

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2023-9-4-35-43>

УДК 678.033.3

## ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ПОСЛОЙНОЙ 3D-ПЕЧАТИ

А. С. АНТОНОВ<sup>1+</sup>, Н. Р. ПРОКОПЧУК<sup>2</sup>, П. В. КЛОЧКО<sup>1</sup>, А. Г. ЛЮБИМОВ<sup>2</sup>, К. В. ВИШНЕВСКИЙ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, ул. Ожешко, 22, 230023, г. Гродно, Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Беларусь

*Цель работы — исследование возможности использования композиционных материалов на основе промышленных термопластов, полученных совмещением различных компонентов, для изготовления филаментов для 3D-принтеров.*

*Рассмотрены методологические подходы к разработке композиционных материалов на основе промышленных полимеров для 3D-принтеров. Показано, что для обеспечения заданных параметров качества изготовленных деталей необходимо оптимальное сочетание параметров деформационно-прочностных, реологических характеристик и совместимости компонентов, входящих в состав композиционного материала филаментов.*

*Разработаны составы композиционных материалов на основе промышленно выпускаемых полиамидов для изготовления изделий различного функционального назначения по технологии послойной 3D-печати. Предложено использовать для изготовления филаментов композиции на основе алифатических полиамидов (ПА6, ПА6.6), содержащих в качестве функциональных модификаторов термопластичные полимеры класса полиамидов (ПА12), полиэфиров (ПЭТ) и полиолефинов (ПЭНП). Показано, что введение в матричный полимер функциональных модификаторов позволяет управлять параметрами реологических и деформационно-прочностных характеристик композиционных материалов. Разработанный состав композиционного материала на основе смеси алифатических полиамидов (ПА6.6, ПА6 и ПА12) обладает деформационно-прочностными характеристиками, превосходящими матричный компонент ПА6.6 в 1,2–1,5 раза. В результате экспериментальных исследований реологических и деформационно-прочностных характеристик разработанных составов установлено, что значения характеристик существенно зависят от способа получения образцов. Установлена корреляция между параметрами деформационно-прочностных характеристик композиционных материалов, полученных с помощью различных технологий переработки в изделия. Так, значения предела прочности при разрыве для образцов, полученных по технологии послойного наплавления на 3D-принтере, по сравнению с образцами, полученными литьём под давлением, ниже на 25–30% и на 48–50% для образцов, сформированных укладкой слоёв вдоль и поперек усилия растяжения соответственно.*

**Ключевые слова:** промышленный термопласт, функциональный модификатор, полимерные композиты, филамент, смеси термопластов, термомеханическое совмещение.

## POLYMER COMPOSITE MATERIALS FOR FUNCTIONAL PRODUCTS PRODUCED WITH FDM 3D PRINTING

A. S. ANTONOV<sup>1+</sup>, N. R. PROKOPCHUK<sup>2</sup>, P. V. KLOCHKO<sup>1</sup>, A. G. LYUBIMOV<sup>2</sup>, K. V. VISHNEVSKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Yanka Kupala State University of Grodno, Ozheshko St., 22, 230023, Grodno, Belarus

<sup>2</sup>Belarusian State Technological University, Sverdlov St., 13a, 220006, Minsk, Belarus

<sup>+</sup>Автор, с которым следует вести переписку. E-mail: antonov\_as@grsu.by

The aim of the work was to investigate the possibility of using composite materials based on industrial thermoplastics obtained by combining different components to manufacture filaments for 3D printers.

Methodological approaches to the development of composite materials based on industrial polymers for 3D printers are considered. It is shown that to ensure the specified quality parameters of the manufactured parts, an optimal combination of the parameters of stress-strain, rheological characteristics and compatibility of the composite material components is necessary.

Composite materials based on industrially produced polyamides have been developed for the manufacture of products for various functional purposes using the 3D printing. It is proposed to use compositions based on aliphatic polyamides (PA6, PA6.6) for the manufacture of filaments, containing thermoplastic polymers of the class of polyamides (PA12), polyesters (PET) and polyolefins (LDPE) as functional modifiers. The developed blend based on aliphatic polyamides (PA6.6, PA6 and PA12) has stress-strain characteristics exceeding the matrix component PA6.6 in 1,2–1,5 times. As a result of experimental studies of the parameters of rheological and stress-strain characteristics of the developed composite materials based on aliphatic polyamides, polyolefins and complex polyesters, it was found that the parameters of characteristics significantly depend on the method of obtaining samples. The correlation between the parameters of stress-strain characteristics of composite materials obtained by different processing technologies has been established. Thus, the values of tensile strength parameters for the samples from the developed composites obtained by the FDM technology on a 3D printer are reduced in comparison with the samples obtained by injection molding lower by 25–30% for the samples formed by laying the layers along the tensile force, and 48–50% — when laying the layers across the direction of the tensile force.

**Keywords:** industrial thermoplastic, functional modifier, polymer composites, filament, thermoplastic blends, thermomechanical processing.

Поступила в редакцию 08.09.2023

© А. С. Антонов, Н. Р. Прокопчук, П. В. Клочко, А. Г. Любимов, К. В. Вишнеvский, 2023

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](mailto:polmattex@gmail.com)  
Web: <http://mpri.org.by/izdaniya/pmt/>

### Образец цитирования:

Антонов А. С., Прокопчук Н. Р., Клочко П. В., Любимов А. Г., Вишнеvский К. В. Полимерные композиционные материалы для функциональных изделий, полученных методом послойной 3D-печати // Полимерные материалы и технологии. 2023. Т. 9, № 4. С. 35–43. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2023-9-4-35-43>

### Citation sample:

Antonov A. S., Prokopchuk N. R., Klochko P. V., Lyubimov A. G., Vishnevskiy K. V. Polimernye kompozitsionnye materialy dlya funktsional'nykh izdeliy, poluchennykh metodom posloynoy 3D-pechati [Polymer composite materials for functional products produced with FDM 3D printing]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2023, vol. 9, no. 4, pp. 35–43. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2023-9-4-35-43>

### Литература

1. Wohlers Report 2022. Analysis. Trends. Forecasts. 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry // Wohlers Associates [Электронный ресурс]. URL: <https://wohlersassociates.com/product/wohlers-report-2022/> (дата обращения: 25.10.2023).
2. Дубровский В. В., Шалобаев Е. В., Шилько С. В., Песецкий С. С., Старжинский В. Е., Ковалев Е. В., Волнянко Е. Н., Демидов Г. А.,

- Карандашев А. Н., Раков С. В. Опыт разработки материалов и изделий медицинского и технического назначения с использованием аддитивных технологий // Полимерные материалы и технологии. 2020. Т. 6, № 2. С. 78–85.
- Витязь П. А., Хейфец М. Л., Чижик С. А. «Индустрия 4.0»: от информационно-коммуникационных и аддитивных технологий к самовоспроизведению машин и организмов // Весті НАН Беларусі. Серыя. фізіка-тэхнічных навук. 2017. № 2. С. 54–72.
  - Зленко М. А., Попович А. А., Мутылина И. Н. Аддитивные технологии в машиностроении : учеб. пособие. СПб. : СПбГПУ, 2013. 221 с.
  - 3D Printing Materials Guide: Plastics // 3Dnatives [Электронный ресурс]. URL: <https://www.3dnatives.com/en/plastics-used-3d-printing110420174/> (дата обращения: 25.10.2023).
  - Патент 2535704 РФ, МПК В22F 7/00, В22F 3/00, В29С 67/00, В32В 18/00. Способ трехмерной печати огнеупорных изделий / Л. М. Аксельрод, М. Ю. Турчин, И. Н. Минниханов. N 2013118068/05; заявл. 18.04.2013; опубл. 20.12.2014, Бюл. N 35. 13 с.
  - Patent 2922688 A1 EP, IPC B29C64/118. Additive manufacturing with polyamide consumable materials / Luke M.B. Rodgers. Appl. No. EP13857272.2A; appl. 13.11.2013; publ. 30.09.2015.
  - Patent 9744722 B2 US, IPC B29C64/118. Additive manufacturing with polyamide consumable materials / Luke M.B. Rodgers. Appl. No. US14/077.703; appl. 12.11.2013; publ. 29.08.2017. 36 p.
  - Patent 9527242 B2 US, IPC B29C67/0055. Method for printing three-dimensional parts with crystallization kinetics control : application / Luke M.B. Rodgers, Vittorio L. Jaker. Appl. No. 14/532.465; appl. 04.11.2014; publ. 27.12.2016. 22 p.
  - Patent WO 2017158080 A1, IPC C09D11/106. Use of moulding compounds based on blends of san-copolymers and polyamide for 3d printing / Stéphanie Baumann, Frank Eisenträger, Josef Meiners, Norbert Niessner, Hans-Werner Schmidt. Appl. No. PCT/EP2017/056220; appl. 16.03.2017; publ. 21.09.2017. 36 p.
  - Patent WO 2015130676 A1, IPC C09K5/14. Thermally conductive polyamide compounds containing laser direct structuring additives / Yang Choo Chua, Haiyan Chen. Appl. No. PCT/US2015/017309; appl. 24.02.2015; publ. 03.09.2015. 20 p.
  - Прокопчук Н. Р., Крутько Э. Т. Химическая технология полимеров и композитов : учебное пособие. Минск : БГТУ, 2013. 507 с.
  - Заявка а20220238 ВУ, МПК С 08L 5/12 (2006.01), В 32В 31/26. Состав композиционного материала / В. А. Струк, А. С. Антонов, А. Н. Лесун, П. В. Клочко, Д. В. Нахвват, Ю. С. Ковалевский, И. В. Капцевич. Опубл. 30.06.2023.

## References

- Wohlers Report 2022. Analysis. Trends. Forecasts. 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry (2022). Available at: <https://wohlersassociates.com/product/wohlers-report-2022/> (accessed 13 April 2023).
- Dubrovskiy V. V., Shalobaev E. V., Shil'ko S. V., Pesetskiy S. S., Starzhinskiy V. E., Kovalev E. V., Volnyanko E. N., Demidov G. A., Karandashev A. N., Rakov S. V. Opyt razrabotki materialov i izdeliy meditsinskogo i tekhnicheskogo naznacheniya s ispol'zovaniem additivnykh tekhnologiy [Experience of developing materials and products for medicine and technical applications using additive technologies]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2020, vol. 6, no. 2, pp. 78–85.
- Vityaz' P. A., Kheyfets M. L., Chizhik S. A. «Industriya 4.0»: ot informatsionno-kommunikatsionnykh i additivnykh tekhnologiy k samovosproizvedeniyu mashin i organizmov [“Industry 4.0”: from information and communication and additive technologies to self-reproduction of machines and organisms]. *Vesti NAN Belarusi. Seryya. fizika-tekhnichnykh navuk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series], 2017, no. 2, pp. 54–72.
- Zlenko M. A., Popovich A. A., Mutyulina I. N. *Additivnyye tekhnologii v mashinostroenii* [Additive technologies in mechanical engineering]. Saint-Petersburg : SPbGPU Publ., 2013. 221 p.
- 3D Printing Materials Guide: Plastics. Available at: <https://www.3dnatives.com/en/plastics-used-3d-printing110420174/> (accessed 13 April 2023).
- Aksel'rod L. M., Turchin M. Yu., Minnikhanov I. N. Sposob trekhmernoy pechati ognepornykh izdeliy [Method for 3D printing of refractory products]. Patent RF, no. 2535704, 2014.
- Rodgers L.M.B. Additive manufacturing with polyamide consumable materials: application EP, no. 2922688, 2015.
- Rodgers L. M. B. Additive manufacturing with polyamide consumable materials. Patent US, no. 9744722, 2017.
- Rodgers L. M. B., Jaker V. L. Method for printing three-dimensional parts with crystallization kinetics control. Patent US, no. 9527242, 2016.
- Baumann S., Eisenträger F., Meiners J., Niessner N., Schmidt H.-W. Use of moulding compounds based on blends of san-copolymers and polyamide for 3d printing. Patent WO, no. 2017158080, 2017.
- Chua Y.Ch., Chen H. Thermally conductive polyamide compounds containing laser direct structuring additives. Patent WO, no. 2015130676, 2015.
- Prokopchuk N.R., Krut'ko E.T. *Khimicheskaya tekhnologiya polimerov i kompozitov* [Chemical technology of polymers and composites]. Minsk : BGTU Publ., 2013, 507 p.
- Struk V. A., Antonov A. S., Lesun A. N., Klocho P. V., Nakhvat D. V., Kovalevskiy Yu. S., Kaptsevich I.V. Sostav kompozitsionnogo materiala [The composition of the composite material]. Application BY, no. 20220238, 2023.