



2. Тюменцев А.Н., Пишжин Ю.П., Овчинников С.В. и др. // Перспективные материалы. – 2005. – 5. – С.19-30.
3. Пишжин Ю.П., Тюменцев А.Н., Литовченко И.Ю. и др. // Физическая мезомеханика. – 2004. – 7(Спец. выпуск); Ч. 2. – С.223-226.
4. Горелик С.С., Скаков Ю.А., Расторгуев Л.Н. Рентгенографический и электронно-оптический анализ / С.С. Горелик. – М.: МИСИС, 2002. – 360 с.

**FEATURES OF THE V-4Ti-4Cr ALLOY  
AFTER LOW-TEMPERATURE INTERNAL OXIDATION**

I.A. Ditenberg, A.N. Tyumentsev, S.V. Ovchinnikov, K.V. Grinyaev

Tomsk State University,  
Lenina av., 36, Tomsk, 634050, Russia, e-mail: [ditenberg\\_i@mail.ru](mailto:ditenberg_i@mail.ru)

**Abstract.** Features of the low-temperature internal oxidation method are investigated from the viewpoint of the increasing of V-4Ti-4Cr alloy high-temperature strength.

**Key words:** vanadium alloys, strength, thermal stability.

УДК 620.197:669:621.794

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МДО-ПОКРЫТИЙ  
НА АЛЮМИНИЕВОМ СПЛАВЕ В95, СФОРМИРОВАННЫХ  
В СИЛИКАТНО-ЩЕЛОЧНОМ ЭЛЕКТРОЛИТЕ С ПРИСАДКОЙ  
НАНОЧАСТИЦ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ**

А.В. Желтухин<sup>2)</sup>, Р.В. Желтухин<sup>1)</sup>, А.В. Виноградов<sup>2)</sup>, А.В. Эпельфельд<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Российский государственный технологический университет имени К.Э. Циолковского,  
ул. Оршанская 3, Москва, 121552, Россия, e-mail: [tompve\\_mati@mail.ru](mailto:tompve_mati@mail.ru)

<sup>2)</sup> ОАО "Корпорация "МИТ"  
Березовая аллея 10/1, Москва, 127276, Россия.

**Аннотация.** Описано исследование зависимости характеристик МДО-покрытий на алюминиевом сплаве В95 от концентрации в силикатно-щелочном электролите нанопорошков диоксида циркония, полученных различными способами: химосаждением и в плазме СВЧ-разряда. Выявлено, что метод получения диоксида циркония и его концентрация в электролите оказывают существенное влияние на характеристики сформированных покрытий.

**Ключевые слова:** сплав В95, микродуговое оксидирование, характеристики покрытий, состав электролита, наночастицы диоксида циркония, плазмохимический метод, метод СВЧ-разряда.

**1. Введение.** Развитие авиационной промышленности связано с применением конструкционных материалов на основе таких металлов, как алюминий, магний и титан. Однако их применение ограничивается, например, низкой коррозионной стойкостью магния, недостаточной





износостойкостью алюминия [1]. Применение микродугового оксидирования (МДО-обработки) позволяет получать многофункциональные покрытия, которые обладают уникальным комплексом таких свойств, как электроизоляционные, износостойкость, коррозионная стойкость, теплостойкость [2]. В последнее время уделяется большое внимание МДО с применением ультрадисперсных присадок в электролиты. Такие присадки позволяют существенно улучшить характеристики МДО-покрытий [3]. Целью настоящей работы являлось исследование зависимости характеристик МДО-покрытий на алюминиевом сплаве В95 от концентрации в силикатно-щелочном электролите нанопорошков диоксида циркония, полученных различными способами: химосаждением и в плазме СВЧ-разряда.

**2. Описание методики экспериментов.** В ходе эксперимента была проведена МДО-обработка образцов из алюминиевого сплава В95 в электролите состава: едкий калий – 2 г/л; жидкое стекло натриевое – 9 г/л; нанопорошок диоксида циркония – 0; 2 и 5 г/л в анодно-катодном режиме с равными плотностями тока  $5,5 \text{ А/дм}^2$  в течение 50; 100 и 150 мин.

**3. Результаты экспериментов и их обсуждение.** Анализ экспериментальных данных показал, что добавка в электролит диоксида циркония влияет на все характеристики МДО-покрытий. Так, наибольший прирост толщины зафиксирован при концентрации диоксида циркония 5 г/л, однако в случае с химосажденным диоксидом циркония сам процесс возможен только при его прерывании через 3-4 минуты и последующем удалении образовавшейся "шубы" после чего процесс можно возобновлять.

В случае отсутствия паузы происходит растравливание покрытия. При добавлении диоксида циркония в количестве 2 г/л необходимость в такой очистке отсутствует, однако толщина покрытия при продолжительностях обработки 50 и 100 минут несколько снижается по отношению к толщине при обработке без присадки, а при продолжительности 150 минут наблюдается, наоборот, прирост толщины.

Наиболее существенное влияние на сквозную пористость полученных МДО-покрытий оказало внесение диоксида циркония при длительности обработки 50 мин. Однако, при длительности обработки 100 мин добавка нанопорошка  $\text{ZrO}_2$  оказывает не такое сильное влияние. Метод получения диоксида циркония влияет на сквозную пористость полученных покрытий неоднозначно. Химосажденный диоксид циркония с концентрацией в силикатно-щелочном электролите 2 г/л при увеличении продолжительности обработки постепенно повышает пористость, а при концентрации 5 г/л – наоборот, её снижает. При использовании диоксида циркония, полученного в плазме СВЧ-разряда, при концентрации 2 г/л пористость с увеличением продолжительности обработки снижается, а при концентрации 5 г/л наблюдается максимум пористости при продолжительности МДО-обработки 100 мин.

Микротвёрдость покрытий, полученных с присадкой химосажденного диоксида циркония, меньше, чем у покрытий, сформированных с  $\text{ZrO}_2$ , полученного в плазме СВЧ-разряда, приблизительно на  $130 \text{ кг/мм}^2$ .

**4. Заключение.** МДО-покрытие, сформированное в электролите с присадкой нанопорошка диоксида циркония, который получен в плазме СВЧ, обладает лучшими характеристиками, чем покрытия, сформированные без присадки и с присадкой, которая получена методом химосаждения. Увеличение микротвёрдости и толщины, а также снижение сквозной пористости покрытия повышают износостойкость, коррозионную стойкость, что улучшает эксплуатационные характеристики данного сплава и расширяет область его применения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки, контракт № 14.740.11.0986.





### Литература

1. Суминов И.В., Эпельфельд А.В., Людин В.Б., Крит Б.Л., Борисов А.М. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование) / И.В. Суминов. – М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 368 с.
2. Залялетдинов И.К., Пазухин Ю.Б., Эпельфельд А.В. Модификация поверхности потоками ионов в электролитной плазме // Поверхностный слой, точность, эксплуатационные свойства и надежность деталей машин и приборов. – Москва, 1989.
3. Малышев В.И., Зорин К.М. Формирование керамических покрытий методом микродугового оксидирования в электролитах-сuspensions // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2006. – 11. – С.34-39.

#### RESEARCH OF MDO-COATINGS OF THE ALUMINIUM ALLOY B95 WHICH ARE GENERATED IN THE SILIKATE-ALKALINE ELECTROLYTE WITH ADDITION OF ZIRCONIUM DIOXIDE NANOPARTICLES

A.V. Zheltuhin<sup>2)</sup>, R.V. Zheltuhin<sup>1)</sup>, A.V. Vinogradov<sup>2)</sup>, A.V. Apelfeld<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> "MATI" -Russian State Technological University,  
Orshanskaya st., 3, Moscow, 121552, Russia, e-mail: [tompve\\_mati@mail.ru](mailto:tompve_mati@mail.ru)

<sup>2)</sup> Moscow Institute of Thermal Technology,  
Berezovaya alleya 10/1, Moscow, 127276, Russia.

**Abstract.** Mado-coatings on aluminum alloy B95 have been investigated. Dependence on concentration in silikate-alkaline electrolyte nanoparticles of a zirconium dioxide of their characteristics have been studied. The nanoparticles have been obtained by various ways: chemical sedimentation and in microwave discharge plasma. It is revealed that the method of zirconium dioxide reception and its concentration in the electrolyte make essential impact on characteristics of the generated coverings.

**Key words:** B95 alloy, microarc oxidation, characteristics of coverings, electrolyte composition, nanoparticles of the zirconium dioxide, plasma chemical method, microwave discharge method.