

4. Salazar H. Photocatalytic and antimicrobial multifunctional nanocomposite membranes for emerging pollutants water treatment applications // Chemosphere. – 2020. – V. 250. – №126299. – P. 126299

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ МЕМБРАН ДЛЯ СЕРДЕЧНО СОСУДИСТОЙ ХИРУРГИИ ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОСПИННИНГА

Е.Н. СТРЕБКОВА¹, Е.Ю. МЕЛЬНИК¹, Е.Н. БОЛЬБАСОВ^{1,2}

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет;

²Институт оптики атмосферы имени В. Е. Зуева СО РАН, г.Томск

E-mail: Ens17@tpu.ru

Полимерные мембраны, полученные методом электроспиннинга [1, 2] стали предметом исследований благодаря своей высокопористости и соотношению поверхности к объему и нашли применение в тканевой инженерии, биомедицинской промышленности, в перевязочных материалах для ран, фильтрации, в косметологии, фармацевтическом производстве, сердечно сосудистой хирургии и т. д.

Особенностями, вызвавшими интерес ученых, являются высокая структурная стабильность и способность длительное время работать в организме человека без деформации, им присущи хорошие механические характеристики материалов. Например, прочность на разрыв, на изгиб и на сжатие. Они легко поддаются контролю, имеют высокую стабильность качества, просты в обработке, устойчивы к воздействию микробов и гидролизу, устойчивы к старению, не выделяют токсичных ионов способных спровоцировать воспаление, отторжение или некроз тканей вокруг имплантата [3, 4, 5], что делает их привлекательными в производстве искусственных кровеносных сосудов. Опытным путем определили, что с уменьшением диаметра волокна возрастает модуль упругости и достигает своего максимума при приближении к наноуровню. Благодаря большому количеству методов синтеза и обработки материалов можно легко получить как необходимую форму, так и широкий спектр физико-химических свойств матриц [6].

О первой попытке протезирования сосудов стало известно еще в 1882 г., тогда Th. Gliick посредством металлических и костяных трубочек соединил концы аорты, а Alexis Carrel в 1910 г. предложил синтетические сосуды в качестве заменителей сосудов [1]. Основа, положенная в изучение таких фторсодержащих полимеров, как поливинилиденфторид, сополимер винилиденфторида с тетрафторэтиленом была взята из работ и изучений академика В. А Каргина [7].

Поливинилиденфторид является полукристаллическим, высокочистым термопластичным фторполимером, температура эксплуатации, которого достигает до 150 °С. Благодаря высокой механической прочности, хорошей химической стойкости и перерабатываемости его можно использовать при получении биомедицинских мембран и мембран для обработки сточных вод. Однако у таких мембран есть недостатки, такие как смачиваемость и загрязнение, которые можно решить за счет повышения шероховатости поверхности или увеличения гидрофильной природы мембраны, но полного исключения вероятности возникновения таких проблем невозможно даже после модифицирования.

Для изготовления полимерных мембран использовали рассчитанных пять групп прядильных растворов с различным процентным соотношением компонентов полученных путем смешивания Диметилацетамида (ГОСТ/ТУ 2636-113-44493179-08, АО "ЭКОС-1»), Ацетона чистого для анализа (ЧДА, ГОСТ 2768-84, АО "ЭКОС-1») и фторсодержащего

полимера поливинилиденфторида (PVDF), винилиденфторида с тетрафторэтиленом (VDF-TeFe).

Для получения полимерных мембран машинным способом была использована установка электропрядения (Electrospinning) NANON – NF 101 (Япония) с заданными параметрами электроспиннинга, в качестве осадительного электрода использовался вращающийся сборочный цилиндрический коллектор.

Исследование морфологии мембран и определение среднего диаметра волокон полученных полимерных мембран в зависимости от состава прядильного раствора и термической обработки проводили по СЭМ изображениям при 3000 кратное увеличение с помощью программы Image J 1.38 (National Institutes of Health, США. В таблице 1 приведены средние параметры диаметра волокон полимерных мембран и стандартные отклонения, полученные в программе OriginPro 2021(OriginLab Corporation, США) исходных и отожженных образцов.

Таблица 1 – Средний диаметр волокон и стандартное отклонение

Содержание PVDF, %	Исходный образец, мкм	Отожженный образец, мкм
0	$0,520 \pm 0,07$	$0,509 \pm 0,057$
5	$0,502 \pm 0,058$	$0,494 \pm 0,058$
10	$0,411 \pm 0,069$	$0,431 \pm 0,058$
20	$0,384 \pm 0,049$	$0,368 \pm 0,050$
40	$0,358 \pm 0,055$	$0,354 \pm 0,043$

Для изучения влияния термической обработки на прочность и относительное удлинение полимерные мембран выдерживали в камерной печи при температуре 100 °С в течение 12 часов.

Сравнительную оценку влияния режима термической обработки и продолжительности отжига на прочность и относительное удлинение полимерных мембран проводили с помощью универсальной электромеханической разрывной машины Instron 3369 (Instron, США) с датчиком нагрузки 50 Н при скорости растяжения образца 10 мм/мин. Испытания на растяжение проводились по ГОСТ Р 50111-92. Образцы для исследований представляли собой полоски размером 100*500 мм. В испытаниях использовалось по 4 образца для каждой группы мембран, всего 40 образцов, результаты исследования прочности и относительного удлинения полимерных мембран представлены в таблицах 2,3.

Таблица 2 – Среднее значение относительного удлинения и стандартное отклонение полимерных мембран

Содержание PVDF, %	Исходный образец, %	Отожженный образец, %
0	$106,399 \pm 6,314$	$49,347 \pm 5,854$
5	$111,785 \pm 2,506$	$59,438 \pm 2,604$
10	$71,791 \pm 3,386$	$42,683 \pm 4,095$
20	$62,572 \pm 4,389$	$58,311 \pm 4,034$
40	$65,058 \pm 2,461$	$46,133 \pm 1,639$

Таблица 3 – Среднее значение предела прочности и стандартное отклонение полимерных мембран

Содержание PVDF, %	Исходный образец, МПа	Отожженный образец, МПа
0	16,171 ± 0,463	12,320 ± 0,496
5	11,433 ± 0,443	14,356 ± 0,848
10	11,931 ± 0,775	16,035 ± 0,337
20	14,407 ± 0,615	18,104 ± 0,968
40	13,292 ± 0,618	15,340 ± 0,467

В настоящей работе представлены результаты исследований влияния режима термической обработки, продолжительность отжига и соотношения фторсодержащего полимера поливинилиденфторида (PVDF) и винилиденфторида с тетрафторэтиленом (VDF-TeFe) на структуру и механические свойства полимерных мембран. Установлено, что увеличение концентрации PVDF в прядильных растворах приводит к уменьшению среднего диаметра волокон, формирующих мембрану, относительное удлинение исходных образцов уменьшается, тогда как у отожженных образцов показатель остается практически неизменным. Средний предел прочности образцов, подвергшихся термической обработке в целом выше, чем у исходных. Разница в толщине между исходными образцами и подвергшихся термической обработке составляет около 1 мкм.

Список литературы

1. Филатов Ю.Н., Электроформование волокнистых материалов (ЭФВ-процесс). Под редакцией В.Н. Кириченко. - М.: ГНЦ РФ НИФХИ им. Карпова Л.Я., 2001, 203 с.
2. Bolbasov E.N., Buznik V.M., Stankevich K.S., Goreninskii, S.I. Ivanov, Y.N. Kondrasenko A.A., Gryaznov V.I., Matsulev A.N., Tverdokhlebov S.I., Composite Materials Obtained via Two-Nozzle Electrospinning from Polycarbonate and Vinylidene Fluoride/Tetrafluoroethylene Copolymer, Inorg. Mater. Appl. Res. Vol. 9, 2018, 184–191 p. <https://doi.org/10.1134/S2075113318020065>
3. Bolbasov E.N., Stankevich K.S., Sudarev E.A., Bouznik, V.M. Kudryavtseva V.L., Antonova L. V., Matveeva V.G., Anissimov Y.G., Tverdokhlebov S.I., The investigation of the production method influence on the structure and properties of the ferroelectric nonwoven materials based on vinylidene fluoride - tetrafluoroethylene copolymer, Mater. Chem. Phys. Vol. 182, 2016, 338–346 p. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2016.07.041>
4. Badaraev A.D., Koniaeva A., Krikova S.A., Shesterikov E.V., Bolbasov E.N., Nemoykina A.L., Bouznik V.M., Stankevich, K.S. Zhukov Y.M., Mishin I.P., Varakuta, E.Y. Tverdokhlebov S.I., Piezoelectric polymer membranes with thin antibacterial coating for the regeneration of oral mucosa, Appl. Surf. Sci. Vol. 504, 2020, 144068. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.144068>
5. Большасов Е.Н., Эластичные интрамедуллярные имплантаты с остеоиндуктивными композиционными покрытиями на основе сополимера винилиденфторида с тетрафторэтиленом и гидроксипатита. Т.: автореферат, 2018, 22 с. http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/52876/1/thesis_tpu-2018-32.pdf
6. Кузнецова Д.С., П.С. Тимашев, Баграташвили В.Н., Е.В. Загайнова, Костные имплантаты на основе скаффолдов и клеточных систем в тканевой инженерии (обзор). Современные технологии в медицине (СТМ), 2014, том 6, №4, 201-212 с.
7. Gilbert, W. De Magnete, Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure (On the Magnet and Magnetic Bodies, and on That Great Magnet the Earth), London, Peter Short, 1628.