

персных полимеров / В.А. Довгяло, О.Р. Юркевич. – Минск : Навука і тэхніка. 1992. – 255 с.

2. Мачюлис, А.Н. Диффузионная стабилизация полимеров / А.Н. Мачюлис, Э.Э. Торнау. – Вильнюс : Минтис, 1974. – 256 с.

3. Композиционный материал для триботехнических покрытий : пат. RU 2219212 / В.А. Струк, Г.А. Костюкович, В.И. Кравченко, Е.В. Овчинников, М.М. Семеняко, И.Ю. Ларин. – Оpubл. 20.12.2003.

4. Композиционный триботехнический материал : пат. RU 2228347 / В.А. Струк, Г.А. Костюкович, В.И. Кравченко, Е.В. Овчинников, Д.И. Федоров. – Оpubл. 10.05.2004.

5. Способ формирования композиционных покрытий из силикатполимерных материалов : пат. RU 2332525 / В.А. Струк, В.И. Кравченко, Г.А. Костюкович, С.В. Авдейчик, Е.В. Овчинников, В.А. Лиопо, В.В. Клецко, М.А. Белоцерковский. – Оpubл. 10.11.2006.

6. Композиционный материал для триботехнических покрытий автоагрегатов : пат. ВУ 17434 / В. А. Струк, С. В. Авдейчик, Е.В. Овчинников, Г.А. Костюкович, В.И. Кравченко. – Оpubл. 30.08.13

УДК 691.175.5/8

И.С. Краева, асп.;

С.В. Фомин, канд. техн. наук, проректор;

Е.С. Широкова, канд. хим. наук, доц.

(ФГБОУ ВО «ВятГУ», г. Киров, Российская Федерация);

А.В. Касперович, канд. техн. наук, зав. кафедрой (БГТУ, г. Минск)

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И МОДИФИКАЦИИ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ ФТОРСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИМЕРОВ ДЛЯ МИКРОФИЛЬТРАЦИИ

Мембранные технологии находят применение для опреснения, подготовки и очистки воды в нефтехимической, фармацевтической, пищевой и других отраслях промышленности [1].

В настоящее время существует несколько подходов по повышению эффективности мембранных методов: создание новых разделительных аппаратов; создание новых материалов и получение мембран на их основе; направленная модификация существующих мембран.

Наиболее экономически выгодным и актуальным на сегодняшний день является последний метод. Модификацией мембран можно регулировать транспортные характеристики и управлять их физико-химическими свойствами. В зависимости от требуемых свойств модификация мембраны осуществляется несколькими способами: модифи-

кация полимерами и низкомолекулярными добавками различной природы, модификация неионогенными ПАВ, модификация мономерами с последующей полимеризацией или межфазной поликонденсацией. Мембраны могут быть дополнительно модифицированы прививкой полимера, плазменной обработкой, химическим окислением и функционализацией поверхности с помощью различных соединений [2]

Так использование мембран на основе поливинилиденфторида (ПВДФ) для очистки водных сред сталкивается с рядом ограничений, связанных с низким уровнем смачиваемости мембраны водными растворами, а также с ее биообрастанием, что ведет к засорению пор, снижению проницаемости и сокращению срока службы мембраны.

Преодолеть данные ограничения можно повысив гидрофильность поверхности мембран на основе ПВДФ. Поэтому целью работы является разработка технологии модификации поверхности мембран для микрофльтрации на основе ПВДФ и последующее подтверждение ее протекания. В качестве объектов исследования рассматривали поливинилиденфторид (ПВДФ) марки Ф-2М-Е (ООО «ГалоПолимер», Россия) в виде белого порошка (показатель текучести расплава 3,0-8,0 г/10 мин); диметилсульфоксид (ДМСО) (АО «Вектон», Россия) квалификации «химически чистый» (ХЧ), который представляет собой растворитель 4 класса опасности (температура плавления 18,55 °С).

Мембраны изготавливали из 25 масс.% раствора ПВДФ в ДМСО методом «замораживания» [4]. В термостойком стакане при температуре 60 °С в течение 2 часов с использованием магнитной мешалки (ES-6120, Россия) смешивали навески порошка ПВДФ и ДМСО для получения раствора заданной концентрации. Затем полученный раствор полимера охлаждали до температуры (23±2) °С. На предварительно обезжиренную четыреххлористым углеродом стеклянную подложку наносили раствор полимера. Далее стеклянную подложку с нанесенным раствором ПВДФ помещали в морозильную камеру (Pozis Paracels, Россия) на заранее охлажденную металлическую плиту для обеспечения лучшей теплопроводности и скорости охлаждения.

В работе [5] авторами установлено влияние концентрации раствора полимера и температуры замораживания на структуру пор и эксплуатационные характеристики мембран (толщина, пористость, прочность и удлинение при разрыве, пропускание по воде).

Модификация полученных мембран представляла собой активацию их поверхности раствором окислителя с целью образования гидроксильных групп. Раствор окислителя представлял собой смесь из концентрированной серной кислоты (ООО «Сигма ТЕК», Россия), квалификации «химически чистый», и медицинской перекиси водорода (АО «Вектон», Россия) в соотношении 1:3 концентрацией 20%.

Для облегчения смачиваемости мембран раствором окислителя, образцы предварительно обрабатывались этиловым спиртом. Далее образцы погружались в раствор окислителя при температуре $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ на 10, 20, 30 и 60 минут. После образцы промывались в дистиллированной воде и пятикратно погружались в этиловый спирт.

Для подтверждения присутствия гидроксильных групп на поверхности мембран проводили их обработку (3-аминопропил)триэтоксисиланом. Мембрану обрабатывали 1% раствором (3-аминопропил)триэтоксисилана в толуоле при 60°C . Затем промывали пятикратно в растворителях в следующей последовательности: толуол, этиловый спирт, дистиллированная вода, этиловый спирт.

Ожидается протекание реакция между гидроксильной группой и аминосиланом. Наличие аминогрупп в обработанных образцах было подтверждено методом нарушенного полного внутреннего отражения на ИК-Фурье спектрометре «Инфралюм ФТ-801» («СИМЕКС», Россия). На ИК-спектрах обнаружены полосы, соответствующие деформационным колебаниям связей N-H, в диапазоне $1580\text{--}1650\text{ см}^{-1}$.

С помощью энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного спектрометра EDX-720 («Shimadzu», Япония) подтверждено присутствие атомов кремния. Наблюдали пик в области энергии $1,740\text{ КэВ}$, который соответствует линии $K\alpha$ вторичного рентгеновского излучения атома Si. Полученные результаты подтверждают возникновение гидроксильных групп на поверхности мембран в результате обработки раствором окислителя.

Таким образом, обработка раствором окислителя – это простой и эффективный метод регулирования гидрофильности мембран на основе ПВДФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Aani, S. A.; Mustafa, T. N.; Hilal, N. Ultrafiltration Membranes for Wastewater and Water Process Engineering: A Comprehensive Statistical Review over the Past Decade. *J. Water Process Eng.* 2020, 35, 101241, doi:10.1016/J.JWPE.2020.101241.
2. Pal P. Chapter 1 - Introduction to membrane materials, processes, and modules // *Membrane-Based Technologies for Environmental Pollution Control*. 2020. P. 3–69. doi: 10.1016/B978-0-12-819455-3.00001-7
3. Ameduri, B. Copolymers of Vinylidene Fluoride with Functional Comonomers and Applications Therefrom: Recent Developments, Challenges and Future Trends. *Prog. Polym. Sci.* 2022, 101591, doi:10.1016/j.progpolymsci.2022.101591.
4. Широкова Е. С., Созинов П. А., Черепанова В. А., Елькин О. В., Фомин С. В., Козулин Д. А., Бушуев А. Н., Толстобров И. В., Краева И. С. «Зелёный» метод получения мембран для микрофильтрации

на основе поливинилиденфторида // Теоретическая и прикладная экология // теоретическая и прикладная экология Учредители: Вятский государственный университет, ООО Издательский Дом «КАМЕР-ТОН». – №. 4. – С. 64–70. doi:10.25750/1995-4301-2021-4-064-070.

5. Fomin, S., Shirokova, E., Kraeva, I., Tolstobrov, I., Bushuev, A., Yuzhanin, K., Ananchenko, B., Vetcher, A.A., Iordanskii, A. Effect of Polyvinylidene Fluoride Membrane Production Conditions on Its Structure and Performance Characteristics. *Polymers* 2022, 14, 5283. doi:10.3390/polym14235283.

УДК 678.7

В.А. Паль; Е.Н. Черезова, д-р хим. наук, проф.
(ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань, Российская Федерация)

ЭПОКСИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ВКЛЮЧАЮЩИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ПОЛЫЕ СТЕКЛЯННЫЕ МИКРОСФЕРЫ

Эпоксидные полимерные материалы широко применяют в различных областях промышленности [1]. Повышение требований к эпоксидным полимерным материалам и расширение областей их использования активизировало работы по поиску модификаторов, способных повысить прочностные свойства, водостойкость, снизить плотность [2].

Анализ литературных данных показал, что решением проблемы повышения прочности при ударе и снижения плотности является использование полых стеклянных микросфер. Для повышения трещиностойкости и прочности при изгибе, а также совместимости полимерной матрицы и наполнителя часто используются кремнийорганические соединения.

В данной работе в качестве компонентов полимерной матрицы использованы эпоксидная смола дианового типа марки ЭД-20 (ГОСТ 10587-84) и аминифенольный отвердитель марки АФ-2 (ТУ 2494-052-00205423-2004). В качестве наполнителя использованы полые стеклянные микросферы марки ПСМ-МШ с диаметром 10-80 мкм и плотностью 0,61 г/см³. В качестве кремнийорганического соединения был выбран продукт деструкции силоксановых резин производства ООО «Весто» (г. Казань) [3], модифицированный моноэтаноламинол. Эпоксидные полимеры испытывались на прочность при ударе (ГОСТ 4765-73), прочность при изгибе (ГОСТ 6806-73), адгезионную прочность к стальной подложке методом решетчатого надреза (ГОСТ 31149-2014), горючесть (ГОСТ 28157-2018, ГОСТ 30244-94).