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: 10.17223/9785946218412/350

**ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ 3D-НАПЕЧАТАННЫХ ОБРАЗЦОВ
ТИТАНОВОГО СПЛАВА Ti-6Al-4V ПУТЕМ ОКСИДИРОВАНИЯ**

¹Евтушенко О.В., ¹Панин А.В., ¹Казаченок М.С., ²Буслович Д.Г., ¹Мартынов С.А.

¹*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск*

²*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск*

3D-напечатанные изделия могут быть использованы в различных отраслях промышленности, и в том числе при производстве сложных узлов аэрокосмической, транспортной и оборонной техники [1]. Наряду с водородным охрупчиванием низкая износостойкость 3D-напечатанных изделий из титанового сплава Ti-6Al-4V, как и прокатанного сплава Ti-6Al-4V является значительным недостатком. Антифрикционные свойства титанового сплава Ti-6Al-4V можно повысить различными способами модифицирования поверхности, такими как альфирование [2], анодирование, азотирование, плазменное электролитическое оксидирование, термическое оксидирование и др. При этом термическое оксидирование поверхности является наиболее простой и действенной химико-термической обработкой. Промышленностью освоено термическое оксидирование трех основных типов для прокатанного сплава Ti-6Al-4V: низкотемпературное оксидирование (НТО) при 700÷800 °С и выдержке 1÷12 ч с медленным охлаждением (с печью); высокотемпературное оксидирование (ВТО) при 850 °С и выдержке 5÷6 ч с охлаждением в воде для удаления окалина; оксидирование с засыпкой графитом или песком в интервале температур 700÷800 °С при выдержке 2÷10 ч с охлаждением на воздухе (альфирование) [3]. Поскольку процесс оксидирования в значительной степени зависит от микроструктуры материала, то выяснение закономерностей оксидирования 3D-напечатанных изделий является актуальной задачей. В настоящей работе исследовано влияние НТО оксидирования на износостойкость образцов из титанового сплава Ti-6Al-4V, полученных методом 3D-печати.

3D-печать образцов титанового сплава Ti-6Al-4V осуществлялась методом электронно-лучевого плавления сварочной титановой проволоки диаметром 1.6 мм на установке 6E400 (ООО «НПК ТЭТа», Томск). Термическое оксидирование 3D-напечатанных образцов титанового сплава Ti-6Al-4V проводили в муфельной печи при температуре 700 °С и времени выдержки 4 и 8 ч, с последующим охлаждением в печи. Объемный износ образцов в режиме сухого трения скольжения определяли по схеме «шар-по-диску» на трибометре CSEM CH2000 при нагрузке $P = 5$ Н и скорости скольжения $V = 25$ мм/с. Радиус контртела в виде шарика из WC_8 составлял 6 мм. Радиус трека составлял 2 мм. Износ материала определяли по профилю дорожки трения на контактном профилометре Alpha-step IQ. Рентгеноструктурные исследования 3D-напечатанных образцов титанового сплава Ti-6Al-4V проводили при комнатной температуре на дифрактометре Shimadzu XRD-6000 в $Cu-K\alpha$ излучении (для отсеечения β -излучения использовали монохроматор). Для анализа фазового состава, структуры в поверхностных и более глубоких слоях использовали симметричные (Брэгга–Брентано) и асимметричные схемы съемок. Съемки рентгенограмм проводили в диапазоне углов скольжения α от $\alpha = 3^\circ$ до $\alpha = 7^\circ$.

Методами рентгеноструктурного анализа установлено, что фазовый состав оксидного слоя, формирующегося на поверхности 3D-напечатанных образцов титанового сплава Ti-6Al-4V, оказывается неоднородным по толщине: верхний (наружный) слой состоит из рутила TiO_2 , далее располагается слой оксида алюминия Al_2O_3 .

Показано, что оксидирование приводит к повышению износостойкости в 3D-напечатанных образцах титанового сплава Ti-6Al-4V по сравнению с 3D-напечатанными образцами титанового сплава Ti-6Al-4V без оксидирования, и сопоставим с износостойкостью оксидированного прокатанного сплава Ti-6Al-4V. Установлен стадийный характер зависимостей коэффициента трения и интенсивности износа от длины пути трения в 3D-напечатанных образцах титанового сплава Ti-6Al-4V, подвергнутых НТО оксидированию. Коэффициент трения на первой стадии составляет 0.2, на второй стадии возрастает до 0.6 и на

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

третьей стадии уменьшается до 0.37, что соответствует коэффициенту трения в 3D-напечатанных образцах титанового сплава Ti–6Al–4V.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант №18-19-00559).

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. Прокопьев И.В., Жуковский В.Б. Создание износостойкого покрытия деталей из титановых сплавов методом альфирования поверхности // *Решетневские чтения*. 2013. Т.1. №17. С. 435.
3. Горынин, И.В. Титан в машиностроении / И.В. Горынин, Б.Б. Чечулин. – М.: Машиностроение, 1990. – 400 с.