

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2021-7-4-68-72>

УДК 678.686:678.043.53

ЗАЩИТНЫЕ БИСЛОЙНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ И КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

А. Е. СОЛОМЯНСКИЙ¹⁺, И. Г. ЧИШАНКОВ¹, В. М. АКУЛОВА¹, Г. Б. МЕЛЬНИКОВА², Ю. В. МАТВЕЕНКО¹, А. А. РОГАЧЕВ¹, ТУЙ ДУОНГ НГУЕН³, КЕ ОАН ВУ³, ГИА ВУ ПХАМ³, ДАЙ ЛАМ ТРАН³, ТХИ СУАН ХАНГ ТО³

¹Институт химии новых материалов НАН Беларуси, ул. Ф. Скорины, 36, 220141, г. Минск, Беларусь

²Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, ул. П. Бровки, 15, 220072, г. Минск, Беларусь

³Институт тропических технологий, Hoang Quoc Viet St., 18, 100000, г. Ханой, Вьетнам

Цель работы — изучить влияние обработки поверхности эпоксидного покрытия олигометилсилоксановой смолой или олигомерами гептадекафтортетрагидродецилтриэтоксисилана на повышение гидрофобности и улучшение его антифрикционных свойств.

Получены двухслойные покрытия на углеродистой стали 35. Слои олигомеров гидролизованного гептадекафтортетрагидродецилтриэтоксисилана (GFS) и олигометилсилоксановой смолы (OMES) наносили центрифугированием на эпоксидное покрытие (EP) толщиной 30 микрон на основе 4,4'-(пропан-2,2-диил)-дифенола. Изучены морфология, смачиваемость и трибологические свойства полученных покрытий.

Масса ОМЭС и СТС, адсорбированных на ЭК, оцененная гравиметрическим методом, составляет 6 г/м² и 4 г/м² соответственно. Установлено, что обработка поверхности ЭК кремнийорганическими соединениями увеличивает ее гидрофобность и снижает коэффициент трения. Углы смачивания водой ЕС, слоев ОМЭС и HFS составляют: 84°, 87° и 116° соответственно. Использование фторсилана также увеличивает олеофобность ЭК. Угол смачивания ЭК гексадеканом после его модификации HFS увеличивается с 6° до 77°.

В узле трения сталь 95Х18 (сфера)–сталь 35 (плоскость) при нормальной нагрузке 1 Н (микро-трибометр возвратно-поступательный, диаметр индентора 3 мм, его линейная скорость 4 мм/с, длина хода 3 мм) ОМЭС остается в рабочем состоянии. площадь контакта поверхностей на 10 000 циклов скольжения, предотвращающая их износ. Коэффициент трения ЭК снижается с 0,22 до 0,11 и 0,03 после обработки олигомерами HFS и OMES соответственно.

Полученные антифрикционные и/или гидрофобные покрытия могут быть использованы для защиты прецизионных узлов трения и металлических конструкций различного функционального назначения.

Ключевые слова: эпоксидные покрытия, олигометилсилоксановая смола, фторсиланы, гидрофобность, трибометр.

PROTECTIVE BILAYER COATINGS BASED ON EPOXY RESIN AND ORGANIC SILICON COMPOUNDS

A. E. SALAMIANSKI¹⁺, I. G. CHISHANKOV¹, V. M. AKULOVA¹, G. B. MELNIKOVA², Y. V. MATVEENKO¹, A. A. ROGACHEV¹, THUY DUONG NGUYEN³, KE OANH VU³, GIA VU PHAM³, DAI LAM TRAN³, THI XUAN HANG TO³

¹Institute of Chemistry of New Materials, National Academy of Sciences of Belarus, F. Skorini St., 36, 220141, Minsk, Belarus

²A. V. Lykov Heat and Mass Transfer Institute, National Academy of Sciences of Belarus, P. Brovki St., 15, 220072, Minsk, Belarus

³Institute for Tropical Technology, Hoang Quoc Viet St., 18, Cau Giay District, 100000, Hanoi, Vietnam

⁺Автор, с которым следует вести переписку. E-mail: solasy@mail.ru

The aim of the work is to investigate the effect of surface treatment of an epoxy coating with oligomethylsiloxane resin or oligomers of heptadecafluorotetrahydrodecyltriethoxysilane on increasing hydrophobicity and improving its antifriction properties.

Bilayer coatings on carbon steel 35 were obtained. Layers of oligomers of hydrolyzed heptadecafluorotetrahydrodecyltriethoxysilane (GFS) and oligomethylsiloxane resin (OMES) were applied by centrifugation to the epoxy coating (EP) with 30 microns thick based on 4,4'-(propane-2,2-diyl)-diphenol. The morphology, wettability and tribological properties of the obtained coatings have been studied.

The mass of OMES and HFS adsorbed on EC, estimated by the gravimetric method, is 6 g/m² and 4 g/m², respectively. It was found that the treatment of the EC surface with silico-organic compounds increases its hydrophobicity and decreases the friction coefficient. The water contact angles of EC, layers of OMES and HFS are: 84°, 87° and 116°, respectively. The use of fluorosilane also increases the oleophobicity of the EC. The hexadecane contact angle of EC after its modification with HFS increases from 6° to 77°.

In a friction unit steel 95X18 (sphere)–steel 35 (plane) under normal load of 1 N (a reciprocating microtribometer, indenter diameter 3 mm, its linear velocity 4 mm/s, stroke length 3 mm) OMES remains in the contact area of the surfaces for 10,000 sliding cycles preventing their wear. The friction coefficient of the EC decreases from 0.22 to 0.11 and 0.03 after its treatment with HFS oligomers and OMES, respectively.

The obtaining anti-friction and/or hydrophobic coatings can be used for protection of precision friction units and metal structures for various functional purposes.

Keywords: epoxy coatings, oligomethylsiloxane resin, fluorosilanes, hydrophobicity, tribometer.

Поступила в редакцию 27.10.2021

© А. Е. Соломянский, И. Г. Чишанков, В. М. Акулова, Г. Б. Мельникова, Ю. В. Матвеевко, А. А. Рогачев, Туй Дуонг Нгуен, Ке Оан Ву, Гиа Ву Пхам, Дай Лам Тран, Тхи Суан Ханг То, 2021

Для приобретения полного текста статьи, обращайтесь в [редакцию журнала](#)
Full text of articles can be purchased from the editorial office

Адрес редакции: ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь
Телефон/факс: +375 (232) 34 06 36 / 34 17 11

Address: Kirov St., 32a, 246050, Gomel, Belarus
Phone: +375 (232) 34 06 36. Fax: +375 (232) 34 17 11

E-mail: polmattex@gmail.com
Web: <http://mpri.org.by/izdaniya/pmt/>

Образец цитирования:

Соломянский А. Е., Чишанков И. Г., Акулова В. М., Мельникова Г. Б., Матвеевко Ю. В., Рогачев А. А., Туй Дуонг Нгуен, Ке Оан Ву, Гиа Ву Пхам, Дай Лам Тран, Тхи Суан Ханг То. Защитные бислойные покрытия на основе эпоксидной смолы и кремнийорганических соединений // Полимерные материалы и технологии. 2021. Т. 7, № 4. С. 68–72. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2021-7-4-68-72>

Citation sample:

Solomyanskiy A. E., Chishankov I. G., Akulova V. M., Mel'nikova G. B., Matveenko Yu. V., Rogachev A. A., Tuy Duong Nguen, Ke Oan Vu, Gia Vu Pkham, Day Lam Tran, Tkhi Suan Khang To. Zashchitnye bisloynnye pokrytiya na osnove epoksidnoy smoly i kremniyorganicheskikh soedineniy [Protective bilayer coatings based on epoxy resin and organic silicon compounds]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2021, vol. 7, no. 4, pp. 68–72. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2021-7-4-68-72>

Литература

1. Xiong G., Kang P., Zhang J., Li B., Yang J., Chen G., Zhou Z., Li Q. Improved adhesion, heat resistance, anticorrosion properties of epoxy resins/POSS/methyl phenyl silicone coatings // *Progress in Organic Coatings*, 2019, vol. 135, pp. 454–464. doi: 10.1016/j.porgcoat.2019.06.017

2. Chattopadhyay D. K., Panda S. S., Raju K. V. S. N. Thermal and mechanical properties of epoxy acrylate/methacrylates UV cured coatings // *Progress in Organic Coatings*, 2005, vol. 54, is. 1, pp. 10–19. doi: 10.1016/j.porgcoat.2004.12.007
3. Wang, T., Wang, J., Chen, W., Duan H., Yang S., Chen X., Zhang B. Acrylate Copolymers as Impact Modifier for Epoxy Resin // *J. Wuhan Univ. Technol. Sci. Ed.*, 2015, vol. 30, pp. 1210–1214. doi.org/10.1007/s11595-015-1297-0
4. Babaei N., Yeganeh H., Gharibi R. Anticorrosive and self-healing waterborne poly(urethane-triazole) coatings made through a combination of click polymerization and cathodic electrophoretic deposition // *Eur. Polym. J.*, 2019, vol. 112, pp. 636–647. doi: 10.1016/j.eurpolymj.2018.10.028
5. Blanco M., López M., Fernández R., Martín L., Riccardi C. C., Mondragon I. Thermoplastic-modified epoxy resins cured with different functionalities amine mixtures. Kinetics and miscibility study // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2009, vol. 97, is. 3, pp. 969–978. doi:10.1007/s10973-009-0174-5
6. Beaugendre A., Lemesle C., Bellayer S., Degoutin S., Duquesne S., Casetta M., Pierlot C., Jaime F., Kim T., Jimenez M. Flame retardant and weathering resistant self-layering epoxy-silicone coatings for plastics // *Progress in Organic Coatings*, 2019, vol. 136. doi: 10.1016/j.porgcoat.2019.105269
7. Tian J., Xu T., Tan Y., Zhang Z., Tang B., Sun Z. Effects of Non-Covalent Functionalized Graphene Oxide with Hyperbranched Polyesters on Mechanical Properties and Mechanism of Epoxy Composites // *Materials*, 2019, vol. 12, is. 19. doi: 10.3390/ma12193103
8. Liu X.-F., Liu B.-W., Luo Xi, Guo D.-M., Zhong H.-Y., Chen Li, Wang Y.-Z. A novel phosphorus-containing semi-aromatic polyester toward flame retardancy and enhanced mechanical properties of epoxy resin // *Chem. Eng. J.*, 2020, vol. 380. doi: 10.1016/j.cej.2019.122471
9. Gorbatkina Y. A., Zhuravleva O. A., Ivanova-Mumzhieva V. G., Chebotarev V. P. The Influence of the Molecular Weight of Polysulphone on the Adhesion of Epoxy/Polysulphone Binders to Fibres // *Int. Polym. Sci. Technol.*, 2018, vol. 45, is. 5, pp. 201–204. doi: 10.1177/0307174X1804500503
10. Yang Z., Wang L., Sun W., Li S., Zhu T, Liu W., Liu G. Superhydrophobic epoxy coating modified by fluorographene used for anticorrosion and self-cleaning // *Appl. Surf. Sci.*, 2017, vol. 401, pp. 146–155. doi: 10.1016/j.apsusc.2017.01.009
11. Соломянский А. Е., Агабеков В. Е., Чишанков И. Г., Матвеевко Ю. В., Мельникова Г. Б., Ту Тхи Хуан Ханг, Нгуен Тхан Дуонг, Ву Ке Оанх, Тран Дай Лам. Защита стальных поверхностей покрытиями на основе полиуретана и кремнийорганических соединений // *ДАН НАН Беларуси*. 2020. Т. 64, № 1, С. 50–54. doi: 10.29235/1561-8323-2020-64-1-50-54
12. Vu Van T. H., Dinh Thanh T. M., Pham Nam T., Nguyen Thom. T., Nguyen Phuong T., Hang T. X. To. Evaluation of the Corrosion Inhibiting Capacity of Silica/Polypyrrole-Oxalate Nanocomposite in Epoxy Coatings // *International Journal of Corrosion*, 2018, vol. 2018. doi: 10.1155/2018/6395803
13. Комков О. Ю. Микротрибометр возвратно-поступательного типа, работающий в области малых нагрузок: конструктивные особенности и методика испытания образцов // *Трение и износ*. 2003. Т. 24, № 6, С. 642–648.
14. Sahoo R. R., Biswas S. K. Frictional response of fatty acids on steel // *Journal of Colloid and Interface Science*, 2009, vol. 333, is. 2, pp. 707–718. doi: 10.1016/j.jcis.2009.01.046
15. Rus D., Capitanu L., Badita L.-L. A qualitative correlation between friction coefficient and steel surface wear in linear dry sliding contact to polymers with SGF // *Friction*, 2014, vol. 2, pp. 47–57. doi: 10.1007/s40544-014-0038-2
16. Haiduc I. Silicone Grease: A Serendipitous Reagent for the Synthesis of Exotic Molecular and Supramolecular Compounds // *Organometallics*, 2004, vol. 23, pp. 3–8. doi: 10.1021/om034176w

References

1. Xiong G., Kang P., Zhang J., Li B., Yang J., Chen G., Zhou Z., Li Q. Improved adhesion, heat resistance, anticorrosion properties of epoxy resins/POSS/methyl phenyl silicone coatings. *Progress in Organic Coatings*, 2019, vol. 135, pp. 454–464. doi: 10.1016/j.porgcoat.2019.06.017
2. Chattopadhyay D. K., Panda S. S., Raju K. V. S. N. Thermal and mechanical properties of epoxy acrylate/methacrylates UV cured coatings. *Progress in Organic Coatings*, 2005, vol. 54, is. 1, pp. 10–19. doi: 10.1016/j.porgcoat.2004.12.007
3. Wang, T., Wang, J., Chen, W., Duan H., Yang S., Chen X., Zhang B. Acrylate Copolymers as Impact Modifier for Epoxy Resin. *J. Wuhan Univ. Technol. Sci. Ed.*, 2015, vol. 30, pp. 1210–1214. doi.org/10.1007/s11595-015-1297-0
4. Babaei N., Yeganeh H., Gharibi R. Anticorrosive and self-healing waterborne poly(urethane-triazole) coatings made through a combination of click polymerization and cathodic electrophoretic deposition. *Eur. Polym. J.*, 2019, vol. 112, pp. 636–647. doi: 10.1016/j.eurpolymj.2018.10.028
5. Blanco M., López M., Fernández R., Martín L., Riccardi C. C., Mondragon I. Thermoplastic-modified epoxy resins cured with different functionalities amine mixtures. Kinetics and miscibility study. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2009, vol. 97, is. 3, pp. 969–978. doi:10.1007/s10973-009-0174-5
6. Beaugendre A., Lemesle C., Bellayer S., Degoutin S., Duquesne S., Casetta M., Pierlot C., Jaime F., Kim T., Jimenez M. Flame retardant and weathering resistant self-layering epoxy-silicone coatings for plastics. *Progress in Organic Coatings*, 2019, vol. 136. doi: 10.1016/j.porgcoat.2019.105269
7. Tian J., Xu T., Tan Y., Zhang Z., Tang B., Sun Z. Effects of Non-Covalent Functionalized Graphene Oxide with Hyperbranched Polyesters on Mechanical Properties and Mechanism of Epoxy Composites. *Materials*, 2019, vol. 12, is. 19. doi: 10.3390/ma12193103
8. Liu X.-F., Liu B.-W., Luo Xi, Guo D.-M., Zhong H.-Y., Chen Li, Wang Y.-Z. A novel phosphorus-containing semi-aromatic polyester toward flame retardancy and enhanced mechanical properties of epoxy resin. *Chem. Eng. J.*, 2020, vol. 380. doi: 10.1016/j.cej.2019.122471
9. Gorbatkina Y. A., Zhuravleva O. A., Ivanova-Mumzhieva V. G., Chebotarev V. P. The Influence of the Molecular Weight of Polysulphone on the Adhesion of Epoxy/Polysulphone Binders to Fibres. *Int. Polym. Sci. Technol.*, 2018, vol. 45, is. 5, pp. 201–204. doi: 10.1177/0307174X1804500503
10. Yang Z., Wang L., Sun W., Li S., Zhu T, Liu W., Liu G. Superhydrophobic epoxy coating modified by fluorographene used for anticorrosion and self-cleaning. *Appl. Surf. Sci.*, 2017, vol. 401, pp. 146–155. doi: 10.1016/j.apsusc.2017.01.009
11. Solomyanskiy A. E., Agabekov V. E., Chishankov I. G., Matveenko Yu. V., Mel'nikova G. B., Tu Tkhi Khuan Khang, Nguen Tkhan Duong, Vu Ke Oankh, Tran Dai Lam. Zashchita stal'nykh poverkhnostey pokrytiyami na osnove poliuretana i kremniyorganicheskikh soedineniy [Steel surface protection with coatings based on polyurethane and silicon organic compounds]. *Doklady NAN Belarusi* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus], 2020, vol. 64, no. 1, pp. 50–54. doi: 10.29235/1561-8323-2020-64-1-50-54
12. Vu Van T. H., Dinh Thanh T. M., Pham Nam T., Nguyen Thom. T., Nguyen Phuong T., Hang T. X. To. Evaluation of the Corrosion Inhibiting Capacity of Silica/Polypyrrole-Oxalate Nanocomposite in Epoxy Coatings. *International Journal of Corrosion*, 2018, vol. 2018. doi: 10.1155/2018/6395803
13. Komkov O. Yu. Mikrotribometr vozvratno-postupatel'nogo tipa, rabotayushchiy v oblasti malykh nagruzok: konstruktivnye osobennosti i metodika ispytaniya obraztsov [Reciprocating microtribometer operating in the field of low loads: design features and testing method of samples]. *Trenie i iznos* [Friction and Wear], 2003, vol. 24, no. 6, pp. 642–648.
14. Sahoo R. R., Biswas S. K. Frictional response of fatty acids on steel. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2009, vol. 333, is. 2, pp.

-
- 707–718. doi: 10.1016/j.jcis.2009.01.046
15. Rus D., Capitanu L., Badita L.-L. A qualitative correlation between friction coefficient and steel surface wear in linear dry sliding contact to polymers with SGF. *Friction*, 2014, vol. 2, pp. 47–57. doi: 10.1007/s40544-014-0038-2
16. Haiduc I. Silicone Grease: A Serendipitous Reagent for the Synthesis of Exotic Molecular and Supramolecular Compounds. *Organometallics*, 2004, vol. 23, pp. 3–8. doi: 10.1021/om034176w
-