

## ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОДУГОВЫХ ПОКРЫТИЙ НА БИОДЕГРАДИРУЕМОМ МАГНИЕВОМ СПЛАВЕ

*А.А. Шинжина, М.Б. Седельникова*

Научный руководитель: профессор, д. ф.-м. н. В.Ф. Пичугин  
Научный исследовательский Томский политехнический университет  
E-mail: sh-aiym@mail.ru

Важным направлением медицинского материаловедения является создание новых материалов, обладающих биологической совместимостью, антибактериальными свойствами и остеогенным потенциалом. Магниево-кальциевые сплавы являются незаменимыми при изготовлении резорбируемых [1] или биодеградируемых имплантатов, так как в среде человеческого организма магний постепенно замещается продуктами остеогенеза – натуральной костной тканью [2]. Вместе с тем основным недостатком таких имплантатов является быстрое растворение в биологических жидкостях организма [3]. Данная проблема решается путем создания на поверхности материалов биосовместимого покрытия, замедляющего скорость растворения [4]. Метод микродугового оксидирования (МДО) является перспективным методом обработки поверхности, т.к. позволяет получить биологически активные кальцийфосфатные (КФ) покрытия с пористой структурой [4]. В качестве компонентов электролитов для нанесения биопокрытий используется химически чистые соединения, совместимые с биологическими тканями, не вызывающие воспалительных реакций в организме и последующего отрицательного оклика живой системы [5].

В представленной работе покрытия наносили методом МДО на поверхность биодеградируемого магниевого сплава Mg0,8Ca. Покрытия формировали в электролите, в состав которого входили гидрофосфат натрия ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ), гидроксид натрия (NaOH), фторид натрия (NaF) и бета-трикальцийфосфаткальция ( $\beta\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ) [6].

В процессе МДО формирование покрытий на поверхности магниевых образцов происходило в результате возникновения множественных локальных микроплазменных разрядов. Покрытия наносили при следующих параметрах процесса МДО: напряжение процесса МДО 350-500 В, длительность процесса 5–10 мин, длительность импульсов – 100 мкс, частота следования импульсов – 50 Гц.

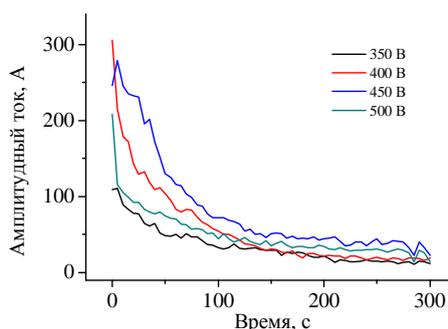


Рис. 1. Зависимость амплитудного тока от времени нанесения покрытия на образцы из магниевого сплава

На рисунке 1 приведен график зависимости амплитудного тока от длительности процесса нанесения микродугового покрытия. Установлено, что появление микроплазменных разрядов на поверхности погруженного в электролит образца, приводящих к формированию покрытия, происходит при начальном значении электрического напряжения МДО, равном 350 В. При этом величина амплитудного тока составляет 109 А. Однако уже через 2 минуты после начала нанесения покрытия величина амплитудного тока падает до 32 А, что указывает на формирование диэлектрического покрытия. При повышении электрического напряжения до 500 В микродуговой процесс переходит в дуговой, что приводит к «обгоранию» и частичному разрушению покрытия.

В работе исследовали влияние параметров процесса МДО (напряжения и длительности процесса) на изменение свойств покрытий – толщины, шероховатости, кажущейся плотности.

При увеличении напряжения процесса МДО от 350 до 500 В толщина формирующихся покрытий растёт от 18,0 до 101,3 мкм. С повышением длительности процесса МДО до 10 мин толщина покрытий также увеличивается до 150 мкм (см. рис. 2а). В ходе исследований определяли кажущуюся плотность покрытия, как отношение массы покрытия к занимаемому им объёму. Было установлено, что при повышении напряжения процесса МДО от 350 до 500 В величина кажущейся плотности покрытий уменьшается от 1,5 до 0,8 г/см<sup>3</sup> как при длительности процесса МДО 5 мин, так и 10 мин, что свидетельствует об увеличении пористости покрытий. Анализ шероховатости поверхности покрытий по параметру Ra показал, что с ростом напряжения процесса МДО от 350 до 500 В шероховатость покрытий увеличивается от 2,03 до 8,07 мкм. Дальнейшее увеличение длительности процесса МДО до 10 мин приводит к формированию покрытий с шероховатостью до 10 мкм.

Известно [4], что покрытия с оптимальной шероховатостью 2,5–5,0 мкм проявляют более высокую биологическую активность и хорошие остеогенные свойства.

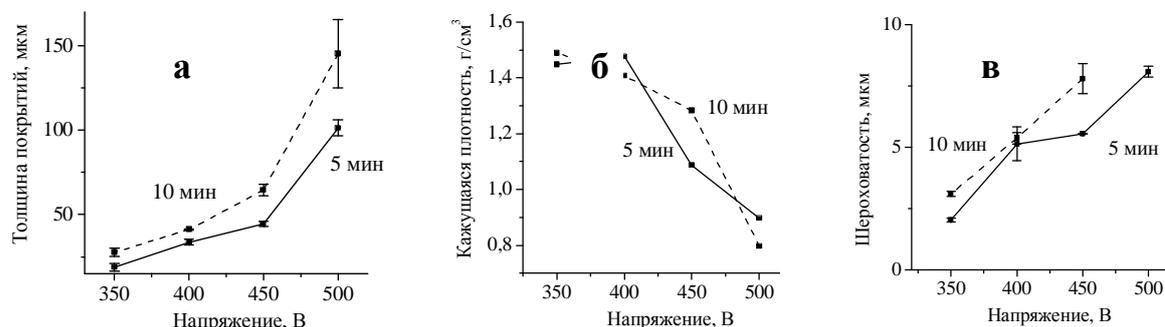


Рис. 1. Изменение толщины покрытий (а), кажущейся плотности (б) и шероховатости (в) в зависимости от напряжения и времени процесса МДО

Таким образом, проведённые исследования показали, что изменение напряжения процесса МДО в интервале 350–500 В и длительности процесса от 5 до 10 мин, при постоянстве других параметров процесса МДО, позволяет получить КФ покрытия с различными свойствами (толщиной, шероховатостью, кажущейся плотностью) на поверхности магниевого сплава Mg0,8Ca. Установлено, что лучшими свойствами характеризуются покрытия, полученные при напряжениях процесса МДО, равных 400–450 В и длительности процесса 5 мин.

*В заключение авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории ФНБ ИФПМ СО РАН Толкачевой Т.В. и Толмачеву А.И. за помощь в проведении части экспериментов и обсуждение результатов исследований.*

#### Список литературы

1. Папиров И.И., Шкуропатенко В.А., Шокуров В.С. и др. Материалы медицинских стентов : обзор.– Харьков : ННЦ ХФТИ, 2009.– 40 с.
2. Чёрный В.Н. Перспективы применения биодеградирующих сплавов на основе магния в остеосинтезе // Запорожский медицинский журнал. – 2013. – № 6(81). – С. 76–79.
3. Gnedenkov A.S., Sinebryukhov S.L., Mashtalyar D.V. et al. Features of the corrosion processes development at the magnesium alloys surface // Surface and Coatings Technology. – 2013. – Vol. 225, No. 25. – P. 112–118.
4. Lin X., Wang X., Tan L. et al. Effect of preparation parameters on the properties of hydroxyapatite containing micro-arc oxidation coating on biodegradable ZK60 magnesium alloy // Ceramics International. – 2014. – P. 1–9.
5. Сафронова Т.В., Пугтяев В.И. Медицинское неорганическое материаловедение в России: кальцийфосфатные материалы // Наносистемы: физика, химия, математика. – 2013. – № 4(1). – С. 24–47.
6. Lee D., Sfeir Ch., Kuneta P. Novel in-situ synthesis and characterization of nanostructured magnesium substituted  $\beta$ -tricalcium phosphate ( $\beta$ -TCMP) // Materials Science and Engineering. – 2009. – Vol. 29, No. 1. – P. 69–77.