

В результате эксперимента получен многофазный продукт, содержащий целевую фазу и остаток одного из исходных соединений. Наличие в продукте оксида тантала указывает на погрешность в анализах, связанную со сложностью определения концентрации раствора метилата тантала.

Выводы

Предложенный метод получения сложного оксида NiTa_2O_6 действительно является хорошей альтернативой твердофазному синтезу. Главным преимуществом метода является снижение температуры термообработки и сокращение времени синтеза.

Список использованных источников

1. Yang H. et al. Phase structure, bond traits, and intrinsic dielectric response of $\text{NiTa}_2\text{O}_6\text{--TiO}_2$ microwave dielectric ceramics investigated by bond theory and vibrational spectroscopy // Journal of Materials Research and Technology. – 2023. – Т. 25. – С. 1364-1375.
2. Н. Ehrenberg, G. Wltschek, J. Rodriguez-Carvajal, T. Vogt Magnetic structures of the tri-rutiles NiTa_2O_6 and NiSb_2O_6 / Н. Ehrenberg, G. Wltschek, J. Rodriguez-Carvajal, T. Vogt // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. — 1998. — № 184. — С. 111—115.
3. Накамото К. ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений: Пер. с англ. — М.: Мир, 1991. — 536 с.

УДК 621.785

**А.С. Калиниченко¹, В.Г. Лугин¹,
А.Ю. Королев², Т.Л. Карпович¹**

¹Белорусский государственный технологический университет

²Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»

Минск, Беларусь

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕКТРОЛИТА НА ФОРМИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

***Аннотация.** В работе приводятся данные по влиянию температуры электролита на характер формирования модифицированных покрытий на титановых сплавах. Показано, что толщина и качество покрытий зависят, в во*

многим, от температуры электролита только для сплава титана. Исходный химический состав титанового сплава оказывает существенное влияние на характер покрытия.

**A.S. Kalinichenko¹, V.L. Luhn¹,
A.Yu. Korolyev², T.L. Karpovich¹**

¹Belarusian State Technological University

²Scientific and Technological Park of BNTU “Polytechnic”
Minsk, Belarus

INFLUENCE OF ELECTROLYTE TEMPERATURE ON THE SURFACE LAYER FORMATION OF TITANIUM ALLOYS

Abstract. *The paper presents data on the effect of electrolyte temperature on the formation of modified coatings on titanium alloys. It is shown that the thickness and quality of the coatings depend largely on the temperature of the electrolyte only for titanium alloy. The initial chemical composition of the titanium alloy has a significant effect on the nature of the coating.*

Повышение эксплуатационных свойств рабочей поверхности деталей является важной задачей машиностроения. Особенно это касается деталей, изготовленных из цветных сплавов, которые, в своем большинстве, характеризуются низкими триботехническими свойствами. Среди многообразия цветных сплавов важный практический интерес представляют титановые сплавы, которые широко применяемые в автомобильной, авиационной, медицине и других областях. Производство изделий медицинского назначения является в последнее время одной из важнейших сфер применения титана и его сплавов благодаря биосовместимости к человеческим тканям. Однако, титановые сплавы характеризуются недостаточно высокими антифрикционными свойствами, что ограничивает их применение в узлах трения.

Существует значительное количество способов повышения прочностных и антифрикционных свойств титановых сплавов [1–3]. Все эти способы имеют свои преимущества и ограничения. Одним из методов повышения поверхностных свойств титановых сплавов является электролитно-плазменная обработка, позволяющая не только уменьшить шероховатость поверхности, но и создать прочное покрытие с высокой твердостью за счет образования интерметаллидных включений. Преимуществами разработанных методов перед другими существующими методами термической обработки являлась высокая скорость нагрева заготовки (до 250 К/с), а также высокая скорость диффузионного насыщения. Модификация

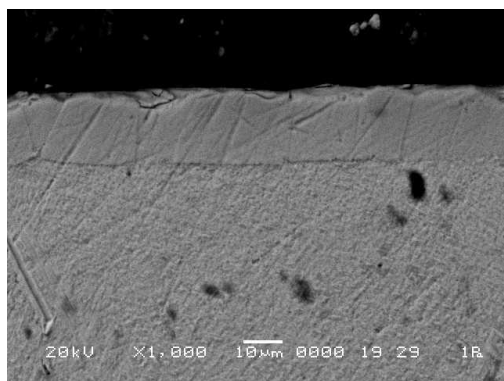
поверхности титановых изделий реализуется за счет внедрения в поверхностный слой титановых изделий атомов углерода или азота, которые образуют с титаном соединения с высокими антифрикционными свойствами.

В работе изучались цилиндрические образцы из технически чистого титана ВТ1 и титанового сплава ВТ6, содержащего 5,5-7,0 алюминия и 4,2-6,0 ванадия. Сплав ВТ6 по структуре относится к ($\alpha+\beta$)-мартенситному классу ($K_\beta = 0,3-0,9$), а технически чистый ВТ1 имеет α -структуру.

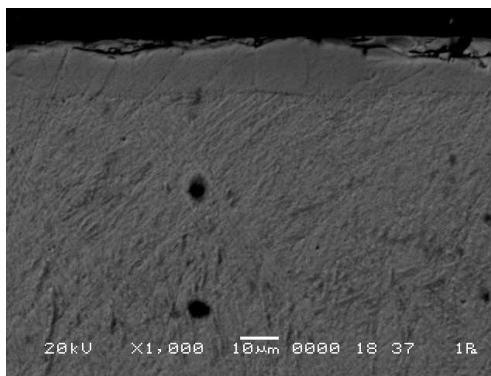
Для анализа влияния температуры электролита на характер и состав покрытия опыты велись с использованием раствора, содержащего хлорид аммония (10%), аммиак водный (5%) и глицерин (10%). Данный состав электролита позволил осуществить процесс электролитно-плазменной нитроцементации, при которой в поверхностном слое формируются карбиды и нитриды титана. Время обработки составляло 5 минут при напряжении 240 – 250 В. Температура электролита изменялась от 20 до 40 °С.

Анализ модифицированного слоя образцов из технически чистого титана ВТ1 показывает, что четко видна граница между модифицированным слоем и основным металлом (рис. 1). Причем, толщина (около 18 мкм) и характер модифицированного слоя, практически, не изменяются.

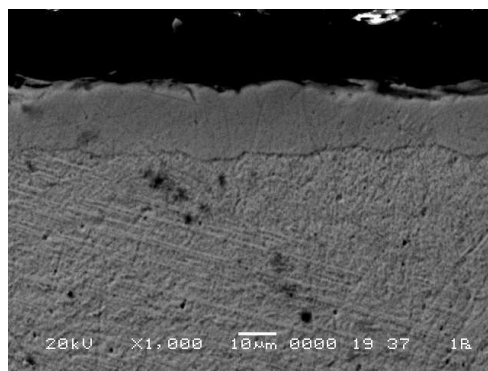
Элементный состав модифицированного слоя и основного металла практически не отличаются. Это позволяет сказать, что в процессе поверхностной модификации атомы азота и углерода сосредоточены только в поверхностном слое при данных режимах обработки (рис. 2).



а



б



В

Рис. 1 – Структура образцов из ВТ1, обработанных при различной температуре электролита: а – температура электролита 20 °С, б – температура электролита 30 °С, в – температура электролита 40 °С

На рис. 2 приведены спектр образца из ВТ1, а также данные по определению элементного состава в основном металле и в модифицированном слое.

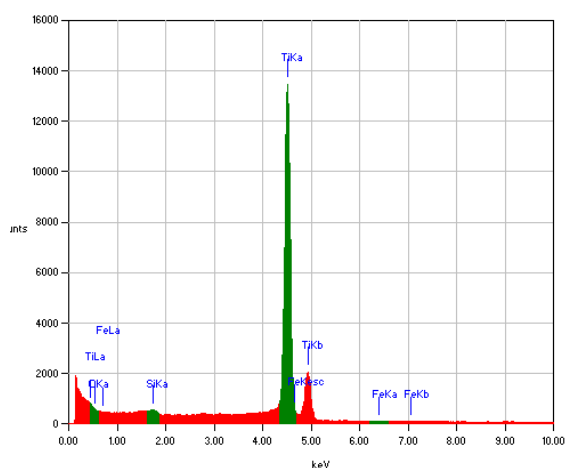


Рис. 2 – спектр образца из ВТ1

Base (Основа)

Element	(keV)	mass%	Error%	At%	Compound	mass% K
O K *						
Si K *	1.739	0.33	0.29	0.56		0.1806
Ti K	4.508	99.59	0.25	99.37		108.0099
Fe K *	6.398	0.08	0.58	0.07		0.0609
Total		100.00		100.00		

Lay (модифицированный слой)

Element	(keV)	mass%	Error%	At%	Compound	mass% K
O K *						
Si K *	1.739	0.27	0.35	0.45		0.1463
Ti K	4.508	99.58	0.30	99.42		107.9799

Fe K *	6.398	0.15	0.70	0.13	0.1182
Total		100.00		100.00	

Ситуация изменяется при модифицирующей обработки титанового сплава ВТ6. Как и для технически чистого титана, элементный состав основного сплава и модифицированного слоя очень близки, что подтверждается спектрами (рис. 3).

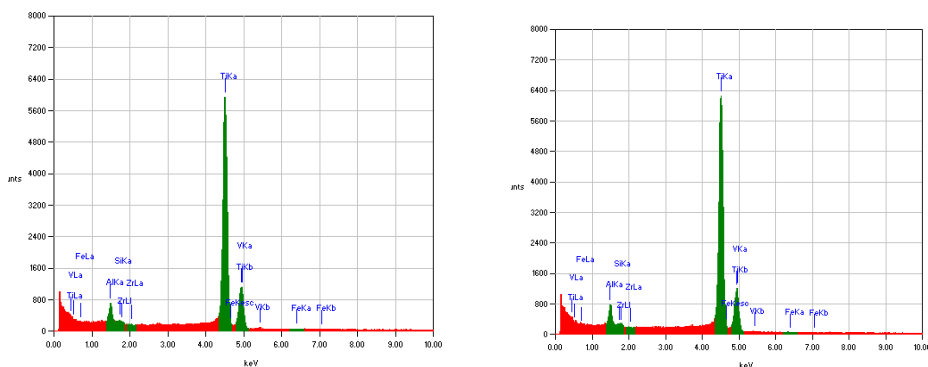
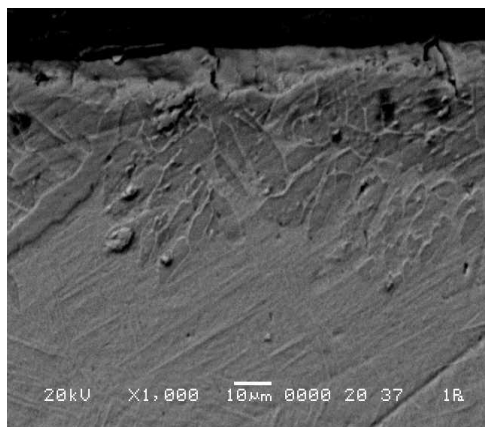
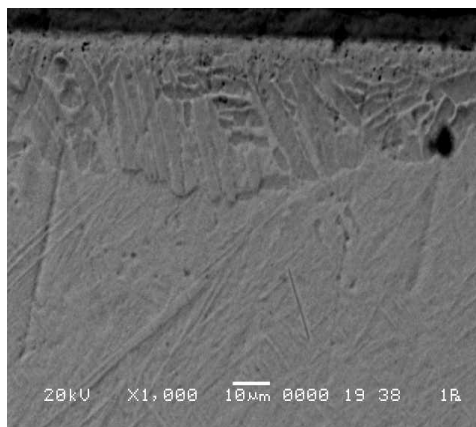


Рис. 3 – Спектры для образца из сплава ВТ6 для основного сплава (а) и модифицированного слоя (б)

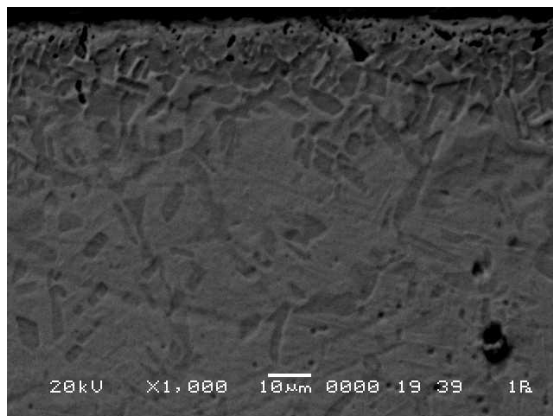
Микроструктура поверхностного слоя для сплава ВТ6 значительно отличается от микроструктуры для ВТ1 (рис. 4). На фотографиях видно, что для ВТ6 характерно отсутствие четкой границы между модифицированным слоем и базовым сплавом. В отличие от чистого титана, глубина модифицированного слоя была самой значительной (около 40 мкм) для температуры электролита равной 20 °С (рис.4а). При росте температуры электролита до 30 °С произошло значительное уменьшение толщины слоя (до 32 мкм). При увеличении температуры электролита до 40 °С наблюдалось снижение глубины модифицированного слоя до 28 мкм (рис. 4в).



а



б



В

Рис. 4 – Структура образцов из ВТ6, обработанных при различной температуре электролита: а – температура электролита 20 °С, б – температура электролита 30 °С, в – температура электролита 40 °С

Необходимо отметить, что структура модифицированного слоя для ВТ6 имеет более сложный характер, что может свидетельствовать, что и легирующие элементы образуют интерметаллиды, затрудняя диффузию атомов азота и углерода. Причем, с ростом температуры электролита взаимодействие составляющих компонентов более существенно, что служит, в какой-то мере, препятствием. Хотя в сплаве ВТ6 диффузия более сильно проявляется, что способствует более значительной глубине модифицированного слоя.

Таким образом, проведенные исследования показали возможность формирования модифицированного покрытия на титановых сплавах. Установлено, что температура электролита оказывает существенное влияние на глубину модифицированного слоя для ВТ6, и меньше влияет при обработке чистого титана. Химический состав исследованных образцов заметно влияет на фазовый и состав покрытия.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования Республики Беларусь в рамках задания 3.2.9 ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии» подпрограмма «Электромагнитные, пучково-плазменные и литейно-деформационные технологии обработки и создания материалов».

Список использованных источников

1. Кусманов С.А., Крит Б.Л., Кусманова И.А., Тамбовский И.В., Мухачева Т.Л., Григорьев С.Н. Технологические приемы и оборудование плазменноэлектролитной обработки металлов и сплавов // Электронная обработка материалов, 2024, Т. 60. №5. - С. 54–80.

2. Е. В. Краснова, Ю. А. Моргунов, Б. П. Саушкин, И. А. Слюсарь, С. А. Смеян, Влияние состава водного электролита на эффективность электрохимической обработки изделий аддитивного производства из сплава Ti-6Al-4V // Электронная обработка материалов, 2024, Т. 60. №5. - С. 1–12.

3. М.С. Асеева, Е.В. Торская, Г.Т. Зайнетдинова, А.В. Морозов, П.О. Буковский, Влияние модификации поверхности на триботехнические свойства титановых сплавов BT22 и Ti-5553 // Трение и износ Friction and Wear. 2024. — Т. 45, № 4. — С. 300—309

УДК 621.35.035

**Т.С. Михайлова, Т.А. Моисеева, В.Н. Жирнов,
Д.В. Клещин, Т.Н. Мясоедова**
Южный федеральный университет
Таганрог, Россия

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
СЕНСОРОВ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЙ - УГЛЕРОДНЫХ ПЛЁНОК
ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПАРОВ
ЛЕГКОВОСПЛАМЕНЯЮЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ**

Аннотация. В рамках данного исследования были получены образцы сенсоров на основе кремний-углеродных пленок, сформированных электрохимическим методом. Проведены исследования функциональных характеристик сенсоров для обнаружения паров ЛВЖ. Было установлено, что изготовленные образцы проявили газочувствительность по отношению к парам изопропанола, этанола и метанола.

**T.S. Mikhailova, T.A. Moiseeva, V.N. Zhirnov,
D.V. Kleshchin T. N. Myasoedova**
Southern Federal University
Taganrog, Russia

**STUDY ON FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF SILICON-
CARBON GAS SENSORS TO VAPORS OF FLAMMABLE LIQUIDS**

Abstract. In this study, gas sensors based on silicon-carbon films formed by the electrochemical method were developed. Studies on functional characteristics of sensors