

Установлено, что пленка имеет сложную топографию поверхности в виде отдельных областей, представляющих собой налипы. Выделяемая на поверхности вблизи пятен фактического контакта пластичная фазовая составляющая способствует залечиванию дефектов поверхности и улучшению условий трения, уменьшая тем самым вероятность образования задигов.

Работа проведена при поддержке проектов РФФИ (09-08-00901-а; 09-08-01148) и Гранта Президента Российской Федерации на поддержку ведущих научных школ России (проект НШ-169.2008.1).

Список использованных источников

1. Горячева, И. Г. Моделирование процессов образования пленки вторичных структур и исследование ее свойств / И. Г. Горячева, И. И. Курбаткин, Н. А. Буше // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2008. – Т. 74, № 4. – С. 51–58.

СТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРИСТОЙ ОСНОВЫ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПЛЕНКАМИ ЛЕНГМИОРА–БЛОДЖЕТТ

Г. Б. Мельникова¹, Г. К. Жавнерко², С. А. Чижик¹

¹*Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларуси,
Минск, Беларусь*

²*Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

Введение. Мембранные технологии широко используются в пищевой и фармацевтической промышленности. Мембраны применяются в установках для очистки воды [1], молочной продукции [2], концентрирования молочной сыворотки [2], а также для сохранения водорода [3] и разделения изотопов [4]. В настоящее время не в полной мере решен ряд проблем, связанных с сохранением исходной структуры полимерных мембран в процессе фильтрации, их незабываемостью и самоочисткой, устойчивостью в агрессивных средах и увеличением срока службы [5].

Для асимметричных мембран характерно увеличение скорости массопереноса за счет плотного тонкого верхнего слоя (толщиной до 0,5 мкм), который определяет скорость транспорта разделяемых веществ в процессах фильтрации. В таких мембранах пористый слой выполняет только функцию подложки [6]. В последнее время развитие получили методы сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ) для изучения структурных свойств мембран на нано- и микроуровне [7], использование которых представляется эффективным для сопоставления поведения мономолекулярных пленок на пористых носителях различной природы.

В работе методами СЗМ проведено исследование структурных характеристик поверхности исходных и модифицированных пленками Ленгмюра–Блоджетт (ЛБ) полисульфоновых пористых матриц и поливинилиденфторидовой мембраны (ПВДФ).

Методика исследования. В работе использовали полимерные материалы из полисульфона (ПС), полиметилметакрилата (ПММА), поли-4-винилпиридина (ПВП), латексные частицы и ПВДФ-мембрану (Millex HV, Millipore) с диаметром пор 0,45 мкм.

ПС пористую матрицу получали из 20 мас.% раствора ПС в диметилацетамиде методом полива на горизонтально расположенную стеклянную подложку. Затем одну серию высушенных полимерных матриц погружали – в дистиллированную воду температурой 13 °С, вторую серию матриц – в дистиллированную воду температурой 40 °С.

Пленки ЛБ наносили из водного раствора методом горизонтального осаждения на установке LT-103 (ОДО «Микротестмашины», Гомель). Для выделения пленок ЛБ использовали растворы 1 мг/мл ПВП, ПММА в хлороформе и ПВДФ в изопропанол. Пленку ПВП выделяли при поверхностном давлении 15, ПММА – 20, латексных частиц – 40 мН/м. ЛБ-покрытия, выделенные при вышеуказанных поверхностных давлениях, образуют плотноупакованную структуру на поверхности гидрофилизированного кремния.

В работе для исследования структуры образцов использовали атомно-силовой микроскоп (АСМ), модель НТ-206, со стандартными кремниевыми кантилеверами жесткостью 3 Н/м («MicroMash»). Изучение топографии поверхности проводили в контактном режиме работы АСМ. Размер пор определяли методом построения профиля по линии сканирования. Толщину покрытия измеряли с помощью увеличения нагрузки при сканировании области минимальной площади, т. е. методом «царапания дыры». Измерение упругих свойств осуществляли методом индентирования при температуре 20 °С. В качестве калибровочного материала была использована кремниевая пластина типа (111). Радиус закругления иглы определяли с помощью тестовой решетки TGT 01. Модуль упругости материалов рассчитывали по модели Герца [8]. Относительное среднеквадратичное отклонение значений модуля упругости не превышало 5,0%. Силу адгезии рассчитывали по модели Джонсона–Кенделла–Робертса (ДКР) [9].

Результаты и обсуждение. В результате проведенных исследований с помощью АСМ было установлено, что ПС-матрицы имеют пористую структуру с диаметром пор порядка 350 нм (рис. 1).

Значения силы адгезии, рассчитанные по ДКР-модели для ПС-матриц, выдержанных в воде при температурах 13 и 40 °С составляют 129,3 и 207,7 нН соответственно. Это свидетельствует о том, что данные матрицы являются гидрофильными. Модуль упругости, рассчитанный по данным индентирования, различается для двух матриц и составляет 44 и 36,2 МПа соответственно, т. е. механические свойства ПС зависят от температурной обработки водой, в которую полимер был погружен.

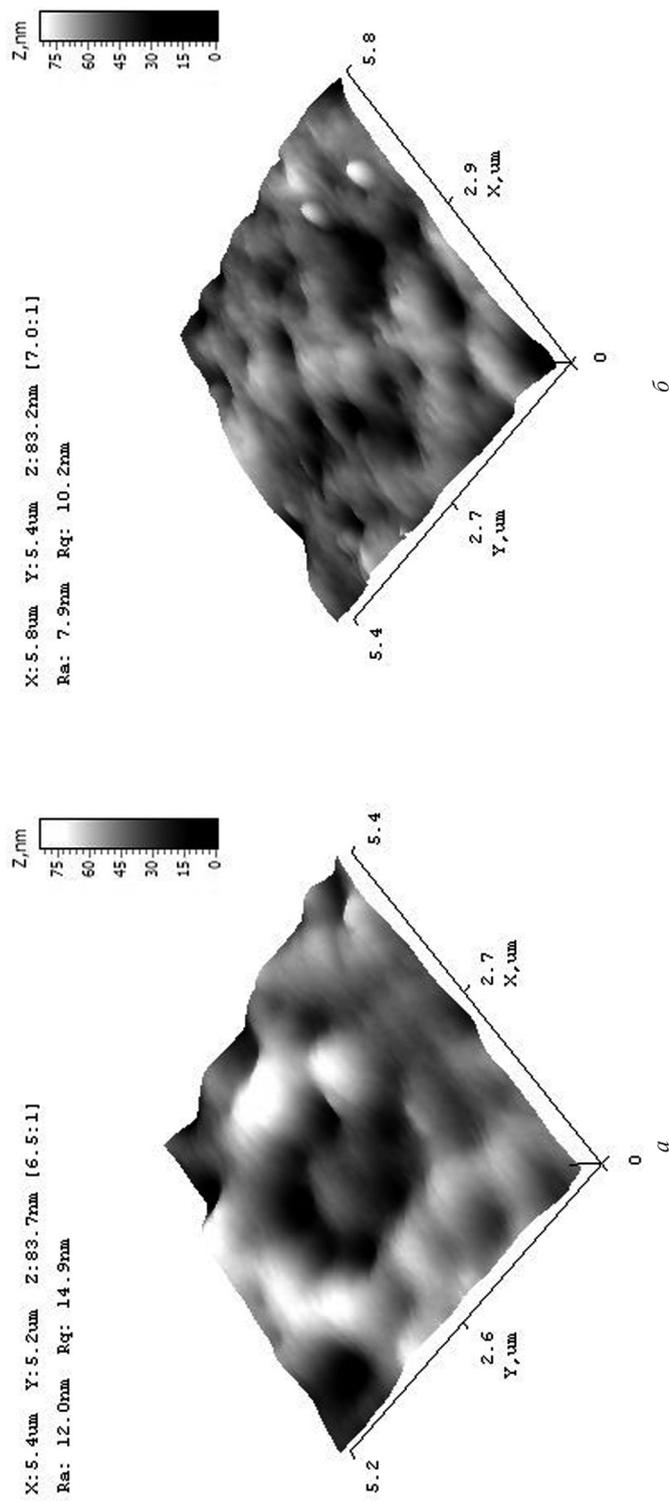


Рис. 1. Трехмерное АСМ-изображение топографии поверхности ПС матрицы после промывки в дистиллированной воде:
а – при температуре 13 °С; б – 40 °С

Толщина ЛБ-пленок ПММА, ПВП и латексных частиц на кремниевой подложке составляла 6, 20 и 30 нм соответственно. После нанесения ЛБ-пленок диаметр пор ПС-матрицы уменьшился до 150 нм (рис. 2).

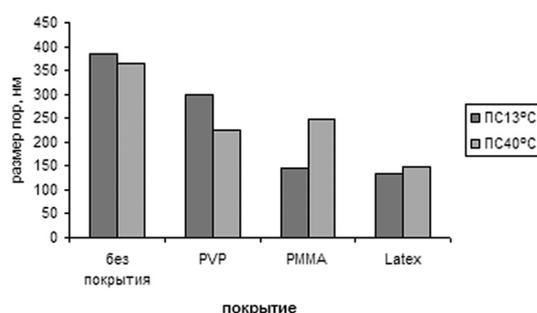


Рис. 2. Диаграмма изменения размера пор ПС-матриц после нанесения полимерного ЛБ-слоя

Структура поверхности модифицированных мембран представлена на рис. 3. Четко выраженные границы пор наблюдаются в случаях покрытия мембран монослоями и ПВП, и латексных частиц. Данные ЛБ-слои обволакивают структуру исходной матрицы, повторяя морфологию пористой подложки. В случае ПММА слой более плотный и «натянут» на поверхности пористой ПС-матрицы.

Покрытие ЛБ-полимерами придает ПС-матрицам гидрофобные свойства, так как сила адгезии пленок после модифицирования уменьшается, в наибольшей степени при покрытии ЛБ-слоем ПММА. В случае ПВДФ-мембраны покрытие ПММА не изменяет гидрофильные свойства поверхности (см. таблицу).

Значения модуля упругости и силы адгезии исследуемых образцов

Образец / Покрытие	ПС, 13 °С		ПС, 40 °С		ПВДФ		Кремниевая подложка	
	Е, МПа	F _{adh} , нН	Е, МПа	F _{adh} , нН	Е, МПа	F _{adh} , нН	Е, МПа	F _{adh} , нН
Без покрытия	44,0	129,3	36,2	207,7	16,3	23,7	—	—
ПВП	16,5	26,8	39,9	29,6	4,2	16,3	20,4	25,6
ПММА	0,5	3,3	1,7	11,0	8,6	23,4	3,0	89,5
Латексные частицы	42,6	19,5	26,7	46,6	9,1	30,5	62,7	38,8

Исходные ПС-мембраны обладают гидрофильными свойствами. Покрытие ЛБ-слоями ПВП или ПММА придает поверхности гидрофобные свойства, что является отрицательным фактором для использования мембран. В этом случае значения модуля упругости уменьшились в несколько раз (см. табл.).

Таким образом, показано, что в зависимости от типа исходной матрицы и полимера, используемого для модифицирования поверхности методом горизонтального осаждения, можно создавать мембраны с определенным размером пор и механическими свойствами.

Заключение. В настоящей работе показано, что модифицирование поверхности пористой полимерной матрицы ЛБ-слоями позволяет создавать новые мембраны с необходимыми свойствами и структурами, и, таким образом,

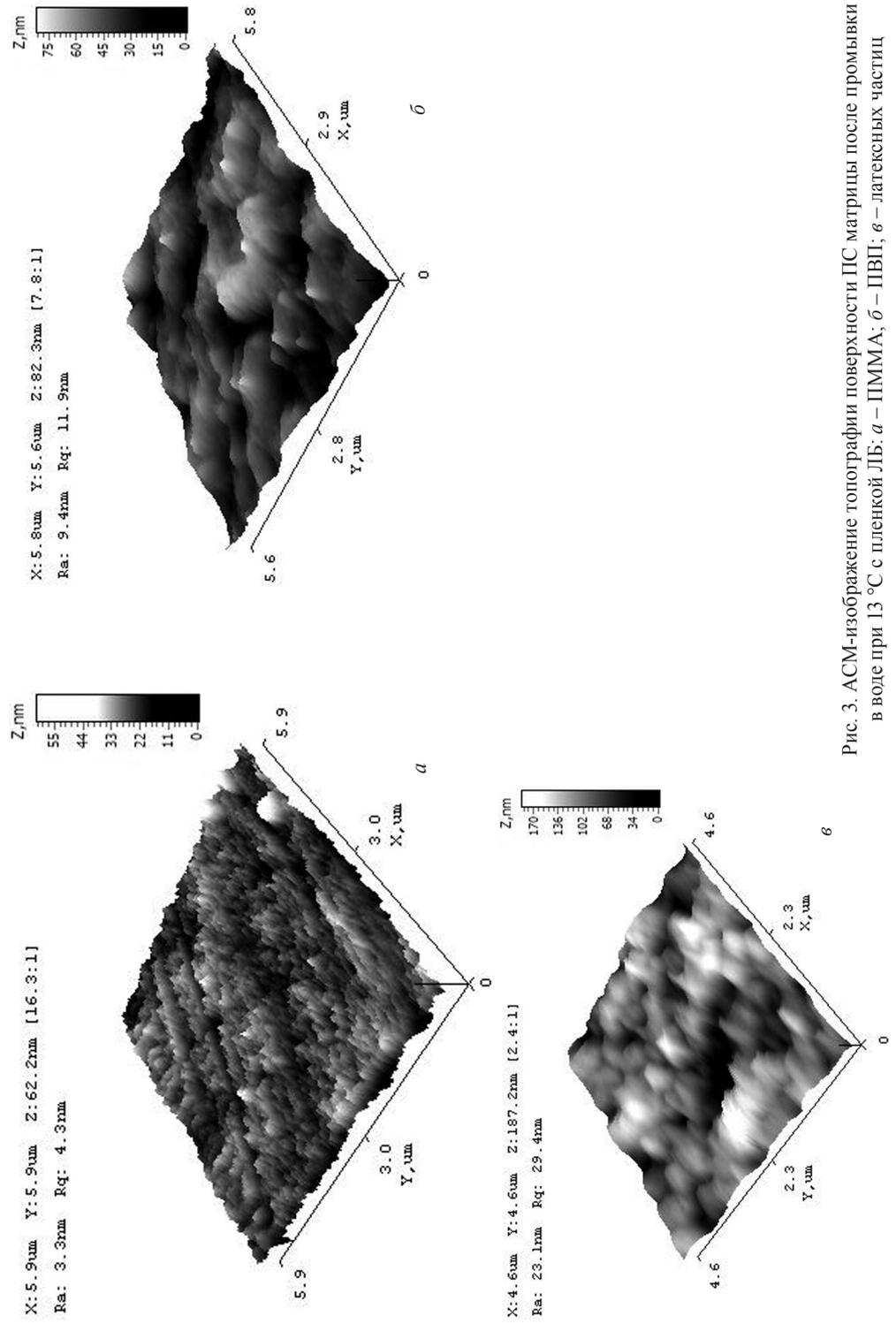


Рис. 3. АСМ-изображение топографии поверхности ПС матрицы после промывки в воде при 13 °С с пленкой ЛБ: *a* – ПММА; *b* – ПВИ; *e* – латексных частиц

расширить область применения полимерных мембран. Перспективным является изучение характеристик пористых мембран на нано- и микроуровне методами СЗМ. Данные методы являются достаточно простыми в исполнении, автоматизированными, точными, а также позволяют более детально и подробно изучать мембранные процессы разделения.

Работа выполнена в рамках программы «Нанотехнология СТ», задание 4.1.3.

Список использованных источников

1. Новые тенденции в разработке современных наночисточных систем / А. Г. Первов [и др.] // Серия. Критические технологии. Мембраны. – 2005. – № 1 (25). – С. 17–34.
2. Применение электролиза для получения регенерационных растворов в ионообменном процессе деминерализации молочной сыворотки / В. В. Шаталов [и др.] // Серия. Критические технологии. Мембраны. – 2003. – № 3 (19). – С. 38–40.
3. Высокотемпературные каталитические мембранные реакторы для процессов с участием водорода / О. К. Алексеева [и др.] // Серия. Критические технологии. Мембраны. – 2003. – № 3 (19). – С. 20–31.
4. Крысинская, Н. В. Обработка жидких радиоактивных отходов методом перапарации // Н. В. Крысинская, А. В. Варезкин // Серия. Критические технологии. Мембраны. – 2005. – № 4 (28). – С. 16–20.
5. Федоренко, В. И. Ингибирование осадкообразования в установках обратного осмоса / В. И. Федоренко // Серия. Критические технологии. Мембраны. – 2003. – № 2 (18). – С. 23–30.
6. Мулдер, М. Введение в мембранную технологию / М. Мулдер; под ред. Ю. П. Ямпольского, В. П. Дубяги. – М.: Мир, 1999. – 573 с.
7. Исследование состояния поверхности мембранных материалов методами сканирующей зондовой микроскопии / А. Н. Зяблов [и др.] // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2008. – Т. 8, вып. 5. – С. 863–868.
8. Micromechanical properties of elastic polymeric materials as probed by scanning force microscopy / S. A. Chizhik [et al.] // *Langmuir* – 1998. – № 14. – P. 2606–2609.
9. Механика дискретного фрикционного контакта / А. И. Свириденко [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1990. – 272 с.

MICRO- AND NANOSCALE WEAR STUDIES OF HDD SLIDE BEARINGS BY ATOMIC FORCE MICROSCOPY

S. Chizhik¹, A. Khudoley¹, T. Kuznetsova¹, K. Wierzcholski², A. Mischczak³

¹*A. V. Lykov Institute of Heat and Mass Transfer of the NASB,
Minsk, Republic of Belarus*

²*Technical University of Koszalin, Institute of Mechatronics,
Nanotechnology and Medical Bioengineering PL75-620, Koszalin, Poland*

³*Gdynia Maritime University, Gdynia, Poland*

World wide research analysis. Intensive development of scientific research in the field of operating problems for friction micro pair, micro joints and especially hydrodynamic theory of lubrication of slide or rolling micro-bearing systems, and even nano-bearings is established in the last seven years beyond the European Union