

УДК 620.193.28+678.07

А.А. Ширвель¹, И.И. Курило¹, А.Р. Цыганов²

¹Учреждение образования «Белорусский государственный
технологический университет»

²Частное учреждение высшего образования «Международный институт
управления и предпринимательства»
г. Минск, Республика Беларусь

ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЧАСТИЦАМИ ДИОКСИДА ТИТАНА ФОСФАТ-ХИТОЗАНОВЫХ ПОКРЫТИЙ НА СПЛАВЕ МАГНИЯ

***Аннотация.** Разработан способ получения модифицированных частицами диоксида титана композиционных фосфат-хитозановых покрытий на биорезорбируемом сплаве магния AZ91. Установлена зависимость скорости *in vitro* коррозии полученных материалов в модельном растворе Хэнка от содержания TiO_2 в составе электролита-суспензии для электрохимического нанесения хитозана.*

A.A. Shirvel¹, I.I. Kurilo¹, A.R. Tsyganov²

¹Belarusian State Technological University

²International Institute of Management and Entrepreneurship
Minsk, Belarus

ELECTROPHORETIC DEPOSITION AND CHARACTERIZATION OF PHOSPHATE-CHITOSAN COATINGS INCORPORATING TITANIUM DIOXIDE ON THE MAGNESIUM ALLOY

***Abstract.** Composite phosphate-chitosan coatings modified of titanium dioxide particles on the bioresorbable magnesium alloy AZ91 was developed. Effect of TiO_2 concentration in electrolytic suspension for electrochemical deposition of chitosan on the *in vitro* corrosion rate of magnesium alloy AZ91 in Hank's solution was investigated.*

Одним из перспективных металлических материалов для использования в медицинских целях является магний, который по сравнению с другими металлами характеризуется более высокой биосовместимостью и способностью образовывать в процессе биодеградации нетоксичные продукты коррозии [1]. Однако применение магния для изготовления биоразлагаемых имплантатов ограничивается его высокой реакционной способностью. Слишком быстрая коррозия магния в хлоридсодержащих биологических средах, протекающая с водородной деполяризацией, вызывает локальное подщелачивание и способствует накоплению водорода в мягких тканях

пациента. Кроме того, высокая скорость коррозии напрямую влияет на механическую стабильность имплантата, целостность которого необходимо поддерживать до тех пор, пока кость не образовалась и не минерализовалась, то есть не достигла естественных несущих свойств. Обработка поверхности металлических материалов может существенно повысить износостойкость и коррозионную стойкость подложки. Для защиты магния и его сплавов используют химические конверсионные, электрохимические и органические покрытия, анодирование, осаждение из газовой фазы. Одним из наиболее доступных способов модификации поверхности магния является нанесение химических фосфат- и кальцийсодержащих конверсионных покрытий, которые не только повышают антикоррозионные свойства изделий из магния, но и существенно улучшают их биосовместимость и остеокондуктивность, что является определяющим фактором при изготовлении биоразлагаемых имплантатов [2].

Хитозан отлично подходит для использования в качестве гипохолестеринемического и гиполипидемического средства, благодаря чему он может снизить риск сердечно-сосудистых заболеваний. Кроме того, хитозан проявляет выраженные антимикробные и антиоксидантные свойства. Благодаря этому данный биополимер и его производные находят применение как в медицине, так и в бытовых целях для изготовления биоразлагаемых губок, хирургического шовного материала, мембран, микросфер, таблеток, контейнеров для лекарственных препаратов. Новым перспективным направлением использования хитозана является получение на его основе биополимерных покрытий, предназначенных для повышения биосовместимости и антикоррозионных свойств биоразлагаемых имплантатов. Модификация хитозанового слоя частицами диоксида титана (TiO_2), проявляющего фотокаталитическую активность, позволит улучшить биоцидные свойства композиционных материалов. Все это обуславливает необходимость проведения комплексных исследований, направленных на разработку новых композиционных органо-неорганических покрытий на биоразлагаемых сплавах магния, проявляющих улучшенные антикоррозионные, антибактериальные и остеокондуктивные свойства.

Целью работы являлось получение на фосфатированном сплаве магния AZ91 модифицированных диоксидом титана композиционных органо-неорганических покрытий на основе хитозана и изучение их коррозионных свойств в модельном растворе, имитирующем жидкость костной ткани человеческого организма (растворе Хэнка).

Перед нанесением покрытий образцы сплава магния AZ91 шлифовали, полировали с использованием шлифовальной бумаги зернистостью от P500 до P800, а затем очищали поверхность образцов 96%-ным этиловым спиртом.

Фосфатирование образцов проводили химическим методом в растворе следующего состава, г/дм³: Ca(NO₃)₂ 0,3; H₃PO₄ 0,2. Корректировку pH до 3,2 осуществляли 2 М раствором гидроксида натрия. Покрытия наносили методом погружения при температуре раствора 70 °С в течение 60 минут.

Для нанесения композиционных хитозановых покрытий использовали суспензию, состав которой приведен в табл. 1. Для приготовления рабочих растворов использовали реактивы марки х. ч. Содержание частиц диоксида титана марки P25 в составе электролита-суспензии варьировалось в пределах от 0,5 до 10 г/дм³.

Табл. 1. Состав электролита-суспензии для нанесения хитозана

Концентрация компонентов, г/дм ³			
<i>chit.</i> (DD 85%)	Уксусн. к-та	Этанол (96%)	TiO ₂ (марка P25)
10,0	3	474,0	0,5–10,0

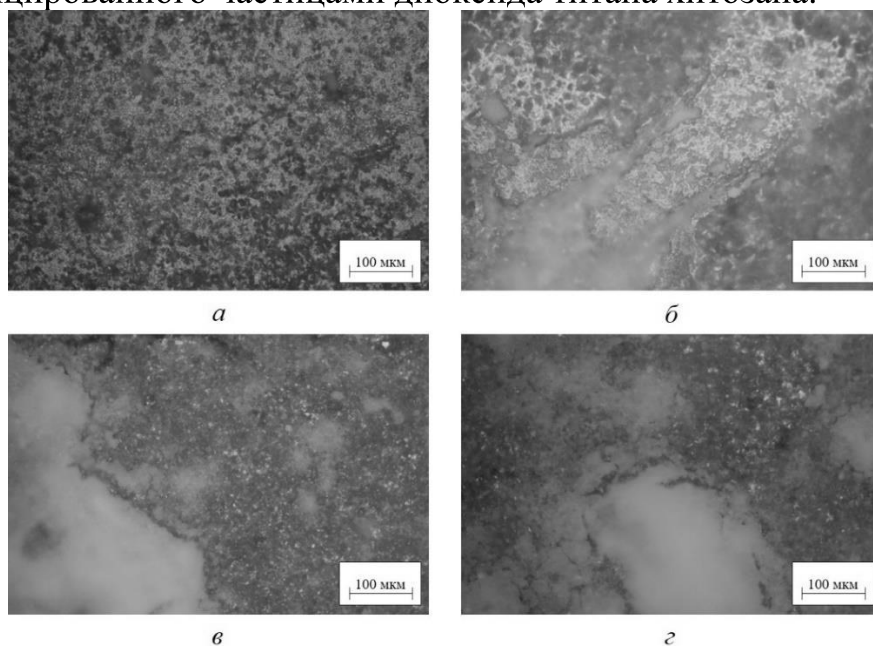
Композиционные покрытия получали методом катодного осаждения при постоянном напряжении 30 В и комнатной температуре (20±2°С) в течение 4 минут. Анодом служили пластины из нержавеющей стали марки Х18Н9. Полученные образцы сушили на воздухе при комнатной температуре в течение 60 минут.

На рис. 1 представлены оптические микрофотографии модифицированных частицами диоксида титана хитозановых покрытий на фосфатированном сплаве магния AZ91 (CaP|хитозан|TiO₂). Согласно полученным данным, при содержании в суспензии 0,5 г/дм³ частиц диоксида титана на поверхности сплава формируется структурно однородное покрытие. Увеличение содержания TiO₂ до 10 г/дм³ приводит к существенному изменению микрорельефа покрытия. Наиболее качественные композиционные покрытия формируются в электролите-суспензии, содержащем 5 г/дм³ частиц модифицирующей фазы.

Коррозионную стойкость полученных образцов исследовали методом линейной вольтамперометрии в растворе, имитирующем жидкость костной ткани человеческого организма.

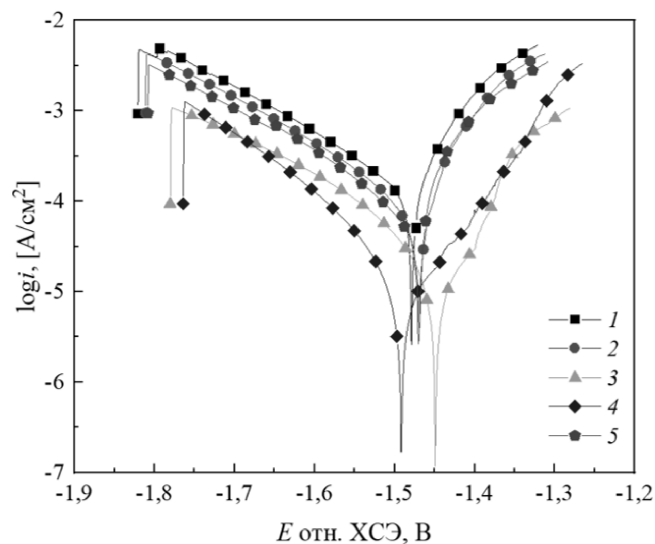
На рис. 2 представлены поляризационные кривые образцов сплава AZ91, а также сформированных на фосфатированных образцах

этого сплава композиционных покрытий на основе модифицированного частицами диоксида титана хитозана.



Содержание частиц диоксида титана в электролите-суспензии, г/дм³:
 $a - 0,5$; $б - 1$; $в - 5$; $г - 10$.

Рис. 1. Оптические фотографии композиционных покрытий CaP|хитозан|TiO₂ на сплаве магния AZ91



Содержание частиц диоксида титана в электролите-суспензии, г/дм³:
 $2 - 0,5$; $3 - 1$; $4 - 5$; $5 - 10$.

Рис. 2. Поляризационные кривые в растворе Хэнка образцов сплава AZ91 (1), а также сформированных на них композиционных покрытий CaP|хитозан|TiO₂ (2–5)

Как видно из полученных зависимостей (рис. 2), с увеличением содержания модифицирующей добавки в электролите угол наклона как катодных, так и анодных ветвей поляризационных кривых образцов отличается незначительно, что указывает на аналогичный механизм электродных процессов. Полученные из анализа поляризационных кривых электрохимические параметры коррозии в растворе Хэнка образцов сплава AZ91, а также сформированных на них композиционных покрытий CaP|хитозан|TiO₂ представлены в табл. 2.

Табл. 2. Электрохимические параметры коррозии образцов сплава AZ91 и покрытий CaP|хитозан|TiO₂

Содержание TiO ₂ в электролите, г/дм ³	a_a , В	b_a , В	a_k , В	b_k , В	$i_{кор}$, А/см ²	$E_{кор}$, В
AZ91 без покрытия	-1,318	0,038	-2,104	-0,157	$9,687 \cdot 10^{-5}$	-1,472
0,5	-1,290	0,041	-2,068	-0,142	$5,851 \cdot 10^{-5}$	-1,495
1	-0,942	0,101	-1,888	-0,089	$1,055 \cdot 10^{-5}$	-1,445
5	-1,067	0,081	-1,965	-0,096	$8,366 \cdot 10^{-6}$	-1,479
10	-1,338	0,030	-2,102	-0,147	$4,925 \cdot 10^{-5}$	-1,467

С увеличением содержания в электролите-суспензии частиц модифицирующей фазы TiO₂ от 0,5 до 5 г/дм³ токи коррозии полученных композиционных покрытий уменьшаются (табл. 2). При содержании TiO₂ в составе электролита 5 г/дм³ формируются покрытия с наиболее высокой коррозионной стойкостью ($i_{кор} = 8,366 \cdot 10^{-6}$ А/см²), превышающей коррозионную стойкость сплава AZ91 в ≈ 12 раз. Дальнейшее увеличение содержания TiO₂ до 10 г/дм³ приводит к снижению коррозионной стойкости полученных покрытий, что обусловлено существенным увеличением числа микродефектов.

Проведенные исследования позволили предложить способ получения модифицированных частицами диоксида титана композиционных фосфат-хитозановых на биорезорбируемом сплаве магния AZ91 с улучшенными защитными свойствами.

Список использованных источников

1. Magnesium Alloys for Lightweight Powertrains and Automotive Structures. In Materials, Design and Manufacturing for Lightweight Vehicles; Elsevier / B.R. Powell [et al.] // Amsterdam, The Netherlands. – 2021. – P. 125–136.
2. Поспелов, А.В. и др. Получение и свойства конверсионных фосфат-содержащих покрытий на легированных редкоземельными

элементами сплавов магния / А.В. Поспелов и др. // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2024. – Т. 26, № 3. – С. 504-517.

УДК 69.004.2:658.512

А. Ю. Эйтерник, Н. А. Малев

Казанский государственный энергетический университет
г. Казань, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЕКТИРОВАНИИ РАЗДЕЛА «АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ»

A. Y. Eyternik, N. A. Malev

Kazan State Power Engineering University
Kazan, Russia

***Аннотация.** В статье рассматриваются актуальные вопросы применения технологий информационного моделирования (BIM) при проектировании систем автоматизации технологических процессов и производств. Проанализированы ключевые проблемы традиционного подхода, такие как слабая координация между смежными разделами проекта, ошибки в трассировке кабельных сетей и размещении оборудования. Подробно описаны преимущества BIM-технологий, включая создание единой информационной среды, возможность трехмерного координирования, автоматизацию выпуска документации и использование данных модели на всех этапах жизненного цикла объекта. Особое внимание уделено структуре информационной модели раздела автоматизации, включающей геометрическую, спецификационную и аналитическую части. Приведены практические аспекты работы в BIM-среде: создание библиотеки интеллектуальных семейств, организация совместной работы.*

THE USE OF BIM TECHNOLOGIES IN THE DESIGN OF THE SECTION "AUTOMATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND PRODUCTION"

***Abstract.** The article discusses topical issues of the use of information modeling (BIM) technologies in the design of automation systems for technological processes and production facilities. The key problems of the traditional approach are analyzed, such as poor coordination between adjacent sections of the project, errors in tracing cable networks and equipment placement. The advantages of BIM technologies are described in detail, including the creation of a unified information environment, the possibility of three-dimensional coordination, automation of documentation production and the use of model data at all stages of the object's life cycle. Special attention is paid to the structure of the information model of the automation section, which includes geometric, specification and analytical parts. Practical aspects of working in a BIM environment are presented: creating a library of intelligent families, organizing collaboration.*