

УДК 669.633

ПОЛУЧЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СПЛАВОВ ТИТАНА АДДИТИВНЫМИ МЕТОДАМИ

СКРЕБЦОВ А.А. ¹ к.т.н., доц.,
ОВЧИННИКОВ А.В. ² д.т.н., проф.,
ШЕВЧЕНКО В.Г. ³ к.т.н., доц.,
МИХАЙЛЮТЕНКО О.А. ⁴ м.н.с.,
ЖИЛА Т.А. ⁵ м.н.с.

¹ кафедра «Механика», НИЦ «Титан Запорожъя», Запорожский национальный технический университет, ул. Жуковского, 64, 69000, Запорожье, Украина, тел. +38 (0612) 769-83-62, e-mail: nic_tz@ukr.net

² кафедра «Оборудования и технологии сварочного производства», НИЦ «Титан Запорожъя», Запорожский национальный технический университет, ул. Жуковского, 64, 69000, Запорожье, Украина, тел. +38 (0612) 769-83-62, e-mail: iaov@rambler.ru

³ кафедра «Механика», НИЦ «Титан Запорожъя», Запорожский национальный технический университет, ул. Жуковского, 64, 69000, Запорожье, Украина, тел. +38 (0612) 769-83-62

⁴ НИЦ «Титан Запорожъя», Запорожский национальный технический университет, ул. Жуковского, 64, 69000, Запорожье, Украина, тел. +38 (0612) 769-83-62

⁵ кафедра «Механика», НИЦ «Титан Запорожъя», Запорожский национальный технический университет, ул. Жуковского, 64, 69000, Запорожье, Украина, тел. +38 (0612) 769-83-62, e-mail: glotka87@ukr.net

Аннотация. Цель. Исследование структуры и микротвердости образца, полученного аддитивной наплавкой порошка титанового сплава VT20 на подложку из сплава VT1-0. **Методика.** Установка для наплавки типа СВ-212М. Порошок титанового сплава VT20 несферической формы частиц, фракции -160+40 мкм. Исследовалась структура и микротвердость. **Результаты.** Осуществлена электронно-лучевая наплавка порошка сплава VT20. Установлен размер переходной зоны, который составил 4 мм и микротвердость 2000 – 3000 МПа. Установлено отсутствие несплошностей в виде послойного несплавления порошка. Установлено соответствие структуры наплавленного слоя 4-му типу по 9-ти типной шкале микроструктур (ГОСТ 26492-85) с микротвердостью 3000 – 3600 МПа. **Научная новизна.** Для наплавленного по аддитивной технологии в отечественных условиях титанового сплава VT20 установлена связь между структурой и микротвердостью. **Практическая значимость.** Реализована аддитивная наплавка в отечественных условиях образцов титанового сплава VT20.

Ключевые слова: аддитивные технологии, титановый сплав, наплавка, структура, микротвердость

ОТРИМАННЯ ДЕТАЛЕЙ ЗІ СПЛАВІВ ТИТАНУ ЗА АДДИТИВНИМИ МЕТОДАМИ

СКРЕБЦОВ А.А. ¹ к.т.н., доц.,
ОВЧИННИКОВ О.В. ² д.т.н., проф.,
ШЕВЧЕНКО В.Г. ³ к.т.н., доц.,
МИХАЙЛЮТЕНКО О.А. ⁴ м.н.с.,
ЖИЛА Т.А. ⁵ м.н.с.

¹ кафедра «Механіка», НДЦ «Титан Запоріжжя», Запорізький національний технічний університет, вул. Жуковського, 64, 69000, Запоріжжя, Україна, тел. +38 (0612) 769-83-62, e-mail: nic_tz@ukr.net

² кафедра «Обладнання та технологія зварювального виробництва», НДЦ «Титан Запоріжжя», Запорізький національний технічний університет, вул. Жуковського, 64, 69000, Запоріжжя, Україна, тел. +38 (0612) 769-83-62, e-mail: iaov@rambler.ru

³ кафедра «Механіка», НДЦ «Титан Запоріжжя», Запорізький національний технічний університет, вул. Жуковського, 64, 69000, Запоріжжя, Україна, тел. +38 (0612) 769-83-62

⁴ НДЦ «Титан Запоріжжя», Запорізький національний технічний університет, вул. Жуковського, 64, 69000, Запоріжжя, Україна, тел. +38 (0612) 769-83-62

⁵ кафедра «Механіка», НДЦ «Титан Запоріжжя», Запорізький національний технічний університет, вул. Жуковського, 64, 69000, Запоріжжя, Україна, тел. +38 (0612) 769-83-62, e-mail: glotka87@ukr.net

Анотація. Мета. Дослідження структури і мікротвердості зразка, отриманого адитивною наплавкою порошку титанового сплаву VT20 на підкладку зі сплаву VT1-0. **Методика.** Установка для наплавки типу СВ-212М. Порошок титанового сплаву VT20 неферической форми частинок, фракції -160 + 40 мкм. Досліджувалася структура і мікротвердість. **Результати.** Здійснено електронно-променево наплавлення порошку сплаву VT20. Встановлено розмір перехідної зони, який склав 4 мм і мікротвердість 2000 - 3000 МПа. Встановлено відсутність несплошностей у вигляді пошарового непроплавлення порошку. Встановлено відповідність структури наплавленого шару 4-го типу по 9-ти типній шкалі мікроструктур (ГОСТ 26492-85) з мікротвердістю 3000 - 3600 МПа. **Наукова новизна.** Для наплавленого по адитивній технології в вітчизняних умовах титанового сплаву VT20 встановлено зв'язок між структурою і мікротвердістю. **Практична значимість.** Реалізована адитивне наплавлення в вітчизняних умовах зразків титанового сплаву VT20.

Ключові слова: адитивні технології, титановий сплав, наплавка, структура, мікротвердість

OBTAINING DETAILS FROM TITANIUM ALLOYS BY ADDITIVE METHODS

SKREBTSOV A. ¹ Ph. D., Assos. prof.,
OVCHINNIKOV A. ² Dr. Sc. (Tech.), Prof.,
SHEVCHENKO V. ³ Ph. D., Assos. prof.,
MIHALUTENKO O. ⁴ Junior researcher
ZHILA T. ⁵ Junior researcher

Annotation. Purpose. Investigation of the structure and microhardness of a sample obtained by the additive surfacing of a powder of a titanium alloy VT20 on a substrate of the alloy VT1-0. **Methodology.** Installation for surfacing type SV-212M. The powder of the titanium alloy VT20 is a non-spherical particle shape, fractions -160 + 40 μm . The structure and microhardness were studied. **Findings.** Electron-beam surfacing of VT20 alloy powder is carried out. The size of the transition zone, which was 4 mm and the microhardness of 2000-3000 MPa was established. The absence of discontinuities in the form of layer-by-layer non-melting of the powder is established. The structure of the deposited layer was found to be of the 4-th type according to the 9-type scale of microstructures (GOST 26492-85) with microhardness of 3000-3600 MPa. **Originality.** A bond between structure and microhardness was established for the VT20 titanium alloy deposited by additive technology in domestic conditions. **Practical value.** The additive surfacing in the domestic conditions of samples of the titanium alloy VT20 is realized.

Key words: additive technologies, titanium alloy, surfacing, structure, microhardness

Введение

Аддитивные технологии или технологии наращивания находят широкое применение во всех высокотехнологичных отраслях промышленности [1]. В современных технологиях наращивания намечены две принципиальные схемы: *Vad Deposition* и *Direct Deposition*. Принципиальное отличие этих схем заключается в способе подачи расходуемого сырья – порошка титана. Существующие машины для аддитивного производства используют сферические титановые порошки.

Отечественное машиностроение имеет тенденции по внедрению аддитивных технологий в свое производство [2]. Внедрению зарубежных сертифицированных материалов препятствует отсутствие химических составов, которые используются на отечественном производстве. При всем этом, стоимость порошка титанового сплава, не соответствующего по химическому составу, в ряде случаев превышает 600 долларов за килограмм. Доработка химического состава во время наращивания не представляется возможной так как каждая частичка порошка является сформированным сплавом, со своей химией и структурой. Таким образом, для внедрения технологий наращивания в

отечественное производство требуется создание широкого спектра составов порошков титана, которые будут сертифицированы. Не следует оставлять без внимания разработку новых решений в производстве порошка, что позволит снизить стоимость сырья. К числу таких решений можно отнести разработанную технологию получения порошка титановых сплавов по принципу гидрирования – дегидрирования (HDH процессы) спеченного полуфабриката [3].

Следовательно, требует решения ряд научно-практических задач, связанный с разработкой и реализацией технологических аспектов в аддитивных технологиях. Причем, начиная от получения порошка и до выращивания изделия из него [4]. В данной работе решалась задача получения качественной заготовки методом наращивания из титанового сплава VT20.

Материалы и методики исследований

В качестве исходного материала для наплавки был выбран порошок титанового сплава VT20 (рис. 1).

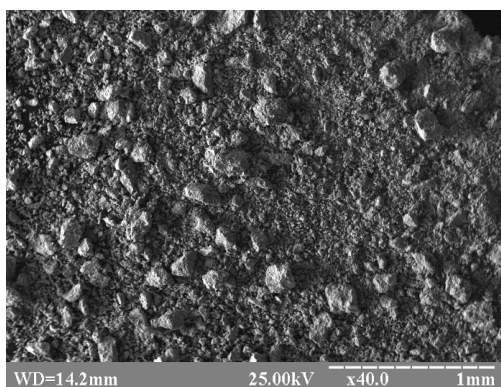


Рис. 1. Электронная фотография на РЭМ опытного порошка до рассева / Electronic photograph on the REM of the experimental powder before sieving

Порошок получали путем HDH процессов со спеченной заготовкой, состава сплава VT20. Для исследований выбрана фракция порошка - 160+40 мкм. Технологические характеристики: Текучесть (Ø5мм) 11,7 с, плотность 1,8 г/см³. Химический состав используемого материала приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав используемого порошка VT20 / chemical composition of the used powder VT20

Содержание легирующих элементов до, % масс. долей				Содержание примесей до, % масс. долей		
Zr	Mo	V	Al	N	H	O
1,5 – 2,5	0,5 – 2,0	0,8 – 2,5	5,5 – 7,0	0,05	0,015	0,15

Работы по наплавке выполняли в условиях Института электросварки им. Е.О. Патона на установке электронно-лучевой сварки (ЭЛС) типа СВ-212М с импульсным источником питания 60кВ/60кВт, электронно-лучевой пушкой ЭЛА-60. Пакет прикладных программ и установка, а также устройство для фиксации порошка при плавке разработано в Институте электросварки им. Е.О. Патона. Принципиальная схема установки показана на рис. 2.

Металлографические исследования проводили на оптическом микроскопе отраженного света «Neophot 32». Шлифы для исследований изготавливали из средней части образца последовательным шлифованием. Для металлографических исследований и определения анизотропии микротвердости вырезался опытный образец из середины изделия. Сечение образца представляло собой прямоугольник, размерами 16×11 мм. Толщину образца оставляли таковой, чтоб исключить деформацию металла при исследовании микротвердости.

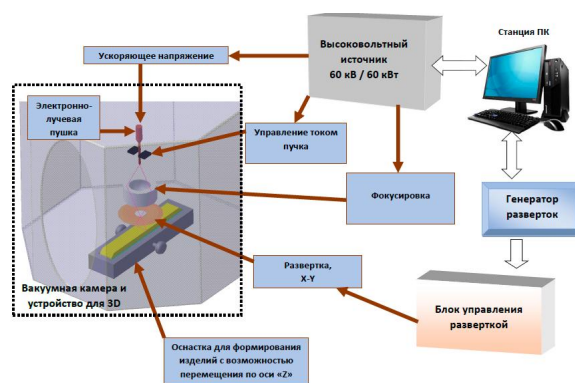


Рис. 2. Принципиальная схема установки для наплавки / Schematic diagram of the installation for surfacing

Для оценки механических свойств, а также с целью определения качества технологической защиты металла во время наращивания проводили исследования микротвердости на модернизированном приборе ПМТ-3 с усилием 0,49 Н. Замеры осуществлялись в «шахматном» порядке от поверхности до подложки из сплава VT1-0. По результатам измерения микротвердости строилась зависимость показателя Н_ц от глубины наплавленного слоя.

Результаты и обсуждения

Наращивание проводили послойно. Слой компоновали глубиной от 50 до 500 мкм. Компоновка осуществлялась механическим путем. Основным отличием опытной установки от 3-D принтеров электронно-лучевого типа Argam является отсутствие автоматического формирования слоя при наплавке и невозможность обеспечения сложной геометрии детали. Для наплавки использовали несферический HDH порошок сплава VT20.

Металлографическим анализом установлено отсутствие пор в структуре металла во всех направлениях (рис. 3).

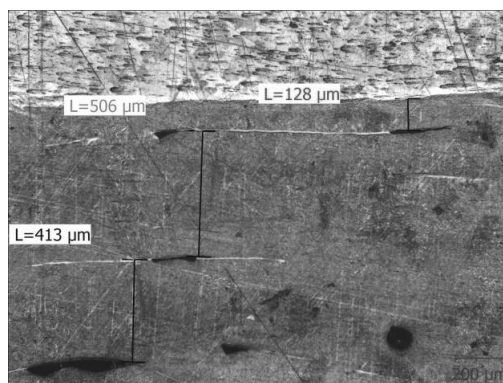
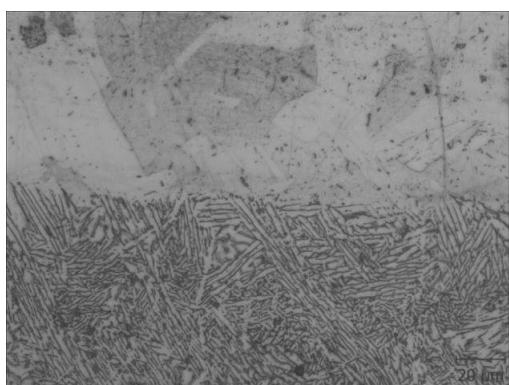
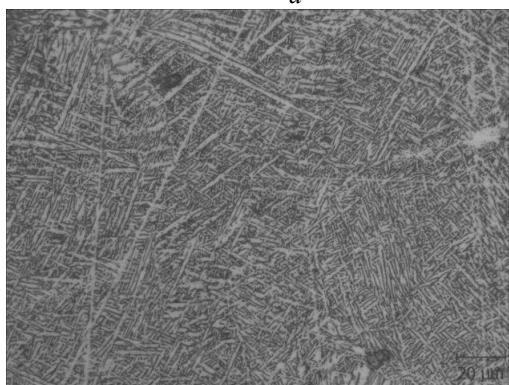


Рис. 3. Характерная структура зоны сплавления подложки и опытного порошка / The characteristic structure of the fusion zone of the substrate and the experimental powder

В структуру центральной части исследуемого образца пор не обнаружено (рис. 4).



а



б

Рис. 4. Характерные микроструктуры центральной части образца в зоне сплавления (а) и наплавленном слое / The characteristic microstructures of the central part of the sample in the fusion zone (a) and the deposited layer

Анализ микроструктуры рис. 4, б позволил установить соответствие структуры по морфологии 4-му типу по 9-ти типной шкале микроструктур (ГОСТ 26492-85). При этом структура состояла из β -превращенных зерен и тонких прослоек зерен α -фазы [5]. Однако, наряду с этим, имеет место образование выделений α' -фазы. Образование закалочных структур связано с низкой энергией источника и быстрым теплоотводом в объем ранее сформированного литого металла. Размер структурных составляющих в переходной зоне отличался от размера зерен подложки и наплавленного металла. В переходной зоне отмечено (см. рис. 4, а) наличие разноориентированных зерен. При этом размер прослоек зерен α - фазы визуально больше.

Из анализа данных рис. 4, б видно, что по мере отдаления от зоны сплавления (сверху вниз) происходит уменьшение размеров выделений α' -фазы.

Для установления размеров зоны сплавления и переходной зоны проведены испытания по определению микротвердости. Результаты испытаний приведены на рис. 5.

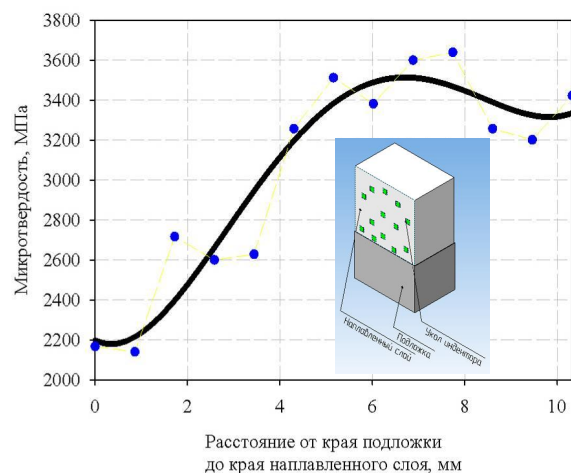


Рис. 5 – Результаты измерения микротвердости / Microhardness measurement results

Анализ данных рис. 5 позволил установить размер переходной зоны, который в среднем составил 4 мм. Для переходной зоны характерны значения микротвердости от 2000 МПа до 3000 МПа. При этом значения микротвердости превышающие 3000 МПа находились на расстоянии от 4 мм и до края наплавленного металла. Следует отметить, что значения микротвердости наплавленного металла не превышали 3600 МПа. Для деформированного прутка титанового сплава ВТ20 уровень микротвердости составляет 2600 – 3700 МПа. Следовательно, значения H_c для опытного сплава не превышали аналогичные значения для сплава в деформированном состоянии аналогичного состава. Разброс уровня значений H_c в 400 МПа может быть следствием попадания индентора в разные структурные составляющие сплава.

Анализ рис.4 и рис 5 позволяет сделать вывод, что при наплавке порошка титанового сплава ВТ20 на подложку из сплава ВТ1-0 происходит формирование видимой структурной зоны, размером 4 мм с уровнем микротвердости выше чем для сплава ВТ1-0, но ниже чем для сплава ВТ20. Значение H_c в этом сформированном слое 2000 – 3000 МПа, что может быть следствием перераспределения легирующих элементов при расплаве титана.

Таким образом, проведена электронно-лучевая наплавка порошка титана ВТ20 на подложку из сплава ВТ1-0. Исследованы структуры и микротвердость полученного титанового сплава.

Выводы

1. Проведен анализ возможности реализации аддитивных процессов на электронно-лучевом оборудовании.
2. Получен по технологии HDH процесса несферический порошок титанового сплава ВТ20.
3. Специалистами Института электросварки им. Е.О. Патона осуществлена электронно-лучевая наплавка опытного порошка титанового сплава ВТ20

фракционного состава -160+40 на подложку из сплава ВТ1-0.

4. Исследованы структуры зоны сплавления подложки из титанового сплава ВТ1-0 и напущенного металла. Установлено, что в зоне стыка произошли изменения структуры, по-видимому, заключающиеся в перераспределении легирующих элементов. Результаты измерения микротвердости позволили установить, что величина переходной зоны составляет в среднем 4мм.

5. Исследованы структуры наплавленного металла. Установлено отсутствие несплошностей в виде послойного несплавления порошка. Структура опытного металла соответствовала по 9-ти типной

шкале микроструктур (ГОСТ 26492-85) 4-му типу. Анализ результатов измерения микротвердости позволил установить, что уровень Н_ц составил 3000 – 3600 МПа. Такое значение микротвердости характерно для деформированного титанового сплава ВТ20.

6. На основании результатов металлографических исследований установлено, что аддитивная электронно-лучевая наплавка позволяет получать структуру сплава близкую к структуре аналогичного деформированного сплава.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Петрик И.А. Разработка порошков титановых сплавов для аддитивных технологий применительно к деталям ГТД // И.А. Петрик, А.В. Овчинников, А.Г. Селиверстов // *Авиационно-космическая техника и технология* – 2015 – №8 – с. 11-16.
2. Ахонин С.В. 3D электронно-лучевая наплавка титановых деталей // С.В. Ахонин, Э.Л. Вржижевский, В.Ю. Белоус, И.К. Петриченко // *Автоматическая сварка* – 2016 – №5-6. – с. 141-144.
3. Производство порошков из гидрированного губчатого титана. //Сайт ГП «ГНИП Институт титана» [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://timag.org/ru_propose.php - 25.01.2017.
4. Скребцов А.А. Получение заготовок для изготовления порошков легированных титановых сплавов для аддитивных технологий // А.А. Скребцов, А.В. Овчинников // *Титан 2016: виробництво та використання в авіабудуванні: тези допов. IV міжнародної науково-практичної конференції, 3-4 листопада 2016 р., м. Запоріжжя.* – АТ «Мотор Січ»: [ISBN 978-966-2906-61-5], 2016. – с. 13-17.
5. Vydehi Arun Joshi. Titanium alloys: an atlas of structures and fracture features / Vydehi Arun Joshi. – London: New York: Taylor & Francis Group, 2006. – 227 p.

REFERENCES

1. Petrik I.A. Development of powders of titanium alloys for additive technologies as applied to GTE details. Petrik, A.V. Ovchinnikov, A.G. Seliverstov // *Aviation and space technology and technology* - 2015 - № 8 - p. 11-16.
2. Akhonin S.V. 3D electron beam surfacing of titanium components // SV. Akhonin, E.L. Vrzhezhevsky, V.Yu. Belous, I.K. Petrichenko // *Automatic welding* - 2016 - №5-6. - p. 141-144.
3. Production of hydrogenated sponge titanium powders. // the site of GP "GNIIP Institute of Titanium" [Electronic resource]. Access mode: http://timag.org/en_propose.php - 01/25/2017.
4. Skrebtsov A.A. Preparation of blanks for the manufacture of powders of alloyed titanium alloys for additive technologies. A.A. Skrebtsov, A.V. Ovchinnikov // *Titan 2016: virobnytsvota vikorystanna in aviabuduvanni: theses of the dopas. IV of the international scientific and practical conference, 3-4 leaves of the fall of 2016, metro Zaporizhzhya.* - AT «Motor Sich»: [ISBN 978-966-2906-61-5], 2016. - p. 13-17.
5. Vydehi Arun Joshi. Titanium alloys: an atlas of structures and fracture features / Vydehi Arun Joshi. – London: New York: Taylor & Francis Group, 2006. – 227 p.

Статья рекомендована к публикации д-рами техн. наук, В.И. Большаковым и Д.В. Лаухиным (Украина)