МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

Национальный исследовательский
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

Сборник материалов XVI Российской научной студенческой конференции

Томск, 17–20 апреля 2018 г.

ТОМСК
«Издательство НТЛ»
2018

Сравнительные исследования кальций-фосфатных покрытий на основе трикальций-фосфата и Sr-замещенного гидроксиапатита на поверхности магниевого сплава*

А.А. Казакбаева[1], М.Б. Седельникова[2], В.С. Егоркин[3]

[1] Томский государственный университет, г. Томск
[2] Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск
[3] Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

Важным направлением медицинского материаловедения является создание новых материалов, обладающих биологической совместимостью, антибактериальными свойствами и остеогенным потенциалом. Магниевые сплавы являются незаменимыми при изготовлении резорбируемых или биодеградируемых имплантатов, так как в среде человеческого организма магний постепенно замещается продуктами остеогенеза – натуральной костной тканью [1]. Вместе с тем необходимо, чтобы рост костной ткани на биодеградируемом имплантате не отставал от скорости растворения магниевого сплава, из которого изготовлен имплантат [2]. Перспективными в этом отношении являются кальций-фосфатные (КФ) покрытия, обладающие высокой биосовместимостью и позволяющие регулировать скорость биодеградации имплантата [3].

Метод микродугового оксидирования (МДО) является перспективным методом обработки поверхности, так как позволяет получать биологически активные покрытия с пористой структурой. Главное преимущество данного метода – это возможность осаждения КФ-соединений на поверхность подложки и изменения элементного и фазового состава покрытия при варьировании состава электролита [3].

Известно, что Sr является естественным остеотропным элементом, присутствующим в организме человека в очень малом количестве, и влияет на ремоделирование костной ткани, воздействуя на формирование и резорбцию кости [4].

Целью данной работы было сравнительное исследование фазового состава и коррозионных свойств КФ-покрытий на основе трикальций-фосфата (ТКФ) и Sr-замещенного гидроксиапатита (Sr-КФ) на поверхности магниевого сплава.

В работе в качестве материала основы был выбран магниевый сплав Mg0,8Ca. Нанесение покрытий методом МДО проводилось на установке

* Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований СО РАН, 2016-2019 гг., проект № 23.2.5.

MicroArc–3,0 с импульсным источником питания. Были использованы два типа электролита. В состав первого электролита входили водорастворимые соединения: гидрофосфат натрия, гидроксид кальция, гидроксид натрия и в качестве дисперсной фазы присутствовал Sr-замещенный ГА с концентрацией иона-заместителя 0,25 М на 1 моль ГА. В качестве компонентов второго электролита использовали гидрофосфат натрия, гидроксид натрия, фторид натрия и β-ТКФ. Нанесение КФ-покрытий проводили в анодном режиме, при варьировании напряжения процесса в диапазоне 350–450 В. Остальные параметры процесса были следующие [3]: длительность импульсов – 100 мкс, частота следования импульсов – 50 Гц, время нанесения покрытий – 5 мин. Электрохимические свойства поверхностных слоев исследовали с использованием системы VersaSTAT MC (Принстонская лаборатория прикладных исследований, США).

Исследования фазового состава покрытий методом РФА показали, что в состав Sr-КФ-покрытий, нанесенных при импульсных напряжениях оксидирования 350–450 В, входят следующие кристаллические фазы: α-$Ca_3(PO_4)_2$, $Mg_3(PO_4)_2$, а в состав КФ-покрытий на основе ТКФ входят следующие фазы: β-ТКФ, α-ТКФ, MgO и ГА. Потенциодинамические поляризационные кривые образцов показаны на рис. 1.

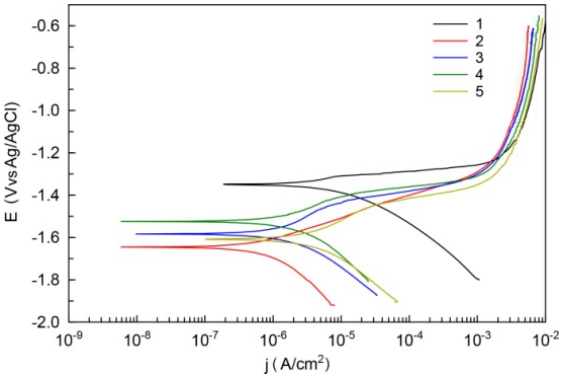

Рис. 1. Потенциодинамические поляризационные кривые, полученные в 0,9 % NaCl для: *1* – Mg-образца без покрытия, *2* – β-ТКФ (450 В), *3* – β-ТКФ (350В), *4* – Sr-содержащий КФ (450В), *5* – Sr-содержащий КФ (350 В) покрытий

В исследуемом диапазоне потенциалов кривая образца без покрытия имеет вид, характерный для Mg [5]. Поляризационные кривые образцов с КФ-покрытиями расположены в основном в зоне более низких токов по сравнению с кривой для образца Mg-сплава без покрытия. В активной об-

ласти значение тока коррозии почти в 10 раз меньше для образцов с покрытиями, по сравнению с образцами без покрытий. Значения электрохимических параметров представлены в таблице.

Электрохимические параметры образцов

Образцы	E_C, V (Ag/AgCl)	j_C, А см$^{-2}$	R_p, Ω см^2	$\|Z\|_{f\to 0\ Hz}$, Ω см^2
1	–1,35	$7{,}0\cdot10^{-6}$	$4{,}3\cdot10^{3}$	$2{,}0\cdot10^{2}$
2	–1,65	$7{,}2\cdot10^{-7}$	$4{,}6\cdot10^{4}$	$6{,}1\cdot10^{4}$
3	–1,58	$1{,}8\cdot10^{-6}$	$2{,}0\cdot10^{4}$	$1{,}5\cdot10^{4}$
4	–1,52	$1{,}5\cdot10^{-6}$	$2{,}3\cdot10^{4}$	$1{,}9\cdot10^{4}$
5	–1,61	$3{,}6\cdot10^{-6}$	$1{,}0\cdot10^{4}$	$1{,}2\cdot10^{4}$

Таким образом, установлено, что образцы Mg-сплава с КФ-покрытием обладают более высокими антикоррозионными свойствами, чем образцы сплава без покрытия. Коррозионная стойкость покрытий зависит от их толщины и фазового состава. Толщина покрытий на основе ТКФ имеет большую величину чем Sr-КФ-покрытия и варьируется в диапазонах от 20 до 140 мкм и от 17 до 37 мкм соответственно. В состав КФ-покрытий на основе ТКФ кроме β-ТКФ, α-ТКФ, MgO входит ГА, что обусловливает их более высокую коррозионную стойкость.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Liu G.Y.*, *Hu J.*, *Ding Z.K.*, *Wang C.* Bioactive calcium phosphate coating formed on micro-arc oxidized magnesium by chemical deposition // App. Sur. Sc. – 2011. – V. 257. – P. 2051–2057.
2. *Черный В.Н.* Перспективы применения биодеградирующих сплавов на основе магния в остеосинтезе // Запор. мед. журн. – 2013. – Т.81. – № 6. – С. 76–79.
3. *Sedelnikova M.B. et al.* Bioactive calcium phosphate coatings on metallic implants // AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2017. – V. 1882. – No. 1. – P. 020062.
4. *Han J. et al.* Fabrication and evaluation of a bioactive Sr–Ca–P contained micro-arc oxidation coating on magnesium strontium alloy for bone repair application // J. Materials Science & Technology. – 2016. – V. 32. – No. 3. – P. 233–244.
5. Gnedenkov S.V. et al. PEO Coatings Obtained on an Mg–Mn Type Alloy under Unipolar and Bipolar Modes in Silicate-containing Electrolytes // Surf. Coat. Technol. – 2010. – V. 204. – P. 2316–2322.

Kazakbaeva A.A., Sedelnikova M.B., Egorkin V.S. Comparative study of calcium phosphate coatings basid on tricalcium phosphate and Sr- substituted hydroxyapatite on the surface of magnesium alloy

Казакбаева Айгерим Азаматовна, магистрант; aigerim_@bk.ru
Седельникова Мария Борисовна, с.н.с.; smasha@yandex.ru
Егоркин Владимир Сергеевич, с.н.с.; egorkin@ich.dvo.ru