

Список использованных источников

1. Ultra-high strength medium-entropy (Ti,Zr,Ta)C ceramics at 1800°C by consolidating a core-shell structured powder / Q. Yang, X. Wang, P. Wu et al. – DOI 10.1111/jace.18197 // Journal of the American Ceramic Society. – 2022. – Vol. 105, № 2. – P. 823–829.
2. High-strength medium-entropy (Ti,Zr,Hf)C ceramics up to 1800°C / X. Wang, X. Wang, Q. Yang et al. – DOI 10.1111/jace.17677 // Journal of the American Ceramic Society. – 2021. – Vol. 104, № 6. – P. 2436–2441.

УДК 620.197.2

А.В. Поспелов, А.А. Касач, Е.О. Богдан, И.И. Курило, А.Р. Цыганов

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ХИМИЧЕСКОГО ФОСФАТИРОВАНИЯ СПЛАВА МАГНИЯ WE43 НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПОЛУЧЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

***Аннотация.** Изучено влияние режимов химического фосфатирования легированного редкоземельными элементами сплава магния WE43 на структуру и антикоррозионные свойства синтезированных конверсионных покрытий. Установлено, что полученные кальций-фосфатные покрытия обеспечивают достаточно высокий защитный эффект (88–95%) и позволяют снизить скорость коррозии сплава WE43 в физиологическом растворе Хэнка в 5–18 раз в зависимости от длительности и температуры фосфатирования.*

A.V. Pospelov, A.A. Kasach, E.O. Bogdan, I.I. Kurilo, A.R. Tsyganov

Belarusian State Technological University
Minsk, Belarus

INFLUENCE OF CHEMICAL PHOSPHATING MODES OF MAGNESIUM ALLOY WE43 ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE OBTAINED COATINGS

***Abstract.** The influence of chemical phosphating modes of WE43 magnesium alloy doped with rare earth elements on the structure and anti-corrosion properties of the synthesized conversion coatings was studied. It has been established that the resulting calcium phosphate coatings provide a fairly high protective effect (88–95%) and can reduce the corrosion rate of the WE43 alloy in Hank's physiological solution by 5–18*

times, depending on the duration and temperature of phosphating.

В настоящее время наиболее перспективными материалами для изготовления биodeградируемых имплантатов являются магний и его сплавы, которые наряду с высокой биосовместимостью характеризуются высокой удельной прочностью и близкой к нативной кости плотностью. В то же время известно, что данные металлические материалы в физиологических средах организма подвергаются быстрой и неравномерной коррозии с водородной деполяризацией, что может нарушать механическую целостность имплантатов и препятствовать формированию костной ткани [1].

Одним из способов повышения коррозионной устойчивости магния и его сплавов является нанесение на их поверхность кальций-фосфатных покрытий, которые характеризуются высоким биологическим сродством к нативной кости, способствуют повышению биоактивности имплантата, обеспечивают его прочное соединение с костной тканью и существенно улучшают процесс остеоинтеграции [2].

Кальций-фосфатные соединения являются предшественниками формирующегося в организме гидроксиапатита и способствуют локальному увеличению концентрации ионов Ca^{2+} и PO_4^{3-} вокруг поверхности имплантата, что играет важную роль в процессе роста костной ткани. Данные соединения могут существовать в виде различных кристаллических фаз, например, дикальциевого фосфата дигидрата ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), дикальциевого фосфата (CaHPO_4), октакальциевого фосфата ($\text{Ca}_8(\text{HPO}_4)_2(\text{PO}_4)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), α -трикальцийфосфата ($\alpha\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), гидроксиапатита ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) и др. Каждая фаза имеет различную кристаллическую структуру с различным соотношением Ca/P, а также различную способность к растворению в биологических средах. Помимо химического состава покрытия с костной тканью, немаловажными свойствами влияющим на успех имплантации, являются морфология поверхности, смачиваемость и шероховатость.

Целью работы являлось изучение влияния режимов химического фосфатирования сплава магния WE43 на структуру и защитные свойства полученных конверсионных биосовместимых покрытий.

В качестве объекта исследования использовали легированный редкоземельными элементами сплав магния WE43, номинальный состав которого представлен в таблице 1.

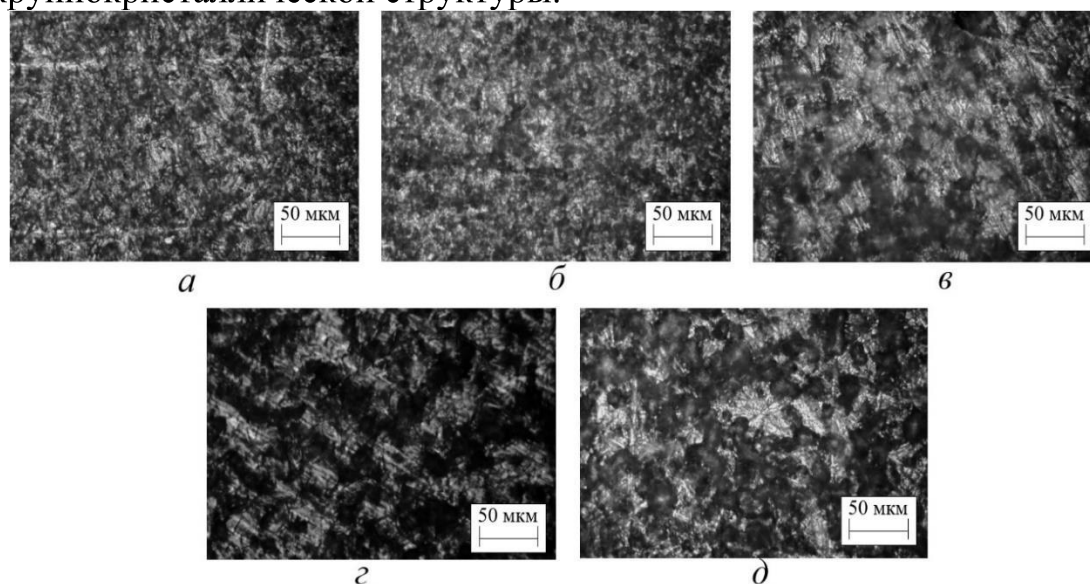
Таблица 1- Номинальный состав сплава WE43

Содержание химических элементов в сплаве, мас.%								
Al	Si	Y	Zr	Nd	Gd	Dy	Yb	Mg
0,01	0,09	4,8	0,7	2,9	0,4	0,3	0,08	баланс

Перед нанесением покрытий образцы сплава размером 20×20×5 мм подвергали полировке и шлифовке на шлифовально-полировальном станке METAPOL 2000P (Laizhou Lyric Testing Equipment, Китай) с последующим обезжириванием в этиловом спирте (99 %) в течение 60 с при температуре 20 °С.

Синтез конверсионных фосфатсодержащих покрытий на поверхности образцов сплава WE43 осуществляли в растворе следующего состава, моль/дм³: H₃PO₄ – 0,2; Ca (NO₃)₂ – 0,4; 2М NaOH – до pH 2,8. Температуру экспозиции варьировали в диапазоне от 25 до 60° С, время выдержки составляло 1, 10, 15, 30 и 60 минут.

Структуру покрытий, синтезированных на магниевом сплаве WE43, изучали методом оптической микроскопии (рисунок 1). Установлено, что при фосфатировании в течение 1 и 10 мин формируется наиболее однородная и мелкозернистая структура покрытия. Повышение длительности фосфатирования до 60 мин приводит к получению покрытий, характеризующихся игольчатой крупнокристаллической структурой.



Длительность фосфатирования, мин: *а* – 1; *б* – 10; *в* – 15; *г* – 30; *д* – 60

Рис. 1 - Оптические микрофотографии поверхности полученных покрытий

Оценку защитных свойств полученных покрытий проводили в растворе Хэнка (pH=7,4) следующего состава, г/дм³: NaCl – 8,0; KCl – 0,4; NaHCO₃ – 0,07; MgCl₂·7H₂O – 0,10; CaCl₂ – 0,14; NaH₂PO₄ – 0,07; KH₂PO₄ – 0,07. Электрохимические исследования коррозии

полученных образцов проводили на потенциостате / гальваностате AUTOLAB PGSTAT 302, оснащенный модулем импеданса. Рабочим электродом служили фосфатированные образцы сплава WE43, в качестве электрода сравнения использовали хлоридсеребряный электрод, противоелектродом являлся платиновый точечный электрод. Поляризационные кривые снимали в потенциостатическом режиме. Диапазон измерений поляризационных кривых составил от –200 до 300 мВ относительно бестокового потенциала при линейной скорости развертки потенциала 1 мВ/с.

Электрохимические параметры коррозии исследуемых образцов, рассчитанные по данным поляризационных измерений, приведены в таблице 2. Анализ данных показывает, что наименьшей коррозионной устойчивостью в растворе Хэнка обладает образец сплава магния WE43 без покрытия. Сформированное на поверхности кальций-фосфатное покрытие позволяет снизить скорость коррозии исследуемого сплава в 5–18 раз в зависимости от длительности синтеза.

Таблица 2 – Электрохимические параметры процесса коррозии образцов

Параметр	a_a , В	b_a , В	a_k , В	b_k , В	$i_{кор}$, А/см ²	E , В	Z , %
Образец сплава WE43 без обработки	–1,21	0,03	–2,61	–0,26	$1,74 \cdot 10^{-5}$	–	–
Длительность фосфатирования, мин:							
1	–0,88	0,126	–2,18	–0,11	$3,22 \cdot 10^{-6}$	–1,58	81
10	0,15	0,30	–2,75	–0,18	$9,24 \cdot 10^{-7}$	–1,66	95
15	0,01	0,28	–2,65	–0,16	$1,02 \cdot 10^{-6}$	–1,69	94
30	–0,276	0,247	–2,78	–0,19	$2,01 \cdot 10^{-6}$	–1,68	88
60	0,06	0,31	–2,69	–0,17	$1,94 \cdot 10^{-6}$	–1,70	89
Температура, °С:							
25	–0,33	0,22	–2,54	–0,17	$2,11 \cdot 10^{-6}$	–1,59	88
30	–0,50	0,19	–2,66	–0,19	$1,72 \cdot 10^{-6}$	–1,58	90
40	–0,68	0,16	–2,34	–0,12	$1,91 \cdot 10^{-6}$	–1,61	89
50	–0,40	0,21	–2,41	–0,13	$1,49 \cdot 10^{-6}$	–1,64	91
60	–0,25	0,24	–2,39	–0,12	$1,05 \cdot 10^{-6}$	–1,69	94

При экспозиции образца сплава в электролите фосфатирования в течение 10 мин формируется покрытие, характеризующееся наибольшей коррозионной стойкостью. При этом плотность тока коррозии уменьшается до $9,4 \cdot 10^{-7}$ А/см² по сравнению с $i_{кор}$ исходного образца сплава, которая составляет $1,74 \cdot 10^{-5}$ А/см².

Увеличение температуры, при которой проводится химическое фосфатирование, от 25 до 60°С приводит к формированию покрытий, позволяющих снизить скорость коррозии сплава WE43 в 8–16 раз.

Причем наибольшим защитным эффектом (94 %) характеризуются фосфатсодержащие покрытия, синтезированные при температуре 60°C.

Выполнение исследований финансировалось в рамках гранта Президента Республики Беларусь на 2024 год и в рамках НИР ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биооргхимия», рег. № 20240861.

Список использованных источников

1. Maguire M.E., Cowan J.A. Magnesium chemistry and biochemistry // BioMetals. 2002. Vol. 15, № 3. P. 203–210.
2. Kannan M.B., Raman R.K. In vitro degradation and mechanical integrity of calcium containing magnesium alloy in modified simulated body fluid. Biomaterials 2008; 29. P. 2306–2314.

УДК 628.196

Д.Э. Пропольский

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДИФИЦИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ С МОНОПОКРЫТИЕМ

***Аннотация.** Фильтрация через инертные материалы является неотъемлемым этапом всех методов обезжелезивания подземных вод. Достижение более высоких показателей очистки возможно при использовании в фильтрах каталитического слоя из модифицированных загрузок. Это также позволяет снижать затраты на станциях водоподготовки.*

D.E. Prapolski

Belarusian National Technical University
Minsk, Belarus

COMPARATIVE ANALYSIS OF MODIFIED MATERIALS WITH A MONO-COATING

***Abstract.** Filtration through inert materials is an integral stage of all methods of iron removal from groundwater. Higher purification rates can be achieved by using a*