

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 Акуловой Светланы Николаевны
на соискание ученой степени кандидата технических наук**

Диссертация «Повышение механических свойств изделий из сплава системы Ti-Al-V, получаемых методом аддитивной плазменной наплавки» по научной специальности: 2.5.8. Сварка, родственные процессы и технологии принята к защите «23» апреля 2025 г. (протокол заседания № 2) диссертационным советом Д ПНИПУ.05.13, созданным по приказу ректора Пермского национального исследовательского политехнического университета от «06» апреля 2022 г. № 33-О (приказ о продлении полномочий диссертационного совета № 1082-В от 10.03.2025) 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 в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» на кафедре Сварочное производство, метрология и технология материалов

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор Кривоносова Екатерина Александровна, профессор кафедры Сварочное производство, метрология и технология материалов федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Официальные оппоненты:

Зорин Илья Васильевич, доктор технических наук (05.02.10 Сварка, родственные процессы и технологии), доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет», кафедра «Оборудование и технология сварочного производства», профессор;

Мелюков Валерий Васильевич, доктор технических наук (05.03.06 Технология и машины сварочного производства), профессор, общество с ограниченной ответственностью «Вятский аттестационный центр», директор.

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ») Министерства науки и высшего образования Российской Федерации., город Белгород (отзыв ведущей организации утвержден Скрипниковой Еленой Владимировной, кандидатом сельскохозяйственных наук, доцентом, проректором по стратегическому развитию, науке и инновациям, заслушан на заседании кафедры материаловедения и нанотехнологий (протокол заседания № 10 от 19.05.2025) и подписан Наумовым Станиславом Валентиновичем, кандидатом технических наук по специальности 05.02.10. Сварка, родственные процессы и технологии, доцентом кафедры материаловедения и нанотехнологий; Федосеевой Александрой Эдуардовной, доктором технических наук по специальности 2.6.1 Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов, и.о. заведующего кафедрой материаловедения и нанотехнологий).

По теме диссертации соискателем опубликовано 18 научных трудов, в том числе 7 работ – в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени, из них 4 работы – в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования Web of Science, Scopus. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем научных трудах. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Влияние термообработки на механические свойства титанового сплава системы Ti-Al-V, полученного аддитивной наплавкой / Мышкина А.В., Акулова С.Н. // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета "Машиностроение, материаловедение". – 2023. – Т. 24. – №4. – С. 92-98. 0,500 п.л. / 0,188 п.л. (ВАК)

В работе рассмотрено сравнение структуры и механических свойств материалов, полученных плазменной наплавкой с управляемым предпочтительным термическим циклом без термической обработки и после термической обработки.

Соискателем принято участие в проведении металлографических исследований и статистического анализа микротвердости материала.

2. Исследование структуры и дефектности титановых сплавов при наплавке / Хомутинин И.С.; Акулова С.Н.; Мышкина А.В.; Кривоносова Е.А.; Лямин Я.В. // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета "Машиностроение, материаловедение". – 2022. – Т. 24. – №. 1. – С. 70-78. 0,563 п.л. / 0,125 п.л. (ВАК)

В работе приведены исследования формирования структуры материала при использовании лазерной и аргонодуговой технологии наплавки, исследован уровень дефектности полученного материала. Соискателем принято участие в металлографических исследованиях образцов с целью исследования особенностей формирования структуры материала, полученного порошковой лазерной наплавкой.

3. Influence of the parameters of the heat treatment mode on the structure formation and properties of the welded material for the alloy Ti-Al-V / E. A. Krivonosova, T. V. Olshanskaya, S. N. Akulova, A. V. Myshkina, E. S. Salomatova // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2022. – Vol. 2275. – №. 1. – 012010. 0,625 п.л. / 0,188 п.л. (Scopus)

Статья посвящена исследованиям основных закономерностей формирования структуры и свойств титанового сплава системы Ti-Al-V в аддитивных гибридных технологиях производства с использованием плазменной наплавки. Соискателем принято участие в исследованиях образцов материала, полученного аддитивной плазменной наплавкой. Проведен анализ металлографического исследования образцов без термической обработки, а также приведены результаты рентгенофазового анализа данных образцов.

4. О влиянии схем плазменной наплавки на формирование структуры и свойств титанового сплава / Акулова С.Н.; Мышкина А.В.; Варушкин С.В.; Неулыбин С.Д.; Кривоносова Е.А.; Щицын Ю.Д.; Ольшанская Т.В. // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета "Машиностроение, материаловедение". – 2021. – Т. 23. – №. 3. – С. 75-83. 0,563 п.л. / 0,250 п.л. (ВАК)

В работе рассмотрено влияние различных способов плазменной наплавки на структуру и свойства двухфазного титанового сплава при аддитивном формировании заготовок. Соискателем проведены исследования влияния различных способов

плазменной наплавки на формирование структуры и свойств исследуемого сплава, принято участие в металлографических исследованиях, приведен анализ и сравнение структуры металла, наплавленного по рассматриваемым технологическим схемам; приведена обработка результатов измерений микротвердости материала.

5. Defects in metal during plasma and tig surfacing (review) / S. N. Akulova, A. V. Myshkina, S. D. Neulybin, E. A. Krivonosova // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2018. – Vol. 1109. – №. 1. – 012039. 0,375 п.л. / 0,250 п.л. (Scopus)

В статье приведен обзор основных дефектов, возникающих в материале при наплавке. Соискателем проведен анализ влияния технологий наплавки на свойства материалов и качество изделий, рассмотрены дефекты, возникающие при аргонодуговой и плазменной наплавке.

6. Structure formation of high-temperature alloy by plasma, laser and TIG surfacing / E. A. Krivonosova, Y. D. Schitsin, D. N. Trushnikov, A. V. Myshkina, S. N. Akulova, S. D. Neulibin, A. Y. Dushina // Journal of Physics: Conference Series. - 2018. - Vol. 1089 – №. 1. – 012019. 0,625 п.л. / 0,125 п.л. (Scopus)

В работе приведены исследования влияния аддитивных технологий наплавки на формирование структуры и механических свойств жаропрочного сплава. Соискателем принято участие в проведении количественного металлографического анализа структуры исследуемого сплава; выполнены измерения микротвердости наплавленных образцов, проведена обработка измерений для исследования формирования структуры и свойств металлов в технологиях аддитивных процессов.

7. Влияние технологий наплавки на структурообразование жаропрочных никелевых сплавов / Е. А. Кривоносова, Ю. Д. Щицын, Д. Н. Трушников [и др.] // Metallurg. – 2019. – № 2. – С. 68-73. – EDN DKTWBU. 0,375 п.л. / 0,063 п.л.

Переводная версия: Influence of surfacing technologies on structure formation of high-temperature nickel alloys / E. A. Krivonosova, Y. D. Shchitsyn, D. N. Trushnikov, A. V. Myshkina, S. N. Akulova, S. D. Neulybin, A. Y. Dushina // Metallurgist = Metallurg (Metallurg). - 2019. - Vol. 63, № 1-2- P. 197-205. (Web of Science)

В работе представлены результаты исследования особенностей формирования структуры и свойств металлов в технологиях аддитивных процессов. Соискателем принято участие в проведении количественного металлографического анализа

структуры исследуемого сплава, определена зависимость объемной доли структурной составляющей материала и микротвердости от технологии наплавки.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан метод плазменной наплавки для аддитивного производства титанового сплава ВТ6св, при котором реализуется термический цикл, обеспечивающий формирование однородной дисперсной структуры и прочности на уровне 840 МПа, за счет регулирования скорости охлаждения;

предложены технологические рекомендации для совершенствования процессов аддитивного производства изделия из титановых сплавов системы Ti-Al-V с требуемыми структурой и механическими свойствами;

установлены закономерности, описывающие процессы формирования структуры при послойной плазменной наплавке двухфазных титановых сплавов системы Ti-Al-V, которые показывают, что для формирования структуры с наименьшим размером зерна первичной β -фазы и мелкоигльчатым α' -мартенситом необходимо послойное охлаждение до температуры 250-300°C для обеспечения скорости охлаждения в диапазоне 30-40 °C/с.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: **установлены** закономерности формирования и обеспечения однородной дисперсной структуры зерен титанового сплава ВТ6св при плазменной наплавке для аддитивного производства;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использованы** численные и аналитические методы решения задач физико-математического моделирования, проведены натурные экспериментальные исследования и достоверная математическая обработка полученных результатов;

изложены аргументы, связанные с элементами теории, показывающие закономерности формирования структуры при послойной плазменной наплавке двухфазных титановых сплавов;

изучено влияние технологии, режимов и особенностей процесса наплавки на формирование структуры формирующихся изделий из титановых сплавов при послойной плазменной наплавке;

реализован современный подход, заключающийся в создании расчетной методики на основе экспериментально-теоретического исследования тепловых процессов, протекающих при нагреве и плавлении исходных материалов.

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

разработаны технологические рекомендации для процесса аддитивной плазменной наплавки титанового сплава системы Ti-Al-V, обеспечивающие требуемый уровень механических свойств изделий при использовании отечественной проволоки ВТ6св; результаты исследования диссертационной работы по выбору предпочтительной технологической схемы процесса аддитивной плазменной наплавки титанового сплава системы Ti-Al-V использовались в разработке рабочей конструкторской документации по оборудованию для трехмерной наплавки для компании ООО «РусАТ»;

определено, что достижение высоких показателей стабильности геометрических размеров и бездефектности получаемого наплавленного материала обеспечивается плазменной наплавкой дугой с прямой полярностью тока в камере с защитной атмосферой при двухдуговой схеме процесса;

представлен алгоритм определения требуемого времени межслойного охлаждения при решении тепловой задачи посредством математического моделирования для реализации управления термическими циклами при наплавке.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ достоверность результатов диссертационной работы обеспечивается применением современных средств и оборудования, необходимых для проведения исследований, стандартизированными методами испытаний, а также публикацией результатов исследований в научных изданиях, представленных в списке литературы;

теория построена на известных научных данных с учетом классической теории распространения теплоты и на обработке экспериментальных данных, которые согласуются с ранее опубликованными работами других авторов;

идея базируется на снижении затрат и возможности получения изделий с заданными эксплуатационными характеристиками при использовании доступной отечественной проволоки ВТ6св в качестве исходного материала изготовления изделий аддитивной плазменной наплавкой;

использовано сравнение результатов, полученных автором, и результатов, представленных в литературе по рассматриваемой тематике; установлено, что полученные результаты обеспечили высокий уровень механических характеристик материала, сопоставимый с характеристиками сплава ВТ6; использованы современные методы исследований структуры и свойств материалов, методы статистической обработки.

Материалы диссертационной работы были представлены автором и обсуждались на всероссийских и международных научно-практических конференциях. Достоверность полученных данных подтверждается хорошим совпадением теоретических и опытных значений параметров режимов наплавки. Все утверждения подтверждены ссылками на источники. Результаты экспериментов соответствуют излагаемой теории.

Личный вклад соискателя состоит в получении результатов, изложенных в диссертации и заключается в следующем:

- 1) соискателем выполнен анализ литературных источников в области трехмерной проволочно-дуговой, лазерной и плазменной наплавки титановых сплавов;
- 2) проведены исследования экспериментальных образцов методом оптической микроскопии;
- 3) проведены измерения микротвердости наплавленных образцов, проведен статистический анализ; построены зависимости;
- 4) проведена работа по обработке и анализу результатов проведенных исследований, по выбору предпочтительного температурного цикла плазменной наплавки титанового сплава ВТ6св по критериям структуры и прочности наплавленного металла на основе математического моделирования.

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 28 мая 2024 г. № 27-О: в диссертации представлены новые научно-обоснованные технологические решения по повышению механических свойств двухфазного титанового сплава системы Ti-Al-V при плазменной наплавке для аддитивного производства материала ВТ6св посредством управления

термическим циклом, имеющие важное значение для развития машиностроения и других отраслей промышленности.

На заседании «25» июня 2025г. диссертационный совет Д ПНИПУ.05.13 принял решение присудить Акуловой Светлане Николаевне ученую степень кандидата технических наук (протокол заседания № 3).

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 15 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за присуждение ученой степени – 12, против присуждения ученой степени – 0.

Председатель
диссертационного совета Д ПНИПУ.05.
д-р техн. наук, профессор

 /Щицын Ю.Д./

Ученый секретарь
диссертационного совета Д ПНИПУ.05.
канд. техн. наук, доцент

 /Федосеева Е.М./

« 26 » июня 2025г.

