

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2021-7-3-65-73>

УДК 678.01+678.021

ВЛИЯНИЕ ЭПОКСИДСОДЕРЖАЩИХ РАЗБАВИТЕЛЕЙ-МОДИФИКАТОРОВ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ИЗНОСОСТОЙКИХ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ

А. Ю. ПОЛОЗ², Ю. Р. ЭБИЧ³, Р. М. ДОЛИНСКАЯ¹⁺, Н. Р. ПРОКОПЧУК¹

¹Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Беларусь

²ООО «Новые технологии», пл. Академика Стародубова, 1, 49050, г. Днепр, Украина

³Украинский государственный химико-технологический университет, пр-т Гагарина, 8, 49005, г. Днепр, Украина

Снижение износа защитных эпоксидных покрытий при действии потока абразивных материалов является актуальным для горно-, газодобывающей и других отраслей промышленности. Одним из основных направлений решения этой проблемы является совершенствование структуры и свойств защитных износостойких эпоксидных покрытий деталей машин и механизмов вследствие применения высокотвердых по шкале Мооса наполнителей. Для улучшения технологических свойств наполненных композиций широко используются активные эпоксидсодержащие разбавители-модификаторы (РМ), способные также совместно с эпоксидной смолой участвовать в формировании структуры и свойств износостойких эпоксидных покрытий. Цель работы — изучение влияния эпоксидсодержащих разбавителей-модификаторов ведущих производителей на структуру и свойства износостойких эпоксидных композитов, ненаполненных и содержащих наполнители с высокой твердостью по шкале Мооса, в статических условиях и при контактно-динамическом нагружении.

Исследования провели с использованием методов золь-гель анализа, динамического индентирования, динамического газоабразивного износа, стандартных физико-механических испытаний. Межфазное взаимодействие эпоксидной матрицы, содержащей эпоксидную смолу ЭД-20 и РМ, и карбида кремния характеризовали: структурным параметром А с учетом значений тангенса угла механических потерь наполненных композитов; плотностью полимерной прослойки на границе раздела фаз. Проведена оценка влияния моно-, би- и трифункциональных эпоксидсодержащих РМ на свойства ненаполненных и наполненных карбидом кремния износостойких покрытий на основе промышленной смолы ЭД-20. Показано, что триглицидиловый эфир триметилпропана СНС-Ероху RR 690 и диглицидиловый эфир диэтиленгликоля ДЭГ-1 в составе эпоксидной матрицы обеспечивают оптимальную дисперсную структуру, лучший комплекс физико-механических и вязкоупругих свойств, износостойкость. Установлено, что при технологической переработке эпоксидных композиций взаимодействие эпоксидной смолы ЭД-20 с наполнителями коррелирует с ее смачивающей способностью и растеканием по их поверхности. В присутствии эпоксидсодержащих РМ определяющим в процессах взаимодействия эпоксидной матрицы с наполнителями является вклад эпоксидной смолы ЭД-20. Выяснено влияние концентрации карбида кремния на структурные изменения композитов и показано, что при повышенном содержании наполнителя (>200 мас. ч. на 100 мас. ч. ЭД-20) происходит увеличение износа композитов вследствие уменьшения степени взаимодействия наполнителя с матрицей, которое не компенсируется возрастанием плотности полимерной прослойки на границе раздела фаз.

Ключевые слова: эпоксидные композиции, эпоксидсодержащие разбавители-модификаторы, смола ЭД-20, карбид кремния, структура, износостойкость.

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

INFLUENCE OF EPOXY-CONTAINING DILUENTS-MODIFIERS ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF WEAR-RESISTANT EPOXY COMPOSITES

A. YU. POLOZ², YU. R. EBICH³, R. M. DOLINSKAYA¹⁺, N. R. PROKOPCHUK¹

¹Belarusian State Technological University, Sverdlov St., 13a, 220006, Minsk, Belarus Company, University etc.

²LTD "New Technologies", Academician Starodubov Sq., 1, 49050, Dnepr, Ukraine

³Ukrainian State University of Chemical Technology, Gagarin Ave, 8, 49005, Dnepr, Ukraine

Reducing wear of protective epoxy coatings and compositions under the action of a flow of abrasive materials is relevant for mining, gas production and other industries. One of the main directions for solving this problem is to improve the structure and the properties of protective epoxy coatings, wear-resistant parts of machines and mechanisms due to the use of fillers highly hard on the Mohs scale. To improve the technological properties of the filled composites, active epoxy-containing diluents-modifiers (DM) are widely used, which, along with epoxy resin, are also able to participate in the formation of the structure and properties of wear-resistant epoxy materials. The purpose of this work is to establish the effect of epoxy-containing DM from leading manufacturers on the structure and properties of epoxy wear-resistant compositions (unfilled and filled with fillers with high hardness according to the Mohs scale) under static conditions and under the action of contact-dynamic loading. The research was carried out using the methods of sol-gel analysis, dynamic indentation, dynamic gas abrasive wear, standard physical and mechanical tests. The interfacial interaction of the epoxy matrix (ED-20 + DM) with silicon carbide was characterized by the structural parameter A, taking into account the values of the tangent of the angle of mechanical losses of the filled composites, the characteristic of the epoxy polymer at the phase interface — by the density of the polymer interlayer. The influence of mono-, bi- and trifunctional epoxy-containing DM on the properties of unfilled and filled with silicon carbide epoxy wear-resistant compositions based on industrial resin ED-20 was evaluated. It was shown that the most optimal dispersed structure, the best complex of physical and mechanical, viscoelastic properties, wear resistance provide in the epoxy matrix threegylicidyl ether of trimethylolpropane CHS-Epoxy RR 690 and diethylene glycol diglycidyl ether DEG-1. It was found that during the technological processing of epoxy compositions, the interaction of ED-20 epoxy resin with fillers corresponds to its ability to wet and spread over their surface. In the presence of epoxy-containing DM the contribution of ED-20 epoxy resin is decisive in the processes of interaction of the epoxy matrix with fillers. The effect of the concentration of silicon carbide on the structural changes in composites was clarified. It was shown that with an increased filler content (>200 parts by weight per 100 parts by weight ED-20), increase in the wear of composites occurs due to a decrease in the degree of interaction of the filler with epoxy matrix, which is not compensated by an increase in the density of the polymer layer at the interface.

Keywords: epoxy compositions, epoxy-containing diluents-modifiers, ED-20 resin, silicon carbide, structure, wear resistance.

Поступила в редакцию 22.07.2021

© А. Ю. Полоз, Ю. Р. Эбич, Р. М. Долинская, Н. Р. Прокопчук, 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:

Полоз А. Ю., Эбич Ю. Р., Долинская Р. М., Прокопчук Н. Р. Влияние оксидсодержащих разбавителей-модификаторов на структуру и свойства износостойких эпоксидных композитов // Полимерные материалы и технологии. 2021. Т. 7, № 3. С. 65–73. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2021-7-3-65-73>

Citation sample:

Poloz A. Yu., Ebich Yu. R., Dolinskaya R. M., Prokopchuk N. R. Vliyanie epoksidsoederzhashchikh razbaviteley-modifikatorov na strukturu i svoystva iznosostoykikh epoksidnykh kompozitov [Influence of epoxy-containing diluents-modifiers on the structure and properties of wear-resistant epoxy composites]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2021, vol. 7, no. 3, pp. 65–73. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2021-7-3-65-73>

Литература

1. Encyclopedia of Polymer Science and Technology / ed. by H. F. Mark. USA : John Wiley & sons, 2002. 3005 p.
2. Дербышев А. С. Перспективы применения специальных композитов в химическом машиностроении // Композитный мир. 2010. № 4 (31). С. 24–25.
3. Ерофеева А. А. Модифицированные эпоксидные композиты с применением местных наполнителей для транспортных сооружений // Транспортные сооружения. 2019. Т. 6, № 4. doi: 10.15862/18SATS419
4. Михальченко А. М., Купреенко А. И., Филин Ю. И. Практическое применение эпоксидно-песчаных композитов для повышения ресурса и стойкости к абразивному изнашиванию восстановленных штамповарных лемехов // Клеи. Герметики. Технологии. 2018. № 5. С. 36–41.
5. Михальченко А. М., Феськов С. А., Осипов А. А., Кононенко А. С. Влияние эпоксидно-песчаных покрытий различных составов на процесс изнашивания, специфику износа и ресурс плужных лемехов // Клеи. Герметики. Технологии. 2020. № 1. С. 45–48.
6. Ягер М., Готье К. Абразивный износ – неразрешимая проблема? // Композитный мир. 2010. № 2 (29). С. 6–15.
7. Полоз А. Ю., Эбич Ю. Р., Долинская Р. М., Прокопчук Н. Р. Оценка эффективности оксидсодержащих разбавителей-модификаторов для эпоксидных композиций // Полимерные материалы и технологии. 2021. Т. 7, № 1. С. 33–40. doi: 10.32864/polymmattech-2021-7-1-33-40
8. Poloz A. Yu., Prokopchuk N. R., Dolinskaya R. M., Ebich Yu. R. The influence of polyamines on the properties of epoxy composites // Питання хімії та хімічної технології. 2019. № 5 (126). С. 118–125. doi: 10.32434/0321-4095-2019-126-5-118-125
9. Полоз О. Ю., Эбич Ю. Р. Взаємодія компонентів високонаповнених епоксидних композицій холодного тверднення з карбідом кремнію при формуванні їх дисперсної структури // Вопросы химии и химической технологии. 2017. Т. 3 (112). С. 53–57.
10. Полоз О. Ю., Штомпель В. І., Бурмістров К. С., Ебич Ю. Р. Особливості міжфазної взаємодії в епоксидних композитах, наповнених силіцієм карбідом // Питання хімії та хімічної технології. 2020. № 1 (128). С. 39–46. doi: 10.32434/0321-4095-2020-128-1-39-46
11. Крень А. П., Рудницкий В. А., Дейкун И. Г. Определение вязкоупругих параметров методом динамического индентирования с использованием нелинейной модели деформирования // Каучук и резина. 2004. № 6. С. 19–23.
12. Данченко Ю. М., Попов Ю. В., Барабаш О. С. Вплив кислотно-основних властивостей поверхні полімінеральних наповнювачів на структуру та характеристики епоксикомпозитів // Вопросы химии и химической технологии. 2016. № 3 (107). С. 53–60.
13. Михальченко А. М., Кононенко А. С., Тюрева А. А., Козарез И. В. Влияние концентрации компонентов и дисперсности частиц наполнителя эпоксидно-песчаного композита на твердость и ее взаимосвязь с абразивной износостойкостью // Клеи. Герметики. Технологии. 2020. № 6. С. 16–20.
14. Muslim N., Hamzah A., Alkamaz A. Study of mechanical properties of wollastonite filled epoxy functionally graded composite // International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET), 2018, vol. 9, is. 8, pp. 669–677.
15. Данченко Ю. М. Регулирование свободной поверхностной энергии эпоксидных полимерных материалов с использованием минеральных наполнителей // Полимерные материалы и технологии. 2017. Т. 3, № 2. С. 56–63. doi: 10.32864/polymmattech-2017-3-2-56-63

References

1. Encyclopedia of Polymer Science and Technology. Ed. by H. F. Mark. USA : John Wiley & sons, 2002. 3005 p.
2. Derbyshev A. S. Perspektivy primeneniya spetsial'nykh kompozitov v khimicheskom mashinostroyenii [Prospects for the use of special composites in chemical engineering]. *Kompozitnyy mir* [Composite world], 2010, no. 4 (31), pp. 24–25.
3. Erofeeva A. A. Modifitsirovannye epoksidnye kompozity s primeneniem mestnykh zapolniteley dlya transportnykh sooruzheniy [Modified epoxy composites using local aggregates for transport structures]. *Transportnyye sooruzheniya* [Russian journal of transport engineering], 2019, vol. 6, no. 4. doi: 10.15862/18SATS419
4. Mikhal'chenkov A. M., Kupreenko A. I., Filin Yu. I. Prakticheskoe primenenie epoksidno-peschanykh kompozitov dlya povysheniya resursa i stoykosti k abrazivnomu iznashivaniyu vosstanovlennykh shtamposvarnykh lemekhov [Practical application of epoxy-sand composites for increasing of resource and resistance to abrasive wear of reconditioned stamped-welded shares]. *Klei. Germetiki. Tekhnologii* [Adhesives. Sealants. Technologies], 2018, no. 5, pp. 36–41.
5. Mikhal'chenkov A. M., Fes'kov S. A., Osipov A. A., Kononenko A. S. Vliyanie epoksidno-peschanykh pokrytiy razlichnykh sostavov na protsess iznashivaniya, spetsifiku iznosa i resurs pluzhnykh lemekhov [Influence of epoxy-sand coatings of various compositions on the wear process, the specificity of wear and the resource of plow shares]. *Klei. Germetiki. Tekhnologii* [Adhesives. Sealants. Technologies], 2020, no. 1, pp. 45–48.
6. Yager M., Got'e K. Abrazivnyy iznos – nerazreshimaya problema? [Abrasive wear – an unsolvable problem?]. *Kompozitnyy mir* [Composite world], 2010, no. 2 (29), pp. 6–15.
7. Poloz A. Yu., Ebich Yu. R., Dolinskaya R. M., Prokopchuk N. R. Otsenka effektivnosti epoksidsoederzhashchikh razbaviteley-modifikatorov

- dlya epoksidnykh kompozitsiy [Evaluation of the effectiveness of epoxy-containing diluents-modifiers for epoxy compositions]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2021, vol. 7, no. 1, pp. 33–40. doi: 10.32864/polymmattech-2021-7-1-33-40
8. Poloz A. Yu., Prokopchuk N. R., Dolinskaya R. M., Ebich Yu. R. The influence of polyamines on the properties of epoxy composites. *Pitannya khimii ta khimichnoi tekhnologii* [Issues of Chemistry and Chemical Technology], 2019, no. 5 (126), pp. 118–125. doi: 10.32434/0321-4095-2019-126-5-118-125
 9. Poloz O. Yu., Ebich Yu. R. Vzaemodiya komponentiv visokonapovnenikh epoksidnykh kompozitsiy kholodnogo tverdnennya z karbidom kremniyu pri formuvanni ikh dispersnoi strukturi [Interaction of components of highly filled epoxy compositions of cold hardening with silicon carbide at formation of their dispersed structure]. *Voprosy khimii i khimicheskoy tekhnologii* [Issues of Chemistry and Chemical Technology], 2017, vol. 3 (112), pp. 53–57.
 10. Poloz O. Yu., Shtompel' V. I., Burmistrov K. S., Ebich Yu. R. Osoblivosti mizhfaznoi vzaemodii v epoksidnykh kompozitakh, napovnenikh silitsiy karbidom [Features of interfacial interaction in epoxy composites filled with silicon carbide]. *Pitannya khimii ta khimichnoi tekhnologii* [Issues of Chemistry and Chemical Technology], 2020, no. 1 (128), pp. 39–46. doi: 10.32434/0321-4095-2020-128-1-39-46
 11. Kren' A. P., Rudnitskiy V. A., Deykun I. G. Opredelenie vyazkouprugikh para-metrov metodom dinamicheskogo indentirovaniya s ispol'zovaniem nelineynoy modeli deformirovaniya [Determination of viscoelastic parameters by the dynamic indentation method using a nonlinear deformation model]. *Kauchuk i rezina* [Caoutchouc and Rubber], 2004, no. 6, pp. 19–23.
 12. Danchenko Yu. M., Popov Yu. V., Barabash O. S. Vpliv kislотно-osnovnykh vlastivostey poverkhni polimineral'nykh napovnyuvachiv na strukturu ta kharakteristiki epoksikompozitiv [Influence of acid-base surface properties of polymineral fillers on the structure and characteristics of epoxy composites]. *Voprosy khimii i khimicheskoy tekhnologii* [Issues of Chemistry and Chemical Technology], 2016, no. 3 (107), pp. 53–60.
 13. Mikhal'chenkov A. M., Kononenko A. S., Tyureva A. A., Kozarez I. V. Vliyanie kontsentratsii komponentov i dispersnosti chastits napolnatelya epoksidno-peschanogo kompozita na tverdst' i ee vzaimosvyaz' s abrazivnoy iznosostoykost'yu [Influence of the concentration of components and the dispersion of particles of an epoxy-sand composite filler on hardness and its relationship with abrasive wear resistance]. *Klei. Germetiki. Tekhnologii* [Adhesives. Sealants. Technologies], 2020, no. 6, pp. 16–20.
 14. Muslim N., Hamzah A., Alkamaz A. Study of mechanical properties of wollastonite filled epoxy functionally graded composite. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, 2018, vol. 9, is. 8, pp. 669–677.
 15. Danchenko Yu. M. Regulirovanie svobodnoy poverkhnostnoy energii epoksidnykh polimernykh materialov s ispol'zovaniem mineral'nykh napolniteley [Regulation of free surface energy of epoxy polymer materials using mineral fillers]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2017, vol. 3, no. 2, pp. 56–63. doi: 10.32864/polymmattech-2017-3-2-56-63
-