



Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский
университет «МЭИ» (ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»)
111250, г. Москва,
вн.тер.г. муниципальный округ Лефортово,
ул. Красноказарменная, д. 14, стр. 1
Тел.: (495) 362-75-60, факс: (495) 362-89-38
E-mail: universe@mpei.ac.ru
https://mpei.ru

№

«30»

1653/520
И 2022 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

Драгунов В.К.



2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию
Карташева Максима Федоровича

(Ф.И.О. соискателя)

на тему: «Трехмерная электродуговая наплавка сплава ВТ6 плавящимся электродом»

(тема диссертации)

по специальности 2.5.8. Сварка, родственные процессы и технологии

(шифр научной специальности)

на соискание ученой степени кандидата технических наук.

(отрасль науки)

Представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук диссертация Карташева Максима Федоровича посвящена развитию методов аддитивного формирования металлических изделий путем применения трехмерной электродуговой наплавки плавящимся электродом с целью повышения качества получаемых изделий

Актуальность темы выполненного исследования

Трехмерная наплавка обладает высоким потенциалом внедрения в современной промышленности, так как в перспективе может позволить производить изделия сложной формы с высоким коэффициентом используемого материала, что особенно важно для дорогостоящих сплавов.

Наиболее ярко преимущества технологии раскрываются при работе с дорогостоящими материалами, такими как титановый сплав ВТ6, который широко распространён в авиационной, космической и атомной промышленности. Однако, несмотря на то, что имеется научный задел работ по трехмерной электродуговой наплавке сплава ВТ6 плавящимся электродом, этот способ почти не применяется в промышленности. Это связано с рядом проблем, встречающихся при аддитивном производстве титанового сплава ВТ6: формированием неблагоприятной структуры, анизотропией механических свойств, низкими механическими свойствами, возможностью появления дефектов при наплавке, а также сложностью обеспечения стабильного формирования геометрии получаемого изделия. Таким образом, проведенные диссертантом исследования представляются актуальными и важными, так как направлены на решение перечисленных выше проблем.

Оценка содержания диссертации и автореферата

Диссертационная работа Карташева М.Ф. состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем работы составляет 157 страниц, среди них 113 рисунков, 13 таблиц. Список литературы содержит 168 наименований.

Во введении обоснована актуальность работы, сформирована цель и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость работы, изложены основные положения, выносимые на защиту

В первой главе отражен анализ существующих экспериментальных и теоретических данных в области трехмерной наплавки титанового сплава ВТ6. Для повышения качества материала из сплава ВТ6, получаемого при трехмерной наплавке, предложены такие технологические приемы, как комплексное управление режимами наплавки, термическими циклами наплавки, послойным деформационным воздействием и последующей общей термообработкой.

Во второй главе исследованы закономерности влияния параметров режима электродуговой наплавки плавящимся электродом на образование

дефектов и стабильность формирования наплавляемого материала. Получен предпочтительный режим наплавки трехмерной сплава ВТ6 плавящимся электродом, обеспечивающий стабильное формирование изделия без дефектов.

Третья глава посвящена разработке способа управления тепловложением при наплавке, использующего численный алгоритм определения требуемого изменения технологических параметров во времени при решении тепловой задачи посредством математического моделирования. Разработанный способ обеспечивает стабильный процесс формирования наплавляемого металла с постоянным размером сварочной ванны.

В четвертой главе представлены результаты исследования структуры и свойств образцов из титанового сплава ВТ6, полученного трехмерной электродуговой наплавкой плавящимся электродом как без применения дополнительной обработки, так и с применением дополнительной послойной проковки и последующей общей термообработки. Представлен подробный анализ влияния проковки и термообработки на структуру и свойства получаемого материала. Также представлена возможность получения трехмерной наплавкой изделий из титанового сплава ВТ6 с высокой изотропией механических свойств и гарантированным уровнем механических свойств материала поковок из сплава ВТ6

В заключении обозначен факт достижения цели и приведены основные выводы по диссертационной работе в разрезе поставленных задач.

Список литературы включает 168 источников и отражает современное состояние дел в исследуемой проблемной области. На все источники даны ссылки по тексту. По итогам анализа приведенных источников можно утверждать, что проведен хороший анализ литературы, о чем также свидетельствует содержание главы 1.

В приложении вынесены акты использования результатов исследования, подтверждающие их важность, востребованность и актуальность.

В целом, диссертация является завершенной. Автореферат соответствует основным положениям диссертации. Основные результаты диссертации опубликованы в научной печати.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в разработке численного алгоритма определения технологических параметров процесса трехмерной наплавки, обеспечивающих качественное формирование изделий. Кроме того, в работе установлено, что применение послойной холодной деформации в процессе трехмерной наплавки титанового сплава ВТ6 способствует измельчению структуры и повышению механических свойств наплавленного металла за счет перекристаллизации α -фазы при нагреве и охлаждении прокованного слоя во время наплавки последующих слоев.

Значимость результатов для науки

Основные положения и выводы диссертационного исследования дополняют теоретические основы электродуговой наплавки титанового сплава ВТ6 плавящимся электродом и технологии аддитивного формирования металлических изделий трехмерной дуговой наплавкой.

Практическая значимость полученных автором диссертации результатов

Практическая значимость диссертационного исследования заключается в следующем:

1. Разработаны технологические основы, обеспечивающее осуществление гибридного процесса трехмерной электродуговой наплавки плавящимся электродом, совмещенной с послойным деформационным упрочнением и термообработкой, благодаря которым возможно получение трехмерно наплаваемых изделий с требуемыми механическими свойствами с практически полным отсутствием анизотропии.

2. 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.

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

Практическая значимость работы подтверждена актами использования результатов при разработке рабочей конструкторской документации на установки трехмерной печати, а также при изготовлении заготовок готовых изделий предприятиями машиностроительной и вертолетостроительной отрасли.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты диссертационной работы могут быть рекомендованы для внедрения на предприятиях машиностроения, вертолетостроения, самолетостроения, а также в космической и атомной отраслях промышленности, где востребованы жаропрочные изделия сложной формы из сплава ВТ6. Результаты исследования рекомендуется использовать при разработке технологий наплавки заготовок.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием поверенного оборудования лаборатории, аккредитованной Росавиацией, и современных средств проведения исследований, корректностью принимаемых допущений, обоснованностью методов исследований и верификацией моделей по экспериментальным данным, полученным на действующих установках для гибридной аддитивной технологии, апробацией полученных посредством этой технологии материалов, представлением результатов исследования в публикациях. Полученные результаты не противоречат известным результатам других ученых.

Материалы диссертации обобщены в 13 печатных работах, в том числе, 9 статей опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК, 3 статьи – в журналах, входящих в базы цитирования Scopus и Web of Science, имеется 1 патент РФ, относящийся к теме диссертационной работы. Результаты диссертационной работы широко представлены на конференциях различного уровня.

Соответствие диссертационной работы паспорту специальности

Диссертационная работа по содержанию и полноте изложенного материала соответствует паспорту специальности 2.5.8. Сварка, родственные процессы и технологии: пункту № 3 – «Физические процессы в материалах при сварке и родственных технологиях, фазовые и структурные превращения, образование соединений и формирование их свойств»; № 4 – «Технологические основы сварки и родственных процессов»; пункту № 6 – «Системы стабилизации, программного управления и регулирования параметров технологии сварки и родственных процессов»; № 7 – «Влияние конструктивных особенностей сварных соединений и технологии сварки на прочность, надежность и ресурс сварных конструкций».

Замечания

1. Непонятно, что в цели работы подразумевается под качеством материала и по каким критериям качество оценивается.

2. В главе 2 говорится об измерении геометрических параметров валиков, однако неясно каким образом проводились измерения колебаний ширины и высоты валиков.

3. Из текста главы 3 непонятно, каким образом происходит экспериментальное измерение контролируемого параметра – объема расплавленной ванны – в процессе послойной наплавки. Также недостаточно раскрыто, почему снижение мощности источника теплоты без использования управления не приводит к улучшению формирования многослойных образцов.

4. Не описано, каким образом использованы значения мощности, полученные при использовании разработанного в главе 3 способа управления тепловложением при наплавке посредством математического моделирования, при наплавке верифицирующего образца.

5. Работа посвящена повышению качества изделий, получаемых при трехмерной наплавке, однако в работе не освещена проблема деформации, возникающей при изготовлении изделий посредством трехмерной наплавки. Эта проблема также является весьма актуальной.

Приведенные замечания не снижают общего положительного впечатления о работе.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней

Диссертационная работа «Трехмерная электродуговая наплавка сплава ВТ6 плавящимся электродом» является законченным научным исследованием, обладает актуальностью, научной новизной и практической значимостью. Выводы соответствуют цели работы и поставленным научным задачам. Представленная диссертация является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи обеспечения требуемых структуры и механических свойств изделий при аддитивном формообразовании металлоконструкций с использованием технологии гибридного процесса трехмерной электродуговой наплавки плавящимся электродом, имеющая существенное значение для машиностроения, и соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.8. Сварка, родственные процессы и технологии.

Отзыв рассмотрен и утвержден на заседании кафедры Технологии металлов ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», протокол № 4 от «23» ноября 2022 г.

Отзыв составлен кандидатом технических наук,
доцентом кафедры Технологии металлов ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»
Марченковым А.Ю.

Доцент кафедры
Технологии металлов



Handwritten signature in blue ink, partially obscured by a black redaction box.

Марченков Артем Юрьевич

Заместитель заведующего кафедрой
Технологии металлов

Овечников Сергей Александрович

Подписи удостоверяю:

Заместитель начальника управления по работе
с персоналом НИУ «МЭИ»

Полевая Людмила Ивановна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Адрес: 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14.

Телефон: +7 (495) 362-70-01

E-mail: universe@mpei.ac.ru