

2. Гарабажиу А.А., Исаченков В.С., Клоков Д.В., Лощакова М.П. Определение оптимального характера движения частиц материала в межлопастном пространстве роторно-центробежного смесителя / Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: материалы 87-й науч.-техн. конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 31 января – 17 февраля 2023 г. [Электронный ресурс] / отв. за издание И. В. Войтов; УО БГТУ. – Минск: БГТУ, 2023. – С. 275-278.

3. Гарабажиу А.А., Исаченков В.С., Клоков Д.В., Жук А.В. Определение оптимального характера движения частиц материала в кольцевом зазоре между выходной кромкой лопаток и цилиндрической обечайкой роторно-центробежного смесителя / Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: материалы 88-й науч.-техн. конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 29 января – 16 февраля 2024 г. [Электронный ресурс] / отв. за издание И. В. Войтов; УО БГТУ. – Минск: БГТУ, 2024. – С. 352-356.

УДК 620.197:669:621.794

А.С. Калиниченко, д-р техн. наук;
В.Г. Лугин, канд. хим. наук;
Т.Л. Карпович (БГТУ, г. Минск)

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО СЛОЯ НА ТИТАНЕ ВТ1 И СПЛАВЕ ВТ6 ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ ЭЛЕКТРОЛИТА

Производство изделий медицинского назначения является в последнее время одной из важнейших сфер применения титана и его сплавов благодаря их биологической совместимости к человеческим тканям. 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 [1]. 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. Одним из перспективных методов формирования износостойких слоев является электролитно-плазменная обработка (ЭПО) [2].

Толщина модифицированного слоя при ЭПО зависит от многих факторов (марка обрабатываемого сплава, состав и температура электролита, подаваемое напряжение на анод и др.) [3].

Одним из параметров, оказывающим влияние на характер модифицирования поверхностного слоя является температура электролита, которая влияет и на формирование паро-газовой оболочки вокруг образца. Для анализа влияния температуры электролита на формирование модифицированного слоя исследовались 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.

Эксперименты велись с использованием электролита, содержащего хлорид аммония (10%), аммиак водный (5%) и глицерин (10%), что позволило осуществить процесс электролитно-плазменной нитроцементации. При этом в поверхностном слое формируются карбиды и нитриды титана. Время обработки образцов в экспериментах составляло 5 минут при напряжении 240–250 В и поддерживались постоянными. Температура электролита изменялась от 20 до 40 °С с интервалом 10 градусов.

Измерения толщины модифицированного слоя показало, что температура электролита проявляется различно на чистом титане и его сплаве (рис. 1).

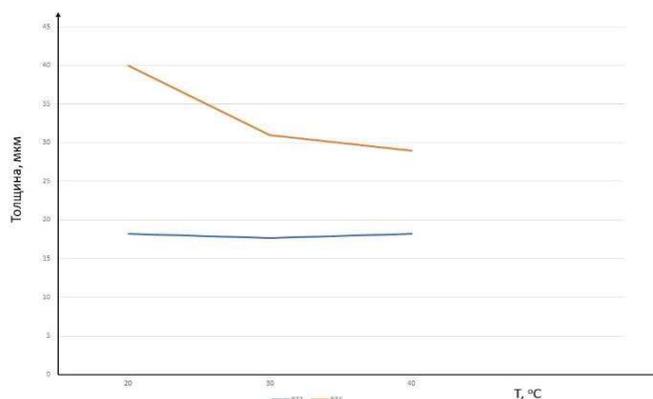


Рисунок 1 – Влияние температуры электролита при ЭПО на толщину модифицированного слоя

Видно, что для чистого титана температура электролита, практически, не оказывает влияния на толщину модифицированного слоя. При обработке сплава ВТ6 картина существенно меняется. Толщина модифицированного слоя значительно больше, особенно при температуре электролита равной 20 °С. С ростом температуры электролита происходит существенное уменьшение толщины модифицированного

слоя, хотя она почти в 1,5 раза больше, чем для чистого титана. Это может быть связано с влиянием парогазовой оболочки, которая с повышением температуры электролита легче образуется и имеет большую толщину.

Для анализа этого влияния рассмотрим структуры образцов. На рисунке 2 приведены структуры образцов после ЭПО для температуры 20 °С и 40 °С.

Технически чистый титан ВТ1 имеет гомогенную α -структуру. При ЭПО поверхностный слой преобразуется в модифицированный, содержащий нитриды и карбиды титана. При режимах проведения ЭПО нитриды титана препятствуют диффузии атомов азота в глубину. Формируется модифицированный слой с четкой границей раздела модифицированного слоя и основы (рис. 1 а, в).

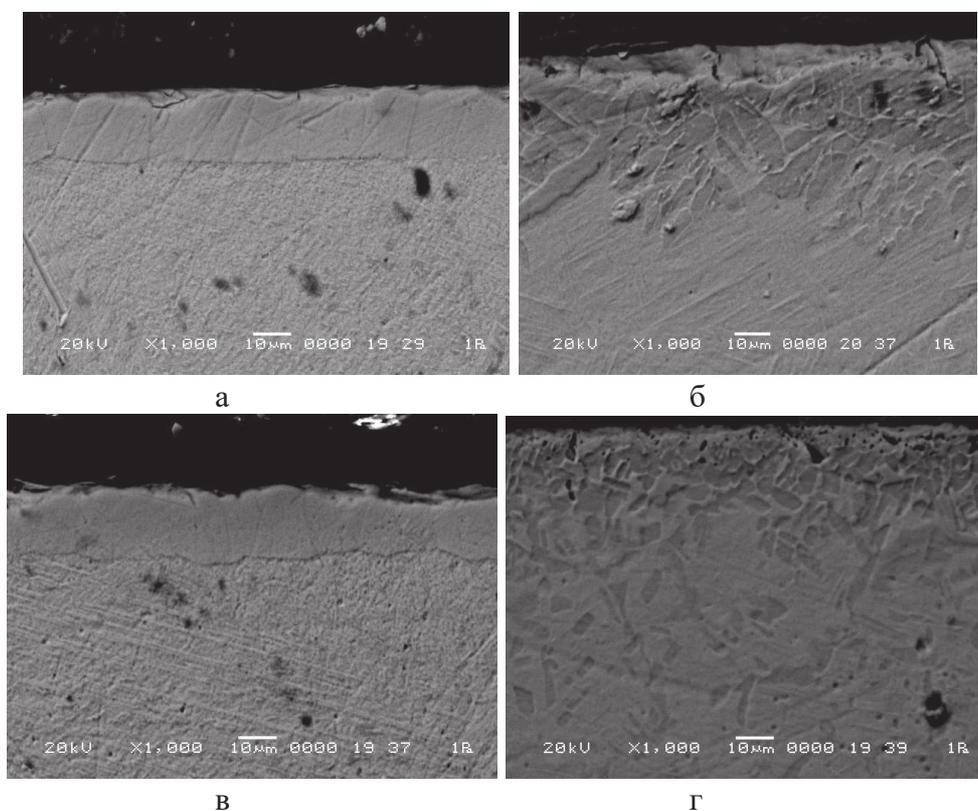


Рисунок 2 – Микроструктура образцов из титана ВТ1 (а, в) и сплава ВТ6 (б,г), обработанных при температуре 20 °С (а,б) и 40 °С (в, г)

Поскольку сплав ВТ6 по структуре относится к $(\alpha+\beta)$ -мартенситному классу, то модифицирование поверхности при ЭПО отличается существенно от обработки чистого титана (рисунок 2 б, г). Наличие межфазных границ способствует более глубокому проникновению атомов азота и углерода в образец. При этом видно сохранение мартенситной структуры (рис. 2, б). Формирование нитридов и карбидов происходит внутри зерен, а по границам отсутствует накопление

атомов азота и углерода. Поэтому зерна имеют более темный вид, а границы зерен проявляются очень четко.

Как и для технически чистого титана, элементный состав основного сплава и модифицированного слоя очень близки, что подтверждается спектрами (рис. 3).

Проведенные эксперименты подтвердили, что химический состав образцов оказывает существенное влияние на характер и структуру модифицированного слоя. Исследования показали возможность формирования модифицированного покрытия на титановых сплавах, который имеет лучшие антифрикционные свойства в сравнении с титаном без модифицированного слоя.

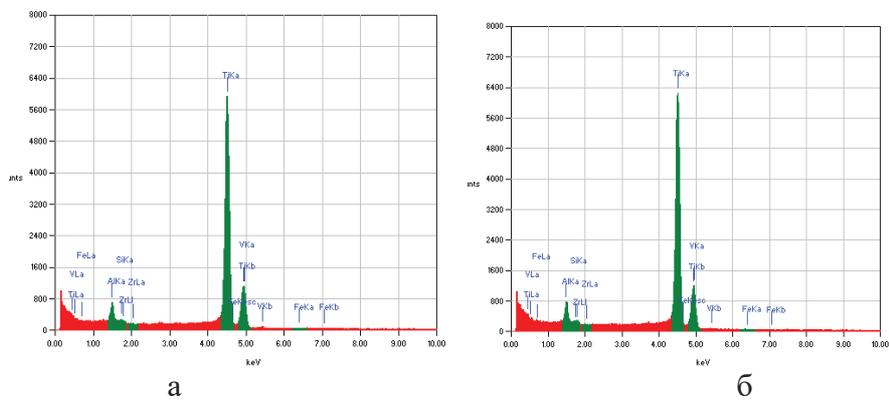


Рисунок 3 – Спектры для образца из сплава ВТ6 для основного сплава (а) и модифицированного слоя (б)

Установлено, что температура электролита оказывает существенное влияние на глубину модифицированного слоя для ВТ6, и меньше влияет при ЭПО чистого титана.

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. Куликов И. С., Ващенко С.В., Каменев А.Я. Электролитно-плазменная обработка материалов. – Минск: Беларуская навука, 2010. – 232 с.
3. Е. В. Краснова, Ю. А. Моргунов, Б. П. Саушкин, И. А. Слюсарь, С. А. Смян, 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.