

**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ НА  
СВОЙСТВА АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫХ СЕРЕБРОСОДЕРЖАЩИХ КАЛЬЦИЙФОСФАТНЫХ  
ПОКРЫТИЙ**

А.В. Угодчикова

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

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: [ugodch99@gmail.com](mailto:ugodch99@gmail.com)

**INFLUENCE OF THE MICROARC OXYDATION PROCESS PARAMETERS ON PROPERTIES  
OF ANTIBACTERIAL AG- CONTAINING CALCIUM PHOSPHATE COATINGS**

A.V. Ugodchikova

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

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

E-mail: [ugodch99@gmail.com](mailto:ugodch99@gmail.com)

***Abstract.** Investigations of microarc Ag-inclusive calcium phosphate biocoatings on the pure titanium (Ti) and Ti-40 мас.% Nb (Ti – 40Nb) alloy were presented. The dependences of the coating properties on the microarc oxidation parameters were found. A variation of the process parameters allowed producing biocoatings with thickness 13–40 μm, roughness 2,0–3,3 μm, silver content up to the 0,82 at.% and with the high hydrophilic properties.*

**Введение.** Разработка новых материалов медицинского назначения, предназначенных для контакта со средой живого организма, является важной задачей. К настоящему времени разработано несколько десятков методов формирования биосовместимых с живой тканью покрытий на поверхности металлических имплантатов [1]. В последнее десятилетие всё большее распространение приобретает метод микродугового оксидирования (МДО), так как позволяет получать пористые покрытия с толщиной до сотен микрометров, имеющие хорошее сцепление с поверхностью обрабатываемого металла. Бактерицидное и противовоспалительное действия имплантационных материалов связаны с наличием в их составе химических элементов, обладающих природным свойством антисептики. К числу таких микроэлементов относятся серебро Ag, находящееся в материале в виде свободных частиц, или в связанном химическом состоянии [3].

Целью данной работы является получение методом МДО серебряносодержащих кальцийфосфатных (КФ) покрытий, исследование влияния параметров процесса МДО на свойства покрытий.

**Материалы и методы исследования.** Для проведения экспериментов были подготовлены образцы – металлические пластинки размером 10×10×1 мм из титана (BT1-0) и сплава Ti-40 мас.% Nb. В состав электролита для получения Ag-содержащих КФ покрытий методом МДО входили следующие компоненты: Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, β-Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, NaOH, и AgNO<sub>3</sub>. Нанесение покрытий осуществлялось на установке «Micro Arc 3.0 System» в ИФПМ СО РАН [1]. Покрытия наносили в анодном потенциостатическом

режиме, основные параметры процесса МДО варьировали в следующих пределах: напряжение 350 – 450 В, частота следования импульсов 50-100 Гц, длительность импульсов 100 – 500 мкс. шероховатость поверхности покрытий исследовали по параметру Ra (ГОСТ 2789-73) на профилометре-296 (ИФПМ СО РАН, г. Томск). Гидрофильные свойства покрытий определяли на установке «EasyDrop» (Krüss) путем измерения краевого угла смачивания водой и глицерином. Элементный состав КФ покрытий определяли методом РЭМ (SEM 515 Philips с приставкой для энергодисперсионного анализа, ТРИЦП ТГУ, г. Томск).

**Описание результатов и обсуждение.** Исследования показали, что толщина Ag-содержащих КФ покрытий увеличивается почти линейно до 40 мкм, при повышении напряжения процесса МДО (Рис. 1 а). Значения параметра Ra для покрытий на титане меняются незначительно от 1,0 до 2,0 мкм, в диапазоне напряжений 350–450 В (Рис. 1 б). Для покрытий на сплаве Ti–40Nb, нанесённых при длительности процесса 10 мин, характерны более высокие значения шероховатости, равные 2,7–3,3 мкм.

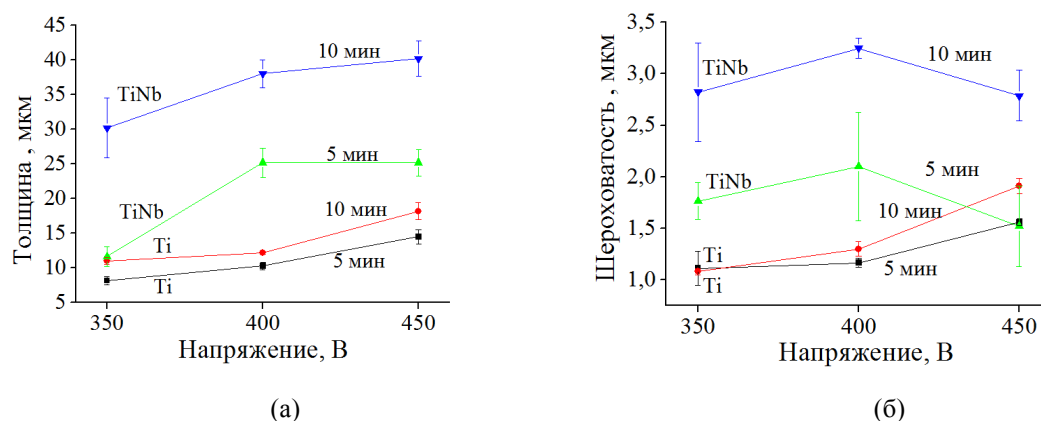


Рис. 1. Графики зависимости свойств Ag-содержащих кальцийфосфатных покрытий: толщины (а) и шероховатости (б) от напряжения процесса МДО

Анализ элементного состава покрытий показал, что при увеличении напряжения процесса МДО от 350 до 450 В содержание Ag в покрытиях растёт от 0,19 до 0,82 ат.% (табл. 1). Количество Ag в покрытиях на титане почти в три раза превышает содержание Ag в покрытиях на сплаве Ti–40Nb. В литературных источниках есть сведения о том, что даже малые концентрации серебра в диапазоне 1,0–3,5 ат.% могут обеспечивать значительный антибактериальный эффект [4]. Отношение Ca/P для Ag-содержащих кальцийфосфатных покрытий на титане и сплаве Ti–40Nb увеличивается до 1,37 и 1,47 соответственно, при повышении напряжения процесса МДО до 450 В.

Таблица 1.

Элементный состав Ag-содержащих кальцийфосфатных МДО покрытий

Элемент	Содержание элементов в покрытиях (ат.%)			
	Подложка Ti		Подложка Ti-Nb	
	350 В	450 В	350 В	450 В
C	32,65	20,30	27,41	19,58
O	40,87	35,77	49,02	35,64
P	19,78	18,16	20,94	17,94
Ag	0,60	0,82	0,19	0,37
Ca	6,10	24,96	2,44	26,46
Ca/P	0,31	1,37	0,12	1,47

В ходе экспериментов были определены гидрофильные свойства КФ покрытий. Значения краевых углов смачивания водой и глицерином покрытий на титане (рис.2 а) находятся в пределах 65-73 град. Краевые углы смачивания водой покрытий на титане, нанесённых в течение 10 мин, уменьшаются линейно до 48 град с повышением напряжения процесса МДО до 450 В. Значения краевых углов смачивания водой и глицерином Ag-содержащих КФ покрытий на сплаве Ti-40Nb (рис. 2 б) также уменьшаются линейно с ростом напряжения процесса. Для покрытий, нанесённых при длительности процесса 10 мин характерны минимальные углы смачивания водой – 10 град и глицерином – 35 град, что указывает на высокую гидрофильность данных покрытий.

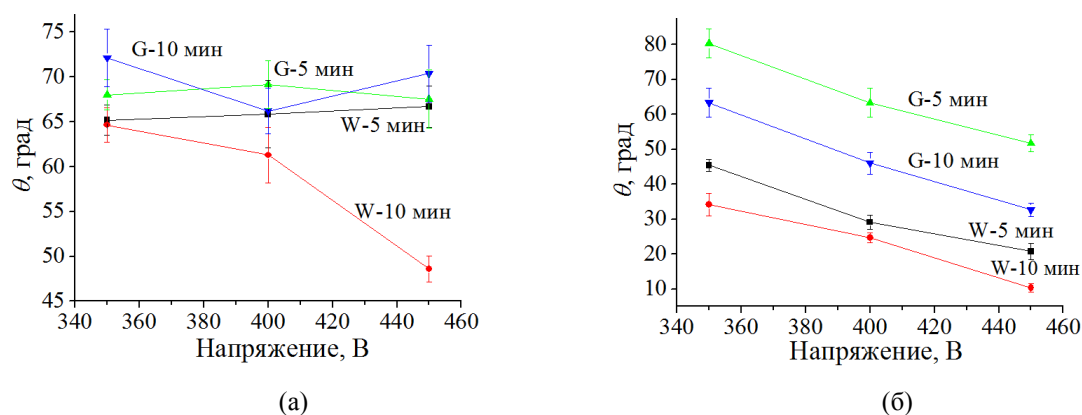


Рис. 2. Графики зависимости краевых углов смачивания Ag-содержащих КФ покрытий на поверхности титана (а) и сплава Ti-40Nb (б) от напряжения процесса МДО, W – вода, G – глицерин

**Выводы.** Проведенные исследования показали, что с ростом напряжения происходит более интенсивное образование микроплазменных разрядов на поверхности изделия, что приводит к росту его толщины до 40 мкм и шероховатости до 3,3 мкм. При этом улучшаются гидрофильные свойства покрытий. Рост напряжения процесса МДО от 350 до 450 В способствует увеличению содержания серебра в покрытиях от 0,19 до 0,82 ат.%. Наиболее высокое содержание серебра наблюдается в покрытиях на титановых подложках. Отношение Ca/P увеличивается до 1.47 при повышении напряжения процесса МДО до 450 В.

Работа выполнена в Институте физики прочности и материаловедения СО РАН, при финансовой поддержке РФФИ, проект № 15-03-07659.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. E. V. Legostaeva, Yu. P. Sharkeev, M. Epple, O. Prymak, Structure and properties of microarc calcium phosphate coatings on the surface of titanium and zirconium alloys, Russian Physics Journal. 2014.V.56 (10).P.1130-1136.
2. Родионов И.В., Бутовский К.Г., Бейдик О.В., Сурменко Е.Л. Оксидные биопокрyтия с антисептическими и антитромбогенными свойствами на чрескостных фиксаторах в аппаратах остеосинтеза // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2008. – №8-9. – С. 98–101.
3. VenkateswarluKotharu, RameshbabuNagumothu, ChandraBoseArumugam, MuthupandiVeerappan, ubramanianSankaran, ThajuddinNooruddin. Fabrication of corrosion resistant, bioactive and antibacterial silver substituted hydroxyapatite/titania composite coating on Cp Ti. CeramicsInternational (2012) 731–740.