

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПЛЕНОК ТАНТАЛА И ЕГО СОЕДИНЕНИЙ МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

А.С. Петровская¹, Г.Б. Мельникова¹, Т.А. Кузнецова¹,
С.А. Чижик¹, А.В. Зыкова², В.И. Сафонов²

¹Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, Минск, Беларусь;
agata.petrovskaya@gmail.com

²Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», Харьков, Украина

Введение. Развитие малоинвазивных технологий в медицине привело к разработке стентов для коронарного шунтирования. Для изготовления современных стентов используют как полимеры, так и металлы, наиболее широко распространены сталь и легированные сплавы титана, хрома и кобальта. В настоящее время существует ряд нерешенных проблем, связанных со стентированием, а именно биообрастание поверхности используемых материалов. Поэтому для улучшения характеристик их поверхность покрывают различными типами покрытий [1]. Одним из наиболее перспективных составов для стентов из нержавеющей стали является тантал, обладающий хорошей биосовместимостью, механической прочностью, коррозионной стойкостью и рентгеноконтрастностью. При эксплуатации стентов важной поверхностной характеристикой является коэффициент трения. Большой коэффициент трения увеличивает риск миграции клеток на стенке и вызывает трудности при его установке. Нанесенное на имплантат покрытие позволяет снизить значение коэффициента.

Целью данной работы является определение коэффициента трения и шероховатости наноструктурированных пленок тантала и его соединений на подложках стекла и нержавеющей стали типа 316 LSS с помощью атомно-силовой микроскопии (АСМ).

Методы и материалы. Подготовка образцов проводилась в Харьковском физико-техническом институте НАН Украины. Подложки из стали и стекла очищались в ультразвуковой ванне по стандартной методике и пучком ионов средних энергий в атмосфере аргона. После чего на них наносились покрытия Ta, Ta₂O₅, TaN, TaON методом реактивного магнетронного распыления [2]. Исследование микроструктуры и физико-механических характеристик поверхности проводили на приборе NT-206 (ОДО «Микротестмашины», Республика Беларусь). Для определения коэффициента трения использовали стандартные кантилеверы NCS 11 («Mikromasch», Эстония), с жесткостью 3 Н/м. При определении коэффициента трения радиус кривизны кантилевера увеличивали до 100 нм путем сканирования поверхности кремния при увеличенных нагрузках.

Результаты и их обсуждение. В результате проведенных исследований было установлено, что

микроструктура поверхности покрытия зависит от используемой подложки. Поверхность нержавеющей стали имеет ячеистую структуру со среднеквадратичной шероховатостью (Rq) 5,0 нм и коэффициентом трения 0,072. После напыления на нее пленок Ta, TaN или TaON ячеистая структура сохраняется, однако присутствует двухфазность в режиме латеральных сил. При этом, в случае нанесения пленок TaN, TaON, значения Rq увеличиваются до 7,0—8,0 нм и остаются в пределах 5,0 нм при нанесении Ta. После нанесения на сталь данных наноструктурированных пленок коэффициент трения уменьшается и составляет 0,014 (Ta) и 0,019 (TaN и TaON). Для поверхности Ta₂O₅ на стали характерны неравномерная островковая локализация частиц и коэффициент трения 0,041. Таким образом, все нанесенные пленки тантала и его производных на сталь значительно уменьшили коэффициент трения. Для поверхности стекла характерны разнонаправленные ориентированные полосы, с Rq равной 3,0-4,0 нм и коэффициентом трения 0,026. Напыление пленок Ta₂O₅ или TaON на предметное стекло позволило получить гладкую ячеистую поверхность с минимальными значениями Rq. Однако после нанесения Ta₂O₅ на поверхность стекла происходит увеличение коэффициента трения до 0,038. В случае пленки TaON коэффициент трения составляет 0,016. Из этого следует, что пленки TaON более предпочтительны для изготовления стентов.

Заключение. На основании проведенных исследований методом АСМ установлено, что формирование наноструктурированных пленок соединений тантала позволяет существенно снизить коэффициент трения используемых подложек, и может найти применение в качестве перспективных материалов для изготовления стентов, которые позволяют поддерживать и не снижать кровоток по стенкам сосуда.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке гранта БРФФИ № Ф18УКА-015 и гранта Национальной академии наук Украины № 17-3-18.

- Коган М. И., Шводский С.В. Направления и перспективы в разработке урологических стентов (обзор литературы) // Экспериментальная и клиническая урология. — 2014, № 4, 64—71
- Melnikova G. B. [et al] Structure of Tantalum and Tantalum Oxide Coatings on Steel and Glass Surfaces // International Journal of Nanoscience. — 2019 <https://doi.org/10.1142/S0219581X19400787> (In press)