

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-4-41-47>

УДК 678.6/.7

АРМИРОВАННЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ ПОЛИКОНДЕНСАЦИОННЫМ СПОСОБОМ СОВМЕЩЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ

Ю. А. КАДЫКОВА¹, Н. Л. ЛЕВКИНА², С. Г. КАЛГАНОВА¹, Е. Ю. ВАСИНКИНА¹⁺

¹Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А. ул. Политехническая, 77, 410054, г. Саратов, Россия

²Энгельсский технологический институт, пл. Свободы, 17, 413100, г. Энгельс, Саратовская область, Россия

Цель работы — разработка полимерных композиционных материалов на основе фенолформальдегидного связующего и содержащих базальтовые волокна с внедрением высокоэффективной технологии поликонденсации для объединения компонентов.

В представленной работе показана эффективность применения поликонденсационного метода объединения компонентов, заключающегося в пропитке армирующего наполнителя смесью мономеров — фенола и формальдегида (в соотношении 1 : 1,4), в присутствии щелочного катализатора — гидроксида натрия. Доказано, что физико-химические и механические свойства базальтопластиков, полученных из препрегов, сформированных методом поликонденсационного объединения компонентов, значительно превосходят аналогичные свойства композитов на основе препрегов, полученных традиционным способом пропитки нитей готовой смолой. Таким образом, твердость по Бринеллю увеличивается на 12%, разрывное напряжение при изгибе — на 19%, модуль упругости при изгибе — на 17%, а водопоглощение снижается более чем на 35%. В этом случае наблюдается повышение термостойкости и снижение содержания свободного фенола в разработанных материалах.

Таким образом, установлены преимущества поликонденсационного способа объединения компонентов для получения препрегов перед традиционным способом (методом пропитки): сокращены технологические этапы, исключено использование растворителей, снижены трудозатраты и энергоемкость, а также комплекс эксплуатационных свойств, в том числе функциональных один из них, из полимерных композиционных материалов, был усовершенствован.

Ключевые слова: фенолформальдегидное связующее, поликонденсационный способ совмещения компонентов, базальтопластики, термический анализ, рентгеноструктурный анализ, газовая хроматография, структура, физико-механические свойства.

REINFORCED POLYMER COMPOSITE MATERIALS OBTAINED WITH THE POLYCONDENSATION METHOD OF COMBINING COMPONENTS

Y. A. KADYKOVA¹, N. L. LEVKINA², S. G. KALGANOVA¹, E. Y. VASINKINA¹⁺

¹Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Politechnicheskaya St., 77, 410054, Saratov, Russia

²Engels Institute of Technology, Svobody Sq., 17, 413100, Engels, Saratov region, Russia

The purpose of the work is development of basalt fibers polymer composites based on a phenol-formaldehyde binder with the implementation of a highly efficient polycondensation technology for combining components.

The effectiveness of the use of the polycondensation method of combining components is shown in the

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

presented paper. The method consists of impregnating the reinforcing filler with a mixture of monomers phenol and formaldehyde (at a ratio of 1 : 1.4) at presence of the alkaline catalyst sodium hydroxide. It is proved that the physical and mechanical properties of basalt plastics obtained from prepregs formed with the polycondensation method of combining components (PMCC) significantly exceed the similar properties of the composites based on prepregs obtained with the conventional method (CM) of impregnating threads with finished resin. Thus, Brinell hardness increases by 12%, breaking stress in bending increases by 19 %, elasticity modulus in bending increases by 17%. Water absorption is reduced by more than 35%. It is observed an increase in the heat resistance and reduction of the content of free phenol in the developed materials in this case.

Thus it is established the advantages of the PMCC of obtaining prepregs over the CM (the impregnation method). The process stages is reduced. The use of solvents is excluded. Labor costs and energy intensity are reduced and the complex of operational properties of polymer composite are improved.

Keywords: phenol-formaldehyde binder, polycondensation method of combining components, basalt plastics, thermal analysis, X-ray diffraction analysis, gas chromatography, structure, physical and mechanical properties.

Поступила в редакцию 10.11.2022

© Ю. А. Кадыкова, Н. Л. Левкина, С. Г. Калганова, Е. Ю. Васинкина, 2022

Поступила в редакцию 06.06.2022

© Е. И. Яблонская, Н. Р. Прокопчук, 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:

Кадыкова Ю. А., Левкина Н. Л., Калганова С. Г., Васинкина Е. Ю. Армированные полимерные композиционные материалы, полученные поликонденсационным способом совмещения компонентов // Полимерные материалы и технологии. 2022. Т. 8, № 4. С. 41–47. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-4-41-47>

Citation sample:

Kadykova Yu. A., Levkina N. L., Kalganova S. G., Vasinkina E. Yu. Armirovannyye polimernyye kompozitsionnyye materialy, poluchennyye polikondensatsionnym sposobom sovmeshcheniya komponentov [Reinforced polymer composite materials obtained with the polycondensation method of combining components]. *Polimernyye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2022, vol. 8, no. 4, pp. 41–47. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-4-41-47>

Литература

1. Пыхтин А. А., Симонов-Емельянов И. Д. Влияние нано- и ультрадисперсных частиц диоксида кремния (SiO₂) на ударную вязкость эпоксидных полимеров // Труды ВИАМ. 2019. № 6 (78). С. 3–12.
2. Меркулова Ю. И., Кондрашов С. В., Дьячкова Т. П., Мараховский П. С., Юрков Г. Ю. Влияние диспергированных в связующем углеродных нанотрубок на свойства эпоксинаноконкомпозита // Журнал прикладной химии. 2015. Т. 88, № 11. С. 1635–1642.
3. Starokadomskii D. L. Epoxy composites with 10 and 50 wt % micronanoiron: strength, microstructure, and chemical and thermal resistance // Russian Journal of Applied Chemistry, 2017, no. 90 (8), pp. 1337–1345. doi: 10.1134/S1070427217080249
4. Bekeshev A., Mostovoy A., Tastanova L., Kadykova Y., Kalganova S., Lopukhova M. Reinforcement of epoxy composites with application of finely-ground ochre and electrophysical method of the composition modification. *Polymers*, 2020, vol. 12, is. 7. doi: 10.3390/polym12071437

5. Куприянова Е. В., Морозова Т. В., Дворцевая А. М., Осипчик В. С., Колыбанов К. Ю. Повышение ударостойкости эпоксидных органо-пластиков // Пластические массы. 2020. № 9-10. С. 67–68.
6. Bekeshev A., Mostovoy A., Kadykova Y., Akhmetova M., Tastanova L., Lopukhova M. Development and analysis of the physicochemical and mechanical properties of diorite-reinforced epoxy composites // *Polymers*, 2021, vol. 13, is. 15. doi: 10.3390/polym13152421
7. Щербakov A. C., Mostovoy A. C., Arzamastsev S. B., Petrova D. A. Исследование влияния углеродных нанотрубок и СВЧ электромагнитного поля на свойства стеклопластиков на основе полиэфирной смолы // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2022. № 2. С. 76–79.
8. Sun X., Huang C., Wang L., Liang L., Cheng Y., Fei W., Li Y. Recent Progress in Graphene/Polymer Nanocomposites // *Advanced Materials*, 2021, vol. 33, no. 6. doi: 10.1002/adma.202001105
9. Ramadan N., Taha M., La Rosa A. D., Elsabbagh A. Towards Selection Charts for Epoxy Resin, Unsaturated Polyester Resin and Their Fibre-Fabric Composites with Flame Retardants // *Materials*, 2021, vol. 14, no. 5. DOI: 10.3390/ma14051181
10. Алиева А. П. Перспективы получения фенолформальдегидных смол // Пластические массы. 2021. № 9-10. С. 22–26.
11. Русаков Д. С., Варанкина Г. С., Чубинский А. Н., Жук А. Ю. Использование отходов производства алюминия для модификации фенолформальдегидных смол // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2019. Т. 2. С. 83–87.
12. Сарычев И. А., Серкова Е. А., Хмельницкий В. В., Застрогина О. Б. Термореактивные связующие для материалов панелей пола летательных аппаратов (обзор) // Труды ВИАМ. 2019. № 7 (79). С. 26–33.
13. Кадькова Ю. А. Полимерный композиционный материал конструкционного назначения, армированный базальтовым волокном // Журнал прикладной химии. 2012. Т. 85, № 9. С. 1523–1527.
14. Ивлев В. И., Фомин Н. Е., Юдин В. А., Окунь М. А., Панькин Н. А. Термический анализ : Ч. 1. Методы термического анализа. Саранск : МГУ, 2017. 44 с.
15. Лотов В. А., Хабас Т. А., Дитц А. А. Дифференциально-термический анализ : методические указания к лабораторному практикуму и самостоятельной работе студентов. Томск : ТПУ, 2012. 30 с.
16. Пилоян О. Г. Введение в теорию термодинамического анализа. М. : Наука, 1964. 269 с.
17. Вшивков С. А., Сафронов А. П., Русинова Е. В., Адамова Л. В., Надольский А. Л., Тюкова И. С., Терзиян Т. В., Галас А. Г. Методы исследования полимерных систем : учебное пособие / науч. ред. С. А. Вшивкова. Екатеринбург : Уральский университет, 2016. 232 с.

References

1. Pykhtin A. A., Simonov-Emel'yanov I. D. Vliyanie nano- i ul'tradispersnykh chastits dioksida kremniya (SiO_2) na udarnuyu vyazkost' epoksidnykh polimerov [Influence of nano- and ultrafine particles of silicon dioxide (SiO_2) on the impact strength of epoxy polymers]. *Trudy VIAM* [Proceedings of VIAM], 2019, no. 6 (78), pp. 3–12.
2. Merkulova Yu. I., Kondrashov S. V., D'yachkova T. P., Marakhovskiy P. S., Yurkov G. Yu. Vliyanie dispergirovannykh v svyazuyushchem uglerodnykh nanotrubok na svoystva epoksinokompozita [Effect of carbon nanotubes dispersed in a binder on the properties of an epoxy nanocomposite]. *Zhurnal prikladnoy khimii* [Journal of Applied Chemistry], 2015, no. 11, pp. 1635–1642.
3. Starokadomskii D. L. Epoxy composites with 10 and 50 wt % micronanoiron: strength, microstructure, and chemical and thermal resistance. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2017, no. 90 (8), pp. 1337–1345. doi: 10.1134/S1070427217080249
4. Bekeshev A., Mostovoy A., Tastanova L., Kadykova Y., Kalganova S., Lopukhova M. Reinforcement of epoxy composites with application of finely-ground ochre and electrophysical method of the composition modification. *Polymers*, 2020, vol. 12, is. 7. doi: 10.3390/polym12071437
5. Kupriyanova E. V., Morozova T. V., Dvortsevaya A. M., Osipchik V. S., Kolybanov K. Yu. Povyshenie udarostoykosti epoksidnykh organoplastikov [Increasing the impact resistance of epoxy organoplastics]. *Plasticheskie massy* [Plastics], 2020, no. 9-10, pp. 67–68.
6. Bekeshev A., Mostovoy A., Kadykova Y., Akhmetova M., Tastanova L., Lopukhova M. Development and analysis of the physicochemical and mechanical properties of diorite-reinforced epoxy composites. *Polymers*, 2021, vol. 13, is. 15. doi: 10.3390/polym13152421
7. Shcherbakov A. S., Mostovoy A. S., Arzamastsev S. V., Petrova D. A. Issledovanie vliyaniya uglerodnykh nanotrubok i SVCh elektromagnitnogo polya na svoystva stekloplastikov na osnove poliefimoy smoly [Investigation of the effect of carbon nanotubes and microwave electromagnetic field on the properties of glass-reinforced plastics based on polyester resin]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i dizayna. Seriya 1: Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Bulletin of St. Petersburg University of Technology and Design. Ser. 1. Natural and technical sciences], 2022, no. 2, pp. 76–79.
8. Sun X., Huang C., Wang L., Liang L., Cheng Y., Fei W., Li Y. Recent Progress in Graphene/Polymer Nanocomposites. *Advanced Materials*, 2021, vol. 33, no. 6. doi: 10.1002/adma.202001105
9. Ramadan N., Taha M., La Rosa A. D., Elsabbagh A. Towards Selection Charts for Epoxy Resin, Unsaturated Polyester Resin and Their Fibre-Fabric Composites with Flame Retardants. *Materials*, 2021, vol. 14, no 5. doi: 10.3390/ma14051181
10. Alieva A. P. Perspektivy polucheniya fenolformal'degidnykh smol [Prospects for obtaining phenol-formaldehyde resins]. *Plasticheskie massy* [Plastics], 2021, no. 9-10, pp. 22–26.
11. Rusakov D. S., Varankina G. S., Chubinskiy A. N., Zhuk A. Yu. Ispol'zovanie otkhodov proizvodstva alyuminiya dlya modifikatsii fenolformal'degidnykh smol [The use of aluminum production waste for the modification of phenol-formaldehyde resins]. *Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i inzhenernye nauki* [Proceedings of the Bratsk State University. Series: Natural and engineering sciences], 2019, vol. 2, pp. 83–87.
12. Sarychev I. A., Serkova E. A., Khmel'nitskiy V. V., Zastrogina O. B. Termoreaktivnye svyazuyushchie dlya materialov paneley pola letatel'nykh apparatov (obzor) [Thermosetting Binders for Aircraft Floor Panel Materials (Review)]. *Trudy VIAM* [Proceedings of VIAM], 2019, no. 7 (79), pp. 26–33.
13. Kadykova Yu. A. Polimernyy kompozitsionnyy material konstruksionnogo naznacheniya, armirovanny bazal'tovym voloknom [Polymer composite material for structural purposes, reinforced with basalt fiber]. *Zhurnal prikladnoy khimii* [Journal of Applied Chemistry], 2012, vol. 85, no. 9, pp. 1523–1527.
14. 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. Methods of thermal analysis]. Saransk : MGU Publ., 2017. 44 p.
15. Lotov V. A., Khabas T. A., Ditts A. A. *Differentsial'no-termicheskiy analiz* [Differential thermal analysis]. Tomsk : TPU Publ., 2012. 30 p.
16. Piloyan O. G. *Vvedenie v teoriyu termodinamicheskogo analiza* [Introduction to the theory of thermodynamic analysis]. Moscow : Nauka Publ., 1964. 269 p.
17. Vshivkov S. A., Safronov A. P., Rusinova E. V., Adamova L. V., Nadolskiy A. L., Tyukova I. S., Terziyan T. V., Galyas A. G. *Metody issledovaniya polimernykh sistem* [Methods for studying polymer systems]. Ed. S. A. Vshivkov. Ekaterinburg : Ural'skiy universitet Publ., 2016. 232 p.

