

**ФОРМИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОДУГОВЫХ
ОКЕРМАНИТ-ВОЛЛАСТОНИТОВЫХ БИОПОКРЫТИЙ**

А.В. Угодчикова

Научный руководитель: доцент, д.т.н. М.Б. Седельникова

Институт физики прочности и материаловедения, СО РАН

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: ugodch99@gmail.com

**FORMATION AND RESEARCH OF THE MICROARC AKERMANITE-WOLLASTONITE
BIOCOATINGS**

A.V. Ugodchikova

Scientific Supervisor: Assoc. Prof., Dr. M.B. Sedelnikova

Institute of Strength Physics and Materials Science, SB RAS

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: ugodch99@gmail.com

Abstract. *Research of microarc silicate biocoatings on the magnesium alloy (Mg0.8Ca) were presented. The dependences of the coating properties and on the microarc oxidation parameters and electrolyte composition were found. It was produced akermanite-wollastonite biocoatings with crystal structure.*

Введение. Композитные материалы, включающие металлическую подложку и биоактивное покрытие, на сегодняшний день являются наиболее перспективными материалами медицинского назначения [1]. Благодаря привлекательным механическим, физико-химическим свойствам металлические имплантаты широко, используются в травматологии, ортопедии, дентальной имплантологии, челюстно-лицевой хирургии. Магний и его сплавы в настоящее время вызывают большой интерес ученых из-за их высокой биосовместимости и способности к биорезорбции в организме человека [2]. Однако, проблемы, возникающие при использовании магниевых сплавов, связаны с высокой скоростью их биорезорбции, когда материал деградирует быстрее, чем происходит восстановление костной ткани. Для снижения скорости резорбции магниевых сплавов необходимо модифицировать их поверхность путем нанесения покрытий, выполняющих двойную функцию: повышения защитных антикоррозионных свойств и улучшения процессов формирования костной ткани [3].

Среди существующих методов нанесения покрытий на поверхность металлических имплантатов можно выделить метод микродугового оксидирования (МДО), позволяющий формировать биосовместимые пористые аморфные и аморфно-кристаллические покрытия толщиной до сотен микрометров. Известно, что силикатные покрытия на основе волластонита и окерманита успешно стимулируют регенерацию и рост кости на границе раздела ткань-имплантат без промежуточного слоя фиброзной ткани [4, 5].

Целью работы является получения силикатных биопокрытий методом МДО, исследование влияния напряжения процесса и состава электролита на формирование покрытий, их фазового и элементного состава.

Материалы и методы исследования. Для проведения экспериментов были подготовлены образцы – металлические пластинки ($10 \times 10 \times 1$ мм) из магниевого сплава Mg0.8Ca. Были разработаны два состава электролита, в состав электролита № 1 входили следующие компоненты: CaSiO_3 , NaOH, NaF; в электролит №2 в кроме перечисленных компонентов, добавляли Na_2SiO_3 . Нанесение покрытий осуществлялось на установке «MicroArc 3.0 System» (ИФПМ СО РАН). Основные параметры процесса МДО варьировали в следующих пределах: напряжение 350 – 500 В, время нанесения покрытия 5 мин. Исследования элементного состава покрытий проводили методом РЭМ (SEM 515 Philips с приставкой для энергодисперсионного анализа, ТРЦКП ТГУ, г. Томск). Фазовый состав покрытий исследовали на дифрактометре ДРОН-7 (ЦКП ИФПМ СО РАН «Нанотех», г. Томск).

Описание результатов и обсуждение. Варьирование напряжения процесса микродугового оксидирования от 350 В до 500 В позволило получить покрытия с максимальной толщиной до 55 и 150 мкм в электролите №1 и №2, соответственно.

Фазовый и элементный состав покрытий зависимости от состава электролита и напряжения процесса (U, В) представлены на рисунке 1.

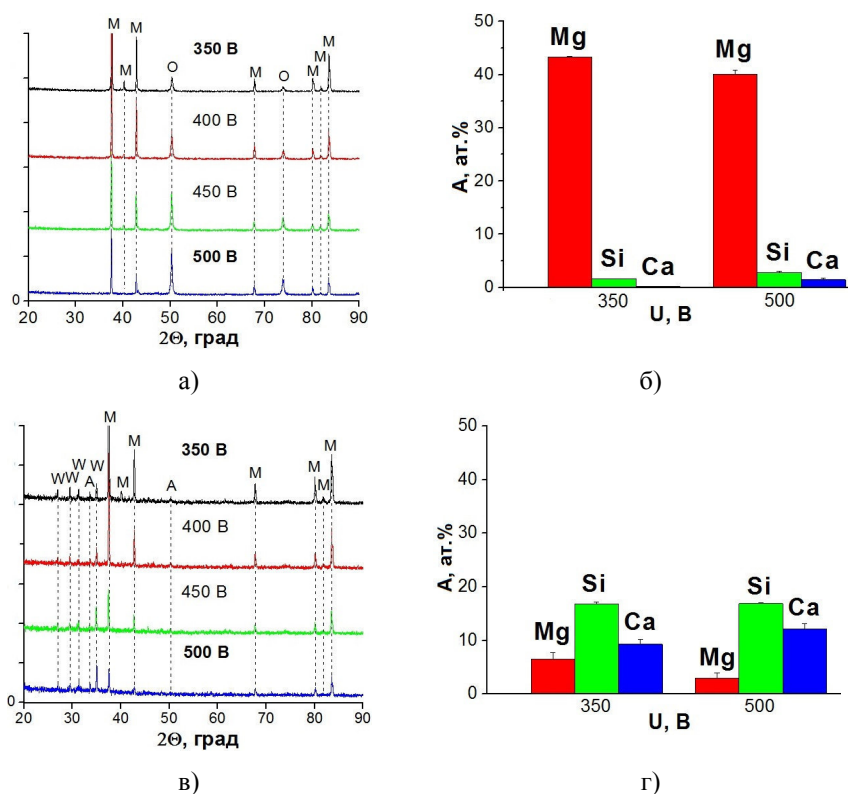


Рис. 1. Результаты исследования фазового (а,в) и элементного состава (б,г) покрытий, полученных в электролитах №1 (а,б) и №2 (в,г): А – содержание элемента в покрытии, ат.%. W – CaSiO_3 ; А – $\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$; М – Mg; О – MgO

На рентгенограммах покрытий, полученных в электролите №1, идентифицируются рефлексы магния и оксида магния (MgO). В составе покрытий, нанесенных в электролите №2, установлено наличие соединений волластонита (CaSiO_3) и окерманита ($\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$). Также на рентгенограммах данных покрытий присутствуют рефлексы магния.

В результате элементного анализа покрытий было выявлено повышенное содержание магния в покрытиях, нанесенных в электролите № 1, а также кремния и кальция в покрытиях, полученных в электролите № 2 (рис. 1 б,г), что подтверждает результаты рентгенофазового анализа. Кроме того, наблюдается следующая закономерность: с ростом напряжения процесса МДО до 500 В содержание кремния и кальция увеличивается, а содержание магния уменьшается. Особенно явно эта зависимость прослеживается для покрытий второго типа, что связано с формированием в покрытиях нового соединения – окерманита, при взаимодействии веществ, входящих в состав электролита, с магниевой подложкой.

Выводы. Методом МДО на поверхности магниевого сплава $Mg_{0.8}Ca$ получены покрытия, содержащие кристаллические фазы MgO , $CaSiO_3$, $Ca_2MgSi_2O_7$. При увеличении напряжения процесса МДО от 350 до 500 В в покрытиях, полученных в электролите с добавлением силиката натрия, наблюдается увеличение концентрации атомов кремния и кальция, что свидетельствует об осаждении волластонита на поверхность магниевой подложки и формировании нового соединения окерманит.

Работа выполнена в Институте физики прочности и материаловедения СО РАН, при финансовой поддержке программы фундаментальных исследований СО РАН, 2013–2020 гг., проект № III.23.2.5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. M.A. Sainz, P. Pena, S. Serena, A. Caballero. Influence of design on bioactivity of novel $CaSiO_3$ – $CaMg(SiO_3)_2$ bioceramics: In vitro simulated body fluid test and thermodynamic simulation // *Acta Biomaterialia*. – 2010. – no.6. – pp. 2797–2807.
2. M.P. Staiger, A.M. Pietak, J. Huadmai, G. Dias. Magnesium and its alloys as orthopedic biomaterials: A review. // *Biomaterials*. – 2006. – Vol. 27, no. 9. – pp. 1728-1734.
3. Zhanga J., Dai C., Wei J. Degradable behavior and bioactivity of micro-arc oxidized AZ91D Mg alloy with calcium phosphate/chitosan composite coating in m-SBF. // *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. – 2011. – no. 111. – pp. 179-187.
4. Sedelnikova M.B., Sharkeev Yu.P., Komarova E.G., Khlusov I.A., Chebodaeva V.V. Structure and properties of the wollastonite–calcium phosphate coatings deposited on titanium and titanium–niobium alloy using microarc oxidation method // *Surface and coatings technology*. – 2016. – no. 307C. – pp. 1274-1283.
5. M. Razavi, M. Fathi, O. Savabi, B. H. Beni, D. Vashae, L. Tayebi. Surface microstructure and in vitro analysis of nanostructured akermanite ($Ca_2MgSi_2O_7$) coating on biodegradable magnesium alloy for biomedical applications. // *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. – 2014. – Vol. 117. – pp. 432–440.