

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

вакуумная электронно-пучковая установка «СОЛО», в состав которой входит электронный источник с плазменным катодом на основе импульсного дугового разряда низкого давления с сеточной стабилизацией катодной границы плазмы [4]. Такая система позволяет генерировать электронный пучок в вакууме при давлении $(2-5) \cdot 10^{-2}$ Па (Ar) с длительностью импульса 20-200 мкс, током пучка до 300 А, энергией электронов до 25 кэВ, частотой следования импульсов $0,3-20 \text{ с}^{-1}$ и плотностью энергии до 80 Дж/см^2 . Диаметр автографа электронного пучка на обрабатываемой поверхности составляет 1,5-3 см, в зависимости от параметров облучения.

На примере титанового сплава ВТ6 было показано, что последовательное воздействие импульсного электронного пучка на поверхность образцов, получаемых методами аддитивного производства из металлического порошка, в вакууме при давлении $3,5 \cdot 10^{-2}$ Па (Ar) в режиме №1 (200 мкс, 45 Дж/см^2 , 10 имп.) и затем в режиме №2 (50 мкс, 20 Дж/см^2 , 3 имп.) приводит к значительному уменьшению шероховатости (в 20 раз по R_a) и пористости поверхностного слоя материала (рис.1). Сканирующая электронная микроскопия подтверждает, что в результате импульсного электронно-пучкового воздействия профиль поверхности образцов значительно изменяется. В поверхностном слое сплава ВТ6 формируется однородная зёрненная структура, отличающаяся отсутствием видимых отдельных частиц исходного порошка. Микротвёрдость поверхности, коэффициент трения и уровень износа при этом практически не изменяются. Кроме того, по предварительным данным, электронно-пучковая обработка позволяет повысить предел прочности на разрыв в 1,33 раза и увеличить деформацию при растяжении в 1,18 раза. Такой способ полировки является альтернативой традиционным методам подготовки поверхности изделий, получаемых методами аддитивного производства из металлического порошка, для дальнейшего применения в машиностроении, имплантологии, авиакосмической промышленности и других областях.

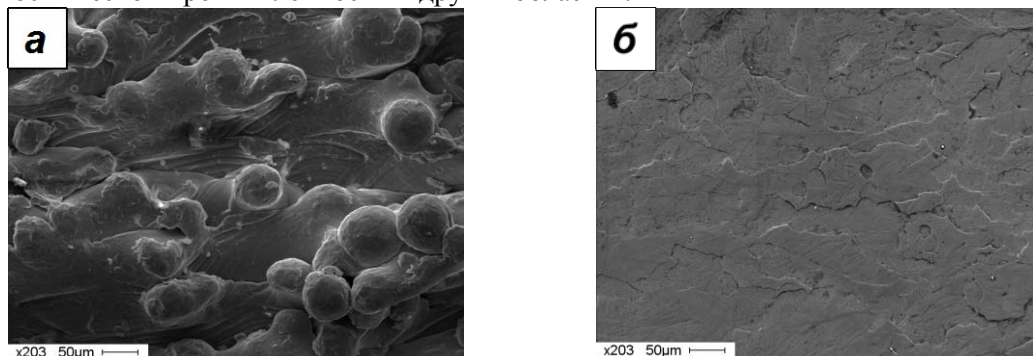


Рисунок 1 - Фотографии поверхности образцов из титанового сплава ВТ6 до (а) и после импульсной электронно-пучковой полировки (б)

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РНФ (проект №14-29-00091).

Список литературы

1. Гибсон Я., Розен Д., Стакер Б. Технологии аддитивного производства. Трёхмерная печать, быстрое прототипирование и прямое цифровое производство. – Москва: Техносфера, 2016. – 656 с.
2. Шишковский И.В. Основы аддитивных технологий высокого разрешения. – Санкт-Петербург: Изд-во Питер, 2015. – 348 с.
3. Грилихес С.Я. Обезжиривание, травление и полирование металлов. – Москва: РХТУ, 1994. – 190 с.
4. Grigoriev S.V., Koval N.N., Devjatkov V.N., Teresov A.D. The automated installation for surface modification of metal and ceramic-metal materials and products by intensive pulse sub-millisecond electron beam // Proc. 9th Int. Conf. Modification of Materials with Particle Beams and Plasma Flows. – Tomsk, 2008. – P. 19–22.