

5. Технология и оборудование лесных складов и лесообрабатывающих цехов / под. ред. В.И. Пятякина. – Москва: МГУЛ, 2008. –384 с.

УДК 620.197.6

А.А. Касач, А.В. Поспелов, Е.О. Богдан, А.Р. Цыганов
Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

ЗАЩИТНЫЕ И АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА БИОПОКРЫТИЙ НА МАГНИЕВОМ СПЛАВЕ AZ91

Аннотация. Синтезированы композиционные биополимерные покрытия хитозан–g-C₃N₄ на поверхности сплава магния AZ91. Методом конфокальной микроскопии установлена степень ингибирования биопленкообразования *E. coli* на поверхности полученных покрытий. Показано, что модификация хитозановой полимерной матрицы частицами g-C₃N₄ приводит к увеличению защитных свойств формируемых покрытий на 20–35%.

A.A. Kasach, A.V. Paspelv, E.O. Bogdan, A.R. Tsyganov
Belarusian State Technological University
Minsk, Belarus

PROTECTIVE AND ANTIBACTERIAL PROPERTIES OF BIO- COATINGS ON MAGNESIUM ALLOY AZ91

Abstract. Composite biopolymer coatings chitosan–g-C₃N₄ have been synthesized on the surface of magnesium alloy AZ91. The degree of inhibition of *E. coli* biofilm formation on the surface of the resulting coatings was determined using confocal microscopy. It has been shown that modification of the chitosan polymer matrix with g-C₃N₄ particles leads to an increase in the protective properties of the formed coatings by 20–35%.

Магниевые сплавы являются наиболее перспективными материалами для изготовления биodeградируемых имплантатов ввиду их биосовместимости, высокой удельной прочности и низкой плотности. Однако отмечается быстрая и неравномерная коррозия сплавов магния в физиологических средах, которая сопровождается образованием макроструктурных дефектов и неконтролируемым выделением водорода, что может снижать механические характеристики имплантов и препятствовать формированию костной ткани [1–2].

Для повышения коррозионной устойчивости магния и его сплавов проводят лазерную и электролитно-плазменную обработку их поверхности, а также наносят покрытия на основе биосовместимых материалов [2]. Использование биополимеров в качестве функциональных покрытий на имплантатах является перспективным направлением в области создания биосовместимых материалов с антибактериальными свойствами.

Известно, что природный полисахарид хитозан характеризуется хорошей биосовместимостью, высокими ранозаживляющими и антибактериальными свойствами. С целью улучшения физико-механических и антикоррозионных свойств формируемых покрытий, повышения их биосовместимости проводят модификацию хитозановой матрицы частицами биостекла, углеродных наноматериалов, гидроксипатита и др. Особый интерес представляет использование наночастиц $g-C_3N_4$ для армирования хитозана ввиду их химической инертности и нетоксичности, а также высоких антибактериальных свойств.

Целью работы являлось получение на магниевом сплаве AZ91 хитозановых покрытий, модифицированных частицами $g-C_3N_4$, а также исследование их защитных и антибактериальных свойств.

Покрытия хитозан- $g-C_3N_4$ получали методом погружения образцов сплава магния AZ91 в предварительно приготовленную водную суспензию хитозана, содержащую наночастицы $g-C_3N_4$ в количестве 0, 10, 20, 30, 40 и 50 г/дм³. Для приготовления суспензии использовали порошок хитозана (NANOSHEL) с молекулярной массой 50–190 кДа. Для синтеза наночастиц $g-C_3N_4$ методом пиролиза в качестве прекурсора применяли карбамид марки «ч.д.а». Сушка образцов сплава AZ91 с нанесенными покрытиями осуществлялась в течение 2 ч при комнатной температуре, а затем – 1–2 ч в сушильном шкафу при температуре 50°C. Далее по тексту образцы сплавов с полученными покрытиями обозначены как *chit*, 10C₃N₄, 20C₃N₄, 30C₃N₄, 40C₃N₄ и 50C₃N₄ в зависимости от содержания наночастиц нитрида углерода в приготовленных суспензиях.

Защитные свойства полученных покрытий оценивались с помощью методов линейной вольтамперометрии и электрохимической импедансной спектроскопии. Установлено, что потенциал коррозии сплава AZ91 в натрийфосфатном буфере (НБФ) составляет –1,45 В. Потенциал коррозии образцов с нанесенными покрытиями на основе хитозана смещен на 10–70 мВ в более электроотрицательную область по сравнению с образцом сплава AZ91. Плотность тока коррозии сплава магния AZ91 в исследуемой среде составляет $1,93 \cdot 10^{-5}$ А/см².

Покрытие chit способствует снижению скорости коррозии в 2,64 раза. Модификация хитозана наночастицами g-C₃N₄ приводит к увеличению защитных свойств формируемых покрытий на 20–35%. Увеличение концентрации частиц g-C₃N₄ свыше 30 г/дм³ в суспензии хитозана, используемой для получения покрытия, не приводит к дальнейшему повышению защитных свойств формируемых покрытий.

С целью изучения антибактериальных свойств полученных покрытий, на поверхности образцов формировали биоплёнки с использованием ATCC штамма *Escherichia coli*. В чашках Петри на поверхности плотной питательной среды Мюллера-Хинтона фиксировали образцы сплавов. Вносили по 10 мл жидкой среды Мюллера-Хинтона, полностью покрывая поверхность стандартизированных металлических пластин и добавляли по 1 мл суспензии микроорганизмов с оптической плотностью 0,5 единиц, что соответствует конечной концентрации 1,5x10⁸ КОЕ/мл. Инкубировали при 37°C в течение 24 часов. Учет результатов проводили с применением конфокальной лазерной сканирующей микроскопии. Для этого использовали микроскоп Leica TCS SPE с программным обеспечением LAS AF. Металлические пластины фиксировали на стекле, окраску препаратов проводили раствором DAPI 0.02 мкг/мл. Сканирование производили по всей толщине препарата в пяти точках.

На рис. 1 представлены результаты исследования биопленкообразования бактерий *E. coli* на поверхности полученных образцов. Установлено, что на поверхности сплава AZ91 образуется плотная и однородная биопленка толщиной 63 мкм. Полученные на основе хитозана покрытия обладают ярко выраженным бактериостатическим действием (рис.2). Образованные на поверхности хитозансодержащих покрытий биопленки характеризуются более низкой плотностью (рис. 2 б), по сравнению с биопленками, образующимися на поверхности необработанного сплава AZ91 (рис. 2 а).

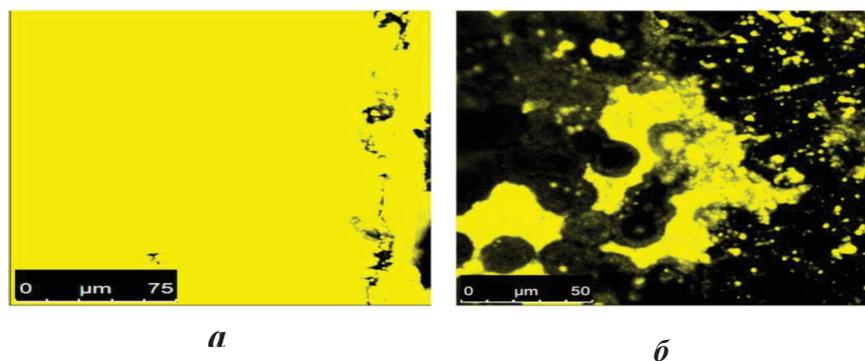


Рис. 1 - Изображение биопленок на поверхности образцов AZ91 (а) и 40C₃N₄ (б)

Установлено, что образец *chit* характеризуется наименьшей толщиной (21 мкм) образующейся биопленки *E. coli*. Модификация хитозана частицами $g\text{-C}_3\text{N}_4$ приводит к уменьшению степени ингибирования роста биопленки в 1,5–4,7, что может быть обусловлено более неровной поверхностью композиционного покрытия хитозан– $g\text{-C}_3\text{N}_4$, которая за счет более низкой гидрофобности и пористости способствует закреплению бактерий и формированию матрикса биопленки.

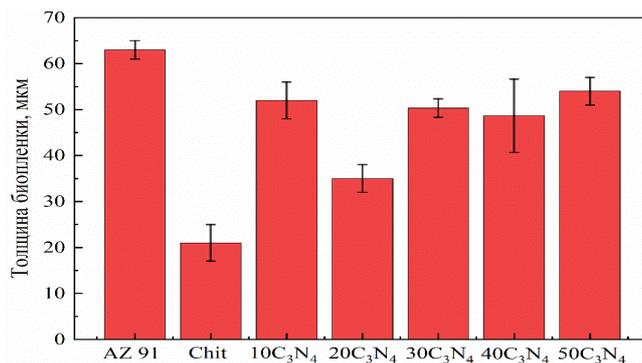


Рис. 2 - Толщина биоплёнок *E. coli* на поверхности исследуемых образцов после 24 часов инкубации

Таким образом, проведенные исследования позволили установить, что нанесение хитозановых покрытий на поверхность магниевого сплава AZ91 способствует снижению скорости коррозии в 2,6 раза. Модификация хитозана наночастицами $g\text{-C}_3\text{N}_4$ приводит к увеличению защитных свойств формируемых покрытий на 20–35%. Причем увеличение концентрации частиц $g\text{-C}_3\text{N}_4$ в суспензии хитозана более 30 г/дм³ не приводит к дальнейшему увеличению защитных свойств формируемых покрытий.

Покрытия на основе хитозана обладают выраженным бактериостатическим действием и характеризуются более низкой плотностью образованных биопленок бактериями *E. coli* по сравнению с образцом сплава AZ91.

Список использованных источников

1. Maguire M.E., Cowan J.A. Magnesium chemistry and biochemistry // *BioMetals*. 2002. Vol. 15, № 3. P. 203–210.
2. Wu T. et al. Difference in formation of plasma electrolytic oxidation coatings on MgLi alloy in comparison with pure Mg // *J. Magnes. Alloy*. Elsevier B.V., 2021. № XXXX.

УДК 621.794.4

Н.В. Богомазова¹, В.Д. Сидоров¹, А.А. Голубева², И.М. Жарский¹

¹Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

²Санкт-Петербургский государственный университет
Санкт-Петербург, Россия

ОСОБЕННОСТИ ПЛЕНОК ПОЛУПРОВОДНИКОВ $A^{II}B^{VI}$, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ ИЛИ НАСЛАИВАНИЯ

***Аннотация.** Проведены исследования субмикронных пленок полупроводников класса $A^{II}B^{VI}$ на примере покрытий CdS , полученных методом гидрохимического осаждения (CBD), а также ZnO и ZnS , полученных химического наслаивания (SILD или SILAR). Наиболее высокая скорость осаждения на уровне 13 нм/мин зафиксирована при гидрохимическом осаждении CdS . Отмечено, что нанесение пленки ZnO наиболее сильно снижает прозрачность стеклянной подложки с 90 до 40 %.*

N.V. Bogomazova¹, V.D. Sidorov¹, A.A. Golubeva², I.M. Zharskii¹

¹Belarusian State Technological University
Minsk, Belarus

²St. Petersburg State University,
St. Petersburg, Russia

FEATURES OF $A^{II}B^{VI}$ SEMICONDUCTOR FILMS OBTAINED BY CHEMICAL DEPOSITION OR LAYERING METHOD

***Abstract.** Submicron films of AII-VI class semiconductors were studied using the example of CdS coatings obtained by hydrochemical deposition (CBD), as well as ZnO and ZnS obtained by chemical layering (SILD or SILAR). The highest deposition rate at a level of 13 nm/min was recorded during hydrochemical deposition of CdS . It is noted that the application of a ZnO film most significantly reduces the transparency of the glass substrate from 90 to 40%.*

Современные исследователи продолжают активные материаловедческие исследования, в рамках которых реализуются актуальные тенденции развития функциональных пленочных структур. Среди них переход от микро- к наноструктурированным пленкам индивидуальных соединений и твердых растворов, замена функциональных контактов в виде р-п-перехода или контакта Шоттки на гетеропереход, что позволяет существенно повысить эффективность микро-, нано- и оптоэлектронных приборов благодаря эффектам