

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2024-10-2-40-48>

УДК 678

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИАМИДА 6 И ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОСЛОЙНОГО НАПЛАВЛЕНИЯ

С. П. БОГДАНОВИЧ¹⁺, Н. А. МАРУСЕНКО¹, С. В. ИГНАТОВИЧ², А. А. РОГАЧЕВ²

¹Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси, ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь

²Институт химии новых материалов НАН Беларуси, ул. Ф. Скорины, 36, 220141, г. Минск, Беларусь

В работе исследовали физико-механические и технологические свойства композитов на основе полиамида 6, содержащие технический углерод (ТУ) марок С-140 и N347.

Цель работы — оценка влияния предварительной ультразвуковой (УЗ) обработки частиц технического углерода на важнейшие свойства композитов на основе полиамида 6 и их пригодность для 3D-печати по технологии послойного наплавления (FDM).

Установлено, что предварительная УЗ обработка ТУ позволяет получить дополнительный прирост показателей механических свойств композитов: предела текучести при растяжении — до 10%, максимального удлинения при разрыве (как на образцах без спая так и с ним) — до 3,2 раза и ударной вязкости по Шарпи на образцах без надреза — до 1,6 раза. Выявлена неоднородность структуры образцов, полученных по FDM-технологии в местах сплавления филаментов, что является причиной существенно более низких показателей механических свойств по сравнению с образцами, полученным литьем под давлением.

Установлено, что независимо от способа переработки композита, показатели основных теплофизических характеристик близки, что свидетельствует о схожих условиях кристаллизации реализующихся при получении образцов.

Подтверждена пригодность композита, рецептура которого содержит 4% ТУ С-140, в качестве материала для 3D-печати, а также обоснована возможность применения для этой цели композитов с более высокой степенью наполнения ТУ.

Ключевые слова: полиамид 6, технический углерод, технология послойного наплавления, физико-механические свойства, электрическое сопротивление.

PROMISING COMPOSITE MATERIAL BASED ON POLYAMIDE 6 AND CARBON BLACK WITH IMPROVED CHARACTERISTICS FOR ADDITIVE PRINTING

S. P. BOGDANOVICH¹⁺, N. A. MARUSENKO¹, S. V. IGNATOVICH², A. A. ROGACHEV²

¹V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus, Kirov St., 32a, 246050, Gomel, Belarus

²Institute of Chemistry of New Materials, National Academy of Sciences of Belarus, F. Skorini St., 36, 220141, Minsk, Belarus

The physical and, mechanical and technological properties of composites based on polyamide 6 containing carbon black (CB) grades C-140 and N347 were investigated.

The aim of the work is to evaluate the effect of preliminary ultrasonic treatment (UST) of carbon black particles on the most important properties of composites based on polyamide 6 and their suitability for 3D printing using fused deposition modeling (FDM) technology.

It has been established that preliminary UST of CB makes it possible to obtain an additional increase in

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

the mechanical properties indicators of composites: tensile yield strength — up to 10%, maximum elongation at break (both on samples without a junction and with it) — up to 3.2 times and Charpy impact strength on notched samples — up to 1.6 times. The heterogeneity of the structure of samples obtained using FDM technology in the areas of filament fusion was revealed, which is the reason for significantly lower mechanical properties compared to samples obtained by injection molding.

It has been established that, regardless of the method of processing the composite, the indicators of the main thermophysical characteristics are close, which indicates similar crystallization conditions realized during production of the samples.

The suitability of the composite, the formulation of which contains 4% CB C-140, as a material for 3D printing has been confirmed, and the possibility of using composites with a higher degree of CB filling for this purpose has been substantiated.

Keywords: polyamide 6, carbon black, FDM, physical and mechanical properties, electrical resistance.

Поступила в редакцию 30.04.2024

© С. П. Богданович, Н. А. Марусенко, С. В. Игнатович, А. А. Рогачев, 2024

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:

Богданович С. П., Марусенко Н. А., Игнатович С. В., Рогачев А. А. Перспективные композиционные материалы на основе полиамида 6 и технического углерода для технологии послойного наплавления // Полимерные материалы и технологии. 2023. Т. 10, № 2. С. 40–48. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2024-10-2-40-48>

Citation sample:

Bogdanovich S. P., Marusenko N. A., Ignatovich S. V., Rogachev A. A. Perspektivnye kompozitsionnye materialy na osnove poliamida 6 i tekhnicheskogo ugleroda dlya tekhnologii posloynogo naplavleniya [Promising composite material based on polyamide 6 and carbon black with improved characteristics for additive printing]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2023, vol. 10, no. 2, pp. 40–48. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2024-10-2-40-48>

Литература

- Беседина К. С., Лавров Н. А., Барсков В. В. Применение аддитивных технологий при получении изделий из полимерных материалов (обзор) // Известия СПбГТИ(ТУ). 2018. № 44 (70). С. 56–63.
- 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., Перепелица Ф. А., 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.
- Vuavahare S., Teraiya S., Panghal D., Kumar S. Fused deposition modelling: a review // *Rapid Prototyping Journal*, 2020, vol. 26, no. 1, pp. 176–201. doi: 10.1108/RPJ-04-2019-0106
- Эворо Э. Б., Перухин Ю. В., Билалов Р. Р., Дебердеев Т. Р. Использование наполненных композиций полипропилена для 3D-печати // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20, № 21. С. 56–59.
- Глазырин А. Б., Абдуллин М. И., Басыров А. А., Колгаев Н. В., Кокшарова Ю. А. Электропроводящие полимерные материалы для 3D-печати // Вестник Башкирского университета. 2016. Т. 21, № 1. С. 81–85.
- Das A., Marnot A. E. C., Fallon J. J., Martin S. M., Joseph E. G., Bortner M. J. Material extrusion-based additive manufacturing with blends of polypropylene and hydrocarbon resins // *ACS Applied Polymer Materials*, 2019, vol. 2, no. 2, pp. 911–921. doi: 10.1021/acsapm.9b01127
- Shinde V. V., Wang Y., Salek M. F., Auad M. L., Beckingham L. E., Beckingham B. S. Material Design for Enhancing Properties of 3D Printed Polymer Composites for Target Applications // *Technologies*, 2022, vol. 10, is. 2. doi: 10.3390/technologies10020045

8. Mohanty D. P., Arnold B. J., Baruah S., Chandrasekar S., Mann J. B. A new class of high performance metal-fiber thermoplastic composites for additive manufacturing // *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2023, vol. 169. doi: 10.1016/j.compositesa.2023.107519
9. Kristiawan R. B., Imaduddin F., Ariawan D., Ubaidillah, Arifin Z. A review on the fused deposition modeling (FDM) 3D printing: Filament processing, materials, and printing parameters // *Open Engineering*, 2021, vol. 11, no. 1, pp. 639–649. doi: 10.1515/eng-2021-0063
10. Park S., Shou W., Makatura L., Matusik W., Fu K. 3D printing of polymer composites: Materials, processes, and applications // *Matter*, 2022, vol. 5, is. 1, pp. 43–76. doi: 10.1016/j.matt.2021.10.018
11. Zhu Z. H., Zhang N., Wang T., Hao M. Y. Short Review of Polymer Composites for 3D Printing // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 758. doi: 10.1088/1757-899X/758/1/012046
12. Ning F., Cong W., Hu Y., Wang H. Additive manufacturing of carbon fiber-reinforced plastic composites using fused deposition modeling: Effects of process parameters on tensile properties // *Journal of composite materials*, 2017, vol. 51, is. 4, pp. 451–462. doi: 10.1177/0021998316646169
13. Aslanzadeh S., Saghlatoon H., Honari M. M., Mirzavand R., Montemagno C., Mousavi P. Investigation on electrical and mechanical properties of 3D printed nylon 6 for RF/microwave electronics applications // *Additive Manufacturing*, 2018, vol. 21, pp. 69–75. doi: 10.1016/j.addma.2018.02.016
14. Chapman G., Pal A. K., Misra M., Mohanty A. K. Studies on 3D printability of novel impact modified nylon 6: experimental investigations and performance evaluation // *Macromolecular Materials and Engineering*, 2021, vol. 306, is. 2. doi: 10.1002/mame.202170004
15. Шумская Е. Е., Жидко Т. В., Шараев Е. В., Петкевич А. В. Угленополненные термопласты для 3D-печати // *Перспективы развития аддитивных технологий в Республике Беларусь : доклады Международного научно-практического симпозиума, Минск, 21 сентября 2022 года. Минск : Белорусская наука, 2022. С. 162–170.*

References

1. Besedina K. S., Lavrov N. A., Barskov V. V. Primenenie additivnykh tekhnologiy pri poluchenii izdeliy iz polimernykh materialov (obzor) [Application of additive technologies in the production of products from polymeric materials (review)]. *Izvestiya SPbGTI(TU)* [перевод], 2018, no. 44 (70), pp. 56–63.
2. 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., Perepelitsa F. A., Rakov S. V. Opyt razrabotki materialov i izdeliy meditsinskogo i tekhnicheskogo naznacheniya s ispol'zovaniem additivnykh tekhnologiy [Experience in the development of materials and products for medical and technical purposes using additive technologies]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer materials and technologies], 2020, vol. 6, no. 2, pp. 78–85.
3. Vyavahare S., Teraiya S., Panghal D., Kumar S. Fused deposition modelling: a review // *Rapid Prototyping Journal*, 2020, vol. 26, no. 1, pp. 176–201. doi: 10.1108/RPJ-04-2019-0106
4. Evoro E. B., Perukhin Yu. V., Bilalov R. R., Deberdeev T. R. Ispol'zovanie napol-nennykh kompozitsiy polipropilena dlya 3D-pechati [Use of filled polypropylene composites for 3D printing]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta* [перевод], 2017, vol. 20, no. 21, pp. 56–59.
5. Glazyrin A. B., Abdullin M. I., Basyrov A. A., Koltaev N. V., Koksharova Yu. A. Elektroprovodyashchie polimernye materialy dlya 3D-pechati [Electrically conductive polymeric materials for 3D printing]. *Vestnik Bashkirskogo universiteta* [перевод], 2016, vol. 21, no. 1, pp. 81–85.
6. Das A., Marmot A. E. C., Fallon J. J., Martin S. M., Joseph E. G., Bortner M. J. Material extrusion-based additive manufacturing with blends of polypropylene and hydrocarbon resins. *ACS Applied Polymer Materials*, 2019, vol. 2, no. 2, pp. 911–921. doi: 10.1021/acsapm.9b01127
7. Shinde V. V., Wang Y., Salek M. F., Auad M. L., Beckingham L. E., Beckingham B. S. Material Design for Enhancing Properties of 3D Printed Polymer Composites for Target Applications. *Technologies*, 2022, vol. 10, is. 2. doi: 10.3390/technologies10020045
8. Mohanty D. P., Arnold B. J., Baruah S., Chandrasekar S., Mann J. B. A new class of high performance metal-fiber thermoplastic composites for additive manufacturing. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2023, vol. 169. doi: 10.1016/j.compositesa.2023.107519
9. Kristiawan R. B., Imaduddin F., Ariawan D., Ubaidillah, Arifin Z. A review on the fused deposition modeling (FDM) 3D printing: Filament processing, materials, and printing parameters. *Open Engineering*, 2021, vol. 11, no. 1, pp. 639–649. doi: 10.1515/eng-2021-0063
10. Park S., Shou W., Makatura L., Matusik W., Fu K. 3D printing of polymer composites: Materials, processes, and applications. *Matter*, 2022, vol. 5, is. 1, pp. 43–76. doi: 10.1016/j.matt.2021.10.018
11. Zhu Z. H., Zhang N., Wang T., Hao M. Y. Short Review of Polymer Composites for 3D Printing. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 758. doi: 10.1088/1757-899X/758/1/012046
12. Ning F., Cong W., Hu Y., Wang H. Additive manufacturing of carbon fiber-reinforced plastic composites using fused deposition modeling: Effects of process parameters on tensile properties. *Journal of composite materials*, 2017, vol. 51, is. 4, pp. 451–462. doi: 10.1177/0021998316646169
13. Aslanzadeh S., Saghlatoon H., Honari M. M., Mirzavand R., Montemagno C., Mousavi P. Investigation on electrical and mechanical properties of 3D printed nylon 6 for RF/microwave electronics applications. *Additive Manufacturing*, 2018, vol. 21, pp. 69–75. doi: 10.1016/j.addma.2018.02.016
14. Chapman G., Pal A. K., Misra M., Mohanty A. K. Studies on 3D printability of novel impact modified nylon 6: experimental investigations and performance evaluation. *Macromolecular Materials and Engineering*, 2021, vol. 306, is. 2. doi: 10.1002/mame.202170004
15. Shumskaya E. E., Zhidko T. V., Sharaev E. V., Petkevich A. V. Uglenopolnennyye termoplasty dlya 3D-pechati [Carbon-filled thermoplastics for 3D printing]. *Doklady Mezhnunarodnogo nauchno-prakticheskogo simpoziuma «Perspektivy razvitiya additivnykh tekhnologiy v Respublike Belarus'»* [Reports of the International Scientific and Practical Symposium “Prospects for the development of additive technologies in the Republic of Belarus”]. Minsk : Belorusskaya nauka Publ., 2022, pp. 162–170.