

УДК 621.794.61

Особенности формирования МДО-покрытий на деталях, полученных методом 3D-печати

Штокал Александр Олегович^{1(*)}cuauthemoc1@yandex.ru
SPIN-код: 9659-8864Рыков Евгений Валентинович¹rykovev@laspacespace.ru
SPIN-код: 9363-0542Артемьев Артём Валентинович¹

artemev.av@laspacespace.ru

Баженова Ольга Петровна²

bazhenovaop@laspacespace.ru

Ботиков Георгий Николаевич²

botikovgn@laspacespace.ru

Демина Виктория Денисовна²

deminavd@laspacespace.ru

¹ Филиал АО «НПО Лавочкина» в г. Калуга, Калуга, Россия² АО «НПО Лавочкина», Химки, Московская обл., Россия

Аннотация. Отмечена актуальность исследования особенностей формирования МДО-покрытий на деталях, полученных методом 3D-печати, для изделий авиакосмической отрасли. Приведены опубликованные способы формирования МДО-покрытий на алюминиевых, титановых и магниевых образцах, полученных методом 3D-печати. Отмечены режимы формирования МДО-покрытий, особенности их структуры и эксплуатационные характеристики. Указаны общие черты полученных на напечатанных образцах МДО-покрытий и перспективные направления совершенствования их свойств и характеристик.

Ключевые слова: микродуговое оксидирование, металлы вентильной группы, условия формирования, 3D-печать, эксплуатационные характеристики

Введение. С развитием технологий 3D-печати ежегодно растет количество деталей изделий авиакосмической отрасли, формируемых при помощи данного метода. Причем именно в этой отрасли наиболее часто применяются сплавы металлов вентильной группы, для которых хорошо отработаны технологии микродугового оксидирования. Цель работы — изучить особенности формирования МДО-покрытий на деталях из металлов вентильной группы, полученных с использованием метода 3D-печати на базе опубликованных работ и исследований в смежных отраслях.

Методы и материалы; результаты. Работа [1] посвящена исследованию влияния структуры алюминиевого сплава образцов, сформированных по аддитивной технологии 3D-печати, на структуру и свойства формируемых на их поверхности МДО-покрытий. В качестве материала исследования был выбран алюминиевый сплав АК9. Образец формировали при помощи 3D-печати методом селективного лазерного плавления с последующей обработкой интенсивной пластической деформацией кручением для формирования мелкозернистой однородной структуры. Микродуговое оксидирование проводили в стандартном растворе жидкого стекла Na_2SiO_3 и гидроксида калия КОН. Температура электролита не превышала 52 °С. Толщина МДО-покрытия ока-

залась неоднородной по поверхности образцов. Средняя толщина МДО-покрытия составила 155 мкм. МДО-покрытие получилось пористым. В структуре имелись небольшие круглые поры, цепочки пор, а также поры крупных размеров. Распределение пор неоднородное по толщине покрытия. Распределение микротвердости по толщине покрытия также неоднородно (переходный слой — 1000 HV, основной (рабочий) слой — 1230 HV, технологический слой — 800 HV).

В статье (2) исследовано формирование методом микродугового оксидирования кальций-фосфатных Zn- и Ag-содержащих покрытий на имплантатах с различными типами пористой структуры, полученных при помощи 3D-печати методом прямого лазерного спекания из порошков титанового сплава Ti-6Al-4V. Были использованы два типа электролитов: кислого состава (pH = 1–2, состоял из H_3PO_4 , CaCO_3 и нанопорошка гидроксиапатита двух различных составов — $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ и $\text{Ca}_{9,5}\text{Zn}_{0,5}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) и щелочного состава (pH = 10–11, состоял из Na_2HPO_4 , NaOH и порошка β -ТСР ($\beta\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$). Параметры процесса были следующими: длительность импульса — 100 мкс, частота следования импульсов — 50 Гц, длительность и напряжение процесса — 20 мин и 200 В для кислого электролита; 10 мин и 400 В — для щелочного. При таких условиях покрытия наиболее равномерно распределялись по поверхности и внутреннему поровому пространству имплантатов. Толщина покрытий варьировала в диапазоне 41–58 мкм, шероховатость по параметру Ra изменялась в пределах 3,5–4,6 мкм. На поверхности покрытий, сформированных в кислом электролите, наблюдались пористые сферы и фрагменты размером 10–15 мкм, а покрытия, сформированные в щелочном электролите, имели пористую структуру и содержат изометричные частицы размером 3–5 мкм. Цинк и серебро были распределены по покрытиям равномерно.

Патент (3) описывает способ получения композиционного материала для биорезорбируемого магниевых имплантата. Способ осуществляют методом порошковой лазерной наплавки в защитной газовой среде с применением установки 3D-печати. Порошок магния превращают в расплав с помощью лазерного луча непосредственно перед нанесением на подложку. Затем проводят микродуговое оксидирование сплавленного материала в биполярном режиме: потенциостатическом при напряжении 370–390 В в ходе анодной поляризации поверхности материала и гальванодинамическом при силе тока, изменяющейся от 11 до 7 А со скоростью развертки минус 0,04 А/с в ходе катодной поляризации, в электролите, содержащем глицерофосфат кальция $\text{C}_3\text{H}_7\text{CaO}_6\text{P}$, фторид натрия NaF и силикат натрия Na_2SiO_3 с получением слоя гидроксиапатита $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$. После этого на поверхность полученного слоя наносят ультрадисперсный политетрафторэтилен (УПТФЭ). Композиционные слои, полученные с использованием УПТФЭ на базе МДО-покрытий, более чем на 6 порядков увеличивают показатели коррозионной стойкости материала.

Заключение. Опубликованные способы микродугового оксидирования характерны сложным составом электролита и режимов формирования. Полученные на напечатанных деталях МДО-покрытия имеют склонность к неоднородности по толщине, повышенной пористости, а также к колебаниям эксплуатационных характеристик в разных участках покрытия. Наиболее перспективные пути устранения данных явлений — оптимизация химического состава электролита и режимов формирования, введение в электролит нанопорошков, а также выполнение постобработки и применение материалов-наполнителей пор МДО-покрытия.

Список источников

- [1] Арсланов А.Р., Киселева С.К., Дударева Н.Ю. Микродуговое оксидирование алюминиевого сплава после 3D печати. *Молодежный вестник УГАТУ*, 2023, № 3 (29), с. 86–90.
- [2] Шаркеев Ю.П., Седельникова М.Б., Толкачева Т.В. и др. Микродуговые Zn- и Ag-содержащие покрытия для имплантатов со сложной поровой архитектурой, полученных методом 3D-печати из титанового сплава. *Травматология и ортопедия России*, 2020, т. 26, № 2, с. 109–119.
- [3] Гнеденков С.В., Синебрюхов С.Л., Егоркин В.С. и др. *Способ получения композиционного материала для биорезорбируемого магниевого имплантата*. Патент № 2710597 С1 РФ, 2019, бюл. № 1.