ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «Физическая мезомеханика. Материалы с многоуровневой иерархически организованной структурой и интеллектуальные производственные технологии»

6–10 сентября 2021 г.
Томск, Россия

Томск – 2021
Издательство ТГУ

DOI: 10.17223/978-5-907442-03-0-2021-176

ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ КАЛЬЦИЙФОСФАТНОГО ПОКРЫТИЯ НА СПЛАВЕ Mg0.8Ca

[1]Седельникова М.Б., [1]Иванов К.В., [2]Угодчикова А.В., [3]Шаркеев Ю.П., [1]Толкачева Т.В., [4]Шмидт Д.

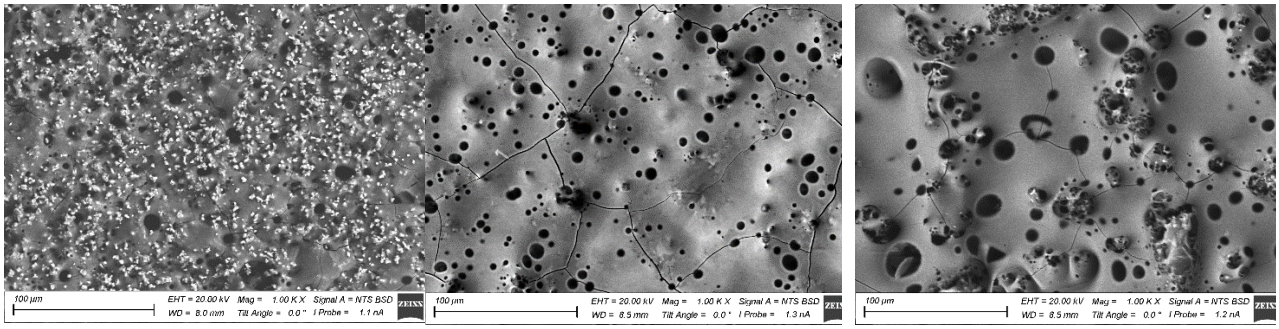
[1]Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск
[2]Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований, Троицк
[3]Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск
[4]Innovent Technology Development, Jena

В настоящее время биорезорбируемые сплавы на основе магния успешно используются в качестве материалов для создания имплантатов для костно-мышечной фиксации, применяемых при заживлении переломов костей [1], краткосрочных опорных конструкций (стентов) для борьбы с ишемической болезнью сердца и периферических артерий [2]. Уникальным преимуществом магниевых сплавов является их способность постепенно растворяться в организме человека, при этом исключается необходимость вторичной операции по удалению устаревшего имплантата [3]. Однако, слишком быстрая биодеградация магния и его сплавов в биологических средах ограничивает применение магниевых имплантатов, особенно в областях с обильным потоком биологических жидкостей и/или высокой механической нагрузкой [2]. Решением данной проблемы является модификация поверхности имплантатов путем создания защитного антикоррозионного покрытия [2,3]. Наиболее перспективными для создания биоактивных покрытий являются ортофосфаты кальция, такие как гидроксиапатит (ГА), трикальцийфосфат (ТКФ), брушит монетит [3]. Важной проблемой использования имплантатов с покрытиями является обеспечение их механической прочности и структурной стабильности в период растворения [1,2]. Одним из возможных путей решения данной проблемы является изменение структуры и фазового состава в поверхностном слое КФ покрытия с помощью импульсного электронного облучения (ИЭО) [4,5]. Данный вид физического воздействия применяется для упрочнения твердых сплавов инструментального назначения, для структурно-фазового модифицирования поверхностных слоев металлокерамических сплавов [4], для улучшения механических свойств полимерных фольг, используемых в космических аппаратах [5]. В результате ИЭО происходит сверхбыстрый нагрев и плавление поверхностного слоя. Варьирование режимов облучения осуществляется изменением плотности энергии электронного пучка, длительности и частоты импульсов, а также количества импульсов [4,5].

Целью данной работы было исследование влияния ИЭО в плазме инертного газа на изменение морфологии поверхности и структурно фазового состояния поверхностного слоя КФ покрытия, сформированного на сплаве Mg0,8Ca методом микродугового оксидирования (МДО). В качестве образцов для проведения экспериментов использовали металлические пластинки размером 10×10×1 мм^3 из сплава Mg0,8Ca. В состав электролита для получения покрытий методом МДО входили следующие компоненты: β-$Ca_3(PO_4)_2$ (β-ТКФ), NaOH, NaF. Нанесение покрытий осуществлялось на установке «Micro Arc 3.0 System» в ИФПМ СО РАН, в анодном потенциостатическом режиме, при использовании следующих параметров: длительность импульса – 100 мкс, частота следования импульсов – 50 Гц, величина импульсного напряжения – 400 В, длительность процесса – 5 мин. В результате на поверхности сплава Mg0,8Ca методом МДО сформированы пористые КФ покрытия с толщиной, шероховатостью и пористостью равными 45 мкм, 3,8 мкм и 20 %, соответственно. ИЭО образцов КФ покрытий на магниевом сплаве проводилось на установке РИТМ-ИЗ. Энергия электронов составляла 30 кэВ, длительность импульса - 2 – 4 мкс, плотность энергии электронного пучка – 5 и 10 Дж/см^2, частота импульсов - 0,2 с$^{-1}$, количество импульсов – 10.

Исследование морфологии поверхности покрытий, выполненное с помощью

растрового электронного микроскопа (Carl Zeiss LEO EVO 50, ЦКП ИФПМ СО РАН «Нанотех», г. Томск), показало, что покрытия в исходном не модифицированном состоянии имеют пористую структуру. Частицы β-ТКФ изометричной формы, диаметром 3–5 мкм равномерно распределены по поверхности покрытия (рис. 1а). На поверхности покрытий, подвергнутых ИЭО с плотностью энергии 5 Дж/см^2 наблюдаются следы от частиц β-ТКФ (светлые пятна на рис. 1б). Кроме того, увеличиваются размеры пор и их количество. При повышении плотности энергии до 10 Дж/см^2 поверхность КФ покрытия полностью оплавляется, происходит растворение частиц β-ТКФ в поверхностном слое (рис. 1в).



а б в

Рис. 1. РЭМ-изображения поверхности КФ МДО-покрытия на сплаве Mg0,8Ca, нанесенного при напряжении процесса 400 В (а), и подвергнутого ИЭО с плотностью энергии 5 Дж/см^2 (б) и 10 Дж/см^2 (в); увеличение ×1000

Фазовый состав покрытий определяли методом рентгенофазового анализа с использованием CoKα-излучения (ДРОН-07, ЦКП ИФПМ СО РАН «Нанотех», г. Томск). Установлено, что в покрытии, нанесенном при напряжении 400 В, присутствуют следующие кристаллические фазы: β,α-ТКФ, $Mg_3(PO_4)_2$, ГА. Кроме того, наличие гало на рентгенограмме в области углов 10–45 град свидетельствует о присутствии аморфной фазы в покрытии. Под действием ИЭО структура покрытия менялась с аморфно-кристаллической на аморфную, так как основные рефлексы кристаллических фаз на рентгенограммах модифицированного покрытия становились меньше и полностью исчезали. Таким образом, установлено, что в результате воздействия ИЭО на поверхностный слой КФ покрытия происходит его оплавление и полная аморфизация структуры.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН номер FWRW-2021-0007.

1. R.B. Heimann, Magnesium alloys for biomedical application: Advanced corrosion control through surface coating, Surf. Coat. Tech. 405 (2021) 126521 https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.126521.
2. Q. Tian, J. Lin, L.R. Castaneda, et al. Nano-to-submicron hydroxyapatite coatings for magnesium-based bioresorbable implants – deposition, characterization, degradation, mechanical properties and cytocompatibility. Sci. Rep. (2019) 9:810, DOI:10.1038/s41598-018-37123-3.
3. M.B. Sedelnikova, E.G. Komarova, Y.P. Sharkeev, et al. 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. Bao-Hai Yu, V. E. Ovcharenko, K.V. Ivanov, A. A. Mokhovikov, Yan-Hui Zhao. Effect of Surface Layer Structural-Phase Modification on Tribological and Strength Properties of a TiC–(Ni–Cr) Metal Ceramic Alloy, Acta Metall. Sin. (Engl. Lett.) 31 (2018) 547–551, https://doi.org/10.1007/s40195-017-0648-6.
5. M.J. Pfeifenberger, G. Milassin, A. Hohenwarter, et al. Electron irradiation effects on strength and ductility of polymer foils studied by femtosecond laser-processed micro-tensile specimens, Materials 12 (2019) 1468, doi:10.3390/ma12091468.