

Рисунок 2 – Зависимость емкости сформированных покрытий от частоты в 20 мМ растворе NiSO₄ (время выдерживания датчика 10 мин)

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственной программы научных исследований на 2021–2025 гг. «Энергетические и ядерные

процессы и технологии», подпрограммы «Энергетические процессы и технологии» (задание 2.25).

Литература

1. Heavy metal ion detection using a capacitive micro-mechanical biosensor array for environmental monitoring / G. Tsekis [et al.] // *Sensors and Actuators B: Chemical*. – 2015. – Vol. 208. – P.628–635.
2. Rotake, D. Heavy Metal Ion Detection in Water using MEMS Based Sensor / D. Rotake, A. D. Darji // *Materials Today: Proceedings*. – 2018. – Vol. 5. – P. 1530–1536.
3. Resistive and capacitive strain sensors based on customized compliant electrode: Comparison and their wearable applications / T. Dong [et al.] // *Sensors and Actuators A: Physical*. – 2021. – Vol. 326. – P. 112720.
4. A dielectric coating for improved performance of capacitive sensors in allpolymer microfluidic devices / C. Ofenzeller [et al.] // *Microelectronic Engineering*. – 2020. – Vol. 223. – P. 111220.

УДК 621.7.620.186

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ БОРА В ПОКРЫТИИ Al-Cr-B-N НА МОРФОЛОГИЮ И ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ

Лапицкая В.А.^{1,2}, Кузнецова Т.А.^{1,2}, Хабарова А.В.¹, Чижик С.А.^{1,2}, Вархолински Б.³, Гилевич А.³

¹Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси

²Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

³Кошалинский технологический университет

Кошалин, Польша

Аннотация. С помощью атомно-силовой микроскопии проведены исследования влияния содержания бора в покрытии Al-Cr-B-N на морфологию, шероховатость и силу адгезии поверхности. На поверхности покрытия без бора присутствует большое количество частиц и конгломератов. Добавление в покрытие бора (10 и 20 %) приводит к увеличению размеров ячеек на поверхности покрытия, снижению количества частиц, росту шероховатости и силы адгезии.

Ключевые слова: покрытие AlCrBN, катодно-дуговое испарение, концентрация, бор, морфология, шероховатость.

INFLUENCE OF BORON CONCENTRATION IN Al-Cr-B-N COATING ON MORPHOLOGY AND SURFACE ROUGHNESS

Lapitskaya V.^{1,2}, Kuznetsova T.^{1,2}, Khabarava A.¹, Chizik S.^{1,2}, Warcholinski B.³, Gilewicz A.³

¹A.V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute of the National Academy of Science of Belarus

²Belarusian National Technical University

Minsk, Republic of Belarus

³Koszalin Technological University

Koszalin, Poland

Abstract. Atomic force microscopy was used to study the influence of the boron content in the Al-Cr-B-N coating on the morphology, roughness, and adhesion force of the surface. A large number of particles and conglomerates are present on the surface of the coating without boron. The addition of boron to the coating (10 and 20%) leads to an increase in the cell size on the coating surface, a decrease in the number of particles, and an increase in roughness and adhesion strength.

Key words: AlCrBN coating, cathode-arc evaporation, concentration, boron, morphology, roughness.

Адрес для переписки: Лапицкая В.А., ул. П. Бровки, 15, Минск 220072, Республика Беларусь
e-mail: vasilinka.92@mail.ru

Введение. Нитриды переходных металлов обладают хорошими механическими и трибологическими свойствами, а также коррозионной стойко-

стью. Такие покрытия нашли широкое промышленное применение в качестве защитных покрытий. Наиболее известны покрытия на основе

хрома и титана. Двухкомпонентные покрытия, такие как CrN, вероятно, являются одними из наиболее широко используемых, однако отраслевые требования заставляют внедрять новые покрытия с еще лучшими характеристиками. Можно улучшить свойства покрытий, изменив их химический состав путем легирования металлическими (Ti, Al, V) или неметаллическими элементами (Si, B) [1–4]. В зависимости от концентрации алюминия покрытие Al-Cr-N может находиться в двух структурах: в метастабильной структуре B1 (ГЦК) CrN или в термодинамически стабильной структуре B4 AlN [1].

Особый интерес представляют четвертичные системы Al-Cr-N с титаном [2], кремнием [6] или бором [5]. Наличие бора уменьшает размер кристаллитов в покрытии, уменьшает параметр решетки [7] и улучшает их механические свойства [5].

Целью данной работы являлось исследование морфологии поверхности и шероховатости покрытий AlCrBN методом атомно-силовой микроскопии.

Материалы и методы исследования. С использованием установки TINA 900 M и метода катодно-дугового испарения наносились покрытия AlCrBN толщиной $4,4 \pm 0,1$ мкм на стальные подложки HS6-5-2 диаметром 32 мм и толщиной около 3 мм. Предварительно подложки полировали (параметр шероховатости R_a около 0,02 мкм) и подвергали промывке в щелочной ультразвуковой ванне. Для улучшения адгезии покрытия к подложке, на подложку наносили тонкий слой хрома толщиной около 100 нм. При нанесении покрытий использовалась реакционная атмосфера чистого азота с давлением 4 Па, напряжение смещения на подложке -100 В, ток дуги 80 А. Покрытия были следующие: Al₇₀Cr₃₀N, Al₅₀Cr₅₀N, Al₆₀Cr₃₀B₁₀N и Al₅₀Cr₃₀B₂₀N.

Морфологию и шероховатость поверхности покрытий AlCrBN проводили на атомно-силовом микроскопе (АСМ) Dimension FastScan (Bruker, США) в режиме PeakForce QNM. Использовались стандартные кремниевые кантилеверы типа MPP21100-10 (Bruker, США) с радиусами закругления острия 10 нм, с жесткостью консоли 3 Н/м.

Результаты исследования. Результаты исследования морфологии поверхности покрытий на полях 3 мкм^2 приведены на рис. 1. У всех покрытий поверхность состоит из ячеек размером от 0,1 до 1,0 мкм. На поверхности покрытия Al₇₀Cr₃₀N также присутствует огромное количество частиц и конгломератов. Сила адгезии поверхности данного покрытия наименьшая по сравнению с другими исследуемыми покрытиями (таблица 1), а шероховатость при этом наибольшая. При увеличении концентрации хрома в покрытии (Al₅₀Cr₅₀N) количество частиц на поверхности значительно уменьшается.

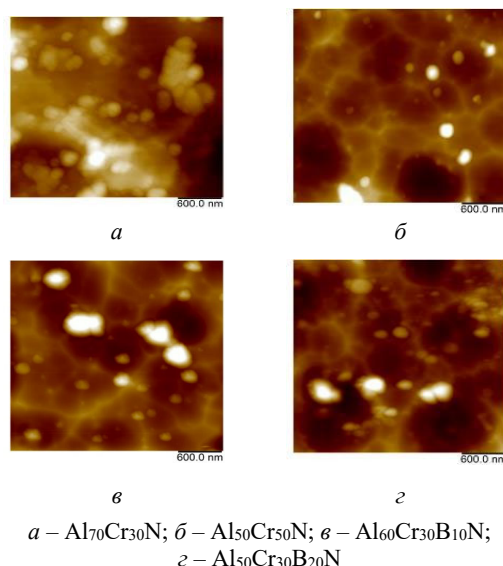


Рисунок 1 – АСМ-изображения (3 мкм^2) поверхности покрытий AlCrBN

Таблица 1. Шероховатость и адгезия поверхности покрытий

Покрытие	R_a , нм	R_q , нм	R_z , нм	$F_{адг}$, нН
Al ₇₀ Cr ₃₀ N	34 ± 2	43 ± 2	167 ± 8	$4,9 \pm 0,2$
Al ₅₀ Cr ₅₀ N	15 ± 1	21 ± 1	43 ± 2	$16,9 \pm 0,8$
Al ₆₀ Cr ₃₀ B ₁₀ N	22 ± 1	32 ± 2	92 ± 5	$16,5 \pm 0,8$
Al ₅₀ Cr ₃₀ B ₂₀ N	29 ± 2	38 ± 2	100 ± 5	$17,5 \pm 0,9$

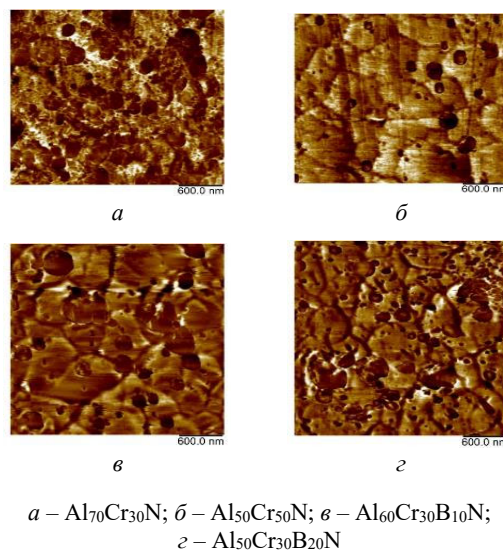


Рисунок 2 – АСМ-изображения (3 мкм^2) поверхности покрытий AlCrBN в режиме адгезионных сил

При сравнении покрытий с различной концентрацией бора (10 и 20 %) получено следующее: происходит увеличение размеров ячеек на поверхности (рис. 1, *v* и *z*), увеличивается шероховатость и сила адгезии поверхности (табл. 1). При анализе изображений поверхности покрытий, полученных в адгезионном контрасте, установлено, что частицы на поверхности и границы ячеек покрытия обладают наименьшей адгезией (рис. 2).

Заключение. Проведены исследования морфологии, шероховатости и силы адгезии поверхности покрытий AlCrN с различным содержанием бора.

Добавление бора приводит к росту шероховатости и силы адгезии поверхности. Увеличение содержания бора с 10 до 20 % приводит к увеличению размеров ячеек на поверхности покрытия системы AlCrBN.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского фонда фундаментальных исследований № T21MC-029 и T22M-006.

Литература

1. Investigation of the properties of Al_{1-x}Cr_xN coatings prepared by cathodic arc evaporation / A. E. Reiter [et al.] // Surface and Coatings Technology. – 2005. – Vol. 200. – P. 2114–2122.
2. Tribological and cutting performance of TiAlCrN films with different Cr contents deposited with multilayered

structure / F. Fernandes [et al.] // Tribology International. – 2018. – V. 119. – P. 345–353.

3. Corrosion and wear behaviors of PVD CrN and CrSiN coatings in seawater / L. Shan [et al.] // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. – 2016. – Vol. 26. – P. 175–184.

4. Synthesis–structure–property relations for Cr-B-N coatings sputter deposited reactively from a Cr-B target with 20 at% B / K. P. Budna [et al.] // Vacuum. – 2008. – Vol. 82. – P. 771–776.

5. Microstructure and mechanical properties of nanocrystalline Al-Cr-B-N thin films / C. Tritremmel [et al.] // Surface and Coatings Technology. – 2012. – Vol. 213. – P. 1–7.

6. Tritremmel, C. Influence of Al and Si content on structure and mechanical properties of arc evaporated Al-Cr-Si-N thin films / C. Tritremmel [et al.] // Surface and Coatings Technology. – 2016. – Vol. 307. – P. 118–124.

7. Effects of boron contents on microstructures and microhardness in Cr_xAl_yN films synthesized by cathodic arc method / T. Sato [et al.] // Surface and Coatings Technology. – 2006. – Vol. 201. – P. 348–351.

УДК 539.23; 66.081.6

СЕЛЕКТИВНЫЕ СЛОИ НА ОСНОВЕ ПЛЕНОК ЛЕНГМЮРА–БЛОДЖЕТТ С АНИОННЫМИ КРАСИТЕЛЯМИ НА ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТНЫХ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН

Мельникова Г.Б.¹, Сапсалёв Д.В.^{1,2}, Толстая Т.Н.¹, Чижик С.А.^{1,3}, Корольков И.В.⁴, Здоровец М.В.⁴

¹Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси

²Белорусский государственный педагогический университет имени М. Танка

³Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

⁴Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева

Нур-Султан, Республика Казахстан

Аннотация. Методом атомно-силовой микроскопии изучены структурные и локальные механические характеристики пленок Ленгмюра–Блоджетт перфтордекановой кислоты на поверхности полиэтилентерефталатных трековых мембран. Определены оптимальные условия модификации сформированных покрытий анионным красителем ксиленоловым оранжевым для создания мембран, имеющих перспективы применения в анализе содержания катионов металлов при фильтрации водных растворов.

Ключевые слова: полиэтилентерефталатные трековые мембраны, ксиленоловый оранжевый, перфтордекановая кислота, атомно-силовая микроскопия, метод Ленгмюра–Блоджетт.

SELECTIVE LAYERS BASED ON LANGMUIR–BLODGETT FILMS WITH ANIONIC DYES ON THE SURFACE OF POLYETHYLENE TEREPHTHALATE TRACK MEMBRANES

Melnikova G.¹, Sapsaliou D.^{1,2}, Tolstaya T.¹, Chizhik S.^{1,3}, Korolkov I.⁴, Zdorovets M.⁴

¹A.V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute, National Academy of Sciences of Belarus

²Belarusian State Pedagogical University named after Maxim Tank

³Belarusian National Technical University

Minsk, Republic of Belarus

⁴L.N.Gumilyov Eurasian National University

Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan

Abstract. The structural and local mechanical characteristics of Langmuir–Blodgett films of perfluorodecanoic acid on the surface of polyethylene terephthalate track membranes have been studied by atomic force microscopy. The optimal conditions for modifying the formed coatings with the anionic dye xylenol orange were determined to create membranes that have prospects for application in the analysis of the content of metal cations in the filtration of aqueous solutions.

Key words: polyethylene terphthalate track-etched membranes, xylenol orange, perfluorodecanoic acid, atomic force microscopy, Langmuir–Blodgett method.

Адрес для переписки: Мельникова Г.Б., ул. П. Бровки, 15, Минск 220072, Республика Беларусь
e-mail: galachkax@gmail.com