

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**X МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Химия нефти и газа»**

Томск

Издательский Дом ТГУ

2018

DOI: 10.17223/9785946217408/286

ИССЛЕДОВАНИЕ КЛЕТОЧНОГО ОТКЛИКА НА ИЗМЕНЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ И ТОПОГРАФИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ TiNi И TiTa/TiNi В РЕЗУЛЬТАТЕ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКИ

Гудимова Е.Ю., Шабалина О.И., Мейснер Л.Л.

ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия

НИ Томский государственный университет, Томск, Россия

egu@ispms.ru

В настоящее время современным трендом в материаловедении является разработка искусственных имплантатов на принципах биоимитирования поверхностных свойств для создания благоприятных условий, способствующих быстрому заселению поверхности неорганического материала функциональными клетками, в зависимости от области его применения [1]. Использование технологий модификации поверхности металлов и сплавов на основе воздействия высокоэнергетическими пучками заряженных частиц (ионы, электроны) и/или потоками плазмы позволит решить данную нетривиальную задачу. Контролируемое изменение и управление свойствами и структурой поверхностных слоев материала при данных обработках, даст возможность прогнозировать клеточный отклик (адгезию, миграцию, пролиферацию, дифференцировку, гибель) при контакте с ним, что приведет к повышению параметров биосовместимости и биоинтеграции металлического изделия с тканями и биологическими жидкостями живого организма. На основе литературных данных [2] можно выделить две основные характеристики поверхности биоматериала, влияющих на реакцию клеточной культуры: топографические особенности и элементный состав. Цель работы – исследование клеточного отклика на изменения химических и топографических свойств поверхности сплавов на основе Ti-Ni и Ti-Ta после импульсной электронно-пучковой обработки.

В работе исследовались 3 группы плоских образцов TiNi сплава листового проката марки ТН1 (ООО «Промышленный центр МАТЭК-СПФ»). Химический состав сплава (вес. %): 55,54 % Ni, 0,05 % C, 0,045 % O, 0,009 % N, баланс Ti. Температура конца обратного мартенситного превращения $A_k = 304$ К. Первая группа – образцы с исходной поверхностью после электрохимической очистки в охлажденном до $T = 273$ К растворе кислот 3 ч. $\text{CH}_3\text{COOH} + 1$ ч. HClO_4 (далее – TiNi). Вторая группа – образцы после обработки поверхности низкоэнергетическим сильноточным электронным пучком (НСЭП) в режиме импульсного плавления: $U=25$ кВ, $n=32$ (далее – TiNi^{EB}). Третья группа – образцы с Ti-Ta поверхностным сплавом толщиной ~ 1 мкм, сформированным в результате магнетронного осаждения покрытия Ti₇₀Ta₃₀ (ат.%) и последующего плавления системы «пленка (Ti-Ta)/подложка (TiNi)» с помощью НСЭП (далее – Ti₇₀Ta₃₀/TiNi). Модификацию поверхности TiNi сплавов осуществляли на установке «РИТМ-СП» в ИСЭ СО РАН, г. Томск. Эксперименты «*in vitro*» проводили на культуре мезенхимальных стволовых клеток костного мозга крысы (МСК КМК) в ИХБФМ СО РАН, г. Новосибирск. Для исследования топографических и физико-химических параметров поверхности образцов использовалось оборудование ЦКП «Нанотех» (ИФПМ СО РАН, г. Томск).

Жизнеспособность клеток, культивируемых в присутствии образцов TiNi до и после модификации поверхности, определяли в тесте МТТ, измеряя оптическую плотность окрашенного раствора. Обнаружено, что оптическая плотность МСК КМК, культивируемых в присутствии образцов выше, чем её значение в контрольной лунке культивирования без образцов (Рисунок 1, а). Увеличение оптической плотности свидетельствует об увеличении количества живых клеток в лунке культивирования, то есть о повышении пролиферативной активности МСК КМК. Это, в свою очередь, позволяет говорить об отсутствии острого токсического действия металлического материала на стволовые клетки. Следует отметить, что в результате модификации поверхности электронным пучком, количество клеток культивируемых в присутствии образцов TiNi^{EB} и Ti₇₀Ta₃₀/TiNi увеличивается относительно

Секция 4. Научные основы разработки материалов с многоуровневой иерархической структурой, в том числе для экстремальных условий эксплуатации

значения в присутствии исходного образца. Такое повышение пролиферативной активности МСК КМК может быть обусловлено как изменением топографии, так и химического состава поверхности образцов, контактирующей с биологической средой.

В работе была проведена оценка концентрации никеля (C_{Ni}), как токсического элемента, непосредственно на поверхности исследуемых образцов методами ОЖЭ-спектроскопии и ЭДС/РЭМ. Установлено, что после НСЭП обработки концентрация никеля на поверхности составляет $C_{Ni}(TiNi^{EB})=4$ ат.%. (Рисунок 1, б). Формирование Ti-Ta поверхностного сплава на TiNi подложке приводит к образованию наружного слоя толщиной 20 нм, который не содержит ионов никеля, $C_{Ni}(Ti_{70}Ta_{30}/TiNi)\sim 0$ ат.%. Однако в обоих случаях наблюдается повышение пролиферативной активности МСК КМК, как было показано ранее. Иными словами, отсутствие никеля на поверхности не является определяющим фактором увеличения количества жизнеспособных клеток.

Исследование топографии поверхности на микромасштабном уровне методом оптической профилометрии, показало, что в результате электронно-пучковой обработки параметр средней шероховатости (R_a) уменьшается в 3 раза (Рисунок 1, в) за счет удаления следов проката материала и карбидных частиц TiC, формирующихся в тонком поверхностном слое при прокатке пластины TiNi сплава с применением графитовой смазки. Формирование поверхностного сплава путем двадцатикратного повтора цикла «осаждение покрытия и его переплав с материалом подложки» не привело к существенному изменению рельефа образцов относительно предшествующего состояния поверхности после предварительной НСЭП обработки. Согласно данным атомно-силовой микроскопии, изменение топографии поверхности наблюдаются и на наномасштабном уровне. Следует отметить, что тенденция уменьшения шероховатости после НСЭП обработки сохраняется: $R_a(TiNi)=4.893$ нм, $R_a(TiNi^{EB})=1.788$ нм, $R_a(Ti_{70}Ta_{30}/TiNi)=1.873$ нм.

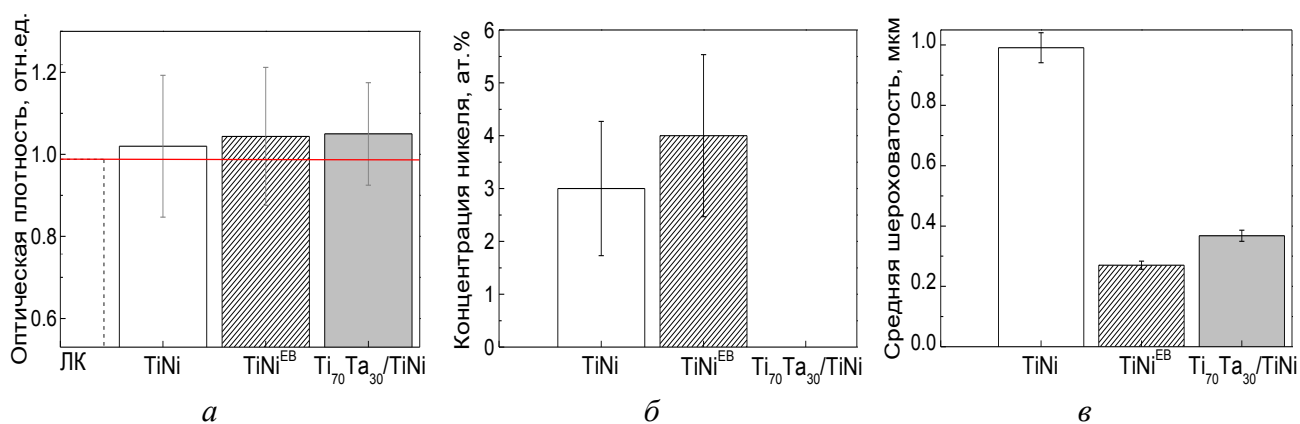


Рисунок 1 – Влияние образцов TiNi, TiNi^{EB}, Ti₇₀Ta₃₀/TiNi на пролиферативную активность МСК КМК (а) и изменения концентрации никеля на поверхности (б) и параметра средней шероховатости (в) в зависимости от типа поверхностной обработки. ЛК – контрольная лунка культивирования без металлических образцов.

Исследования выполнены в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы, научное направление Ш.23. Модификация поверхности образцов проводилась при финансовой поддержке РФФ, проект № 18-19-00198 от 26.04.2018. Авторы выражают благодарность к.ф.-м.н. А.Б. Маркову и Е.В. Яковлеву за проведение НСЭП обработки, к.б.н. В.А. Матвеевой и А.Л. Матвееву за культивирование клеток в экспериментах «*in vitro*».

Литература

1. S. Bauer [et al.], *Progress in Materials Science*, **58** (2013), 261-381.
2. M. Macgregor [et al.], *Materials*, **10** (2017) 1081(1-13), doi:10.3390/ma10091081