ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

INTERNATIONAL WORKSHOP

**«Multiscale Biomechanics and Tribology
of Inorganic and Organic Systems»**

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

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

**VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ,
ПОСВЯЩЕННАЯ 50-ЛЕТИЮ ОСНОВАНИЯ
ИНСТИТУТА ХИМИИ НЕФТИ**

«Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа»

DOI: 10.17223/9785946218412/290

МЕДИЦИНСКИЙ ПОЛИУРЕТАН С УЛУЧШЕННОЙ БИОСОВМЕСТИМОСТЬЮ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ МЕТОДОМ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

¹Чудинов В.С., ¹Шардаков И.Н., ²Маслова В.В., ²Солодников С.Ю., ²Фефилова И.В.,
³Литвинов В.В., ³Фрейнд Г.Г., ⁴Кондюрин А.В.

¹*ИМСС УрО РАН, Пермь, Россия*

²*Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия*

³*Пермский государственный медицинский университет, Пермь, Россия*

⁴*Школа физики, Университет Сиднея, Сидней, Австралия*

Существенное улучшение качества жизни человека при различных заболеваниях сердечно-сосудистой системы и других органов, а также грыжах, травмах возможно при своевременной имплантации синтетических протезов тканей и органов. Однако при имплантации искусственного протеза возникает реакция организма на инородное тело, что приводит к фиброзу установленного имплантата [1]. Необходимо отметить, что на поверхности всех имплантируемых материалов самопроизвольно и быстро адсорбируются белки пациента. Только после этого происходит взаимодействие поверхности материала с клетками пациента. Таким образом, конформация и типы адсорбированных протеинов будут влиять на дальнейшую реакцию иммунной системы на инородное тело [2, 3]. Следовательно, для уменьшения реакции иммунной системы на инородное тело можно осуществить модификацию поверхности имплантата. В данной работе рассматривается вариант модификации – ионная имплантация из плазмы тлеющего разряда.

Исследовались образцы полиуретанов медицинского назначения СКУ-ПФЛ на основе форполимера из простого олигоэфира и 2,4-толуилендиизоцианата, отверждённого смесью отвердителей МОКА, полифурита и Воранола. Образцы обрабатывались ионами азота высокой энергии 20 кэВ при разных дозах облучения от $5 \cdot 10^{14}$ до 10^{16} ион/см². При воздействии ионного луча на поверхность полимерного материала разрушается верхний слой молекулярной структуры толщиной около 100 нм с последующей рекомбинацией межмолекулярных и межатомных связей, реструктуризацией молекулярной структуры [4]. Формирование новых структур носит сложный стохастический характер. По данным ИК-спектроскопии с приставкой МНПВО наблюдаются изменения в молекулярной структуре образованного слоя в отличие от исходного полимера. По этим данным установлено наличие линий колебаний гидроксильных и нитрильной групп, колебаний двойных связей C=O, C=N и C=C. Спектры комбинационного рассеяния света (КРС) показали две новые линии, относящиеся к колебаниям графита E_{2g} и A_{1g}. Таким образом, ионная обработка поверхности полиуретана позволила сформировать графитоподобный углеродный нанослой.

Атомно-силовая микроскопия показывает изменение механических свойств поверхности полиуретана за счет образования углеродного слоя и морфологические изменения поверхности, такие как появление волн и трещин. Из анализа ЭПР спектров выявлено наличие неспаренных электронов в материале после ионной имплантации. При этом изменилась поверхностная энергия полиуретана от 40 МДж/м² до 46 МДж/м² при дозе облучения $5 \cdot 10^{14}$ ион/см², с увеличением до 53 МДж/м² при максимальном флюенсе $1 \cdot 10^{16}$ ион/см². Таким образом, образованная структура поверхностного слоя полиуретана обладает гидрофильностью и высокой активностью за счет наличия свободных радикалов.

По данным экспериментов по адсорбции протеина бычьего сывороточного альбумина и его десорбции в результате воздействия детергентами (додецилсульфат натрия) при температуре 70 °С была подтверждена гипотеза о ковалентной связи белка с углеродной поверхностью обработанного полиуретана. Оценка активности белка и сохранение конформации на такой поверхности подтверждается одной из работ [5]. Подсчет количества ядер и определение морфологических особенностей цитоплазмы культуры клеток аорты

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

человека, высеванных на обработанных и необработанных полимерах, показывают улучшение клеточной адгезии и пролиферации на углеродном слое обработанного полиуретана.

Для оценки реакции организма были подготовлены 15 образцов полиуретанов, по 3 необработанных и обработанных с дозами облучения $5 \cdot 10^{14}$, 10^{15} , $5 \cdot 10^{15}$, 10^{16} ион/см². Образцы имплантировались в крыс линии SD и изымались из животных по истечении 1 месяца. Производилась оценка клеточной реакции и измерение толщины соединительно-тканной оболочки, ограничивающей имплантаты. По итогам гистологических исследований было установлено, что полиуретан с углеродным слоем, образованным в результате обработки методом ионной имплантации, при взаимодействии с иммунной системой живого организма вызывает сравнительно меньшую реакцию на инородное тело, чем исходный необработанный полиуретан.

1. Siddharth Jhunjhunwala, Stephanie Aresta-DaSilva, Katherine Tang, etc. Neutrophil Responses to Sterile Implant Materials // PLoS One. 2015. 10(9): e0137550. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0137550>
2. Brodbeck WG, Colton E, Anderson JM. Effects of adsorbed heat labile serum proteins and fibrinogen on adhesion and apoptosis of monocytes/macrophages on biomaterials // J Mater Sci Mater Med. 2003. 14(8): 671–5.
3. Hu WJ, Eaton JW, Ugarova TP, Tang L. Molecular basis of biomaterial-mediated foreign body reactions // Blood. 2001. 98(4): 1231–8.
4. V.B. Odzhaev, I.P. Kozlov, V.N. Popok, D.B. Sviridov, Ion Implantation of Polymers / Minsk: Belorussian State University, 1998.
5. Alexey Kondyurin, Neil J. Nosworthy Marcela M. M. Bilek Robert Jones Paul J. Pigram Surface attachment of horseradish peroxidase to nylon modified by plasma-immersion ion implantation // Journal of Applied Polymer Science. Volume 120, Issue 5, 2011. P. 2891-2903. DOI 10.1002/app