УДК 669.295:621.762

Т. В. Солодова*
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва
**tanja_solodova@mail.ru*
Научный руководитель – проф., д-р техн. наук *Б. Л. Крит*

ВЛИЯНИЕ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ ТИТАНА И СПЛАВОВ НА ЕГО ОСНОВЕ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В МЕДИЦИНЕ

Формирование многофункциональных покрытий на поверхности конструкционных материалов, в том числе и композиционных, – один из самых выгодных способов повышения технико-экономических характеристик изделий.

Производство таких покрытий должно быть экологически безопасным и высокотехнологичным. Микродуговое оксидирование (МДО) – относительно новый метод формирования многофункциональных защитных покрытий, основанный на использовании энергии поверхностных электрических разрядов в электролите.

В данной работе было проведено изучение влияния микродугового оксидирования на коррозионную стойкость титана и сплавов на его основе, применяемых в медицине.

Ключевые слова: микродуговое оксидирование (МДО), титановый сплав, коррозионная стойкость, биосовместимость, электролит, медицина, материаловедение.

T. V. Solodova

THE EFFECT OF MICROARC OXIDATION ON THE CORROSION RESISTANCE OF TITANIUM AND ITS ALLOYS USED IN THE MEDICINE

Forming of multipurpose coverings on the surface of constructional materials, including composite – one of the most profitable methods of increase in technical and economic product characteristics.

Production of such coverings shall be ecologically safe and high-technology. Microarc oxydation (MAO) – rather new method of formation multi-functions of the sheetings based on use of energy of superficial electric discharges in electrolyte.

In this work pilot study has been of the effect of microarc oxidation on corrosion resistance and of alloys based on it used in medicine.

© Солодова Т. В., 2017

Keywords: microarc oxidation (MAO), titanium alloy, corrosion resistance, biocompatibility, electrolyte, medicine, material science.

Актуальной задачей современного материаловедения в области медицины является решение проблемы восстановления дефектов костной ткани для обеспечения возможности нормального функционирования поврежденного органа. Из всего многообразия металлов и сплавов в медицине для имплантации в живой организм используется очень ограниченный круг сплавов.

Способность титана и сплавов на его основе к самопассивации в биологических средах делает их высоко-перспективными в качестве имплантов. За счет образования на поверхности материала пленки из оксида титана Ti_2O, она способна обеспечить защиту во многих средах не только от общей коррозии, но и от питтинговой коррозии [1].

Не всегда свойства готовых сплавов удовлетворяют потребностям производства. В связи с этим совершенствуются способы их улучшения. Одним из эффективных способов повышения коррозионно- и износостойкости является применение микродугового оксидирования (МДО) поверхности.

Сущность МДО заключается в том, что под действием высокого напряжения, прикладываемого между находящейся в электролите деталью и электродом, на поверхности детали возникают мигрирующие точечные микродуговые разряды, под термическим, плазмохимическим и гидродинамическим воздействием которых поверхностный слой детали перерабатывается в керамическое покрытие, прочно сцепленное с основой [2].

Сплавы на основе титана являются наиболее перспективными материалами для изготовления имплантатов, т. к. обладают хорошей биосовместимостью, одним из показателей которой является высокая коррозионная стойкость. Применение титановых сплавов особенно актуально при изготовлении эндопротезов крупных суставов человека, например эндопротезов тазобедренного сустава (ЭТБС) [3].

В работе исследовалось изучение влияния микродугового оксидирования на коррозионную стойкость титана и сплавов на его основе, применяемых в медицине.

Для исследований были выбраны образцы, вырезанные из листового полуфабриката титанового сплавов ВТ6, ВТ1-0, ВТ20.

Для всех образцов перед нанесением МДО-покрытия проводили подготовительную механическую обработку (шлифование) до допустимых значений шероховатости, а также очистку от загрязнений поверхности с последующей промывкой в теплой воде с мыльным раствором (40 г/л Na_3PO_4 + 40 г/л Na_2CO_3 в воде).

Перед нанесением МДО-покрытия для каждого из образцов материалов были индивидуально подобраны составы электролитов:

- ВТ1-0: 1) C_{KOH} = 2 г/л; $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$ = 4 г/л;
  2) C_{KOH} = 2 г/л; $C_{НРК}$ = 10 г/л;
- ВТ6: C_{KOH} = 2 г/л; $NaH_2PO_4 \cdot H_2O$ = 4 г/л;
- ВТ20: C_{KOH} = 2 г/л; $C_{ЖС}$ = 9 г/л; $NaH_2PO_4 \cdot H_2O$ = 4 г/л.

Основными контролируемыми параметрами, определяющими процесс формирования покрытия, являлись длительность анодного и катодного импульсов, их амплитуда, частота следования импульсов, длительность процесса нанесения.

Анализ результатов исследований поверхности образцов с помощью оптического микроскопа показал, что полученные покрытия образцов сплавов ВТ6 и ВТ20 имеют отличную в зависимости от вида сплава, сквозную пористость округлой формы, что говорит о хорошей остеоинтеграции. Средний размер пор исходного МДО-покрытия образцов титановых сплавов ВТ6 и ВТ20 соответственно равны 36,1 мкм и 41,2 мкм, а толщина МДО-покрытия составляет 64 мкм и 43,8 мкм соответственно.

По результатам рентгеноструктурного анализа с помощью методик, описанных во второй главе, было выявлено, что основным компонентом, входящим в состав МДО-покрытия образцов титановых сплавов является диоксид титана TiO_2 (рутил, брукит). Полученное межплоскостное расстояние d/n = 2,18 и угол пика (101) $2\theta = 20°40'$ соответствуют модификации TiO_2 рутил. А брукиту соответствует d/n = 3,51 и угол пика (100) $2\theta = 20°40'$.

Результаты проведенных исследований показали, что для образцов из чистого титана ВТ1-0 и сплава ВТ6 с МДО-покрытиями поляризационные кривые характеризуются протяженной областью пассивного состояния, что свидетельствует о высокой коррозионной стойкости.

Аналогичные результаты получены на образцах в электролитах с добавлением НРК.

Установлено что для образцов из чистого титана ВТ1-0 после нанесения МДО-покрытий плотность тока в пассивной области снижается примерно в 8 раз (рис. 1).

Аналогичная закономерность в изменении плотности тока наблюдается для сплава ВТ6 (рис. 2).

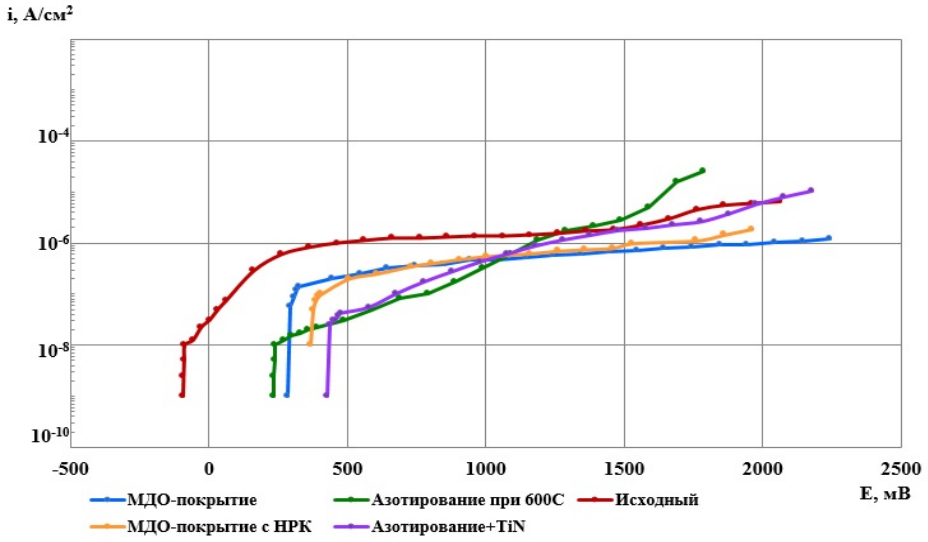

Рис. 1. Анодные поляризационные кривые образцов из сплава ВТ1–0

Формирование МДО-покрытия на поверхности образцов из сплава ВТ20 (рис. 3), наоборот, приводит к снижению коррозионной стойкости по сравнению с исходным состоянием, о чем свидетельствует увеличение плотности тока пассивного состояния. При достижении потенциала +500 мВ, которое, по-видимому, обусловлено особенностями строения покрытия – высокой пористостью.

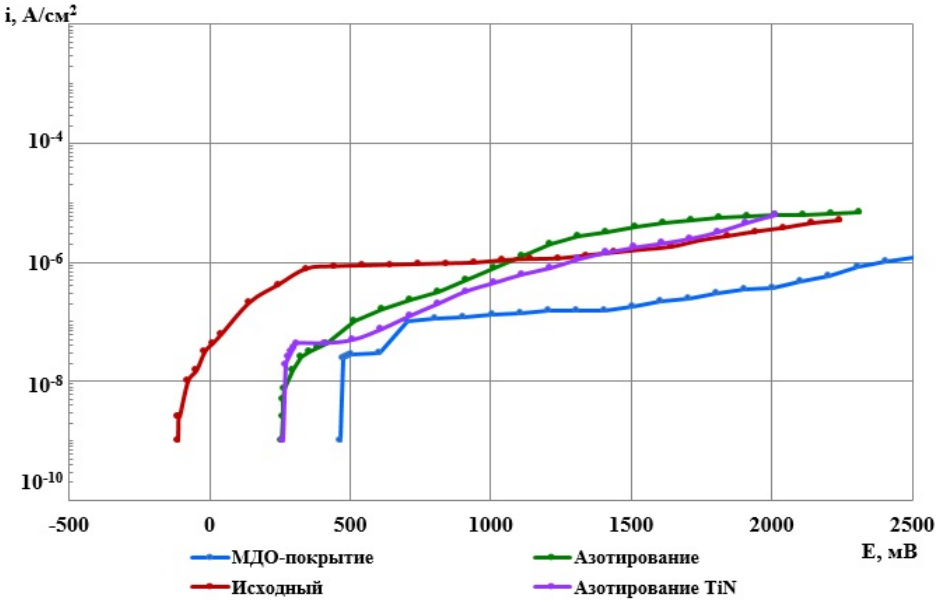

Рис. 2. Анодные поляризационные кривые образцов из сплава ВТ6

Сравнение электрохимических характеристик всех образцов показало, что наиболее высокую коррозионную стойкость после нанесения МДО-покрытия имеют образцы из слава ВТ6.

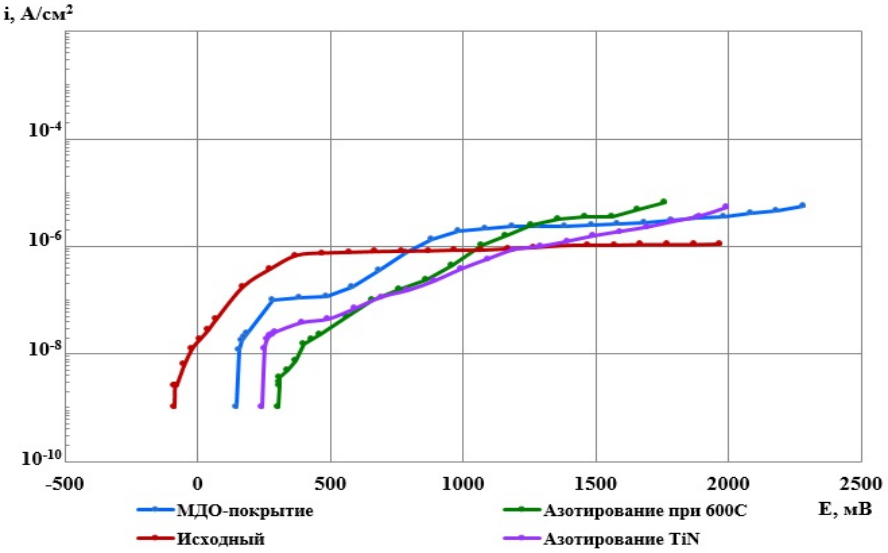

Рис. 3. Анодные поляризационные кривые образцов из сплава ВТ20

Анализ анодных поляризационных кривых, полученных для образцов из сплава ВТ20, показал, что после нанесения МДО-покрытия коррозионная стойкость снижается по сравнению с исходным (без покрытия) образцом.

Можно предположить, что наблюдаемые различия в коррозионной стойкости образцов с МДО-покрытиями, по-видимому, обусловлены различной пористостью и разницей в их фазовом составе (соотношении рутила и брукита). Известно, что при нагреве образца до 750 °С брукит переходит в иную модификацию TiO_2 (рутил).

Таким образом, можно сделать вывод, что свойства МДО-покрытий, такие как пористость, фазовый состав, и следовательно, коррозионная стойкость, в значительной степени, определяются не только химическим составом подложки, но и параметрами самого процесса МДО (составом электролита, величиной напряжения, плотностью тока и др.). Поэтому для формирования качественного плотного МДО-покрытия на титановых сплавах, обладающего высокими защитными свойствами, необходим индивидуальный подбор всех параметров. Это достаточно длительный и трудоемкий процесс, требующий дальнейшего изучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корнилов И. И. Титан / И. И. Корнилов. Москва : Наука, 1975. 305 с.
2. Суминов И. В. Микродуговое Оксидирование (обзор): учебное пособие / И. В. Суминов, А. В. Эпельфельд, Б. Л. Крит. Москва : РГТУ «МАТИ», 2001. 38 с.
3. Применение материалов на основе титана для изготовления медицинских имплантатов: учебное пособие / А. А. Ильин [и др.]. Москва : Металлы, 2002. 105 с.