

ленных на визуализированной карте аномальных участков осуществляется с учетом экспертного мнения исполнителей. В ряде случаев, сопоставление результатов картирования электростатического потенциала до оптического воздействия и распределения поверхностной фотоЭДС дают основание для разграничения поверхностных и скрытых в объеме материала зарядов.

Анализ гистограмм распределения относительных численных значений фотоЭДС с определением интегральных показателей однородности фотоэлектрических свойств поверхности ПКМ включает в себя:

– определение количества максимумов гистограммы распределения. Максимумом считается столбец диаграммы, в окрестности которого радиусом не менее двух столбцов отсутствуют столбцы большей высоты (принцип «трех сигма»). При нормальном распределении потенциала 97 % значений располагается в пределах трех значений среднего квадратического отклонения от максимума. Тогда, независимыми могут считаться результаты, разность которых превышает предел трех значений среднеквадратичного отклонения;

– определение закона распределения (нормального, равномерного, Гаусса и др.) относительных численных значений фотоЭДС. При этом оценивается симметричность распределения, острота либо сглаженность выявленных экстремумов;

– расчет интегральных показателей однородности электрофизических свойств поверхности ПКМ. В качестве основного параметра принята полуширина гистограммы распределения фотоЭДС. Наиболее эффективной оценкой является полная полуширина гистограммы, без исключения дополнительных максимумов. Положение основного максимума характеризует математическое ожидание фотоЭДС.

Литература:

1. Пантелеев К.В., Кравцевич А.В., Ровба И.А., Лысенко В.И., Воробей Р.И., Гусев О.К., Жарин А.Л. Анализ распределения электрофизических и фотоэлектрических свойств нанокompозитных полимеров модифицированным зондом Кельвина // Приборы и методы измерений. 2017;8(4):386-397. Doi:10.21122/2220-9506-2017-8-4-55-62.

2. Пантелеев К.В., Микитевич В.А., Жарин А.Л. построение измерителей контактной разности потенциалов // Приборы и методы измерений. 2016;7(1):7-15. Doi:10.21122/2220-9506-2016-7-1-7-15.

3. Пантелеев К.В., Свистун А.И., Тявловский А.К., Жарин А.Л. Цифровой измеритель контактной разности потенциалов // Приборы и методы измерений. 2016;7(2):136-144. Doi:10.21122/2220-9506-2016-7-2-136-144.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ, СИЛЫ АДГЕЗИИ И ШЕРОХОВАТОСТИ ПОКРЫТИЙ ТАНТАЛА И ОКСИДА ТАНТАЛА НА ПОВЕРХНОСТЯХ ПOKPOBНЫХ СТЕКОЛ И НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

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

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

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

Введение. Одним из крупных достижений в интервенционной кардиологии является разработка металлических стентов без лекарственного покрытия, а затем и стентов, покрытых лекарствами. Конструкция этих стентов эффективно предотвращает эластическое сужение и отрицательное ремоделирование сосуда. К стентам предъявляются достаточно высокие требования: высокая гибкость, пластичность, прочность и жесткость, рентгеноконтрастность, биосовместимость с организмом. Для производства данных стентов используют различные материалы (нержавеющую сталь, платиноириди-

евые сплавы, тантал и др). Покрытия тантала благодаря сочетанию свойств – механической прочности, хорошей биосовместимости [1], коррозионной [2, 3] стойкости и рентгеноконтрастности широко используются при изготовлении стентов для коронарного шунтирования. При эксплуатации стентов их поверхность подвергается механическому и химическому воздействию и определяет стойкость изделия. Изучение свойств поверхности покрытий тантала и оксида тантала на наноуровне с применением атомно-силовой микроскопии (АСМ) и оценка на основании полученной информации эксплуатационных свойств является актуальной задачей.

Цель. Изучение коэффициента трения, силы адгезии и шероховатости покрытий тантала и оксида тантала на поверхностях покровных стекол и нержавеющей стали методом АСМ.

Материалы и методы. В Харьковском физико-техническом институте НАН Украины проводилась подготовка образцов. Подложки из нержавеющей стали и стекла очищались в ультразвуковой ванне по стандартной методике и пучком ионов средних энергий в атмосфере аргона, после чего шел процесс нанесения покрытий из тантала или оксида тантала методом реактивного магнетронного распыления. Исследование структурных, физико-механических характеристик поверхности проводили на приборе NT-206 (ОДО «Микротестмашины», Республика Беларусь). Для определения значений шероховатости поверхности использовали балочные кантилеверы CSC 38 («Mikromasch», Эстония), с жесткостью согласно паспорту производителя 0,03 Н/м, с радиусом кривизны не более 10 нм. Для определения коэффициента трения и силы адгезии использовали кантилеверы NCS 11 («Mikromasch», Эстония), жесткость которых 3 Н/м. Радиус кривизны кантилевера для определения коэффициента трения увеличивали до 100 нм путем сканирования при высоких нагрузках кремниевой поверхности.

Результаты и выводы. В результате проведенных исследований покрытий тантала и оксида тантала на поверхностях покровных стекол и нержавеющей стали марки 316LSS методом АСМ были получены следующие значения исследуемых параметров (табл. 1). Установлено, что микроструктура поверхности покрытий тантала и оксида тантала в значительной степени определяется используемой подложкой.

Таблица 1. Значения шероховатости (R_a , R_q), коэффициента трения (K_f) и силы адгезии (F_{adh}) поверхности покрытий тантала и оксида тантала на подложках стекла и нержавеющей стали 316 LSS.

Образец	R_s , нм □ 15,0 %		R_p , нм □ 15,0 %		K_f □ 15,0 %	F_{adh} , нН □ 10 %
	Область сканирования, мкм					
	4 x 4	7 x 7	4 x 4	7 x 7		
Сталь 316 L SS, контроль	3,8	7,4	4,8	9,0	0,072	17,2
Ta / (316 L SS)	4,9	6,2	6,2	8,3	0,038	20,0
Ta ₂ O ₅ / (316 L SS)	4,2	4,4	5,4	7,6	0,048	8,0
Предметное стекло, контроль	3,2	3,1	4,0	4,1	0,026	123,3
Ta ₂ O ₅ / (пр. стекло)	1,4	1,3	1,8	1,9	0,038	61,5
Ta ₂ O ₅ + Ag / (покровное. стекло)	2,3	2,3	3,0	3,0	0,045	95,9

На основании значений шероховатости образцов можно сделать вывод об увеличении R_a после напыления пленки тантала (до 4,9 нм) на поверхность нержавеющей стали. При сканировании области 7x7 мкм, для образцов с покрытием значения R_q меньше, чем для поверхности исходной стали. Следует отметить, что для покрытий оксида тантала шероховатость поверхности с увеличением площади сканирования практически не изменяется, в пределах доверительного интервала, что свидетельствует об однородности и равномерности наносимого покрытия. Нанесение покрытий оксида тантала на предметные стекла также приводит к уменьшению значений шероховатости в 2 раза. Однако при нанесении покрытий композиционных с наночастицами серебра, шероховатость поверхности уменьшается незначительно, в пределах доверительного интервала.

Коэффициент трения образцов с покрытиями на подложках из нержавеющей стали уменьшается в два раза, на поверхности стекла увеличивается в 1,5-2 раза. Применение материалов с низкими

значениями коэффициента трения в качестве стентов является перспективным, так как они позволяют поддерживать и не снижать кровоток по стенкам сосуда.

Немаловажным является и адгезионная характеристика материала, так как существует высокий риск образования тромбов на имплантируемом материале. Установлено, что напыление пленки оксида тантала на поверхности стали и стекла позволило снизить значения силы адгезии в два раза.

Работа выполнена в рамках договора с БРФФИ № Ф18УКА-015 от 19.02.2018

Литература:

1. Марчук М. С., Мутьлина И. Н. Биосовместимые материалы, применяемые для изготовления стентов (Обзор) // Российская медицина. — 2010, № 76, 67 — 69.
2. Каурковская О.А., Беспалова Е.Я. Особливості металічних матеріалів для виготовлення стентів // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. — 2017(106), №5, 56 — 61.
3. Папилов И. И., Шкуропатенко В. А. Материалы медицинских стентов: Обзор. — Х.: ННЦ ХФТИ. — 2010.

ПОВЫШЕНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО УПРОЧНЕНИЯ

Б.К. Рахадиллов, Д.Б. Буйткенов, Ж.Б. Сагдолдина, Ж.А. Оспанова

*Восточно-Казахстанский государственный университет имени С. Аманжолова,
Усть-Каменогорск, Республика Казахстан*

В последнее время глубоко внедряется в производство электролитно-плазменная обработка металлических изделий, и достаточно интенсивно ведутся исследования влияния электролитно-плазменного упрочнения на структуру и свойства сталей и сплавов. В данной работе приводятся результаты исследования влияния длительности электролитно-плазменного упрочнения (ЭПУ) на трибологические свойства образцов стали марки 2 [1, 2].

ЭПУ образцов стали марки 2 проводили на установке, которая разработана и изготовлена в Национальной научной лаборатории коллективного пользования при Восточно-Казахстанском государственном университете имени Сарсена Аманжолова [3]. Упрочнение образцов осуществляли в водном растворе карбамида (15% по массе), карбоната натрия (15%) в следующих режимах: 1 с (340В), 2 с (320 В), 3 с (320 В). Были исследованы трибологические свойства образцов до и после ЭПУ. Испытание проводилось по схеме "шар-диск", длина пробега 31 м, скорость 2 см/с, нагрузка 5 Н, в качестве контртела был использован шар из карбида вольфрама диаметром 3 мм. Дорожки трения исследовали с применением бесконтактного 3D-профилометра MICROMEASURE 3D station. Испытание образцов на абразивное изнашивание проводили на экспериментальной установке для испытания на абразивное изнашивание по схеме «вращающийся ролик – плоская поверхность» в соответствии с ГОСТ 23.208-79. Измерение микротвердости образцов проводили на приборе ПМТ-3М в соответствии с ГОСТ 9450-76, при нагрузке 100 г и времени выдержки при этой нагрузке 10 с.

Трибологические характеристики образцов до и после ЭПУ характеризовались интенсивностью изнашивания. Интенсивность изнашивания под воздействием наконечника рассчитывается, исходя из объема вытесненного материала во время проведения испытания, который рассчитывался по следующей формуле (1):

$$I = \frac{V}{F \times l} \quad (1)$$

где: I – интенсивность изнашивания, [мм³/Н*м]; l – путь трения, [м]; F – номинальное давление, [Н]; V – объем изношенной части, [мм³].