

ние фаз по глубине слоя не согласуется с диаграммой состояния системы «алюминий-медь», в структуре слоя преобладает интерметаллид  $Al_4Cu_9$ . Исследована микротвердость в характерных зонах образующегося диффузионного слоя.

#### Список использованных источников

1. Бурнышев, И. Н. Многокомпонентное диффузионное насыщение медных сплавов / И. Н. Бурнышев, О. М. Валиахметова, В. Ф. Лыс // Химическая физика и мезоскопия. – 2010. – Т. 12. – № 4. – С. 519-525.

2. Радюк А.Г. Формирование диффузионных слоев на поверхности меди и ее сплавов [текст] / А.Г. Радюк, А.Е. Титлянов, А.Е. Украинцев // Цветные металлы. – 2007. – №5. – С. 95–97.

3. Твердость пленок системы Al - Cu / С. Б. Куцев, А. А. Максименко, М. А. Босых [и др.] // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2012. – Т. 14, № 1. – С. 53-59.

### ПОЛУЧЕНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ И ФОСФАТСОДЕРЖАЩИХ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ЛЕГИРОВАННЫХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ СПЛАВАХ МАГНИЯ

Поспелов А. В., Касач А. А., Курило И. И., Цыганов А. Р.  
Белорусский государственный технологический университет  
Andrei29088@mail.ru

**Аннотация.** Методами линейной вольтамперометрии изучены особенности коррозии сплава магния WE43 в растворе Хэнка (pH 7,4), имитирующий внутреннюю жидкость организма, а также защитные свойства сформированных на нем покрытий на основе фосфатов кальция (CaP) и комбинированных покрытий CaP-PLA. Показано, что нанесение на поверхность сплава WE43 покрытий CaP позволяет снизить плотность тока коррозии примерно в 10 раз, покрытий CaP-PLA в 500 раз.

**Annatation.** By methods of linear voltammetry the features of corrosion of magnesium alloy WE43 in Hank's solution (pH 7.4), imitating the internal body fluid, as well as the protective properties of the coatings formed on it based on calcium phosphate (CaP) and combined coatings CaP-PLA were studied. It is shown that the application of CaP coatings on the surface of WE43 alloy allows to reduce the corrosion current density by about 10 times, CaP-PLA coatings by 500 times.

**Введение.** Магниеые сплавы привлекают все большее внимание как потенциальные материалы для использования в качестве имплантатов в ортопедической хирургии. Они обладают высокой прочностью, низкой плотностью и биосовместимостью, что делает их идеальными кандидатами для создания ортопедических имплантатов [1]. Однако, магниевые сплавы имеют некоторые ограни-

чения в использовании в качестве имплантатов, связанные с их быстрой коррозией в физиологических жидкостях организма. Результатом коррозии является образование водорода и щелочных продуктов, что может привести к образованию трещин и разрушению материала, а также вызывать реакции тканей организма, приводящие к отторжению имплантата [2].

Основными подходами к решению проблемы коррозии магниевых имплантационных материалов являются использование легированных редкоземельными элементами (РЗЭ) сплавов магния и модификация их поверхности. Легирование магния РЗЭ улучшает его механические свойства и коррозионную стойкость, это обусловлено образованием в сплаве интерметаллических фаз Mg-РЗЭ [3]. Дополнительно РЗЭ могут обеспечивать антибактериальные и противовоспалительные свойства.

Модификация поверхности магниевых сплавов включает в себя использование защитных покрытий различной природы. Защитные покрытия на основе фосфата кальция (СаР) наносятся на поверхность магниевых сплавов для снижения скорости коррозии имплантата в физиологических жидкостях организма. Покрытия на основе СаР обладают не только высокой химической биостабильностью, но и отличной биосовместимостью, остеокондуктивностью и биорезорбируемостью [4]. Органические покрытия предлагают широкий спектр возможностей для интеграции различных химических функциональных групп на поверхности имплантатов. В биоинженерии для формирования органических покрытий на поверхности имплантата используются различные биополимеры, которые демонстрируют механические свойства, сравнимые с мягкими биологическими тканями. Таким образом, биополимеры поддерживают рост клеток, обеспечивают биосовместимость и контролируруемую биodeградацию. Кроме того, полимерные покрытия могут служить носителями для различных лекарственных форм [5].

Сочетание легированных РЗЭ сплавов магния и модификации их поверхности может привести к разработке эффективных имплантационных материалов с контролируемой биорезорбцией и улучшенными биосовместимостью и остеокондуктивностью.

Целью данной работы является получение на магниевом сплаве WE43 комбинированных полимерных и фосфатсодержащих покрытий и изучение их защитных свойств.

**Результаты исследований.** На рисунке 1 представлены СЭМ изображения поверхности образцов сплава WE43 без покрытия (рисунок 1, *а*), с нанесенным на него фосфатсодержащим покрытием (рисунок 1, *б*) и комбинированным покрытием, состоящим из фосфатсодержащего и полилактидного слоев (рисунок 1, *в*).

Как видно из рисунка 1, *а* сплав WE43 характеризуется сетчатой микроструктурой, выраженной несколькими фазами. Основной фазой ( $\alpha$ -фазой) является магний с низким процентным содержанием легирующих элементов.  $\beta$ -фаза представляет собой менее однородную фазу с более высокой концентрацией РЗЭ. Также, на рисунке 1, *а* наблюдаются контрастные области, которые отно-

сятся к интерметаллическим частицам (ИМЧ). Состав ИМЧ представлен соединениями магния с редкоземельными элементами (Mg-РЗЭ), а также фазой циркония [6].

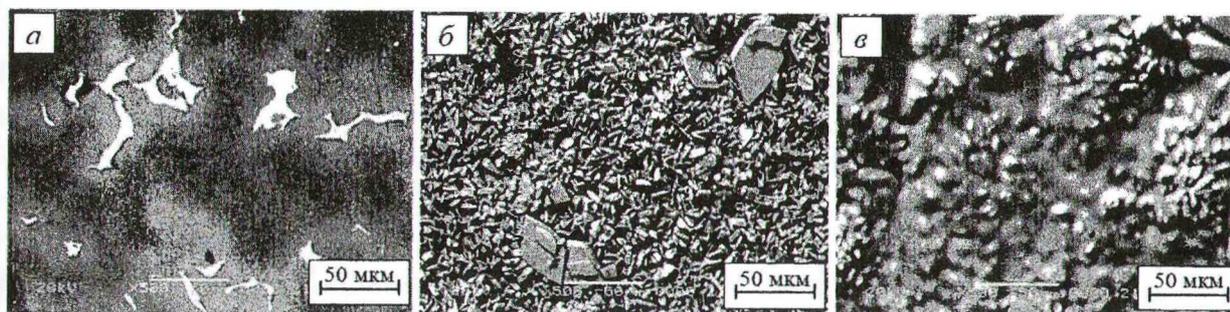


Рисунок 1 – СЭМ изображения поверхности полученных образцов:  
а – WE43; б – CaP; в – CaP-PLA

Предварительное фосфатирование магниевого сплава WE43 приводит к образованию на поверхности образца малорастворимого плотного мелкозернистого покрытия с ярко выраженной кристаллической структурой (рисунок 1 б). Качественный и количественный элементный анализ показал, что слой, сформированный в процессе фосфатирования, состоит из кальция, фосфора и кислорода, мас. %: Ca – 45,1; P – 22,7; O – 32,2.

Нанесение полилактида на поверхность фосфатированного образца приводит к формированию комбинированного покрытия CaP-PLA (рисунок 1, в).

С помощью электрохимических методов была проведена оценка защитных свойств полученных покрытий. В таблице 1 представлены электрохимические параметры коррозии исследуемых образцов в растворе Хэнка (pH 7,4).

Таблица 1 – Электрохимические параметры коррозии образцов сплава WE43

Образец	$a_k, В$	$b_k, В$	$a_a, В$	$b_a, В$	$E_{корр}, В$	$i_{корр}, А/см^2$
WE43	-2,70	-0,29	-1,09	0,05	-1,34	$1,7 \cdot 10^{-5}$
CaP	-2,86	-0,22	-0,02	0,28	-1,62	$1,8 \cdot 10^{-6}$
CaP-PLA	-2,55	-0,12	-0,20	0,18	-1,58	$3,4 \cdot 10^{-8}$

**Выводы.** По сравнению с исходным сплавом WE43 покрытие CaP способствует снижению скорости коррозии образца практически в 10 раз, а комбинированное покрытие CaP-PLA – практически в 500 раз. Высокая защитная способность покрытия CaP-PLA обусловлена тем, что в процессе его формирования происходит заполнение микротрещин фосфатного слоя полимером, что приводит к уплотнению покрытия, а при дальнейшей эксплуатации препятствует непосредственному контакту коррозионной среды с магниевой матрицей.

#### Список использованных источников

1. Li L., Gao C., Xu D. et al. Corrosion of magnesium alloys in medical applications: a review // Acta Biomater. – 2017. – Vol. 62. – P. 14–28.

2. Witte F., Feyerabend F., Maier P., Fischer J., Stormer M., Blawert C. Biodegradable magnesium-hydroxyapatite metal matrix composites // *Biomaterials*. – 2007. – Vol. 28. – P. 2163–2174.

3. Salahshoor M., Guo Y. Biodegradable orthopedic magnesium-calcium (MgCa) alloys, processing, and corrosion performance // *Materials*. – 2012. – Vol. 5. – P. 135–155.

4. Hornberger H., Virtanen S., Boccaccini A.R. Biomedical coatings on magnesium alloys-a review // *Acta Biomaterialia*. – 2012. – Vol. 8 (7). – P. 2442–2455.

5. Salawi A. Pharmaceutical Coating and Its Different Approaches, a Review // *Polymers*. – 2022. – Vol. 14(16). – P. 3318.

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

## ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ БИОПОЛИМЕРОВ ДЛЯ СОХРАННОСТИ ЯГОД ВИНОГРАДА

Садовская А. В., Вага И. И.

Белорусский национальный технический университет

Sadovskaya@bntu.by

**Аннотация.** Приведены результаты исследования изменения массы образцов винограда сорта Султан с нанесенным защитным пленочным покрытием на основе крахмала, желатина и глицерина, при хранении ягод в течение 15 суток, изучено воздействие пластификатора глицерина на механические характеристики пленок. Исследования направлены на разработку пленкообразующих покрытий на основе биополимеров для продления качества и сроков хранения винограда, выращенного в Узбекистане.

**Annotation.** The results of a study of the change in the weight of samples of Sultan grapes with a protective film coating based on starch, gelatin and glycerin, when storing berries for 15 days, are presented, the effect of the plasticizer glycerol on the mechanical characteristics of the films is studied. Research is aimed at developing film-forming coatings based on biopolymers to extend the quality and shelf life of grapes grown in Uzbekistan.

Разработка новых упаковочных материалов, способных с одной стороны, выполнять свои защитные свойства, а с другой не оказывать неблагоприятного влияния на окружающую среду, является важной задачей, на решение которой направлены правительственные ограничения ряда стран по сокращению пластиковых отходов и значительное количество научных исследований, в том числе по разработке и производству биоразлагаемой упаковки, съедобных покрытий и пленок [1]. Биоразлагаемые полимеры также используются в упаковках с модифицированной атмосферой для хранения фруктов и овощей. Узбекистан обладает мощной сырьевой базой для выращивания и экспорта продукции растениеводства, особенно столового винограда. Для сравнения в Беларуси производится