

А.В. Калютик, студ. (БГУ, г. Минск);  
А.Е. Соломянский, вед. науч. сотр., доц., канд. хим. наук  
(ИХНМ НАН Беларуси, г. Минск)

## КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИУРЕТАНА

Полиуретан является эффективным материалом для антикоррозионной защиты металлических поверхностей [1, 2]. Тонкопленочные полиуретановые покрытия характеризуются атмосферо-, абразиво- и термостойкостью, а также высокой адгезией к углеродистой стали [1, 2]. В настоящее время осуществляется поиск эффективных подходов для создания композиционных материалов, состоящих из полимерных гибких матриц-носителей с микро- и нанодобавками проводящих полимеров, допированных наночастицами металлов и их оксидов, что позволяет получать композитные материалы на основе полиуретана с значительно улучшенными эксплуатационными свойствами [1-3]. В качестве противокоррозионных компонентов полиуретановых покрытий, актуально использование электропроводящих полимеров, в частности полианилина (ПАНИ) [3]. Противокоррозионное действие, которого обусловлено наличием высокого положительного электродного потенциала, что, в комплексе с его каталитической редокс-активностью, определяет возможность анодной пассивации стали [3]. К достоинствам ПАНИ относится доступность исходных веществ для синтеза, а также возможность его использования для модификации наночастиц оксида цинка [1, 3]. Оксид цинка может значительно улучшить функциональные свойства полиуретановой матрицы с ПАНИ благодаря увеличению электропроводности проводящего полимера [1, 3].

Целью настоящего исследования является получение композиционных покрытий из полиуретана, наночастиц оксида цинка и ПАНИ, а также исследование их смачиваемости и трибологических свойств.

Покрытия из полиуретана (ПУ) толщиной  $30 \pm 3$  мкм формировали на стальных пластинах прямоугольной формы площадью  $24 \text{ см}^2$  (марка стали 35) из гидроксилсодержащего полиакрилата и алифатического полиизоционата (Nippon Polyurethane Industry, Япония) методом центрифугирования. Наночастицы ZnO синтезировали из ацетата цинка и гидроксида калия (соотношение реагентов 1:4). Нанокompозиты ZnO-ПАНИ получали методом химической окислительной полимеризации in-situ при  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  в течение 4 часов. Оксид цинка смешивали с анилином и добавляли персульфат аммония. Покрытия ПУ с ZnO-

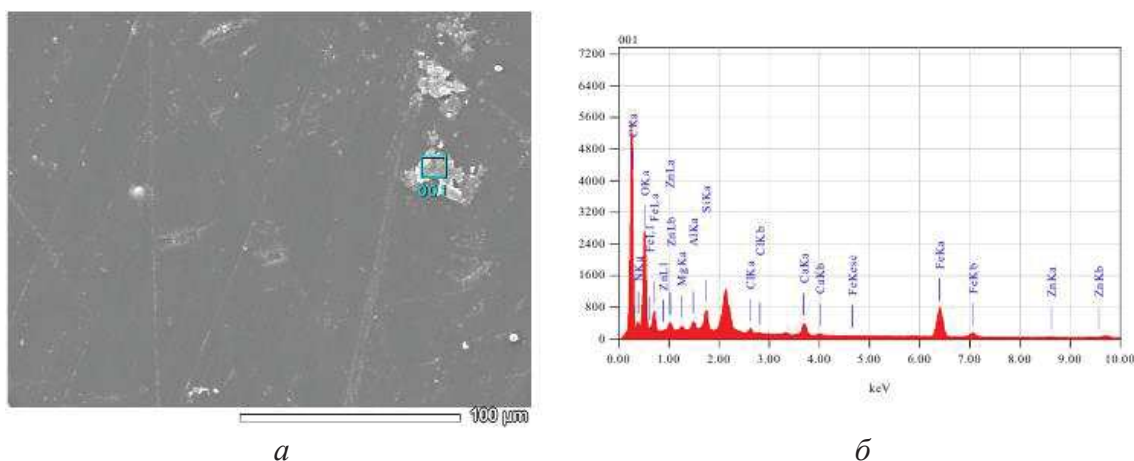
ПАНИ формировали аналогично слоям ПУ, предварительно диспергируя наноккомпозит ZnO-ПАНИ в полиизоционате. Толщина полученных покрытий ПУ с ZnO-ПАНИ также составляла  $30 \pm 3$  мкм.

Триботехнические испытания образцов в паре трения сталь 95X18 (сфера) – сталь 35 (плоскость) осуществляли на микротрибometре возвратно-поступательного типа. Условия тестирования: приложенная нагрузка: 1 Н, индентор – стальной шарик диаметром 3 мм, длина хода индентора в одном направлении 3 мм, в цикле (в прямом и обратном направлениях) – 6 мм, его линейная скорость 4 мм/с. Граничные условия проведения эксперимента повреждение стальных поверхностей при коэффициентах трения  $0,46 - 0,6$ .

Морфологию образцов изучали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на приборе JSM6000 (JEOL, Япония) с ускоряющим напряжением электронов 15 кВ после напыления Au на образцы для предотвращения их зарядки электронным лучом. Для анализа элементного состава покрытий использовали спектрометр EX-230\*\*BU.

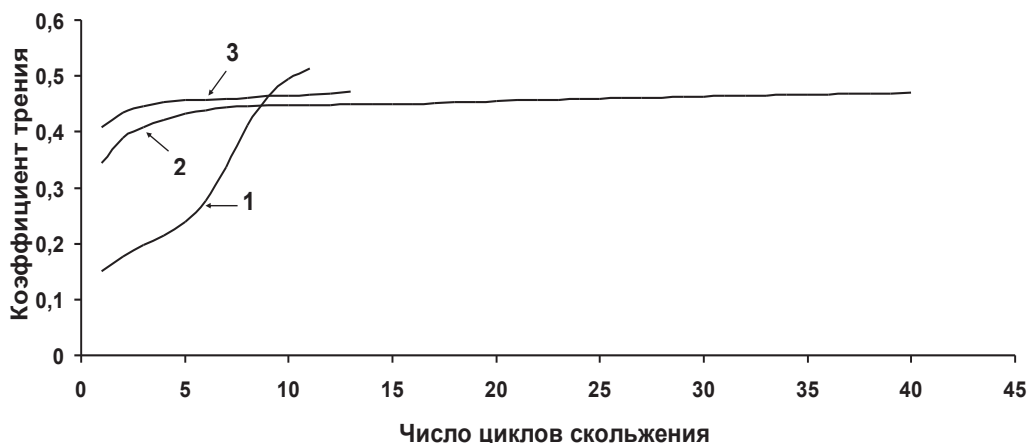
Краевой угол смачивания (КУС) водой образцов измеряли методом «неподвижной» капли. Изображения капли дистиллированной воды объемом 3 мкл на поверхности покрытий получали с помощью микрокамеры DigiMicroscope и определяли КУС с использованием программного обеспечения «ImageJ», содержащим плагин определения КУС по профилю.

Покрытия ПУ с ZnO-ПАНИ содержат в своей структуре агломераты частиц оксида цинка (Рисунок 1). По этой причине значения КУС стальной поверхности с таким покрытием уменьшается с  $86,7^\circ \pm 1,3^\circ$  до  $76,3^\circ \pm 1,4^\circ$ .



**Рисунок 1 – СЭМ изображение (а) и элементный анализ (б) покрытий ПУ с ZnO-ПАНИ, сформированных на поверхности стали 35 методом центрифугирования**

В условиях трибоиспытаний повреждение стальной подложки происходит после 9 циклов скольжения (Рисунок 2, кривая 1). При тестировании образцов сталь/ПУ и сталь/ПУ с ZnO-ПАНИ увеличение коэффициента трения ( $k_f$ ) до значений больше 0,46 отмечается после 25 и 10 циклов скольжения соответственно (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Зависимость коэффициента трения от числа циклов скольжения: 1 – стальная поверхность, 2 – сталь/ПУ, 3 – сталь/ПУ с ZnO-ПАНИ**

**Закключение.** Установлено, что покрытие ПУ с наноккомпозитом ZnO-ПАНИ уменьшает значение КУС стальной поверхности с  $86,7^{\circ} \pm 1,3^{\circ}$  до  $76,3^{\circ} \pm 1,4^{\circ}$  и увеличивает коэффициент трения стали с 0,15 до 0,40. Данные покрытия могут быть использованы для защиты от коррозии металлических конструкций различного функционального назначения.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, договор №X24BA-003*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Н.М.С.С. Somarathna, S.N. Raman, D. Mohotti, A.A. Mutalib, K.H. Badri The use of polyurethane for structural and infrastructural engineering applications: A state-of-the-art review //Construction and Building Materials – 2018. Vol. 190 – P. 995–1014S.
2. Z Xu, H Yu, T Fang, M Zhang, J Liu, X Tan Preparation and anti-corrosion performance of nano Polyaniline/Polyurethane interpenetrating network composite coating// Polymer International. – 2023 <https://doi.org/10.1002/pi.6577>
3. S Jakhmola, S Das, K Dutta Emerging research trends in the field of polyurethane and its nanocomposites: Chemistry, Synthesis, Characterization, Application in coatings and Future perspectives // J Coat Technol Res – 2023. <https://doi.org/10.1007/s11998-023-00841-z>.