

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-2-39-43>

УДК 678.072; 678.01

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БАЗАЛЬТА И НИТРИДА БОРА НА СВОЙСТВА ПЛАСТИФИЦИРОВАННОГО ЭПОКСИДНОГО СВЯЗУЮЩЕГО

Е. Ю. ВАСИНКИНА⁺, Е. В. ПЛАКУНОВА, Ю. А. КАДЫКОВА, С. Г. КАЛГАНОВА

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А., ул. Политехническая, 77, 410054, г. Саратов, Россия

К перспективным наполнителям для эпоксидных полимеров относятся такие дисперсные наполнители, как нитрид бора и базальт.

Цель работы — изучение возможности улучшения физико-химических и механических характеристик эпоксидного композиционного материала путем использования в качестве наполнителей дисперсных базальта и нитрида бора.

В результате исследования влияния наполнителей на кинетику отверждения установлено, что нитрид бора практически не влияет на процесс отверждения эпоксидной смолы при достижении высокой степени отверждения. Базальт снижает тепловыделение при формировании шитых структур — максимальная температура отверждения снижается до 85 °С. При введении в пластифицированную композицию нитрида бора и базальта диэлектрические свойства композиционного материала не изменяются. Однако, улучшаются физико-механические показатели, по сравнению с ненаполненной смолой. При введении базальтового наполнителя наблюдаются более высокие значения разрушающего напряжения при изгибе, более чем на 77%, и ударной вязкости. В результате совместного действия пластификатора и наполнителей потери массы при нагревании в воздушной среде снижаются при одновременном повышении кислородного индекса, что позволяет отнести разработанные материалы к группе трудносгораемых. Изучение термостабильности образцов методом термогравиметрического анализа показало увеличение более чем в 2 раза коксовых остатков, снижение скоростей разложения, существенное уменьшение потерь массы вплоть до 600 °С.

Таким образом, нитрид бора и базальт являются активными наполнителями эпоксидного полимера, о чем свидетельствует улучшенный комплекс физико-химических и механических свойств композиционных материалов. Причем наилучший комплекс свойств достигается при введении в эпоксидный полимер только базальтового наполнителя.

Ключевые слова: эпоксидный полимер, дисперсные наполнители, кинетика отверждения, физико-химические и механические свойства.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF BASALT AND BORON NITRIDE ON THE PROPERTIES OF PLASTICIZED EPOXY BINDER

E. Y. VASINKINA⁺, E. V. PLAKUNOVA, Y. A. KADYKOVA, S. G. KALGANOVA

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Politechnicheskaya St., 77, 410054, Saratov, Russia

Promising fillers for epoxy polymers include such dispersed fillers as boron nitride and basalt.

The purpose of the work is to study the possibility of improving the physical and chemical properties and mechanical characteristics of an epoxy composite material by using dispersed basalt and boron nitride as fillers.

As a result of the study of the effect of fillers on the kinetics of curing, it was found that boron nitride

⁺Автор, с которым следует вести переписку. E-mail: vasinkina1987@mail.ru

practically does not affect the curing process of epoxy resin when a high degree of curing is achieved. Basalt reduces heat generation during the formation of cross-linked structures. The maximum curing temperature is reduced to 85 °C. When boron nitride and basalt are introduced into the plasticized composition, the dielectric properties of the composite material do not change. However, the mechanical parameters are improved compared with unfilled resin. Higher values of destructive bending stress, more than 77%, and impact strength are observed with the introduction of basalt filler. Mass losses during heating in the air are reduced while increasing the oxygen index as a result of the combined action of the plasticizer and fillers. Thus it is possible the developed materials to attribute to the group of difficult-to-burn. The study of the thermal stability of samples with thermogravimetry showed an increase of coke residues by more than 2 times, a decrease in decomposition rates, a significant reduction in mass losses up to 600 °C.

Thus, boron nitride and basalt are active fillers of the epoxy polymer, as evidenced by the improved complex of physical and chemical properties and mechanical characteristics of composite materials. Moreover the best set of properties is achieved when only basalt filler is introduced into the epoxy polymer.

Keywords: epoxy polymer, fillers, curing kinetics, physicochemical and mechanical properties.

Поступила в редакцию 04.05.2022

© Е. Ю. Васинкина, Е. В. Плакунова, Ю. А. Кадыкова, С. Г. Калганова, 2022

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:

Васинкина Е. Ю., Плакунова Е. В., Кадыкова Ю. А., Калганова С. Г. Исследование влияния базальта и нитрида бора на свойства, пластифицированного эпоксидного связующего // Полимерные материалы и технологии. 2022. Т. 8, № 2. С. 39–43. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-2-39-43>

Citation sample:

Vasinkina E. Yu., Plakunova E. V., Kadykova Yu. A., Kalganova S. G. Issledovanie vliyaniya bazal'ta i nitrida bora na svoystva, plastifitsirovannogo epoksidnogo svyazuyushchego [Investigation of the effect of basalt and boron nitride on the properties of plasticized epoxy binder]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2022, vol. 8, no. 2, pp. 39–43. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-2-39-43>

Литература

1. Панова Л. Г. Наполнители для полимерных композиционных материалов : учеб. пособие. Саратов : СГТУ, 2010. 63 с.
2. Чурсова Л. В., Панина Н. Н., Гребенева Т. А., Кутергина И. Ю. Эпоксидные смолы, отвердители, модификаторы и связующие на их основе. СПб : Профессия, 2020. 576 с.
3. Кербер М. Л., Виноградов В. М., Головкин Г. С., Горбаткина Ю. А., Крыжановский В. К., Куперман А. М., Симонов-Емельянов И. Д., Халиулин В. И., Бунаков В. А. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технологии / под общ. ред. Берлина А. А. 3-е испр. и доп. изд. СПб: Профессия, 2011. 560 с.
4. Козлов Г. В., Долбин И. В. Влияние одноосной вытяжки на степень усиления нанокompозитов поливинилхлорид, нитрид бора // Физика и химия обработки материалов. 2018. № 1. С. 50–56.
5. Гордеев И. С., Орданьян С. С. Композиционные материалы кубический нитрид бора – карбид кремния – кремний // Вопросы материаловедения. 2012. Вып. 3 (71). С. 29–37.
6. Гладких С. Н., Векшин Н. Н., Колесникова Е. В., Ткаченко И. В., Древаль Т. Н. Разработка эпоксидных клеящих материалов с высокой теплопроводностью // Клеи. Герметики. Технологии. 2012. Вып. 4. С. 13–20.
7. Кадыкова Ю. А., Бредихин П. А., Арзамасцев С. В., Калганова С. Г. Комплексно-модифицированные базальтопластики // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80, № 2. С. 297–301. doi: 10.20914/2310-1202-2018-2-297-301
8. Бекешев А. З., Бредихин П. А., Акметова М. К., Кадыкова Ю. А., Арзамасцев С. В. Изучение свойств дисперсного базальта и его влияние на характеристики полиолефинов // Ползуновский вестник. 2017. № 2. С. 115–118.

9. Бредихин П. А., Кадыкова Ю. А., Бурмистров И. Н. Влияние режимов измельчения базальта на свойства полиэтиленовых композиций // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19, № 22. С. 37–39.
10. Перевислов С. Н. Структура, свойства и области применения графитоподобного гексагонального нитрида бора // Новые огнеупоры. 2019. № 6. С. 35–40.
11. Голубев А. С., Курдюмов А. В., Пилянкевич А. Н. Нитрид бора: структура, свойства, получение. Киев : Наукова думка, 1987. 198 с.
12. Джигирис Д. Д., Махова М. Ф. Основы производства базальтовых волокон и изделий. Москва : Теплоэнергетик, 2002. 411 с.
13. Аблесимов Н. Е., Малова Ю. Г. Горные породы базальтового состава: происхождение, элементный и фазовый состав, месторождения. Часть I // Базальтовые технологии. 2013. Вып. 2. С. 31–37.
14. Мостовой А. С., Плакунова Е. В., Панова Л. Г. Разработка огнестойких эпоксидных композиций и исследование их структуры и свойств // Перспективные материалы. 2014. № 1. С. 37–43.
15. Мостовой А. С., Панова Л. Г., Санукова А. А., Плакунова Е. В. Исследование процессов при пиролизе и горении модифицированных эпоксидных полимеров // Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. №. 8 (145). С. 17–21.
16. Ивлев В. И., Фомин Н. Е., Юдин В. А., Окин М. А., Панькин Н. А. Термический анализ : в 2 ч. Ч. 1: Методы термического анализа. Саранск : Мордовский ун-т, 2017. 44 с.
17. Термический анализ полимеров : методические указания / сост.: Новопольцева О. М., Рябухин Ю. И. Волгоград, 1996. 30 с.
18. Шипина О. Т., Мингазова В. К., Петров В. А., Косточко А. В. Термический анализ в изучении полимеров : учебное пособие. Казань : КНИТУ, 2014. 99 с.
19. Zubova N. G., Gerasimova V. M., Levkina N. L., Ustinova T. P. Оценка свойств и структурных характеристик модифицированных органосиланами химических волокон и полимерных композитов на их основе // Журнал прикладной химии. 2021. Т. 94, Вып. 5. С. 655–665.
20. Калинина Л. С., Моторина М. А., Никитина Н. И., Хачапуридзе Н. А. Анализ конденсационных полимеров. М. : Химия, 1984. 296 с.
21. Гороховатский Ю. А., Карулина Е. А., Темнов Д. Э. Физика полимерных диэлектриков: учебное пособие. СПб. : РГПУ. 2013. 125 с.
22. Угольников А. В. Электротехническое и конструкционное материаловедение: учебник. Саратов : Ай Пи Ар Медиа. 2019. 188 с.

References

1. Panova L. G. *Napolniteli dlya polimernykh kompozitsionnykh materialov* [Fillers for polymer composite materials]. Saratov : SGTU Publ., 2010. 63 p.
2. Chursova L. V., Panina N. N., Grebeneva T. A., Kutergina I. Yu. *Epoksidnye smoly, otverditeli, modifikatory i svyazuyushchie na ikh osnove* [Epoxy resins, hardeners, modifiers and binders based on them]. Saint-Petersburg : Professiya Publ., 2020. 576 p.
3. Kerber M. L., Vinogradov V. M., Golovkin G. S., Gorbatkina Yu. A., Kryzhanovskiy V. K., Kuperman A. M., Simonov-Emel'yanov I. D., Khaliulin V. I., Bunakov V. A. *Polimernye kompozitsionnye materialy: struktura, svoystva, tekhnologii* [Polymer composite materials: structure, features, technologies]. Ed. A. A. Berlin. Saint-Petersburg : Professiya Publ., 2011. 560 p.
4. Kozlov G. V., Dolbin I. V. Vliyaniye odnoosnoy vytyazhki na stepen' usileniya nanokompozitov polivinilkhlорid, nitrid bora [Effect of uniaxial extraction on the degree of amplification of polyvinyl chloride and boron nitride nanocomposites]. *Fizika i khimiya obrabotki materialov* [Physics and chemistry of materials processing], 2018, no. 1, pp. 50–56.
5. Gordeev I. S., Ordan'yan S. S. Kompozitsionnye materialy kubicheskiy nitrid bora – karbid kremniya – kremniy [Composite materials cubic boron nitride – silicon carbide – silicon]. *Voprosy materialovedeniya* [Inorganic Materials: Applied Research], 2012, is. 3 (71), pp. 29–37.
6. Gladkikh S. N., Vekshin N. N., Kolesnikova E. V., Tkachenko I. V., Dreval' T. N. Razrabotka epoksidnykh kleyashchikh materialov s vysokoy teploprovodnost'yu [Development of epoxy adhesives with high thermal conductivity]. *Klei. Germetiki. Tekhnologii* [Adhesives. Sealants. Technologies], 2012, is. 4, pp. 13–20.
7. Kadykova Yu. A., Bredikhin P. A., Arzamastsev S. V., Kalganova S. G. Kompleksno-modifitsirovannyye bazal'toplastiki [Complex-modified basalt plastics]. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET], 2018, vol. 80, no. 2, pp. 297–301. doi: 10.20914/2310-1202-2018-2-297-301
8. Bekeshev A. Z., Bredikhin P. A., Akmetova M. K., Kadykova Yu. A., Arzamastsev S. V. Izucheniye svoystv dispersnogo bazal'ta i ego vliyaniye na kharakteristiki poliolefinov [Study of the properties of dispersed basalt and its effect on the characteristics of polyolefins]. *Polzunovskiy vestnik* [Polzunov Herald], 2017, no. 2, pp. 115–118.
9. Bredikhin P. A., Kadykova Yu. A., Burmistrov I. N. Vliyaniye rezhimov izmel'cheniya bazal'ta na svoystva polietilenovykh kompozitsiy [Influence of basalt grinding modes on the properties of polyethylene compositions]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Technological University], 2016, no. 22, pp. 37–39.
10. Perevislov S. N. Struktura, svoystva i oblasti primeneniya grafitopodobnogo geksagonal'nogo nitrida bora [Structure, properties and applications of graphite-like hexagonal boron nitride]. *Novyye огнеупоры* [New refractories], 2019, no. 6, pp. 35–40.
11. Golubev A. S., Kurdyumov A. V., Polyankovich A. N. Nitrid bora: struktura, svoystva, polucheniye [Boron nitride: Structure, properties, preparation]. Kiev : Naukova dumka Publ., 1987. 198 p.
12. Dzhigiris D. D., Makhova M. F. Osnovy proizvodstva bazal'tovykh volokon i izdeliy [Fundamentals of the production of basalt fibers and products]. Moscow : Теплоэнергетик Publ., 2002. 411 p.
13. Ablesimov N. E., Malova Yu. G. Gornyye porody bazal'tovogo sostava: proiskhozhdeniye, elementnyy i fazovyy sostav, mestorozhdeniya. Chast' I [Rocks of basalt composition: origin, elemental and phase composition, deposits. Part I]. *Bazal'tovyye tekhnologii* [Basalt technologies], 2013, is. 2, pp. 31–37.
14. Mostovoy A. S., Plakunova E. V., Panova L. G. Razrabotka ognestoykikh epoksidnykh kompozitsiy i issledovaniye ikh struktury i svoystv [Development of fire-resistant epoxy compositions and study of their structure and properties]. *Perspektivnyye materialy* [Journal of Advanced Materials], 2014, no. 1, pp. 37–43.
15. Mostovoy A. S., Panova L. G., Sanukova A. A., Plakunova E. V. Issledovaniye protsessov pri pirolize i gorenii modifitsirovannykh epoksidnykh polimerov [Investigation of processes during pyrolysis and burning modified epoxy polymers]. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [News of the SFU Technical Sciences], 2013, no. 8 (145), pp. 17–21.
16. Ivlev V. I., Fomin N. E., Yudin V. A., Okin M. A., Pan'kin N. A. *Termicheskiy analiz. Ch. 1: Metody termicheskogo analiza* [Thermal analysis. Part 1: Thermal analysis methods]. Saransk : Morдовskiy universitet Publ., 2017. 44 p.
17. Novopol'tseva O. M., Ryabukhin Yu. I. *Termicheskiy analiz polimerov* [Thermal analysis of polymers]. Volgograd, 1996. 30 p.
18. Shipina O. T., Mingazova V. K., Petrov V. A., Kostochko A. V. *Termicheskiy analiz v izuchenii polimerov* [Thermal analysis in the study of polymers]. Kazan' : KNIU Publ., 2014. 99 p.
19. Zubova N. G., Gerasimova V. M., Levkina N. L., Ustinova T. P. Otsenka svoystv i strukturnykh kharakteristik modi-fitsirovannykh organosilananami khimicheskikh volokon i po-limernykh kompozitov na ikh osnove [Evaluation of properties and structural characteristics of organosilane chemical fibers and polymeric composites on their basis].

- chemical fibers modified by organosilanes and polymer composites based on them]. *Zhurnal prikladnoy khimii* [Russian Journal of Applied Chemistry], 2021, vol. 94, is. 5, pp. 655–665.
20. Kalinina L. S., Motorina M. A., Nikitina N. I., Khachapuridze N. A. *Analiz kondensatsionnykh polimerov*. Moscow : Khimiya Publ., 1984. 296 p.
 21. Gorokhovatskiy Yu. A., Karulina E. A., Temnov D. E. *Fizika polimernykh dielektrikov* [Physics of polymer dielectrics]. Saint-Petersburg : RGPU Publ., 2013. 125 p.
 22. Ugol'nikov A. V. *Elektrotekhnicheskoe i konstruksionnoe materialovedenie* [Electrical and Structural Materials Science]. Saratov : Ay Pi Ar Media Publ., 2019. 188 p.
-