ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

INTERNATIONAL WORKSHOP

**«Multiscale Biomechanics and Tribology
of Inorganic and Organic Systems»**

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ,
ПОСВЯЩЕННАЯ 50-ЛЕТИЮ ОСНОВАНИЯ
ИНСТИТУТА ХИМИИ НЕФТИ**

«Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа»

DOI: 10.17223/9785946218412/339

**МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ 3D НАПЕЧАТАННЫХ ОБРАЗЦОВ
ТИТАНОВОГО СПЛАВА Ti-6Al-4V ПУТЕМ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ И
УЛЬТРАЗВУКОВОЙ УДАРНОЙ ОБРАБОТОК**

Синякова Е.А., Панин А.В., Панин С.В.

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск

В последние годы изготовление деталей из титанового сплава Ti-6Al-4V методом аддитивного производства достигло значительных успехов, особенно в отношении оптимизации процесса производства и механических свойств полученных изделий. Одной из перспективных технологий получения высокопрочных объемных металлических изделий является селективное лазерное плавление (Selective Laser Melting — SLM), обеспечивающее их формирование путем сплавления металлических порошков лазерным лучом [1]. Данная технология позволяет получать объемные изделия из титанового сплава Ti-6Al-4V со сложной внутренней архитектурой, высокой степенью детализации их элементов и с высокой размерной точностью [2]. Недостатком метода SLM является то, что готовые изделия имеют высокую шероховатость поверхности независимо от параметров печати и толщины образца и, соответственно, требуют механической постобработки перед вводом в эксплуатацию. Кроме того, шероховатая поверхность SLM-образцов оказывает негативное влияние на их механические, технологические и эксплуатационные свойства. Например, как показано в [3], SLM-образцы из титанового сплава Ti-6Al-4V, подвергнутые механической шлифовке и полировке, имеют более высокие прочностные характеристики и пластичность при последующем одноосном растяжении.

В настоящей работе в качестве методов постобработки рассматриваются ультразвуковая ударная обработка, основанная на пластическом деформировании поверхности, и электронно-пучковая обработка, обуславливающая плавление поверхностного слоя и его быструю кристаллизацию. Данные методы не только могут обеспечить снижение шероховатости поверхности SLM образцов, но и увеличить твердость их поверхностного слоя без изменения внутренней структуры самого изделия.

Ультразвуковую обработку поверхностных слоев титанового сплава Ti-6Al-4V проводили на установке И-4/1-2.0 путем возбуждения в обрабатывающем инструменте ультразвуковых колебаний. Амплитуда и частота колебаний рабочей поверхности волновода составляли 15 мкм и 23 кГц, соответственно. Скорость сканирования индентора по поверхности пластины при ультразвуковой обработке составляла по оси x - 1.7 мм/с, по оси y – 4.4 мм/с, шаг сканирования ~ 0,1 мкм. Облучение образцов электронным пучком проводили на электронно-пучковой установке «SOLO» (ИСЭ СО РАН) тремя импульсами с длительностью 50 мкс. Плотность энергии пучка была равной $W = 24$ Дж/см², частота следования импульсов составляла 0.3 с⁻¹. Облучение выполняли в атмосфере инертного газа аргона при остаточном давлении 0.02 Па.

Показано, что шероховатость исходных SLM образцов из титанового сплава Ti-6Al-4V обусловлена как наличием на их поверхности частично расплавленных частиц порошка, прикрепленных к поверхности, так и волнистым рельефом, сформированным зонами расплава. Среднеквадратичная шероховатость (R_q) исходных образцов, определенная методом контактной профилометрии, составляет 20 мкм. Как электронно-пучковая, так и ультразвуковая ударная обработки SLM-образцов приводят к снижению шероховатости их поверхности до $R_q = 0,76$ и $R_q = 0,48$ мкм, соответственно. Методом оптической микроскопии и рентгеноструктурного анализа продемонстрировано влияние электронно-пучковой и ультразвуковой ударной обработок на микроструктуру и фазовый состав SLM-образцов. Измерение микротвердости по боковой грани образцов показало, что ультразвуковая ударная обработка приводит к существенному увеличению микротвердости SLM-образцов от 5,3 до 8,5 ГПа, а глубина упрочненного слоя составляет 30 мкм. В случае облучения электронными

Секция 7. Аддитивные технологии формирования материалов, изделий и конструкций с иерархической структурой

пучками твердость на поверхности SLM-образцов и глубина модифицированного слоя достигают 10 ГПа и 60 мкм, соответственно.

Работа выполнена в рамках Программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» Министерства науки и высшего образования РФ; Соглашение № 05.583.21.0089, идентификатор проекта RFMEFI58318X0089.

1. Murr L.E., Gaytan S.M., Ramirez D.A., et al. Metal Fabrication by Additive Manufacturing Using Laser and Electron Beam Melting Technologies // *Journal of Materials Science & Technology*. 2012. V. 28. P. 1-14.
2. M. Mazur, M. Leary, Sh. Sun, M. Vcelka1, D. Shidid1, M. Brandt. Deformation and failure behaviour of Ti-6Al-4V lattice structures manufactured by selective laser melting (SLM) // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2016. V. 84. P. 1391–1411.
3. X. Zhao, Sh. Li, M. Zhang, Y. Liu. Comparison of the microstructures and mechanical properties of Ti-6Al-4V fabricated by selective laser melting and electron beam melting // *Materials & Design*. 2016. V 95. P. 21-31.