

## ПОЛУЧЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ЧАСТИЦАМИ ГРАФИТА ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В АДДИТИВНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

А.С. Шинкарев

shinkarev.as@misis.ru

С.М. Горбатюк

sgor02@mail.ru

А.О. Карфидов

a.korf@mail.ru

В.Ю. Задорожный

vuz@misis.ru

А.Н. Пашков

anpashkov@istokmw.ru

В.В. Чеверикин

v\_cheverikin@misis.ru

Д.И. Чуков

dil\_chukov@mail.ru

НИТУ «МИСИС», Москва, Российская Федерация

---

### Аннотация

Представлены результаты анализа возможности получения композиционного материала на основе матрицы полилактида с добавлением частиц крупнодисперсного порошка графита характерным размером не более 150 мкм методом экструзии полимерного прутка диаметром 1,75 мм для последующего использования в качестве филамента при 3D-печати методом послойного наплавления (моделирования послойным наплавлением). Исходные гранулы полимерного материала механически смешивались с частицами модификатора в специальном контейнере-смесителе. Содержание углерода в полученном композиционном материале составило 25 % (масс.). Для получения изображения исходного порошкового материала использован метод сканирующей электронной микроскопии, для оценки механических свойств — испытания на растяжение. Филамент получен с использованием экструдера *Type B* производства компании *Wellzoom* с автоматическим устройством для смотки полимерного филамента. Приведены параметры процесса экструзии, использованные для получения полимерного прутка из гранул полилактида и композиционного материала, модифицированного частицами графита. В материале установлено наличие углеродных добавок, меняющих физико-механические свойства

### Ключевые слова

*Аддитивные технологии, биокompозиты, полимерный композиционный материал, графит, полилактид, моделирование послойным наплавлением*

---

полимерного композита. По результатам испытаний прутков на растяжение определены характеристики прочности и относительное удлинение	Поступила 26.01.2024 Принята 16.04.2024 © Автор(ы), 2024
---	--

---

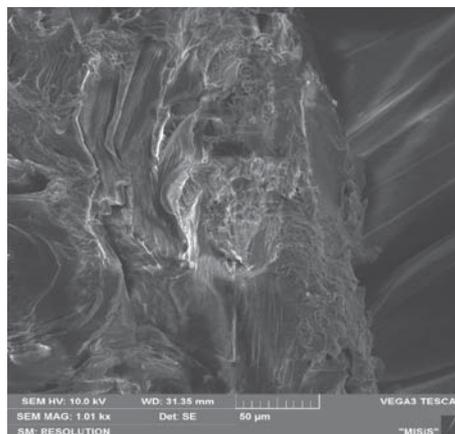
**Введение.** Для изготовления изделий из полимерных материалов активно применяют аддитивные технологии и, в частности, метод послойного наплавления (МПН) или 3D-печать по технологии моделирования послойным наплавлением (Fused Deposition Modeling, FDM, или Fused Filament Fabrication, FFF).

Аддитивные технологии позволяют упростить производство изделий сложных форм из различных материалов [1–4] и выполнить прототипирование изделий перед их серийным производством. В методе послойного наплавления используется выдавливание расплавленного материала, в настоящее время он применяется для обработки большинства термопластичных полимерных материалов (полилактида (ПЛА), акрилонитрилбутадиенстирола, полипропилена) и инженерных пластиков (полиэфирэфиркетона и др.), требующих повышенной температуры при переработке. Получение полимерных композиционных материалов с модифицирующими добавками частиц графита является актуальной задачей с позиции изменения физико-механических свойств ПЛА, а также возможностей получения электропроводящих и «умных» композиционных материалов с использованием углеродных модификаторов. Кроме того, актуален вопрос [4, 5] дальнейшего применения разрабатываемых аддитивных процессов и материалов в производстве.

В работе описан процесс получения композиционного филамента для 3D-печати с использованием процесса экструзии прутка ПЛА диаметром 1,75 мм, применяемого для 3D-печати. Полилактиды — термопластичные полиэфиры на основе молочной кислоты с общей формулой  $[-O-CH(CH_3)C(O)-]_n$  [6]. Полилактид может перерабатываться в природных условиях за несколько месяцев, термическим разложением этот полимер может быть преобразован в исходный мономер. С внедрением аддитивных технологий этот материал активно применяется для прототипирования и изготовления предметов обихода, ненагруженных изделий и конструкций [7, 8].

**Материалы и методы решения задач, принятые допущения.** В качестве матрицы использован ПЛА в гранулах, в качестве модификатора — частицы графита осколочной формы размерами до 150 мкм (графит порошок). Исходная масса частиц при подготовке композиционного материала определялась тензовесами в соответствии с 25%-ной массовой

долей графита (по отношению к совокупной массе получаемого материала). Гранулометрический анализ частиц не проводился. В рассматриваемом случае долю частиц различных размеров можно оценить, руководствуясь данными микроскопии (по фотографиям исходного порошка). Микроструктуры исходного порошка-модификатора и полимерной матрицы исследованы методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на электронном сканирующем микроскопе *TESCAN VEGA LMH* с катодом  $LaB_6$  и системой рентгеновского энергодисперсионного микроанализа *Oxford Instruments Advanced AZtecEnergy*. Изображение полимерной матрицы ПЛА, полученное методом СЭМ, приведено на рис. 1.



**Рис. 1.** Изображение полимерной матрицы ПЛА, полученное методом СЭМ ( $\times 1000$ )

Для получения исходного полимерного прутка, который используется при 3D-печати МПН, применен шнековый экструдер *Type B* производства компании *Wellzoom* (рис. 2), в котором расплав полимера выдавливается через коническую матрицу с использованием шнека. При нагреве в полимерах происходят различные структурные изменения, которые приводят к изменению физических свойств: полимер сначала становится хрупким, затем пластичным, при более высокой температуре — высокоэластичным и, наконец, начинает течь как вязкая жидкость. Таким образом, при нагреве полимер может проходить через следующие состояния: стеклообразное, высокоэластичное, жидкое (при температуре выше температуры



**Рис. 2.** Внешний вид экструдера *Type B* (фирма *Wellzoom*) с устройством для смотки филамента

плавления) [2]. Для экструдирования филамента использован следующий режим: линейная скорость экструзии прутка 1,5 мм/с, температура нагрева 190 °С. Параметры перемешивания выбирались исходя из возможности обеспечения режима каскадного перемешивания для получения равномерного распределения углеродного модификатора на поверхности гранул полимера.

Схема технологического процесса получения полимерного композиционного филамента для 3D-печати с использованием шнекового экструдера показана на рис. 3.

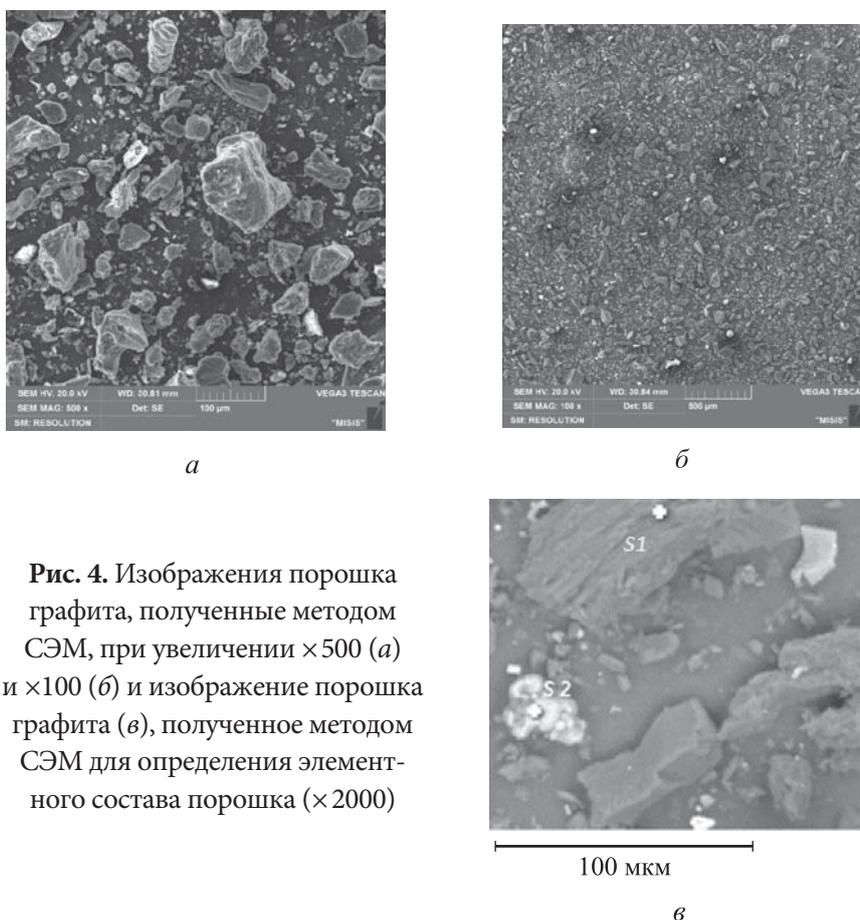


**Рис. 3.** Схема технологического процесса получения полимерного композиционного филамента с использованием шнекового экструдера

Исследования механических свойств полученного полимерного композиционного материала выполнены испытаниями на растяжение на универсальной испытательной машине. В качестве образцов для испытаний на растяжение использованы полимерные прутки диаметром 1,75 мм и длиной 170 мм. Диаметр 1,75 мм был выбран как наиболее распространенный диаметр филамента, используемый в 3D-печати.

**Результаты и их обсуждение.** Полученные методом СЭМ изображения показаны на рис. 4, а, б. Использованные частицы графита имеют осколочную форму в виде обломков с острыми краями. Средний размер (длина) частиц графита составлял около 50 мкм. Изображение порошка графита, полученное методом СЭМ для определения элементного состава порошка, приведено на рис. 4, в.

Плотность частиц графита  $2,24 \text{ г/см}^3$ , плотность исходного ПЛА  $1,30 \text{ г/см}^3$ . Добавление модифицирующих частиц с большей плотностью, чем у полимерной матрицы повышает плотность получаемого композиционного материала. Например, для сравнения можно использовать данные из [9–20], где описано получение биокomпозиционного материала на основе ПЛА с добавлением 25 % древесной муки плотностью  $1,39 \text{ г/см}^3$  в каче-



**Рис. 4.** Изображения порошка графита, полученные методом СЭМ, при увеличении  $\times 500$  (а) и  $\times 100$  (б) и изображение порошка графита (в), полученное методом СЭМ для определения элементного состава порошка ( $\times 2000$ )

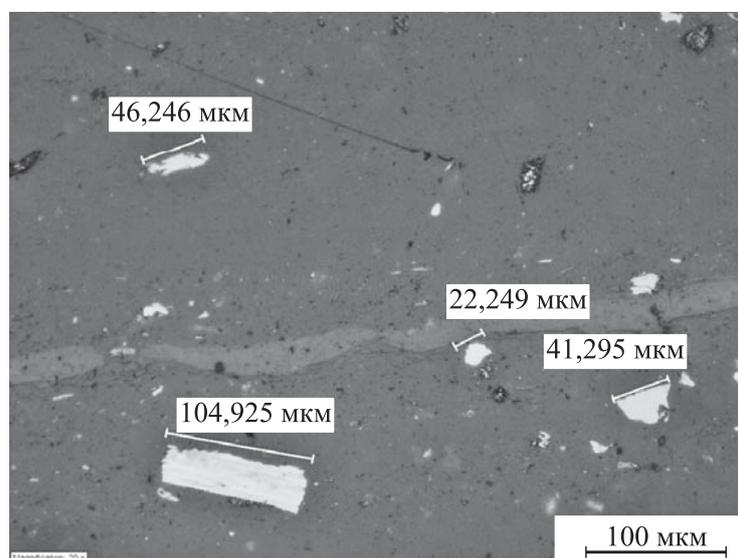
стве наполнителя. В этом случае плотность композиционного материала составила  $1,37 \text{ г/см}^3$ . Результаты анализа элементного состава порошка графита, использованного в качестве модификатора, приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Элементный состав порошка графита, % (масс.)**

Элемент												Сумма
C	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Fe	Cu	Ba	
<i>Спектр S1</i>												
100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
<i>Спектр S2</i>												
49,78	20,8	0,28	1,15	8,44	11,39	0,39	1,76	4,62	0,65	0,24	0,51	100

На основании результатов проведенного анализа элементного состава использованного для модификации полимерного материала порошка графита можно утверждать, что определенная доля частиц порошка-модификатора содержала частицы оксида углерода (S2 на рис. 4, в). Кроме того, после введения в полимерную матрицу порошка графита происходит изменение внешнего вида полимерного материала: цвет полимерной массы становится черным. Изображение модифицированного частицами графита полимерного композиционного материала, полученное методом СЭМ, показано на рис. 5. На изображении можно наблюдать частицы модифицирующего материала различной дисперсности (размер частиц (длина) графита примерно 5...140 мкм).



**Рис. 5.** Изображение модифицированного частицами графита полимерного композиционного материала, полученное методом СЭМ (×20)

Результаты механических испытаний модифицированного частицами графита полимерного композиционного материала приведены в табл. 2. Повышенное содержание графита приводит к снижению пластических свойств материала и относительного удлинения, вместе с тем прочность композиционного материала остается на уровне прочности полимерной матрицы ПЛА. Проведены сравнительные испытания композиционного материала на основе ПЛА с 30%-ным содержанием древесной муки производства компании *Esun* (КНР), результаты испытаний также приведены в табл. 2.

**Результаты механических испытаний модифицированного частицами графита полимерного композиционного материала**

ПЛА	Содержание модификатора, % (масс.)	Предел прочности, МПа	Относительное удлинение, %
Исходный	0	53	55,83
Модифицированный частицами:			
графита	25	59	1,35
древесной муки	30	53	28,73

**Заключение.** Получены прутки композиционного полимерного материала диаметром 1,75 мм на основе ПЛА, пригодные для 3D-печати с использованием МПН. Показано, что повышенное содержание графита снижает пластические свойства материала и относительное удлинение, прочность композиционного материала увеличивается по сравнению с прочностью исходной полимерной матрицы ПЛА и составляет примерно 59 МПа (скорость экструзии прутка 1,5 мм/с и температура нагрева 190 °С). Изменение физико-механических свойств полимерного материала в результате модификации графитом требует дальнейших исследований. Увеличение содержания частиц графита может изменить электропроводящие свойства материала. На основании полученных результатов можно сделать вывод, что для улучшения свойств композиционного материала можно использовать полимерный материал и наполнитель с меньшим размером частиц, что позволит усилить связь между матрицей и модифицирующими частицами для улучшения прочности и пластичности материала.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Shinkaryov A.S., Ozherelkov D.Y., Pelevin I.A., et al. Laser fusion of aluminum powder coated with diamond particles via selective laser melting: powder preparation and synthesis description. *Coatings*, 2021, vol. 11, iss. 10, art. 1219. DOI: <https://doi.org/10.3390/coatings11101219>
- [2] Shinkaryov A.S., Cherkasova M.V., Pelevin I.A., et al. Aluminum powder preparation for additive manufacturing using electrostatic classification. *Coatings*, 2021, vol. 11, iss. 6, art. 629. DOI: <https://doi.org/10.3390/coatings11060629>
- [3] Jagadeesh P., Puttegowda M., Rangappa S.M., et al. A comprehensive review on 3D printing advancements in polymer composites: technologies, materials, and applications. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 2022, vol. 121, no. 1-2, pp. 127–169. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-022-09406-7>

- [4] Efremov D.V, Gerasimova A.A. Production of Fe–Cr–Co-based magnets by selective laser sintering. *Steel Transl.*, 2021, vol. 51, no. 10, pp. 688–692. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0967091221100028>
- [5] Efremov D., Gerasimova A., Kislykh N., et al. Additive technology methods for manufacturing permanent magnets. *MATEC Web Conf.*, 2021, vol. 346, art. 01010. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202134601010>
- [6] Зими́на А.И., Никитин А.А., Львов В.А. и др. Полимерный композиционный материал с эффектом памяти формы на основе полилактида и наночастиц феррита кобальта для адаптивных медицинских изделий. *Гены и клетки*, 2022, т. 17, № 3, с. 91. EDN: TXTCMI
- [7] Subramaniam S.R., Samykano M., Selvamani S.K., et al. 3D printing: overview of PLA progress. *AIP Conf. Proc.*, 2019, vol. 2059, iss. 1, art. 020015. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5085958>
- [8] Гибсон Я., Розен Д., Стакер Б. Технологии аддитивного производства. М., Техносфера, 2016.
- [9] Teymoorzadeh H., Rodrigue D. Biocomposites of wood flour and polylactic acid: processing and properties. *J. Biobased Mater. Bioenergy*, 2015, vol. 9, no. 2, pp. 252–257. DOI: <https://doi.org/10.1166/jbmb.2015.1510>
- [10] Przekop R.E., Kujawa M., Pawlak W., et al. Graphite modified polylactide (PLA) for 3D printed (FDM/FFF) sliding elements. *Polymers*, 2020, vol. 12, iss. 6, art. 1250. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym12061250>
- [11] Slapnik J., Bobovnik R., Mešl M., et al. Modified polylactide filaments for 3D printing with improved mechanical properties. *Contemp. Mater.*, 2016, vol. 7, no. 2, pp. 142–150. DOI: <https://doi.org/10.7251/COMEN1602142S>
- [12] Ertane E.G., Dorner-Reisel A., Baran O., et al. Processing and wear behaviour of 3D printed PLA reinforced with biogenic carbon. *Adv. Tribol.*, 2018, vol. 2018, no. 1. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/1763182>
- [13] Lee D., Wu G.-Y. Parameters affecting the mechanical properties of three-dimensional (3D) printed carbon fiber-reinforced polylactide composites. *Polymers*, 2020, vol. 12, iss. 11, art. 2456. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym12112456>
- [14] Jain A., Mishra A., Dubey A.K., et al. Mechanical characteristics and failure morphology of FFF-printed poly lactic acid composites reinforced with carbon fibre, graphene and MWCNTs. *J. Thermoplast. Compos. Mater.*, 2023, vol. 36, iss. 9, pp. 3618–3643. DOI: <https://doi.org/10.1177/08927057221133089>
- [15] Vinyas M., Athul S.J., Harursampath D., et al. Experimental evaluation of the mechanical and thermal properties of 3D printed PLA and its composites. *Mater. Res. Express*, 2019, vol. 6, no. 11, art. 115301. DOI: <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab43ab>
- [16] Kovan V., Tezel T., Camurlu H.E., et al. Effect of printing parameters on mechanical properties of 3D printed PLA/carbon fibre composites. *Mater. Sci., Nonequilib. Phase Transform.*, 2018, vol. 4, no. 4, pp. 126–128.

[17] Dou H., Cheng Y., Ye W., et al. Effect of process parameters on tensile mechanical properties of 3D printing continuous carbon fiber-reinforced PLA composites. *Materials*, 2020, vol. 13, iss. 17, art. 3850. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma13173850>

[18] Hu C., Hau W.N.J., Chen W., et al. The fabrication of long carbon fiber reinforced polylactic acid composites via fused deposition modelling: experimental analysis and machine learning. *J. Compos. Mater.*, 2021, vol. 55, iss. 11, pp. 1459–1472. DOI: <https://doi.org/10.1177/0021998320972172>

[19] Gao X., Zhang D., Qi S., et al. Mechanical properties of 3D parts fabricated by fused deposition modeling: effect of various fillers in polylactide. *J. Appl. Polym. Sci.*, 2019, vol. 136, iss. 31, art. 47824. DOI: <https://doi.org/10.1002/app.47824>

[20] Vinoth Babu N., Venkateshwaran N., Rajini N., et al. Influence of slicing parameters on surface quality and mechanical properties of 3D-printed CF/PLA composites fabricated by FDM technique. *Mater. Technol.*, 2022, vol. 37, iss. 9, pp. 1008–1025. DOI: <https://doi.org/10.1080/10667857.2021.1915056>

**Шинкарев Александр Сергеевич** — канд. техн. наук, доцент кафедры инжиниринга технологического оборудования НИТУ «МИСИС» (Российская Федерация, 119049, Москва, Ленинский пр-т, д. 4, стр. 1).

**Горбатьюк Сергей Михайлович** — д-р техн. наук, профессор кафедры инжиниринга технологического оборудования НИТУ «МИСИС» (Российская Федерация, 119049, Москва, Ленинский пр-т, д. 4, стр. 1).

**Карфидов Алексей Олегович** — заведующий кафедрой инжиниринга технологического оборудования НИТУ «МИСИС» (Российская Федерация, 119049, Москва, Ленинский пр-т, д. 4, стр. 1).

**Задорожный Владислав Юрьевич** — канд. техн. наук, доцент кафедры физического материаловедения НИТУ «МИСИС» (Российская Федерация, 119049, Москва, Ленинский пр-т, д. 4, стр. 1).

**Пашков Алексей Николаевич** — канд. техн. наук, доцент кафедры инжиниринга технологического оборудования НИТУ «МИСИС» (Российская Федерация, 119049, Москва, Ленинский пр-т, д. 4, стр. 1).

**Чеверикин Владимир Викторович** — канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник кафедры металловедения цветных металлов НИТУ «МИСИС» (Российская Федерация, 119049, Москва, Ленинский пр-т, д. 4, стр. 1).

**Чуков Дилюс Ирекович** — канд. техн. наук, научный сотрудник лаборатории функциональных полимерных материалов НИТУ «МИСИС» (Российская Федерация, 119049, Москва, Ленинский пр-т, д. 4, стр. 1).

**Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:**

Шинкарев А.С., Горбатьюк С.М., Карфидов А.О. и др. Получение модифицированного частицами графита полимерного композиционного материала для использования в аддитивном производстве. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2024, № 5 (116), с. 97–109. EDN: ISOVMI

**OBTAINING GRAPHITE-MODIFIED POLYMER COMPOSITE MATERIAL FOR IMPLEMENTATION IN THE ADDITIVES PRODUCTION**

**A.S. Shinkaryov**

shinkarev.as@misis.ru

**S.M. Gorbatyuk**

sgor02@mail.ru

**A.O. Karfidov**

a.korf@mail.ru

**V.Yu. Zadorozhny**

vuz@misis.ru

**A.N. Pashkov**

anpashkov@istokmw.ru

**V.V. Cheverikin**

v\_cheverikin@misis.ru

**D.I. Chukov**

dil\_chukov@mail.ru

**National University of Science and Technology “MISIS”,  
Moscow, Russian Federation**

---

**Abstract**

The article presents results of analyzing a possibility to obtain a composite material based on the polylactide matrix with addition of the coarse graphite powder particles having characteristic size of no more than 150  $\mu\text{m}$  by extruding a polymer rod with the diameter of 1.75 mm. Subsequently, it is introduced as a filament in the 3D printing using the layer-by-layer fusion deposition method (layer-by-layer fusion deposition modeling). The polymer material initial granules were mechanically mixed with the modifier particles in a special mixing container. Carbon content in the resulting composite material was 25 % (mass). The scanning electron microscopy was used to obtain an image of the initial powder material, and tensile testing was introduced to assess the mechanical properties. The filament was obtained using the *Wellzoom Type B* extruder with an automatic device for winding the polymer filament. The paper presents the extrusion process parameters used to obtain a polymer rod from the polylactide granules and a composite material modified with graphite particles. It was found that the material contained car-

**Keywords**

*Additive technologies, biocomposites, polymer composite material, graphite, polylactide, layer-by-layer fusion modeling*

bon additives changing the polymer composite physical and mechanical properties. Based on results of the rods tensile testing, strength characteristics and relative elongation were determined

Received 26.01.2024

Accepted 16.04.2024

© Author(s), 2024

---

## REFERENCES

- [1] Shinkaryov A.S., Ozherelkov D.Y., Pelevin I.A., et al. Laser fusion of aluminum powder coated with diamond particles via selective laser melting: powder preparation and synthesis description. *Coatings*, 2021, vol. 11, iss. 10, art. 1219. DOI: <https://doi.org/10.3390/coatings11101219>
- [2] Shinkaryov A.S., Cherkasova M.V., Pelevin I.A., et al. Aluminum powder preparation for additive manufacturing using electrostatic classification. *Coatings*, 2021, vol. 11, iss. 6, art. 629. DOI: <https://doi.org/10.3390/coatings11060629>
- [3] Jagadeesh P., Puttegowda M., Rangappa S.M., et al. A comprehensive review on 3D printing advancements in polymer composites: technologies, materials, and applications. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 2022, vol. 121, no. 1-2, pp. 127–169. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-022-09406-7>
- [4] Efremov D.V., Gerasimova A.A. Production of Fe–Cr–Co-based magnets by selective laser sintering. *Steel Transl.*, 2021, vol. 51, no. 10, pp. 688–692. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0967091221100028>
- [5] Efremov D., Gerasimova A., Kislykh N., et al. Additive technology methods for manufacturing permanent magnets. *MATEC Web Conf.*, 2021, vol. 346, art. 01010. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202134601010>
- [6] Zimina A.I., Nikitin A.A., Lvov V.A., et al. Polymer composite material with shape memory effect based on polylactide and cobalt ferrite nanoparticles for adaptive medical products. *Geny i kletki* [Genes & Cells], 2022, vol. 17, no. 3, p. 91. (in Russ.). EDN: TXTCFMI
- [7] Subramaniam S.R., Samykano M., Selvamani S.K., et al. 3D printing: overview of PLA progress. *AIP Conf. Proc.*, 2019, vol. 2059, iss. 1, art. 020015. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5085958>
- [8] Gibson I., Rosen D., Stucker B. Additive manufacturing technologies. New York, NY, Springer, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2113-3>
- [9] Teymoorzadeh H., Rodrigue D. Biocomposites of wood flour and polylactic acid: processing and properties. *J. Biobased Mater. Bioenergy*, 2015, vol. 9, no. 2, pp. 252–257. DOI: <https://doi.org/10.1166/jbmb.2015.1510>
- [10] Przekop R.E., Kujawa M., Pawlak W., et al. Graphite modified polylactide (PLA) for 3D printed (FDM/FFF) sliding elements. *Polymers*, 2020, vol. 12, iss. 6, art. 1250. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym12061250>

- [11] Slapnik J., Bobovnik R., Mešl M., et al. Modified polylactide filaments for 3D printing with improved mechanical properties. *Contemp. Mater.*, 2016, vol. 7, no. 2, pp. 142–150. DOI: <https://doi.org/10.7251/COMEN1602142S>
- [12] Ertane E.G., Dorner-Reisel A., Baran O., et al. Processing and wear behaviour of 3D printed PLA reinforced with biogenic carbon. *Adv. Tribol.*, 2018, vol. 2018, no. 1. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/1763182>
- [13] Lee D., Wu G.-Y. Parameters affecting the mechanical properties of three-dimensional (3D) printed carbon fiber-reinforced polylactide composites. *Polymers*, 2020, vol. 12, iss. 11, art. 2456. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym12112456>
- [14] Jain A., Mishra A., Dubey A.K., et al. Mechanical characteristics and failure morphology of FFF-printed poly lactic acid composites reinforced with carbon fibre, graphene and MWCNTs. *J. Thermoplast. Compos. Mater.*, 2023, vol. 36, iss. 9, pp. 3618–3643. DOI: <https://doi.org/10.1177/08927057221133089>
- [15] Vinyas M., Athul S.J., Harursampath D., et al. Experimental evaluation of the mechanical and thermal properties of 3D printed PLA and its composites. *Mater. Res. Express*, 2019, vol. 6, no. 11, art. 115301. DOI: <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab43ab>
- [16] Kovan V., Tezel T., Camurlu H.E., et al. Effect of printing parameters on mechanical properties of 3D printed PLA/carbon fibre composites. *Mater. Sci., Nonequilib. Phase Transform.*, 2018, vol. 4, no. 4, pp. 126–128.
- [17] Dou H., Cheng Y., Ye W., et al. Effect of process parameters on tensile mechanical properties of 3D printing continuous carbon fiber-reinforced PLA composites. *Materials*, 2020, vol. 13, iss. 17, art. 3850. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma13173850>
- [18] Hu C., Hau W.N.J., Chen W., et al. The fabrication of long carbon fiber reinforced polylactic acid composites via fused deposition modelling: experimental analysis and machine learning. *J. Compos. Mater.*, 2021, vol. 55, iss. 11, pp. 1459–1472. DOI: <https://doi.org/10.1177/0021998320972172>
- [19] Gao X., Zhang D., Qi S., et al. Mechanical properties of 3D parts fabricated by fused deposition modeling: effect of various fillers in polylactide. *J. Appl. Polym. Sci.*, 2019, vol. 136, iss. 31, art. 47824. DOI: <https://doi.org/10.1002/app.47824>
- [20] Vinoth Babu N., Venkateshwaran N., Rajini N., et al. Influence of slicing parameters on surface quality and mechanical properties of 3D-printed CF/PLA composites fabricated by FDM technique. *Mater. Technol.*, 2022, vol. 37, iss. 9, pp. 1008–1025. DOI: <https://doi.org/10.1080/10667857.2021.1915056>

**Shinkaryov A.S.** — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Process Equipment Engineering, National University of Science and Technology “MISiS” (Leninskiy prospekt 4, str. 1, Moscow, 119049 Russian Federation).

**Gorbatyuk S.M.** — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of Engineering of Process Equipment, National University of Science and Technology “MISiS” (Leninskiy prospekt 4, str. 1, Moscow, 119049 Russian Federation).

**Karfidov A.O.** — Head of the Department of Engineering of Process Equipment, National University of Science and Technology “MISiS” (Leninskiy prospekt 4, str. 1, Moscow, 119049 Russian Federation).

**Zadorozhny V.Yu.** — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Physical Materials Science, National University of Science and Technology “MISiS” (Leninskiy prospekt 4, str. 1, Moscow, 119049 Russian Federation).

**Pashkov A.N.** — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Process Equipment Engineering, National University of Science and Technology “MISiS” (Leninskiy prospekt 4, str. 1, Moscow, 119049 Russian Federation).

**Cheverikin V.V.** — Cand. Sc. (Eng.), Lead Researcher, Department of Metallurgy of Non-Ferrous Metals, National University of Science and Technology “MISiS” (Leninskiy prospekt 4, str. 1, Moscow, 119049 Russian Federation).

**Chukov D.I.** — Cand. Sc. (Eng.), Researcher, Laboratory of Functional Polymer Materials, National University of Science and Technology “MISiS” (Leninskiy prospekt 4, str. 1, Moscow, 119049 Russian Federation).

**Please cite this article in English as:**

Shinkaryov A.S., Gorbatyuk S.M., Karfidov A.O., et al. Obtaining graphite-modified polymer composite material for implementation in the additives production. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences*, 2024, no. 5 (116), pp. 97–109 (in Russ.). EDN: ISOVMI