

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
**«Пермский национальный исследовательский политехнический
университет»**

**Заключение диссертационного совета Д ПНИПУ.05.13
по диссертации Карташева Максима Федоровича на соискание ученой
степени кандидата технических наук**

Диссертация «Трехмерная электродуговая наплавка сплава ВТ6 плавящимся электродом» по специальности 2.5.8. Сварка, родственные процессы и технологии принята к защите «18» октября 2022 г. (протокол заседания № 4) диссертационным советом Д ПНИПУ.05.13, созданным по приказу ректора Пермского национального исследовательского политехнического университета от «06» апреля 2022 г. № 33-О в рамках реализации предоставленных ПНИПУ прав, предусмотренных абзацами вторым - четвертым пункта 3.1 статьи 4 Федерального закона от 23 августа 1996 г. N 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике» на основании распоряжения Правительства Российской Федерации от 23 августа 2017 г. N 1792-р.

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

Научный руководитель – доктор технических наук Трушников Дмитрий Николаевич, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, кафедра «Сварочное производство, метрология и технология материалов», профессор, проректор по разработкам и инновациям.

Официальные оппоненты:

Мелюков Владимир Васильевич, доктор технических наук (05.03.06 - Технология и машины сварочного производства), профессор, ООО «Вятский аттестационный центр», директор.

Рубцов Валерий Евгеньевич, кандидат физико-математических наук (01.04.07 –

физика конденсированного состояния), федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, лаборатория контроля качества материалов и конструкций, заведующий лабораторией.

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 13 научных трудов, в том числе 9 работ – в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени, 3 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 Structure and Properties of Two-Phase Ti-6Al-4V Alloy during Cold Metal Transfer Additive Deposition with Interpass Forging / Y. Shchitsyn, M. Kartashev, E. Krivonosova, T. Olshanskaya, D. Trushnikov // Materials. – 2021. – Vol. 14. – № 16. – P. 4415. (вклад автора 6 с./18 с.) (Web of Science, Scopus)

Соискателем приведены результаты исследования влияния послойной деформационной обработки, последующей общей термообработки, а также совместного применения послойной деформационной обработки и термообработки на структуру и механические свойства титанового сплава VT6, полученного при трехмерной электродуговой наплавке плавящимся электродом.

2. Improving VT6 Titanium-Alloy Components Produced by Multilayer Surfacing / D. N. Trushnikov, M. F. Kartashev, T. V. Ol'shanskaya, M. R. Mindibaev, Yu. D. Shchitsyn, F. R. Saecedo-Zendejo // Russian Engineering Research. – 2021. – Vol. 41. – № 9. – P. 848-850. (вклад автора 1с./ 3 с.) (Scopus)

Соискателем приведены результаты исследования влияния послойной

деформационной обработки и последующей общей термообработки на структуру и механические свойства титанового сплава ВТ6, полученного при трехмерной электродуговой наплавке плавящимся электродом.

3. Способ управления процессом трехмерной наплавки / Д. Н. Трушников, М. Ф. Карташев, Р. П. Давлятшин, С. З. Ф. Раймундо // СТИН. – 2022. – № 8. – С. 29-31. (вклад автора 1 с./3 с.) (ВАК)

Соискателем приведены результаты разработки способа управления тепловложением при трехмерной наплавке, использующего численный алгоритм требуемого изменения технологических параметров во времени при решении тепловой задачи посредством математического моделирования.

4. Искажение формы, локализация пластической деформации и распределение остаточных напряжений при односторонней проковке/обкатке бруса: применение результатов к аддитивному производству шпангоута с послойной обработкой давлением / И. Э. Келлер, А. В. Казанцев, Д. С. Дудин, Г. Л. Пермяков, М. Ф. Карташев // Вычислительная механика сплошных сред. – 2021. – Т. 14. – № 4. – С. 434-443. (вклад автора 1 с./10 с.) (ВАК)

Соискателем представлена численная модель формирования напряженно-деформированного состояния в призматическом бруске при его односторонней обработке пластическим деформированием.

5. Повышение качества изделий из сплава ВТ6, получаемых при многослойной наплавке / Д. Н. Трушников, М. Ф. Карташев, Т. В. Ольшанская, М. Р. Миндибаев, Ю. Д. Щицын, С. З. Ф. Раймундо // СТИН. – 2021. – № 6. – С. 12-14. (вклад автора 1 с./3 с.) (ВАК)

Соискателем приведены результаты исследования влияния послойной проковки и последующей термообработки на формирование структуры и свойств многослойно наплавленных изделий из сплава ВТ6.

6. Использование СМТ-наплавки для аддитивного формирования заготовок из титановых сплавов / Т. В. Ольшанская, Д. Н. Трушников, М. Ф. Карташев, С. Д. Неулыбин, Е. А. Кривоносова, Ю. Д. Щицын // Металлург. – 2020. – № 1. – С. 63-68. (вклад автора 1 с./6 с.) (ВАК)

Соискателем представлены результаты исследования аддитивного формирования изделий из титанового сплава 2В системы Ti-Al-V с использованием наплавки плавящимся электродом в защитном газе.

7. Трушников Д. Н., Карташев М. Ф., Безукладников И. И. Способ управления

процессом наплавки. Патент РФ №2750994. 07.07.2021. (вклад автора 8 с./23 с.)

Соискателем предложен способ управления тепловложением при трехмерной наплавке, использующий численный алгоритм требуемого изменения технологических параметров во времени при решении тепловой задачи посредством математического моделирования.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований предложены научно обоснованные технологические решения, обеспечивающие отсутствие дефектов, стабильность геометрических характеристик, механические свойства на уровне материала поковок, отсутствие анизотропии механических свойств, для материала из титанового сплава ВТ6, получаемого при трехмерной электродуговой наплавке плавящимся электродом;

разработан способ управления тепловложением при наплавке, использующий численный алгоритм определения требуемого изменения технологических параметров во времени при решении тепловой задачи посредством математического моделирования, включающий управление параметрами режима наплавки для поддержания размеров ванны расплавленного металла на заданном уровне и обеспечения постоянства размера наплавленных валиков в результате стабильного процесса формирования стенки и предпочтительных термических циклов;

предложено применение послойной деформационной обработки и последующей общей термообработки при трехмерной электродуговой наплавке сплава ВТ6 плавящимся электродом для улучшения структуры и повышения механических свойств наплавленного металла;

доказана перспективность применения трехмерной электродуговой наплавки плавящимся электродом для получения изделий из титанового сплава ВТ6 высокого качества, характеризующегося стабильностью геометрических характеристик, высокой изотропией, гарантированным уровнем механических свойств, удовлетворяющим требованиям для кованных материалов из сплава ВТ6.

Теоретическая значимость исследования обоснована следующим:

установлено, что применение послойной холодной деформации величиной порядка 5...10% при трехмерной наплавке титанового сплава ВТ6 способствует измельчению структуры и повышению механических свойств наплавленного металла;

установлено, что при трехмерной наплавке титанового сплава ВТ6 с послойной холодной деформацией величиной порядка 5...10% ведущим механизмом,

приводящим к измельчению зерна, являются процессы перекристаллизации деформированной α -фазы, происходящие при нагреве и охлаждении прокованного материала во время наплавки последующих слоев;

установлена возможность получения материала из сплава ВТ6 с прочностными и пластическими свойствами на уровне кованых материалов из сплава ВТ6 (предел прочности до 1000 МПа, относительное удлинение до 13...14 %) трехмерной электродуговой наплавкой плавящимся электродом в сочетании с деформационной обработкой и последующей общей термической обработкой.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что

разработаны и применены (при наплавке опытных заготовок детали проточной части авиационного двигателя из сплава ВТ6 для АО «Пермский завод «Машиностроитель» и заготовки детали типа «Кронштейн» для АО «РЕДУКТОР-ПМ», при разработке рабочей конструкторской документации на установки 3D печати в рамках работ для компании ООО «иксВелд») технологические рекомендации, обеспечивающее осуществление гибридного процесса трехмерной электродуговой наплавки плавящимся электродом, совмещенной с послойным деформационным упрочнением и термообработкой, благодаря которым возможно получение изделий с требуемыми механическими свойствами;

разработан способ определения параметров теплового воздействия, включающий динамическое управление параметрами режима наплавки для поддержания размеров ванны расплавленного металла на заданном уровне и обеспечения постоянства размера наплавленных валиков и устойчивого формирования выращиваемого изделия.

Получен патент на изобретение №2750994 от 07.07.2021 (RU) «Способ управления процессом наплавки» (Приоритет изобретения 02.06.2020).

Оценка достоверности результатов исследования выявила следующие обстоятельства:

испытания механических свойств проводились с использованием поверенного оборудования;

принимаемые допущения корректны;

методы исследований обоснованы и проведена валидация моделей по экспериментальным данным, полученным на действующих установках для гибридной

аддитивной технологии, а также проведена апробация полученных посредством этой технологии материалов;

теоретическая часть работы построена на фундаментальных положениях теории сварочных процессов, математического моделирования и материаловедения;

результаты работы не противоречат известным научным представлениям и результатам исследований, описанных ранее в работах других авторов;

результаты исследования представлены в публикациях.

Личный вклад соискателя состоит в том, что соискателем лично проведены исследования влияния технологических параметров трехмерной электродуговой наплавки плавящимся электродом на стабильность формирования получаемого металла и найден предпочтительный режим трехмерной наплавки сплава ВТ6 плавящимся электродом;

предложен способ управления тепловложением при наплавке, использующий численный алгоритм определения требуемого изменения технологических параметров во времени при решении тепловой задачи посредством математического моделирования;

проведены исследования влияния послойной деформационной обработки и последующей общей термообработки на качество наплавленного материала из сплава ВТ6 при трехмерной наплавке 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 декабря 2021 г. № 4334-В: в ней изложены теоретические, технические и технологические решения и разработки в области трехмерной электродуговой наплавки плавящимся электродом для получения изделий ответственного назначения из титанового сплава ВТ6 для различных отраслей промышленности: атомной, авиационной, вертолетостроительной и машиностроительной.

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

На заседании «23» декабря 2022 г. диссертационный совет Д ПНИПУ.05.13 принял решение присудить Карташеву Максиму Федоровичу ученую степень кандидата технических наук (протокол заседания № 8).

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 15 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за присуждение ученой степени – 13, против присуждения ученой степени – 0.

Председатель диссертационного совета Д ПНИПУ.05.13,

д-р. техн. наук, профес

 / Шицын Юрий Дмитриевич

Ученый секретарь дис

канд. техн. наук, доцент

га Д ПНИПУ.05.13,

 / Федосеева Елена Михайловна

«23» декабря 2022 г.