

А.С. Калиниченко, проф. ;
В.Г. Лугин, канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);
В.С. Нисс, канд. техн. наук (БНТУ, г. Минск);
А.Ю. Королев, канд. техн. наук
(НТП БНТУ «Политехник», г. Минск)

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ СЛОЕВ НА ТИТАНОВЫХ СПЛАВАХ ПРИ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКЕ

Производство изделий медицинского назначения является в последнее время одной из важнейших сфер применения титана и его сплавов благодаря биосовместимости к человеческим тканям. Титан пассивирован, и, следовательно, его сплавы имеют высокую степень устойчивости к воздействию большинства минеральных кислот. Он нетоксичен и совместим с биологическими тканями и минералами. Титановые сплавы обладают уникальным спектром свойств, благодаря сочетанию высокой прочности и жесткости, ударной вязкости и аникоррозионности, что обеспечивает широкий спектр применения для работы в средах, как с низкими, так и высокими температурами. Важным достоинством титановых сплавов, определяющих их преимущества для ортопедических имплантов, является невысокий модуль Юнга (110 ГПа), который в 2 раза меньше, чем у стали. Это значение только в 5-6 раз превышает значение для живой костной ткани (18-20 ГПа). Как результат, упругие деформации системы кость-имплант снижают нагрузки в 2 раза и уменьшают вероятность некроза или разрушения кости [1].

В связи с тем, что титановые сплавы характеризуются низкой износостойкостью и усталостной прочностью, плохими антифрикционными свойствами, важной задачей является модифицирование поверхности титановых изделий для преодоления упомянутых недостатков. Для улучшения триботехнических свойств деталей из титановых сплавов используют те же технологии обработки трущихся поверхностей, что и для других металлов: химико-термическую обработку, гальванопокрытие, напыление, лазерное и электроискровое поверхностное легирование и др. Однако эффективность этих технологий на титановых сплавах, как правило, невысокая и не отвечает необходимым требованиям. Так, при химико-термической обработке толщина слоя не превышает 100 мкм, гальванопокрытия быстро разрушаются, при плазменном покрытии толщина наносимого слоя не превышает 0,35 мкм, при лазерном и электроискровом поверхностном легирова-

нии глубина расплавленной зоны составляет не более 120 мкм. Существенными недостатками таких покрытий являются ограничение толщины наносимого слоя, а также его растрескивание [2].

В качестве альтернативы существующим методам модифицирования поверхности титана и титановых сплавов предложен метод электролитно-плазменной обработки [3]. Проведенные исследования по модифицирующей обработке титановых изделий в азот- или углеродсодержащем электролите с последующей закалкой показали перспективность процесса. Преимуществами разработанных методов перед другими существующими методами термической обработки являлась высокая скорость нагрева заготовки (до 250 К/с), а также высокая скорость диффузионного насыщения [4]. В работе исследовались особенности формирования модифицированного слоя на образцах из ВТ1-0 и ОТ4 в электролитах на водной основе, которые содержали хлорид аммония – 10%, аммиак – 5% (электролит № 1), а также хлорид аммония – 10%, глицерин – 10%, нитрат аммония – 5% (электролит № 2). Подаваемое напряжение менялось от 225 до 275 В, а время обработки составляло 2,5, 5,0 или 7 минут.

На Рис. 1 приведена микроструктура образца из титанового сплава ОТ4 при различной подводимой мощности.

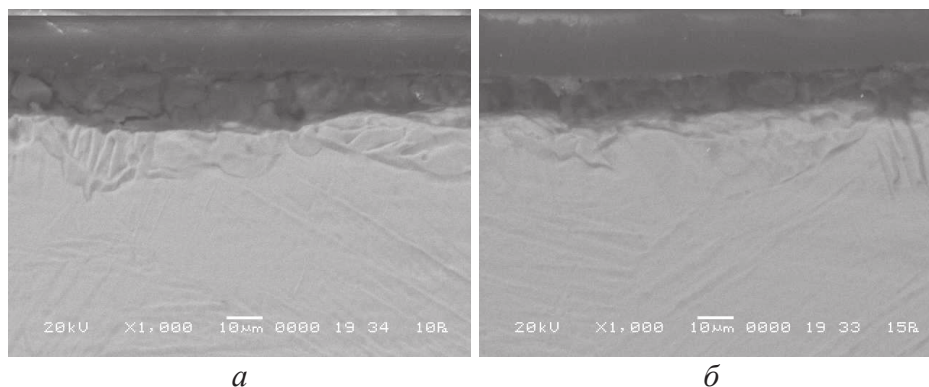
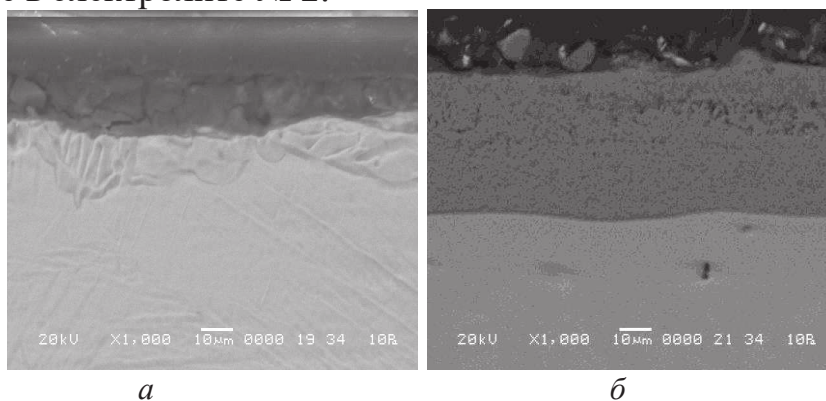


Рисунок 1 - Микроструктура поверхностных слоев, сформированных на поверхности титанового сплава при номинальной мощности (а) и при увеличении электрической мощности на 22% (б)

Анализ микроструктур показывает, что увеличение выделяемой мощности на 15% приводит к формированию более тонкого модифицированного слоя из-за роста толщины парогазового слоя. Однако, микроструктура модифицированного слоя становится более однородной и плотной. Отсутствуют трещины, видимые для процесса, проводимого при номинальной электрической мощности. Это можно объяснить отрицательным влиянием пузырьков электролита, которые разрушаются при более высокой мощности.

На Рис. 2 приведены фотографии микроструктур поверхности титанового сплава ОТ4 при обработке в электролите №1 (Рис. 2а) и электролите № 2 (Рис. 2б). Анализ микроструктур показывает, что состав электролита оказывает существенное влияние на толщину модифицированного слоя. При одинаковой подводимой мощности толщина модифицированного слоя больше при электролитно-плазменной обработке в электролите № 2.



**Рисунок 2 – Влияние состава электролита на толщину и характер структуры модифицированного поверхностного слоя:
а – электролит №1, б – электролит №2.**

На Рис. 3 приведены фотографии образцов из сплава ОТ4, полученных при обработке в электролите №1 при одинаковом времени обработки (2,5 мин), но разным напряжении.

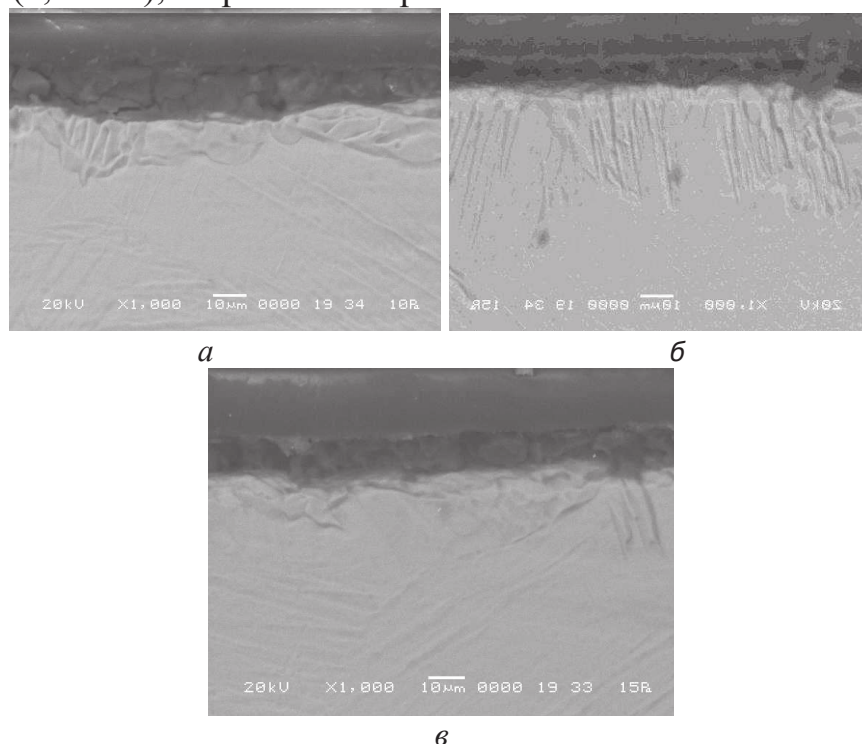


Рисунок 3 – Микроструктуры образцов, полученных при напряжении 225 В (а), 250 В, (б) и 275 В (в)

Анализ показывает, что характер и толщина модифицированного слоя зависит от подаваемого напряжения и характера электролита. При прочих равных параметрах толщина модифицированного слоя больше при обработке в электролите № 2. Однако, влияние времени выдержки и напряжения (выделяемой мощности) не так однозначно проявляются. Толщина модифицированного слоя меняется от 5 мкм до 70 мкм.

Анализ структуры модифицированных слоев, показывает сложную зависимость между толщиной слоя и другими параметрами процесса. Вероятнее всего, это обусловлено особенностями формирования парогазовой оболочки, а также изменением химического состава в модифицированном слое.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савич В.В., Сарока Д.И., Киселев М.Г., Макаренко М.В. Модификация поверхности титановых имплантатов и ее влияние на их физико-химические и биомеханические параметры в биологических средах. – Минск: Беларуская навука, 2012. – 244 с.
2. Прилуцкий В.П., Руханский С.Б., Ахонин С.В., Гадзыра Н.Ф., Давидчук Н.К. Повышение износостойкости титана аргонодуговой наплавкой//Автоматическая сварка. – 2012. – №1. – С. 18–20
3. Козлов И.А., Крит Б.Л., Морозова Н.В., Герасимов М.В., Суминов И.В. Плазменно-электролитические покрытия, полученные на титане VT1-0 при малой продолжительности обработки//Электронная обработка материалов. – 2022. – 58(6). – 13–18.
4. Алексеев Ю.Г., Королёв А.Ю., Нисс В.С., Паршутто А.Э., Будницкий А.С. Электролитно-плазменное полирование титановых и ниобиевых сплавов//Наука и техника. – 2018. – Т. 17, № 3. – С. 211–219.