

**ЗАЩИТНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ
ПОКРЫТИЯ НА МАГНИЕВОМ СПЛАВЕ,
МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ЗАПОЛНЕННЫМИ МЕТИОНИНОМ
ГАЛЛУАЗИТОВЫМИ НАНОТРУБКАМИ**

Постоянно возрастающий интерес к сплавам магния в настоящее время обусловлен, прежде всего, возможностью потенциального использования материалов на их основе в качестве имплантатов в ортопедической хирургии. Магниево-сплавовые материалы характеризуются высокой механической прочностью, низкой плотностью и совместимостью с биологическими тканями [1]. Тем не менее, важным ограничением в применении магниевых имплантатов является их склонность к быстрой коррозии во внутренней среде организма. Процесс коррозии магния сопровождается выделением водорода и щелочных продуктов, что может привести к появлению трещин и разрушению материала имплантата [2]. Кроме того, этот процесс может вызывать негативные реакции со стороны тканей организма, что повышает риск отторжения имплантата.

Проблемы, связанные с коррозией магния и его сплавов внутри организма, могут быть успешно решены путем применения методов инженерии поверхности, нацеленных на разработку защитных покрытий с различными функциональными характеристиками [3]. Один из многообещающих подходов к модификации поверхности магния и его сплавов заключается в химическом нанесении конверсионных покрытий на основе фосфата кальция (CaP). В области биоинженерии ортопедических имплантатов помимо неорганических, также применяются органические покрытия, которые предоставляют широкий спектр возможностей для интеграции разнообразных химических функциональных групп на поверхности имплантатов. Для создания органических покрытий на поверхности имплантатов используются различные биополимеры, такие как полигликолевая кислота (PGA), полимолочная кислота (PLA), хитозан (CS) и другие.

Дополнительное введение нанотрубок в полимерную матрицу позволяет расширить функциональность и характеристики полимерных оболочек, делая их более эффективными и совершенными. В области медицины и биотехнологии использование нанотрубок для адресной доставки лекарств представляет собой важную исследовательскую область, обладающую значительным потенциалом для улучшения эффективности лечения разнообразных заболеваний. Нанотрубки представляют собой

наноматериалы с уникальными свойствами, которые позволяют точно доставлять лекарственные препараты к конкретным местам в организме [4].

Целью работы было изучение защитных свойств, наполненных галлуазитовыми нанотрубками композиционных полимерных PLA-покрытий на сплаве магния WE43 в растворе Хэнка (pH 7.4).

На образцах сплава WE43 были созданы конверсионные фосфатсодержащие покрытия (CaP) путем обработки в течение 60 минут в растворе (pH 3) следующего состава: H_3PO_4 – 0.2; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ – 0.2. pH раствора регулировали 0,1 н. NaOH. Температура раствора составляла $70 \pm 2^\circ\text{C}$.

После предварительного фосфатирования полимерные покрытия на поверхности образцов формировали путем их погружения в раствор полилактида (PLA) в хлороформе с концентрацией 5%. Сушку образцов проводили в течение 48 часов при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

Электрохимические исследования коррозии проводили с использованием потенциостата/гальваностата Autolab PGNST 302N в трехэлектродной ячейке в растворе Хэнка с pH 7.4, содержащем следующие компоненты в г/дм³: NaCl – 8; KCl – 0.2; CaCl_2 – 0.14; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0.1; $\text{MgCl}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0.1; $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – 0.06; KH_2PO_4 – 0.06; NaHCO_3 – 0.35. Рабочий электрод с габаритной площадью 1 см² был закреплен снизу ячейки. В качестве электрода сравнения использовали насыщенный хлоридсеребряный электрод, а в качестве противоиэлектрода – платиновую проволоку. Поляризационные кривые были получены в диапазоне потенциалов от –200 мВ до +500 мВ относительно стационарного потенциала при скорости развертки потенциала 0.001 В/с. Установление стационарного потенциала занимало 30 минут. Температуру коррозионной среды во всех экспериментах поддерживали на уровне $37 \pm 0.5^\circ\text{C}$.

В таблице представлены электрохимические параметры коррозии исследуемых образцов в растворе Хэнка.

Плотность тока коррозии исходного образца сплава WE43 составляет $1.66 \cdot 10^{-5}$ А/см². Нанесение конверсионного фосфатного покрытия позволяет снизить плотность тока коррозии в 5,25 раза.

Таблица – Электрохимические параметры коррозии исследуемых образцов в растворе Хэнка (pH 7.4)

Образец	a_a, V	b_a, V	a_c	b_c	E_{corr}	i_{corr}
WE43	–1,310	0,041	–2,740	–0,258	–1,5	$1,66 \cdot 10^{-5}$
CaP	0,151	0,300	–2,530	–0,187	–1,5	$3,16 \cdot 10^{-6}$
PLA	1,060	0,436	–4,042	–0,422	–1,5	$1,13 \cdot 10^{-6}$
CaP/PLA/ GNT	0,342	0,282	–3,410	–0,315	–1,4	$5,19 \cdot 10^{-7}$
CaP/PLA/ GNT/MET	1,372	0,437	–3,728	–0,341	–1,49	$2,77 \cdot 10^{-7}$

Последующее нанесение полилакида на поверхность фосфатированного магниевого сплава WE43 позволяет увеличить защитный эффект на ≈ 12 %. Модификация полимерной матрицы галлуазитовыми нанотрубками позволяет увеличить защитный эффект на ≈ 4 %. Наполнение полимерной матрицы загруженными метионином галлуазитовыми нанотрубками приводит к снижению токов коррозии в ≈ 2 раза по сравнению с исходным сплавом WE43, что обусловлено высвобождением в процессе влагонаполнения и деградации полимерной матрицы метионина, обладающего ингибирующими свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kharitonov, D. Aqueous molybdate provides effective corrosion inhibition of WE43 magnesium alloy in sodium chloride solutions / D. Kharitonov [et al.] // Corrosion Science. – 2021. – Vol. 190, 109664.

2. Kasach, A. Preparation of Chitosan–Graphite-Like Carbon-Nitride Biocoatings on AZ91 Magnesium Alloy / A. Kasach [et al.] // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. – 2023. – Vol. 59. – P. 32–41.

3. Поспелов А.В. Получение комбинированных полимерных и фосфатсодержащих защитных покрытий на легированных редкоземельными элементами сплавах магния / А. В. Поспелов [и др.] // Беларусь-Узбекистан: формирование рынка инновационной продукции : сб. материалов науч.-практ. конф. – 2023. – С. 165–168.

4. Поспелов А.В. Получение и свойства композиционных покрытий полилактид-галлуазитовые нанотрубки на сплавах магния / А.В. Поспелов [и др.] // Химическая технология и техника : материалы 87-й науч.-техн. конф. профес.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов. – 2023. – С. 151–154.

УДК 621.798.264

**Панфилова О.А., Мухаметханов И.И.,
Назипов И.И., Рудницкий И.В., Вольфсон С.И.**
(ФГБОУ ВО «КНИТУ»)

Касперович А.В.

(Белорусский государственный технологический университет)

МАСЛОБЕНЗОСТОЙКАЯ ЭЛАСТОМЕРНАЯ КОМПОЗИЦИЯ ДЛЯ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

Известно, что к эластомерным комплектующим оборудования, применяемого в системах нефтедобычи (уплотнительные кольца, диафрагмы, манжеты и т.д.), предъявляются очень противоречивые требования.