в том числе комбинированные. Одним из перспективных процессов формирования изделий является плазменная наплавка плавящимся электродом, который сочетает в себе особенности способов плазменной и дуговой наплавки плавящимся электродом. Данный способ обладает рядом важных преимуществ: высокая производительность наплавки, катодная очистка зоны наплавки и наплавленного металла за счет применения плазменной дуги обратной полярности, формирование наплавленного металла высокого качества, гибкость процесса и др. Однако возможность применения плазменной наплавки плавящимся электродом в аддитивном производстве, на сегодняшний день не исследована. Поэтому исследование и разработка технологии и оборудования аддитивного производства металлических изделий плазменной наплавкой плавящимся электродом является актуальной задачей.

Диссертационная работа Терентьева Сергея Александровича посвящена научному обоснованию применения способа плазменной наплавки плавящимся электродом для послойного формирования изделий на основе высоколегированных сталей аустенитного класса. Результаты выполненных диссертантом исследований положены в основу разработки оборудования и технологических рекомендаций для аддитивного производства металлических изделий сложной геометрической формы для широкого спектра областей промышленности.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна**

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, обоснованы расчетами, математическим моделированием, большим объемом экспериментальных результатов, не противоречат известным теоретическим представлениям и опытным данным, проверены в ходе лабораторных и производственных испытаний.

На основании анализа полученных автором результатов исследования, а также научных публикаций, в рецензируемых научных журналах, определенных ВАК, посвященных тематике диссертационной работы Терентьева С.А., можно выделить следующие научные и практические положения:

1. Установлено влияние технологических параметров на граничные условия устойчивости процесса и закономерности формообразования наплавленного валика при плазменной наплавке плавящимся электродом.
2. Разработана математическая модель прогнозирования размеров и профиля наплавленного валика, для формирования алгоритма построения изделия послойной плазменной наплавкой плавящимся электродом.
3. Установлены особенности теплопередачи в плазматрон и изделие при плазменной наплавке плавящимся электродом и разработано оборудование, обеспечивающее работу в условиях аддитивного производства.

Достоверность полученных в диссертации результатов подтверждается экспериментальными и аналитическими исследованиями и их сходимостью, а также опытно-промышленной апробации предлагаемой технологии послойного формирования металлических деталей плазменной наплавкой плавящимся электродом и разработанного оборудования.

## **Практическая значимость результатов работы**

Практическая значимость представленной работы состоит в следующем:

1. Сконструирован плазматрон и создано оборудование для аддитивного производства металлических изделий. Плазматрон совместим с серийным сварочным оборудованием, и позволяет выполнять плазменную сварку и наплавку плавящимся электродом с аксиальной подачей присадочной проволоки черных и цветных металлов и их сплавов.

2. Сформированы технологические рекомендации для аддитивного формирования изделий плазменной наплавкой плавящимся электродом, обеспечивающие стабильное горение дуг, равномерное плавление электродного металла и постоянство формирования наплавленного валика.

3. Разработан и внедрен на предприятии ПАО «Протон-ПМ» высокопроизводительный способ аддитивного формирования металлических изделий из высоколегированных сталей плазменной наплавкой плавящимся электродом, который обеспечивает высокие эксплуатационные характеристики получаемых изделий.

Стоит добавить, что работа велась в рамках нескольких грантов, при этом получен 1 патент на изобретение.

## **Публикации и апробация**

Результаты диссертационной работы прошли апробацию на всероссийских и международных конференциях, а также при рецензировании статей, опубликованных в журналах, рекомендованных ВАК. По теме диссертации опубликовано 6 печатных работ, в том числе 5 в журналах, рекомендованных ВАК, 2 работы в международных журналах, входящих в базы Scopus и Web of Science.

Необходимо также отметить, что все экспериментально-теоретические исследования и разработанные технические решения, обработка и анализ полученных результатов выполнены лично автором.

## **Замечания по диссертации**

1. Представленная математическая модель расчета геометрических параметров одиночного валика при плазменной наплавке плавящимся электродом применительно к условиям аддитивного формирования металлических изделий применима для условий наплавки первого прохода на плоскую поверхность. В условиях аддитивного производства больший интерес представляет математическая модель, способная прогнозировать геометрические параметры валика для всех слоев.

2. Вывод о снижении степени проплавления основного металла при крупнокапельном и мелкокапельном переносе электродного металла, сделанный на основе рисунков 19 и 20 недостаточно обоснован. Желательно приводить результаты измерений степени проплавления для исключения ошибок, связанных с субъективным восприятием фотографий.
3. Из текста диссертации непонятно, почему применение технологии наплавки плазма-МИГ приводит к получению наплавленного металла, обладающего условным пределом текучести в 1,5 ниже, чем при плазменной наплавке стали такой же марки..
4. Сравнение коррозионной стойкости стали марки 04X19H9 и наплавки с использованием проволоки из стали марки 308LSi не позволяет оценить влияние переплавки в условиях аддитивного производства коррозионную стойкость стали. Автору следовало сравнить коррозионную стойкость наплавляемой проволоки и наплавленного металла.

По диссертации имеются и другие замечания, которые не затрагивают существо работы. Не удалось избежать опечаток и терминологических неточностей, однако их количество невелико.

Указанные замечания не снижают в целом положительной оценки работы Терентьева Сергея Александровича, которая позволяет научно обоснованно использовать сформулированные выводы и рекомендации в производстве. Безусловно, представленная диссертационная работа вносит вклад в теорию и практику исследования и разработки эффективных технологических процессов формирования металлических деталей послойной дуговой наплавкой. Следует отметить, что исследование доведено до логического завершения созданием технологических рекомендаций и разработкой надежного оборудования. Выводы и рекомендации, сформулированные в работе, могут быть применены для получения деталей сложной геометрической формы из высоколегированных аустенитных сталей.

Диссертация написана автором самостоятельно, содержит совокупность новых научных результатов и положений, имеет внутреннее единство, выраженное в последовательном решении поставленных задач на основе расчетно-экспериментального подхода. Она оформлена в соответствии с действующими требованиями. Результаты наглядно и полно представлены в таблицах и иллюстрациях. Содержание, основные выводы и результаты, а также выносимые на защиту положения диссертационной работы, соответствуют специальности 05.02.10 – Сварка, родственные процессы и технологии.

В целом, диссертация Терентьева Сергея Александровича представляет законченную научно-квалификационную работу, включающую результаты выполненных автором исследований, в которых изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения и разработки в области аддитивного формирования металлических изделий послойной плазменной наплавкой, имеющие существенное значение для развития промышленного производства.

На основании изложенного можно сделать вывод, что представленная работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и её автор, Терентьев Сергей Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.10 – Сварка, родственные процессы и технологии.

22.01.2020

Официальный оппонент,  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Технологии металлов»  
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»



Терентьев Е.В.

Подпись доц., канд. техн. наук Терентьева Е.В. заверяю:



Л.Н. НАЧАЛЬНИКА  
УЧРЕЖДЕНИЯ С ПЕРСОНАЛОМ  
Л.Н. ПОЛЕВАЯ



**Место работы:**

111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»,  
Тел.: +7 495 362-75-60  
E-mail: universe@mpei.ac.ru