

Эксплуатационные свойства эпоксидных полимеров на основе олигомеров с разными физико-химическими характеристиками

© Сафонов¹ Алексей Валерьевич, Дутова² Варвара Сергеевна,
Готлиб^{1*} Елена Михайловна, Рахматуллина¹ Алевтина Петровна

¹ Кафедра технологии синтетического каучука. Институт полимеров. Казанский национальный исследовательский технологический университет. ул. Карла Маркса, 68. г. Казань, 420015.

Республика Татарстан. Россия. E-mail: egotlob@yandex.ru ; rah-al@yandex.ru

² Кафедра материаловедения, сварки и производственной безопасности. Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ. ул. К. Маркса, д.10. г. Казань, 420111. Республика Татарстан. Россия.

*Ведущий направление; †Поддерживающий переписку

Ключевые слова: эпоксидные смолы, массовая доля омыляемого хлора, вязкость, концентрация эпоксидных групп, адгезионные свойства, деформационно-прочностные показатели, химическая стойкость.

Аннотация

Деформационно-прочностные показатели и химическая стойкость пространственно-сшитых эпоксидных материалов в значительной степени определяются физико-химическими характеристиками исходных олигомеров.

Сравнительный анализ свойств композиций на основе серийно выпускаемых эпоксидных смол китайской компании Sinopac (CYD 128) и тестового образца отечественной эпоксидной смолы (ЭДП), полученного на опытно-промышленной установке одного из крупных российских химических холдингов, занимающегося вопросом собственного синтезирования эпоксидных смол, показал, что модуль упругости, износостойкость и прочность при изгибе у материалов на основе как отечественных так и импортных смол находится примерно на одном уровне. Отвержденные композиции на основе отечественного образца и CYD 128 практически не отличаются также по характеру молекулярной подвижности и температуре перехода из стеклообразного состояния в высокоэластическое. Кроме того, адгезия к стали эпоксидных композиций как из CYD 128, так и из ЭДП более высокая, чем при применении традиционной отечественной смолы ЭД-20.

Вследствие того, что на данном этапе у смолы CYD 128 на порядок меньше массовая доля омыляемого хлора и вязкость, ниже содержание летучих и выше концентрация эпоксидных групп, чем у опытного образца отечественной смолы, лучшие адгезионные показатели и твердость, а также более высокое химическое сопротивление в воде и 5% солевом растворе обеспечивает олигомер, выпущенный в Китае.

Жизнеспособность эпоксидных композиций также больше при применении CYD 128. Это может быть связано с тем, что содержание ионов хлора у олигомеров способно влиять на скорость их отверждения и степень поперечного сшивания за счет изменения характера нуклеофильного присоединения аминов к эпоксидным группам. Действительно, содержание гель-фракции, а, следовательно, и степень отверждения выше у эпоксидных материалов на основе CYD 128.

Выходные данные для цитирования русскоязычной печатной версии статьи:

Сафонов А.В., Дутова В.С., Готлиб Е.М., Рахматуллина А.П. Эксплуатационные свойства эпоксидных полимеров на основе олигомеров с разными физико-химическими характеристиками. *Бутлеровские сообщения*. 2025. Т.84. №11. С.123-130. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-11-123

Выходные данные для цитирования русскоязычной электронной версии статьи:

Сафонов А.В., Дутова В.С., Готлиб Е.М., Рахматуллина А.П. Эксплуатационные свойства эпоксидных полимеров на основе олигомеров с разными физико-химическими характеристиками. *Бутлеровские сообщения В*. 2025. Т.11. №4. Id.8. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-11-123/ROI-jbc-RB/25-11-4-8

The output for citing the English online version of the article:

Alexey V. Safonov, Varvara S. Dutova, Elena M. Gotlib, Alevtina P. Rakhmatullina. Performance properties of epoxy polymers based on oligomers with different physicochemical characteristics. *Butlerov Communications B*. 2025. Vol.11. No.4. Id.8. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-11-123/ROI-jbc-B/25-11-4-8

Литература

- [1] Федосеев М.С., Державинская Л.Ф., Кочергин А.В. Отверждение эпоксидных смол полиамином БС-5. *Вестник ТвГУ. Серия: Химия*. **2018**. №1. С.94-103. DOI: 10.26456/vtchem13 [M.S. Fedoseev, L.F. Derzhavinskaja, A.V. Kochergin. Curing of epoxy resins with polyamine BS-5. *Bulletin of the TvGU. Series: Chemistry*. **2018**. No.1. P.94-103. DOI: 10.26456/vtchem13 (Russian)]
- [2] Иржак В.И. Эпоксидные полимеры и композиты с эпоксидной матрицей. *Москва: РАН*. **2022**. 288с. [I.V. Irzhak. Epoxy polymers and composites with an epoxy matrix. *Moscow: RAS*. **2022**. P.288. (Russian)]
- [3] Ogura Ichiro. Relation between Chemical Structures and Characteristics on Epoxy Resins DIC. *Technical Review*. **2001**. No.7. P.10.
- [4] Кузнецова В. А., Кузнецов Г. В., Шаповалов Г. Г., Марченко С.А. Исследование влияния молекулярной массы эпоксидных олигомеров и отвердителей на эксплуатационные свойства лакокрасочных покрытий. *Авиационные материалы и технологии*. **2021**. №1(62). С.71-79. DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-71-79 [V.A. Kuznetsova, G.V. Kuznetsov, G.G. Shapovalov, S.A. Marchenko. Study of the influence of the molecular weight of epoxy oligomers and hardeners on the performance properties of paints and varnishes. *Aviation Materials and Technologies*. **2021**. No.1(62). P.71-79. DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-71-79 (Russian)]
- [5] Liu C., He Yu., Sun M., Zhang X., Zhang B., Bai X. Influence of epoxy resin species on the curing behavior and adhesive properties of cyanate Ester/Poly (aryl ether nitrile) blends. *Polymer*. **2023**. Vol.288. No.1 P.12. DOI: 10.1016/j.polymer.2023.126450.
- [6] Jin F.-L., Li X., Park S.-J. Synthesis and Application of Epoxy Resins: A Review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. **2015**. Vol.29. P.1-11. DOI: 10.1016/j.jiec.2015.03.026.
- [7] Симоник Е.И. Технология получения и применение эпоксидно-диановой смолы марки «ЭД-20». *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. **2020**. №5-3 (44). С.105-109. DOI: 10.24411/2500-1000-2019-10982 [I.E. Simonik. Technology of obtaining and application of epoxy-diane resin of the "ED-20" brand. *International Journal of Humanitarian and Natural Sciences*. **2020**. No.5-3 (44). P.105-109. DOI: 10.24411/2500-1000-2019-10982 (Russian)]
- [8] Паршина М.С. Гибридные материалы на основе эпоксидных олигомеров и функциональных органо(алкокси)(металло)силоксанов: *Автореф. дис... канд. хим. наук. Москва*. **2024**. 18с. [M.S. Parshina. Hybrid materials based on epoxy oligomers and functional organo(alkoxy)(metallo)siloxanes: *Abstract of a Cand. Chem. Sci. (Moscow)*. **2024**. 18p. (Russian)]
- [9] Щеглов П.А., Шестаков А.С., Вялов А.И. Содержание хлора в эпоксидных смолах и оценка влияния его на качество продукции на их основе. *Информационно-технологический вестник*. **2017**. Т.3(13). С.137-145. [P.A.Shcheglov, A.S. Shestakov, A.I. Vyalov. Chlorine content in epoxy resins and assessment of its impact on the quality of products based on them. *Information Technology Bulletin*. **2017**. Vol.3(13). P.137-145. (Russian)]
- [10] М.В. Alikin, K.D. Alekseeva, D.A. Panfilov, I.M. Dvorko, N.A. Lavrov. Properties of epoxy compositions cured by aminolytic splitting products of a secondary polyethylene terephthalate and polycarbonate. *Mechanics of Composite Materials*. **2022**. Vol.58. No.5. P.697-704. DOI: 10.22364/mkm.58.5.08.
- [11] Соколова А.Г., Готлиб Е.М. Синтетический волластонит и диопсид на основе золы рисовой шелухи как наполнители эпоксидных композиционных материалов. *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. **2025**. №3 (53). С.34-42. DOI: 10.57070/2304-4497-2025-3(53)-34-42 [A.G. Sokolova, E.M. Gotlib. Synthetic wollastonite and diopside based on rice husk ash as fillers in epoxy composite materials. *Bulletin of the Siberian State Industrial University*. **2025**. No.3(53). P.34-42. DOI: 10.57070/2304-4497-2025-3(53)-34-42 (Russian)]
- [12] Симонов-Емельянов И.Д., Зарубина А.Ю., Трофимов А.Н., Суриков П.В., Щеулова Л.К. Особенности реокинетики процесса отверждения диановых эпоксидных олигомеров промышленных марок аминным отвердителем. *Вестник МИТХТ им. М.В. Ломоносова*. **2010**. Т.5. №3. С.102-107. [I.D. Simonov-Yemelyanov, A.Y. Zarubina, A.N. Trofimov, P.V. Surikov, L.K. Shcheulova. Rekinetic Features of the Curing Process of Industrial-Grade Diane Epoxide Oligomers with an Amine Hardener. *Bulletin of the MITHT n.a. M.V. Lomonosov*. **2010**. Vol.5. No.3. P.102-107. (Russian)]
- [13] Erich W., Bodnar M. Effect of molecular structure on mechanical properties of epoxy resins. *Journal of Applied Polymer Science*. **1960**. Vol.3. Iss.9. P.296-301. DOI: 10.1002/app.1960.070030906.
- [14] Калинина Н.К., Костромина Н.В., Осипчик А.С. Способы повышения химической стойкости композиционных материалов на основе эпоксидных олигомеров. *Успехи в химии и химической технологии*. **2007**. №7. С.56-63. [N.K. Kalinina, N.V. Kostromina, A.S. Osipchik. Methods for

- increasing the chemical resistance of composite materials based on epoxy oligomers. *Advances in Chemistry and Chemical Technology*. **2007**. No.7. P.56-63. (Russian)]
- [15] Samad U.A., Mohammed J.A., Alam A. Maximizing the functional properties of epoxy coatings using milled Al for enhanced mechanical strength and corrosion resistance. *Material Science – Poland*. **2024**. 42(4):34-49. DOI: 10.2478/msp-2024-0042
- [16] Дутова В.С., Сафонов А.В., Готлиб Е.М. Влияние свойств эпоксидных смол на эксплуатационные характеристики отвержденных полимеров на их основе. *Сборник тезисов Всероссийской конференции «Полимеры и композиты на их основе: прикладные и экологические решения»*. Казань. **2025**. С.231. [V.S. Dutova, A.V. Safonov, E.M. Gotlib. Influence of the properties of epoxy resins on the performance characteristics of cured polymers based on them. *Collection of abstracts of the All-Russian conference "Polymers and composites based on them: applied and ecological solutions"*. Kazan. **2025**. P.231. (Russian)]
- [17] Alexey V. Safonov, Varvara S. Dutova, Elena M. Gotlib, Alevtina P. Rakhmatullina. Performance properties of epoxy polymers based on oligomers with different physicochemical characteristics. *Butlerov Communications B*. **2025**. Vol.11. No.4. Id.8. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-11-123/ROI-jbc-B/25-11-4-8
- [18] Сафонов А.В., Дутова В.С., Готлиб Е.М., Рахматуллина А.П. Эксплуатационные свойства эпоксидных полимеров на основе олигомеров с разными физико-химическими характеристиками. *Бутлеровские сообщения В*. **2025**. Т.11. №4. Id.8. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-11-123/ROI-jbc-RB/25-11-4-8.

The English version of the article have been published in the international edition of the journal

Butlerov Communications B
Advances in Chemistry & Thermophysics

The Reference Object Identifier – ROI: jbc-B/25-11-4-8

The Digital Object Identifier – DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-11-123/ROI-jbc-B/25-11-4-8

Performance properties of epoxy polymers based on oligomers with different physicochemical characteristics

Alexey V. Safonov,¹ Varvara S. Dutova,^{2*} Elena M. Gotlib,^{1*+} Alevtina P. Rakhmatullina¹

¹ *Department of Synthetic Rubber Technology. Polymer Institute. Kazan National Research Technological University. Karl Marx St., 68. Kazan, 420015. Republic of Tatarstan. Russia.*

E-mail: egotlob@yandex.ru ; rah-al@yandex.ru

² *Department of Materials Science. Welding, and Industrial Safety. Kazan National Research Technical University Named after A.N. Tupolev – KAI. Karl Marx St., 10. Kazan, 420111. Republic of Tatarstan. Russia.*

*Supervising author; +Corresponding author

Keywords: epoxy resins, mass fraction of saponifiable chlorine, viscosity, concentration of epoxy groups, adhesive properties, deformation and strength indicators, chemical resistance.

Abstract

The deformation-strength properties and chemical resistance of cross-linked epoxy materials are largely determined by the physicochemical characteristics of the original oligomers.

A comparative analysis of the properties of epoxy composites based on produced domestically the test sample (EDP), obtained at a pilot plant of one of the large Russian chemical holdings, which deals with the issue of its own synthesis of epoxy resins, and the commercially available Chinese company Sinopec (CYD 128) showed that the modulus of elasticity, wear resistance, and flexural strength of materials based on these epoxy resins are approximately the same. Cured composites based on domestical test sample and CYD 128 also show virtually no difference in molecular mobility or glassy-to-elastic transition temperature. Furthermore, the adhesion of epoxy composites made from both CYD 128 and EDP to steel is higher than that achieved with Soviet ED-20 resin.

Due to the fact that at this stage the oligomer produced in China has an order of magnitude lower saponifiable chlorine mass fraction and viscosity, lower volatile content, and a higher concentration of epoxy groups than domestical test sample, CYD 128 provides superior adhesion and hardness, as well as higher chemical resistance in water and 5% saline solution.

The viability of epoxy compositions is also significantly greater when using CYD 128. This may be due to the fact that the chloride ion content of oligomers can influence their curing rate and the degree of cross-linking by changing the nature of the nucleophilic addition of amines to epoxy groups. Indeed, the gel fraction content, and therefore the degree of cure, is higher in epoxy materials based on CYD 128.