

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

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

**X МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Химия нефти и газа»**

Томск

Издательский Дом ТГУ

2018

1

DOI: 10.17223/9785946217408/176

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МИКРОДУГОВЫХ Sr-СОДЕРЖАЩИХ ПОКРЫТИЙ НА БИОРЕЗОРБИРУЕМОМ СПЛАВЕ Mg-0.8Ca

¹Седельникова М.Б., ²Казакбаева А.А., ^{1,3}Шаркеев Ю.П.,

¹Толкачева Т.В., ¹Комарова Е.Г., ⁴Фадеева И.В.

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

²*Томский государственный университет, Томск, Россия*

³*Томский политехнический университет, Томск, Россия*

⁴*Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва, Россия*

Создание биорезорбируемых имплантатов на основе магниевых сплавов является в последние годы одним из важных направлений развития имплантационной хирургии. Магний и продукты его коррозии имеют отличную биосовместимость. При взаимодействии с биологическими жидкостями организма имплантаты из магниевых сплавов растворяются, причем продукты растворения не являются токсичными [1]. Магний входит в состав многих ферментативных систем, задействованных в обменных процессах, чем объясняется его большая значимость для организма. Магниевые сплавы имеют хорошие биомеханические свойства, т.к. их модуль упругости составляет около 45 ГПа и приближается к модулю упругости кости [2]. Вместе с тем необходимо, чтобы рост костной ткани на биодеградируемом имплантате не отставал от скорости растворения магниевых сплавов, из которого изготовлен имплантат. Решением данной проблемы может служить формирование покрытий, снижающих скорость биорезорбции имплантата. Для этих целей наиболее перспективно использовать биоактивные кальцийфосфатные (КФ) покрытия, содержащие в своем составе «родные» для костных тканей соединения фосфатов кальция [3]. Метод микродугового оксидирования (МДО) является наиболее технологичным и востребованным для нанесения биологически активных покрытий на поверхность металлических имплантатов. Формирование покрытия в этом случае связано с протеканием высокотемпературных процессов в зоне локальных плазменных микроразрядов под воздействием внешнего источника высокого напряжения, за счет чего происходит окисление основного материала подложки и перенос в покрытие элементов электролита [4].

Важную роль при остеоинтеграции искусственных биоматериалов на основе фосфатов кальция могут играть микроэлементы, встраивающиеся в их структуру в позициях кальция и фосфора. Такие микроэлементы находясь в структуре гидроксиапатита или трикальцийфосфата, в процессе биорезорбции фосфатов кальция попадают в среду организма и оказывают воздействие на процессы формирования новой костной ткани [5]. Известно, что стронций эффективен при лечении остеопароза, поскольку способствует биоминерализации кости и образованию новой костной ткани [6].

В представленной работе методом МДО получены КФ покрытия на магниевом сплаве. В качестве образцов использовали металлические пластинки размером $10 \times 10 \times 1$ мм³ из сплава Mg-0,8Ca. В состав электролита для получения покрытий методом МДО входили следующие компоненты: Na₂HPO₄, NaOH, NaF, Sr-замещенный гидроксиапатит Ca_{7,5}Sr_{2,5}(PO₄)₂(OH)₂ (Sr-ГА) или Sr-замещенный трикальцийфосфат Ca₂Sr(PO₄)₂ (Sr-ТКФ). Нанесение покрытий осуществлялось на установке «Micro Arc 3.0 System» в ИФПМ СО РАН. Покрытия наносили в анодном потенциостатическом режиме, при напряжении процесса 350–500 В, длительности процесса 5–10 мин, длительности импульсов 100 мкс, частоте следования импульсов 50 Гц.

Были проведены исследования морфологии поверхности, элементного и фазового состава покрытий. РЭМ – изображения, полученные с помощью растрового электронного микроскопа (LEO EVO 50 с приставкой для энергодисперсионного анализа, ЦКП ИФПМ СО РАН «Нанотех», г. Томск), показывают, что покрытия имеют однородную пористую структуру. Размер пор варьируется в пределах от 2 до 5 мкм для покрытий на основе Sr-ТКФ (рис. 1 а) и от 5 до 8 мкм для покрытий на основе Sr-ГА (рис. 1 б). На поверхности покрытий обоих типов наблюдаются частицы изометричной формы, размером 1,3–3,0 мкм.

Секция 4. Научные основы разработки материалов с многоуровневой иерархической структурой, в том числе для экстремальных условий эксплуатации

Толщина и шероховатость покрытий (по параметру Ra) варьируются в диапазонах от 15 до 50 мкм и от 1.5 до 6.0 мкм, соответственно, при увеличении напряжения процесса МДО и длительности нанесения покрытий.

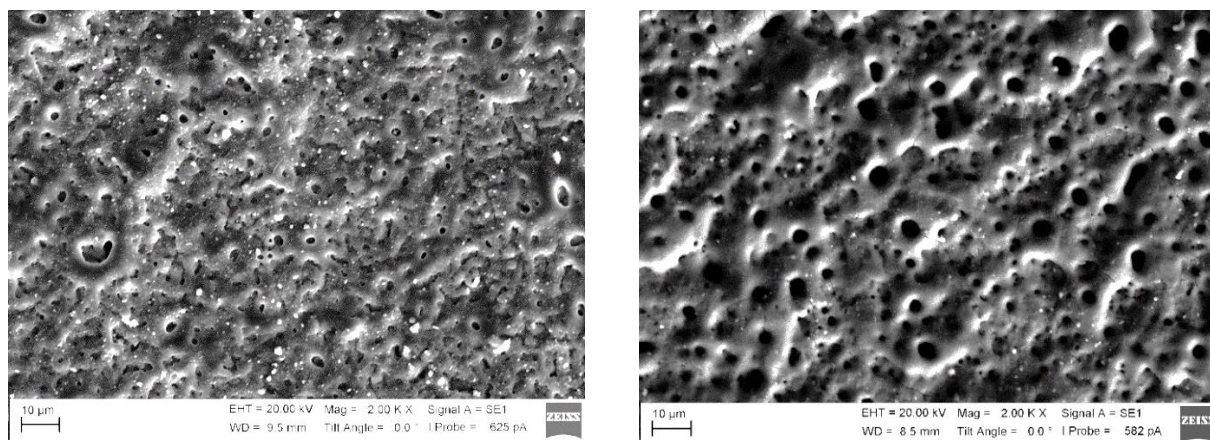


Рис. 1. РЭМ-изображения поверхности покрытий на основе Sr-ТКФ (а) и Sr-ГА (б), нанесенных на сплав Mg-0,8Ca при напряжении процесса 350 В

Фазовый состав покрытий, сформированных в электролите на основе Sr-ГА, представлен следующими соединениями: $Mg_3(PO_4)_2$, $\beta-Ca_3(PO_4)_2$ (β -ТКФ), $\alpha-Ca_3(PO_4)_2$ (α -ТКФ), MgO. В покрытиях, полученных с использованием Sr-ТКФ, кроме вышеперечисленных кристаллических фаз идентифицируется гидроксиапатит. Известно, что при повышении напряжения процесса МДО увеличивается интенсивность микродуговых разрядов, растет температура в области пробоя [5]. Это приводит к разложению исходных компонентов электролита и формированию новых соединений в покрытии. Можно предположить, что данный процесс инициирует переход: β -ТКФ \rightarrow α -ТКФ, частичное растворение α -ТКФ и образование гидроксиапатита. Кроме того, при взаимодействии компонентов электролита с подложкой в покрытиях формируются фазы $Mg_3(PO_4)_2$ и MgO.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы фундаментальных исследований СО РАН, 2013–2020 гг., проект № III.23.2.5.

Литература

1. Staiger, M.P.; Pietak A.M.; Huadmai, J.; Dias, G. Magnesium and its alloys as orthopedic biomaterials: A review. *Biomater.* 2006, 27, 1728–1734. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2005.10.003>
2. Tian, P.; Liu, X. Surface modification of biodegradable magnesium and its alloys for biomedical applications. *Regen. Biomater.* 2015, 2, 135–151. <https://doi.org/10.1093/rb/rbu013>
3. М. В. Sedelnikova, E. G. Komarova, Y.P. Sharkeev, T. V. Tolkacheva, V. V. Sheikin and J. Schmidt. Characterization of the Micro-Arc Coatings Contained β -Tricalcium Phosphate Particles on Mg-0.8Ca Alloy, *Metals* 2018, 8(4), 238; doi:10.3390/met8040238
4. А.И. Мамаев, В.А. Мамаева. Сильноточковые процессы в растворах электролитов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005, 255 с.
5. D.T. Aydogan, F. Muhaffel, M.M. Kilic, O. K. Acar, G. Cempura, M. Baydogan, N.G. Karaguler, G.T. Kose, A. Czyska-Filemonowicz, H. Cimenoglu, Optimisation of micro-arc oxidation electrolyte for fabrication of antibacterial coating on titanium, *Materials Technology*, 33, 2 (2018), DOI: 10.1080/10667857.2017.1391931.
6. Lu Y.J., Wan P., Tan L., Zhang B.C., Yang K., Lin J.X., Preliminary study on a bioactive Sr containing Ca-P coating on pure magnesium by a two-step procedure // *Surf. Coat. Technol.* – 2014. –V. 252. – P. 79–86.