

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Карташева Максима Федоровича «Трехмерная электродуговая наплавка сплава ВТ6 плавящимся электродом», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
2.5.8. Сварка, родственные процессы и технологии

Актуальность темы

В диссертационной работе Карташева М.Ф. проведены исследования, направленные на решение задачи обеспечения высоких механических характеристик материала из сплава ВТ6, получаемого при трехмерной наплавке плавящимся электродом. Для решения данной задачи в работе впервые предложен комплексный подход, включающий в себя управление режимами и термическими циклами наплавки, выбор способа и режимов послойного деформационного воздействия на наплавленный материал, а также выбор режимов последующей общей термообработки полученного материала.

Необходимость решения, поставленной задачи продиктована стремлением предприятий высокотехнологичных отраслей промышленности к широкому внедрению аддитивных технологий для изготовления изделий из металлов и сплавов, в том числе, высокопрочных и термостойких. Одним из таких широко используемых материалов является сплав ВТ6. Авиационная, космическая и атомная отрасли предъявляют высокие требования к качеству изделий из сплава ВТ6, полученных с использованием аддитивных технологий, к которым относится и технология трехмерной электродуговой наплавки плавящимся электродом. Сегодня, одним из наиболее серьезных препятствий для использования данной технологии является высокая анизотропия наплавленного материала из сплава ВТ6 и его низкие механические свойства, обусловленные рядом особенностей структуры, формирующейся в процессе наплавки. При формировании структуры в ходе наплавки в сплаве ВТ6 определяющим процессом является собирательная рекристаллизация β -зерен, которая происходит при нагреве нижележащих слоев в процессе нанесения последующих слоев, в результате чего в наплавленном изделии формируется анизотропная структура из столбчатых β -зерен значительных размеров. Это приводит к существенному снижению механических характеристик наплавленного материала, по сравнению с материалом проката или поковок, традиционно используемых для изготовления изделий из сплава ВТ6. Таким образом, сегодня назрела острая необходимость разработки специальных технологических приемов и оптимизации технологических режимов трехмерной наплавки, которые бы способствовали улучшению структуры материала и механических свойств изделий из сплава ВТ6, изготавливаемых по данной технологии.

В связи с вышеизложенным можно констатировать, что тема диссертационной работы Карташева Максима Федоровича «Трехмерная

электродуговая наплавка сплава ВТ6 плавящимся электродом», безусловно является актуальной.

Анализ содержания диссертации

В первой главе проведен подробный критический анализ современного состояния экспериментальных и теоретических исследований в области трехмерной наплавки сплава ВТ6. Обсуждено применение различных способов поверхностного деформационного воздействия при трехмерной наплавке титанового сплава ВТ6 – послойной прокатки, ударной и ультразвуковой ударной обработки. Описано влияние поверхностного деформационного воздействия на структуру и свойства материала ВТ6, получаемого трехмерной наплавкой. Подробно рассмотрено изменение структуры наплавленного материала при различных режимах термической постобработки. Сформулирована задача исследований, обоснована ее актуальность, поставлены цели исследований.

Во второй главе приведена методика выполнения экспериментальных исследований и методика получения экспериментальных образцов. Проведены исследования влияния технологических параметров на стабильность процесса наплавки, геометрию получаемых образцов. Подобраны режимы наплавки единичных валиков и определена стратегия заполнения образцов в виде вертикальных стенок, используемых в последующих экспериментальных исследованиях. Осуществлен подбор расхода защитного газа, обеспечивающий отсутствие окислов на поверхности наплавливаемых образцов.

В третьей главе приведены результаты исследований по разработке нового способа оперативного управления тепловым источником при трехмерной наплавке, который использует численный алгоритм ПИ-регулирования для определения требуемого изменения технологических параметров во времени, основываясь на результатах численного решения тепловой задачи для наплавливаемого изделия. Показано что разработанный способ позволяет поддерживать размеры ванны расплавленного металла на заданном уровне и обеспечивает требуемую геометрию наплавливаемых валиков и постоянство структуры материала в результате стабильного процесса формирования изделия.

В четвертой главе приведены результаты исследований влияния послойной деформационной обработки и последующей общей термообработки на структуру и свойства наплавленного металла при трехмерной электродуговой наплавке плавящимся электродом. Разработан метод комплексного воздействия на микро- и макроструктуру наплавленного материала – межслойная проковка в процессе наплавки и последующая общая термообработка, который позволяет улучшить структуру наплавленного металла и повысить его прочность. Показано, что разработанный метод позволяет производить методом трехмерной наплавки изделия, характеризующиеся стабильностью геометрических характеристик,

практически полным отсутствием анизотропии и гарантированным уровнем механических свойств материала, соответствующих материалу поковок из сплава ВТ6. Приведены сведения о внедрении результатов диссертационной работы.

Диссертация написана ясным научным языком. Видно, что автор хорошо владеет исследовательским инструментарием – как экспериментальным, так и теоретическим. Диссертант достаточно корректно использует научные методы анализа данных и обоснования результатов, формулирует выводы и рекомендации.

Научная новизна диссертационной работы

На основании анализа полученных автором результатов исследования, а также научных публикаций, в рецензируемых научных журналах, определенных ВАК, посвященных тематике диссертационной работы Карташева М.Ф., можно выделить следующие новые результаты, представленные в диссертационной работе:

1. Разработан оригинальный численный алгоритм для определения закона изменения технологических параметров во времени при решении тепловой задачи. Показано, что использование разработанного алгоритма позволяет на основе данных о тепловых полях в наплавляемом образце, предварительно полученных методом математического моделирования, динамически управлять процессом тепловложения в процессе трехмерной наплавки и таким образом обеспечивать формирование изделий с заданной структурой и минимальными отклонениями от заданной геометрии.

2. Установлено, что применение в процессе трехмерной наплавки титанового сплава ВТ6 послойной холодной проковки материала на глубину больше толщины переплавляемого слоя способствует измельчению структуры и повышению механических свойств наплавленного металла.

3. На основе подробных микроструктурных исследований показано, что при трехмерной наплавке титанового сплава ВТ6 с послойной холодной проковкой ведущим механизмом, приводящим к измельчению зерна, являются процессы перекристаллизации α -фазы, происходящие при нагреве и охлаждении деформированного слоя во время наплавки последующих слоев.

4. Впервые с использованием разработанного в работе гибридного метода, сочетающего трехмерную электродуговую наплавку плавящимся электродом с послойной деформационной обработкой и последующей общей термической обработкой, получен материал из сплава ВТ6 с высокой изотропией, прочностными и пластическими свойствами на уровне кованных материалов из сплава ВТ6.

Практическая и теоретическая значимость результатов работы

1. Разработаны технологические основы, обеспечивающее осуществление гибридного процесса трехмерной электродуговой наплавки плавящимся

электродом, совмещенной с послойной проковкой и последующей термообработкой, благодаря которым возможно получение изделий с требуемыми механическими свойствами и 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. По результатам диссертационного исследования получен патент РФ на гибридный способ управления процессом трехмерной наплавки.

4. Результаты диссертационного исследования применены при разработке рабочей конструкторской документации на установки 3D печати в рамках работ для компании ООО «иксВелд», 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».

Достоверность научных результатов и обоснованность выводов

Достоверность полученных в диссертации результатов подтверждается использованием современных средств проведения исследований, обоснованностью методов исследований и верификацией модели по экспериментальным данным, полученным на действующих технологических машинах гибридного аддитивного производства. Результаты исследований не противоречат известным результатам других ученых.

Замечания

1. В работе не приведены данные об используемом исходном материале для наплавки – не указан химический состав проволоки, а также информация о химическом составе материала, полученного наплавкой. Это не позволяет оценить возможные потери легирующих элементов, главным образом алюминия, испарение которого в процессе наплавки может оказывать влияние на структуру и механические свойства наплавленного материала.

2. В положениях научной новизны (п.1 и п.2) используются неудачные формулировки «деформации небольших величин» и «деформацией небольших величин», которые носят оценочный характер. Данные положения могли быть сформулированы более корректно, тем более что в разделе 4.2 диссертационной работы присутствует информация о толщине деформированного проковкой слоя, а также приводятся результаты численных расчетов величины деформаций.

3. На стр. 125 и 126 обсуждаются различия в значениях ударной вязкости для образцов, полученных при разных сочетаниях ударной и термической обработки. В частности, обсуждается как энергия удара диссипирует в различных структурных составляющих материала, а также пути

распространения трещин. Однако отсутствуют доказательства сделанных заключений в виде фрактограмм поверхностей разрушения полученных изломов.

4. В работе отсутствуют данные о механических свойствах в направлении оси Y, т.е. перпендикулярно наплавляемой стенке. Такие данные были бы полезны для более полной оценки достигнутой изотропии свойств наплавленного материала, а также совершенно необходимы при изготовлении объемных изделий методом трехмерной наплавки.

5. Отсутствуют схемы стратегий заполнения при получении образцов трехмерной наплавкой. Стратегии заполнения описаны только в тексте, что не дает наглядного представления о последовательности наплавки валиков и параметрах их взаимного перекрытия.

6. Не до конца выдержана структура работы. В главе 4 имеется раздел 4.1. Методика получения образцов, в котором приводятся также методики проведения механических испытаний и термообработки. В разделах 4.3, 4.4 и 4.5 приводятся соответственно методики металлографического, рентгенофазового анализа и измерения микротвёрдости. Для лучшего структурирования диссертационной работы данная информация должна была быть помещена в главу 2.

7. В работе присутствует некоторая избыточность в изложении результатов. В частности, одни и те же данные по механическим свойствам полученных образцов в главе 4 приведены в таблицах 4,9 и 4,10, а также на рисунках 4.46 и 4,48.

8. В тексте работы присутствуют отдельные неудачные формулировки, например «...улучшить характеристики роста усталостных трещин...», «...деформационная нагрузка от применения ультразвуковой ударной обработки недостаточна для образования равноосных β -зерен...», «...границы между первичными β -зернами стали не четко выражены, как бы размытые...». Также в работе используются некоторые необщепотребительные термины и жаргонизмы, например, «провал по пластичности», «бонус повышения прочности», в качестве единиц измерения вместо микрометров указаны микроны.

Соответствие диссертационной работы указанной специальности

Диссертационная работа Карташева Максима Федоровича на тему «Трехмерная электродуговая наплавка сплава ВТ6 плавящимся электродом» 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».

Заключение


Диссертационная работа Карташева М.Ф. на тему «Трехмерная электродуговая наплавка сплава ВТ6 плавящимся электродом» является законченной исследовательской работой, в которой автор, основываясь на литературном анализе проблемы, а также на теоретическом анализе и экспериментальном материале достиг поставленной цели. Выводы по работе соответствуют результатам теоретических и экспериментальных исследований. Выводы сформулированы корректно и отражают суть проведенных исследований. По результатам работы разработан способ трехмерной электродуговой наплавки сплава ВТ6 плавящимся электродом, обеспечивающий наплавку изделий высокого качества.

По теме диссертации опубликовано 9 печатных работ научных журналах, рекомендованных ВАК, а также в 3 работы в международных журналах, входящих в базы Web of Science или Scopus.

Диссертационная работа соответствует требованиям п.9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней» постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в редакциях от 21.04.2016 № 335 и 12.10.18 № 1168), а ее автор Карташев Максим Федорович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.8. Сварка, родственные процессы и технологии.

05.12.2022 г.


Официальный оппонент,
Кандидат физико-математических наук,
заведующий лабораторией контроля качества материалов
и конструкций, ФГБУН «ИФПМ СО РАН»

 / Рубцов Валерий Евгеньевич /

Подпись к-та физ.-мат. наук

Рубцова В.Е. заверяю:

начальник отдела юридической
и кадровой работы

 (подпись)

/ Панышина Н.М. /
(расшифровка подписи)

Рубцов Валерий Евгеньевич, кандидат физико-математических наук,
заведующий лабораторией контроля качества материалов и конструкций,

ФГБУН «Институт физики прочности и материаловедения Сибирского
отделения Российской академии наук»

634055, г. Томск, пр. Академический, 8/2, каб. 104.

Тел.: +7 (913) 800-60-41

E-mail: rvy@ispms.ru

Наименование научной специальности, по которой была защищена
кандидатская диссертация: 01.04.07 – физика конденсированного состояния