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»

Томск
Издательский Дом ТГУ
2019

DOI: 10.17223/9785946218412/257

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СИЛИКАТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА БИОРЕЗОРБИРУЕМОМ СПЛАВЕ Mg-0.8Ca

[1,2] Угодчикова А.В., [1]Седельникова М.Б., [1,2]Шаркеев Ю.П., [1]Толкачева Т.В., [1]Комарова Е.Г., [1]Толмачев А.И., [3]Шмидт Д.

[1]Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия

[2]Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

[3]Innovent Technology Development, Jena, Germany

Одним из развивающихся направлений медицинского материаловедения является разработка биодеградируемых имплантатов с контролируемой скоростью биорезорбции, не оказывающих негативного воздействия на организм человека и выполняющих свои функции в течение необходимого для восстановления поврежденной кости времени. Использование таких имплантатов исключает необходимость проведения повторных операций. Магниевые сплавы перспективны для использования в качестве биодеградируемых имплантатов, поскольку обладают рядом преимуществ [1]. Плотность и модуль Юнга магния и его сплавов сопоставимы с величинами этих параметров для кортикальной кости. Однако основным фактором, сдерживающим использование магниевых сплавов в качестве биодеградируемых материалов, является их чрезвычайно высокая коррозионная активность в хлоридсодержащих средах, что приводит к преждевременной потере механической прочности имплантата до момента восстановления костной ткани. Одним из путей снижения скорости коррозии магния является формирование на его поверхности защитных покрытий, с одной стороны обладающих антикоррозионными свойствами, и с другой, ускоряющих процессы остеоинтеграции [2].

Среди известных методов формирования покрытий на металлических поверхностях метод микродугового оксидирования (МДО) является наиболее технологичным и востребованным для нанесения биологически активных покрытий. Формирование покрытия происходит в результате протекания высокотемпературных плазмохимических реакций в зоне локальных микроразрядов, под воздействием внешнего источника высокого напряжения [3,4].

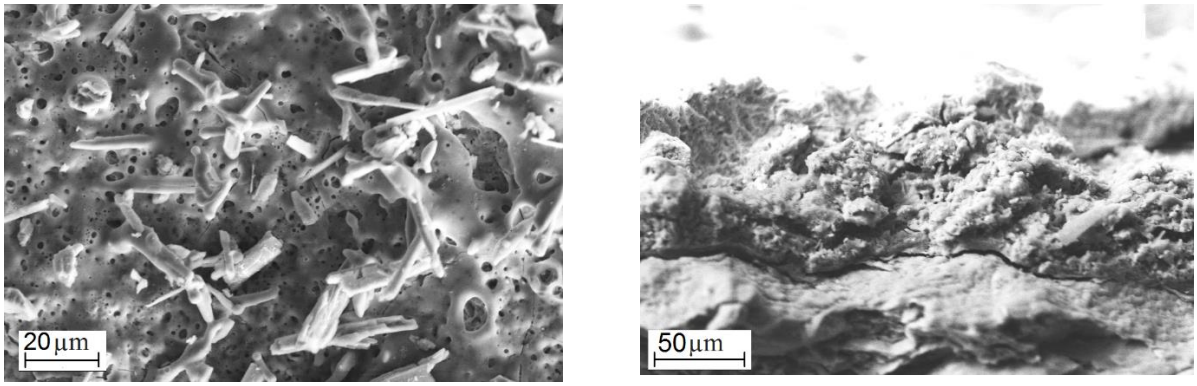
Известно, что кальцийфосфатные соединения, такие как гидроксиапатит и трикальцийфосфат чаще всего используются в качестве основы для биоактивных покрытий [4]. Однако, также известно, что биокерамика на основе силикатов кальция и магния обладает превосходной способностью стимулировать образование и рост костной ткани [5,6]. Целью представленных исследований было формирование методом МДО силикатных биопокрытий в системе $CaO–MgO–SiO_2$ на поверхности биорезорбируемого магниевого сплава, исследование влияния электрофизических параметров процесса МДО на физико-химические свойства, морфологию поверхности и структуру покрытий.

В качестве образцов для проведения экспериментов использовали металлические пластинки размером 10×10×1 мм^3 из сплава Mg-0,8Ca. В состав электролита для получения покрытий методом МДО входили следующие компоненты: $CaSiO_3$, Na_2SiO_3, NaOH, NaF. 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 мин, длительности импульсов 100 мкс, частоте следования импульсов 50 Гц [4].

Исследование морфологии поверхности и элементного состава покрытий проводили с помощью растрового электронного микроскопа (LEO EVO 50 с приставкой для энергодисперсионного анализа, ЦКП ИФПМ СО РАН «Нанотех», г. Томск). Фазовый состав покрытий определяли методом рентгенофазового анализа с использованием CoK_α-излучения (ДРОН-07, ЦКП ИФПМ СО РАН «Нанотех», г. Томск).

Анализ РЭМ – изображений показал, что покрытия имеют развитую морфологию поверхности. В покрытиях наблюдаются кристаллы (рис. 1 а) удлиненной формы, характерной для волластонита ($CaSiO_3$). В результате анализа элементного состава покрытий установлено

повышенное содержание кремния и кальция в кристаллах. Кроме того, в покрытиях также присутствуют поры размером 1,5–5,0 мкм, равномерно распределенные по всей поверхности. С ростом напряжения процесса до 450–500 В количество кристаллов и пор заметно увеличивается. В изломе покрытия также имеют пористую структуру (рис. 1 б).



(а) (б)

Рис. 1. РЭМ-изображения поверхности (а) и излома (б) силикатного покрытия на сплаве Mg-0,8Ca, нанесенного при напряжении процесса 350 В

Фазовый состав покрытий представлен кристаллическими фазами волластонита и окерманита ($CaSiO_3$ и $Ca_2MgSi_2O_7$). Было исследовано коррозионное поведение образцов сплава без покрытий и с покрытиями при выдерживании пластинок в растворе 0.9% NaCl, в течение 15 суток. Установлено, что потеря массы образцов сплава без покрытий при растворении в 4 раза превышает потерю массы образцов с покрытиями. Наиболее высокой коррозионной стойкостью характеризуются покрытия, нанесенные при напряжении 400 В.

В результате проведенных исследований на поверхности сплава Mg-0,8Ca методом МДО сформированы пористые силикатные покрытия с кристаллами волластонита. Покрытия имеют развитый рельеф и проявляют защитные антикоррозионные свойства, замедляя скорость биорезорбции магниевого сплава.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы фундаментальных исследований СО РАН, 2013–2020 гг., проект № III.23.2.

1. 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

2. M. B. 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

3.А.И. Мамаев, В.А. Мамаева. Сильнотоковые процессы в растворах электролитов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005, 255 с.

4. M.B. Sedelnikova, E.G. Komarova, Yu.P. Sharkeev, A.V. Ugodchikova, L.S. Mushtovatova, M.R. Karpova, V.V. Sheikin, L.S. Litvinova, I.A. Khlusov, Antibacterial micro-arc coatings on Ti and Ti-40Nb alloy: characterization of the properties and behavior in synthetic biological media // Surface and Coating Technology. 2019. – V. 369. – P. 52-68, https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.04.021

5. Dandan Hu, Kai Li, Youtao Xie, Houhua Pan, Jun Zhao, Liping Huang, Xuebin Zheng, Different response of osteoblastic cells to Mg^{2+}, Zn^{2+} and Sr^{2+} doped calcium silicate coatings J Mater Sci: Mater Med (2016) 27:56.

6. M.A. Sainz, P. Pena, S. Serena, A. Caballero // Influence of design on bioactivity of novel $CaSiO_3$–$CaMg(SiO_3)_2$ bioceramics: In vitro simulated body fluid test and thermodynamic simulation. Acta Biomaterialia. (2010). №.6, С. 2797.