

получения необходимого материала. Метод искроплазменного спекания также является оптимальным для получения материала со свойствами, не уступающими прототипу.

Список литературы

1. Bhaumik S. K. Synthesis and sintering of SiC under high pressure and high temperature / Bhaumik S. K., Divakar C., Usha Devi S. // J. Mater. Res. Soc.. - v. 14. - № 3. - P. 901–906.
2. Болдин М.С. Физические основы технологии электроимпульсного плазменного спекания: учеб.-метод. пособие / Нижегородский государственный университет. – Нижний Новгород, 2012. – 59 с.
3. С.Н. Перевислов, Д.Д. Несмелов, М.В. Томкович Получение материалов на основе SiC и Si₃N₄ методом высокоимпульсного плазменного спекания / Вестник Нижегородского университета им. Лобачевского, 2013, № 2 (2), с. 107-114.
4. С.Н. Перевислов, Д.Д. Несмелов, М.В. Томкович Получение материалов на основе SiC и Si₃N₄ методом высокоимпульсного плазменного спекания / Вестник Нижегородского университета им. Лобачевского, 2013, № 2 (2), с. 107-114.

СТРУКТУРА ОБРАЗЦОВ Ti-Nb СПЛАВА, ПОЛУЧЕННЫХ СЛС-МЕТОДОМ

В.А. РУБАНОВ¹, М.Г. КРИНИЦИН^{1,2}, М.А. ХИМИЧ^{2,3}

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Ж.Г. Ковалевская^{1,2}

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,

³Национальный исследовательский Томский государственный университет,

E-mail: rubanov1994@mail.ru

В последние несколько лет во всем мире наблюдается быстрое развитие аддитивных технологий [1]. Под этими терминами подразумевается изготовление детали путем послойного добавления материала. На сегодняшний день такие технологии различаются друг от друга, как выбором материалов, так и способом их послойного нанесения. Одним из наиболее актуальных методов создания трехмерных изделий является метод селективного лазерного сплавления (СЛС) [2]. Эта технология позволяет создавать из металлических порошков и их композиций объемные изделия с пористостью 0-3 %, что сравнимо с металлическими изделиями, получаемыми традиционными методами.

В центре «Современные производственные технологии» ИФВТ НИ ТПУ разработана экспериментальная установка «Луч», предназначенная для селективного лазерного сплавления металлических порошков. Основные характеристики установки «Луч»: волоконный непрерывный лазер ЛК-5000М мощностью 500 Вт; сканаторная головка LscanH-14-1064 с программным обеспечением LDesigner, размером пятна в фокусе лазерного излучения 205 мкм и фокусным расстоянием 330 мм.

Целью проведенной работы было продолжение исследования образцов из сплава Ti-Nb, полученных на установке «Луч» с варьированием параметров процесса сплавления.

В качестве исходного материала в работе использовался порошок сплава Ti-45Nb, полученный механоактивацией в шаровой мельнице АГО-2С [3]. Образцы получали в герметично закрытой камере при давлении аргона ~1,6 атм. Частицы порошка имели форму окатышей со средним размером 20 мкм. Каждый слой образцов получали в два прохода лазером с одинаковой разверткой, но разной скоростью. Развертка представляла собой параллельные друг другу линии с шагом между ними 200 мкм. Каждый последующий слой развертка поворачивалась на угол 90° для обеспечения высокой плотности получаемого образца. Основными изменяемыми параметрами были мощность излучения, скорость сканирования и толщина слоя (таблица 1).

Таблица 1 – Режимы СЛС

Изменяемые параметры	Образец №1	Образец №2	Образец №3
Мощность лазерного излучения, Вт	125	250	250
Скорость первого сканирования, мм/с	160	320	320
Скорость второго сканирования, мм/с	140	320	320
Толщина слоя насыпки, мкм	40	40	40 с коррекцией

На рисунке 1 представлено строение поверхности полученных образцов. Как видно, на поверхности образца №1 (рис. 1 а) в процессе плавления и кристаллизации образуются капли кристаллизовавшегося материала. Появление данного эффекта объясняется низкой скоростью сканирования лазера. Поэтому в эксперименте №2 скорость сканирования была увеличена с одновременным увеличением мощности лазерного излучения. Это было необходимо для сохранения энерговклада на прежнем уровне [4]. Как видно из рисунка 1 б, увеличение скорости сканирования и мощности лазера привело к повышению качества поверхности образца №2. Вместо каплеобразных выступов на поверхности формируется рельеф со следами сварочных ванн, образующихся при развертке лазера.

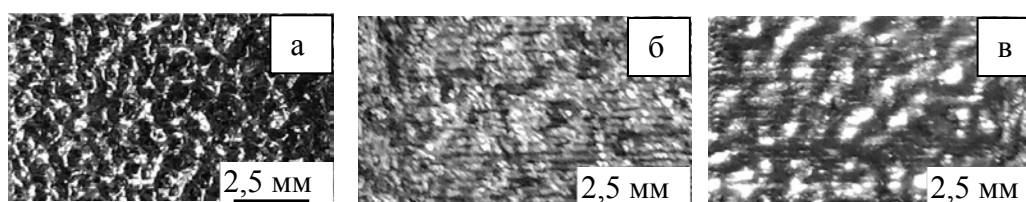


Рисунок 1 – Фотографии образцов, полученных СЛС на установке «Луч»: а – образец №1, б – образец №2, в – образец №3

Образец №3 был получен при тех же параметрах лазерного сканирования, что и образец №2. Различие заключалось в том, что при наращивании образца была учтена усадка порошка при плавлении и, с каждым новым слоем платформа опускалась на меньшую высоту (таблица 1). Как видно из рис. 1 в, поверхность образца №3 имеет вид, близкий к состоянию поверхности образца №2. Видны сварочные ванны, образующие треки в направлении развертки лазера. Но в отличие от поверхности образца №2 нет значительных углублений. Поверхность более гладкая (рис. 1 в).

Результаты металлографического анализа поперечных шлифов трех образцов показали, что СЛС обеспечило формирование монолитного материала с разной пористостью, в зависимости от режима СЛС (рис. 2).

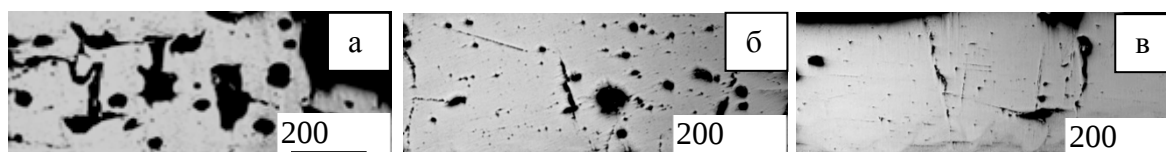


Рисунок 2 – Металлографические изображения поперечного сечения образцов, полученных СЛС на установке «Луч»: а – образец №1, б – образец №2, в - образец №3

У образца №1 пористость составляет 23 % и образуется за счет пор на границе между слоями и внутри слоев (рис. 2 а). Поры образуются в местах, где контактируют каплеобразные участки нижележащего слоя с вышележащим, а также в процессе усадки кристаллизовавшегося материала. У образцов №2 и №3 пористость ниже. Это следствие улучшения качества поверхности формирующихся слоев материала. На двух последних образцах (рис. 2 б, в) наблюдаются в основном округлые поры, образующиеся за счет газовой выделений, сопровождающего процесс высокоскоростного плавления и кристаллизации материала. У образца №2 пористость составляет 8 %, у образца №3 – 1,5 %. Это

свидетельствует о правильном выборе энерговклада лазерного излучения и коррекции толщины слоя порошка, что обеспечило получение материала в оптимальных условиях.

Несмотря на высокую плотность полученных образцов, увеличение энерговклада привело к возрастанию внутренних напряжений и нежелательному трещинообразованию. Поэтому необходима дальнейшая исследовательская работа.

Список литературы

1. Additive manufacturing / ed. by A. Bandyopadhyay and S. Bose. –Taylor & Francis Group, 2016. – 414 p.
2. Шишковский И. В. Лазерный синтез функциональных мезоструктур и объемных изделий. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 417 с.
3. Шаркеев Ю.П., Ковалевская Ж.Г., Химич М.А., Ибрагимов Е.А., Сапрыкин А.А., Яковлев В.И., Батаев В.А. Исследование строения и фазового состава порошков Ti и Nb после механической активации // Обработка металлов. – 2016. – № 1 – С. 42-51.
4. Yadroitsev I., Krakhmalev P., Yadroitsava I., Johansson S., Smurov I. Energy input effect on morphology and microstructure of selective laser melting single track from metallic powder // J. Mater. Process. Techn.. – 2013. – V. 213. – № 4. – pp. 606-613.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ6, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДАМИ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ПОДВЕРГНУТОГО ИМПУЛЬСНОМУ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ

А.Д. ТЕРЕСОВ, Н.Н. КОВАЛЬ, Ю.Ф. ИВАНОВ, Е.А. ПЕТРИКОВА, О.В. КРЫСИНА

Институт сильноточной электроники СО РАН

E-mail: tad514@yandex.ru

Существует множество технологий, которые можно назвать аддитивными, объединяет их одно: построение модели происходит путем добавления материала в отличие от традиционных технологий, где создание детали происходит путем удаления «лишнего» материала [1, 2].

Аддитивные технологии производства позволяют изготавливать любое изделие послойно на основе компьютерной 3D-модели. Такой процесс создания объекта также называют «выращиванием» из-за постепенности изготовления. Если при традиционном производстве в начале мы имеем заготовку, от которой оптом отсекаем все лишнее, либо деформируем ее, то в случае с аддитивными технологиями из аморфного расходного материала выстраивается новое изделие. В зависимости от технологии, объект может строиться снизу-вверх или наоборот, получать различные свойства.

В настоящее время для выращивания изделий из металла используются 3D-принтеры, использующие для спекания металлического порошка лазерное излучение или электронный пучок. Особенностью данных методов является то, что формирование изделия происходит в тонком (50-100 мкм) слое металлического порошка, где отдельные частицы спекаются под действием лазерного или электронно-пучкового воздействия. В результате на границе изделие-порошок образуется пористый слой с большой шероховатостью ($R_a=30$ мкм, $R_z=150$ мкм), обусловленный прилипанием отдельных частиц порошка. Для дальнейшего использования такого изделия необходимо осуществить финишную обработку его поверхностного слоя [3].

Целью настоящей работы являлась финишная обработка интенсивным импульсным электронным пучком субмиллисекундной длительности поверхностного слоя металлических изделий, полученных методом послойного селективного электронно-пучкового спекания в вакууме титанового порошка марки ВТ6 с размером частиц 40-100 мкм (установка «Arcam A2X» фирмы Arcam (Швеция)). Для этого использовалась