

К.С. Шевчук<sup>1,2</sup>, В.Ю. Науменко<sup>1</sup>, О.В. Дерев'янка<sup>1</sup>, О.Б. Згалат-Лозинський<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України

<sup>2</sup> Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ВИГОТОВЛЕННЯ ФІЛАМЕНТІВ ДЛЯ 3D-ДРУКУ З ABS ПЛАСТИКУ ЗМІЦНЕНОГО БАЗАЛЬТОВИМИ ВОЛОКНАМИ

*У даній статті розглянуто процес виготовлення філаменту для 3D-друку з ABS пластику, зміцненого базальтовими волокнами. Проведено екструзію ABS з 10мас.% базальтових волокон, що дозволило отримати композитний матеріал для технології FDM друку. Аналіз показав рівномірний розподіл волокон у матриці. Виявлено проблеми, пов'язані з крихкістю філаменту та його поганою адгезією до платформи під час друку. Оптимізовано параметри 3D-принтера для друку виробів складної форми.*

*Ключові слова:* 3D друк, базальт, композит, ABS пластик.

K.S. Shevchuk, V.Yu. Naumenko, O.V. Derevyanko, O.B. Zgalat-Lozinsky

## MANUFACTURE OF FILAMENTS FOR 3D PRINTING FROM ABS PLASTIC REINFORCED WITH BASALT FIBERS

*This article discusses the process of manufacturing filament for 3D printing from ABS plastic reinforced with basalt fibers. ABS was extruded from 10wt.% basalt fibers, which made it possible to obtain a composite material for FDM printing technology. The analysis showed a uniform distribution of fibers in the matrix. Problems related to the fragility of the filament and its poor adhesion to the platform during printing have been identified. The parameters of the 3D printer for printing complex shape parts were optimized.*

*Keywords:* 3D printing, basalt, composite, ABS plastic.

### Вступ

3D-друк – це сучасна технологія, яка відкриває нові можливості в різних галузях, від промисловості до медицини. В основі процесу лежить поступове нашарування матеріалів, що дозволяє створювати тривимірні вироби з високою точністю [1-3]. Адитивні технології використовуються для виготовлення прототипів, деталей механізмів, індивідуальних виробів і навіть складних біологічних структур. Однак якість і функціональність надрукованих виробів значною мірою залежать від матеріалів, які використовуються в процесі, а також технології 3D друку [4, 5]. За основу для цього дослідження було обрано 3D-друк за допомогою технології моделювання методом наплавлення шарів (fused deposit modelling – FDM), де для друку використовується пластиковий філамент.

Існує широкий спектр матеріалів для 3D-друку методом FDM, зокрема різні види пластиків: ABS, PLA, PP та інші. Проте кожен із них має свої обмеження, такі як міцність, стійкість до зовнішніх впливів і екологічні проблеми. Це ставить перед дослідниками завдання пошуку нових рішень для підвищення фізико-механічних та інших властивостей використовуваних полімерних матеріалів. Одним із таких рішень є армування пластиків, що підвищує їхню міцність та довговічність [6-8].

Найбільш популярним матеріалом для армування є волокна, включаючи скловолокно, вуглеводні волокна та базальтові волокна [9]. Включення базальтових волокон у термопластики значно підвищує механічні властивості 3D-друкованих матеріалів, таких як міцність і жорсткість [10]. Це особливо важливо для конструкцій, де важливі механічні навантаження. Наприклад автори роботи [11] вказують на те що використання базальтових волокон як внутрішньої арматури в бетоні покращує його механічні властивості.

Також суміші базальту з ABS або PLA успішно використовуються для створення міцних композитних матеріалів [12, 13]. Термопластичні композити, зміцнені базальтовим волокном, пропонують економічну альтернативу композитам на основі вуглецевого волокна. Важливо підкреслити, що виробництво базальтового волокна є дешевшим порівняно з S-скловолокном, що робить його вигідною заміною для S-скловолокна [14].

У роботі [15] представлено дослідження впливу додавання базальтових волокон на механічні властивості переробленого поліпропілену. Міцність на розрив переробленого поліпропілену (ПП) була виміряна як 31,8 МПа. Додавання 2% мас. базальтового волокна до ПП призвело до підвищення міцності на розрив на 11,65%.

Базальтові волокна, як наповнювачі для матриці із ПП, позитивно впливають на модуль Юнга та термічну стабільність, зазначається у роботі [16]. А у роботі [17] вказано що 5 мас. % базальтових волокон у ПП та ПА12, виготовлених за допомогою 3D-друку методом FDM, підвищують показники жорсткості, в порівнянні із литтям під тиском.

Автори роботи [18] порівняли механічні характеристики пластику армованого базальтовими волокнами та скловолокном. Насправді базальтовий композит продемонстрував на 35–42% вищий модуль Юнга, а також кращу міцність на стиск і вигин.

Ідея заповнити цими волокнами полімерну матрицю є відносно недавньою і може запропонувати дуже цікаві перспективи, які ще недостатньо досліджені. Більшість авторів працюють з ПЛА або ПП пластиками [15 - 17], а пластики високої міцності типу ABS ще не досліджені в достатній мірі. З викладеного вище можна зробити висновок про актуальність дослідження впливу армування пластику ABS базальтовими волокнами на механічні властивості, але перш ніж перейти до дослідження фізико-механічних та інших властивостей композиту, для чого необхідно отримати якісний матеріал/філамент на основі полімеру армованого базальтовими волокнами.

#### **Мета роботи**

В представленій роботі досліджували умови введення базальтового волокна (10 мас.%) в полімерну матрицю на основі ABS пластику та його екструзію для отримання філаменту для 3D друку методом FDM.

#### **Матеріали та методи**

Максимально текучий пластик ABS корейської марки LG у формі гранул циліндричної форми діаметром 3 мм зміцнювали базальтовим волокном у кількості 10 мас. %. Змішування проводили на планетарному млині SAND1 при швидкості 250 об/хв впродовж 1.5 год.

Філамент для 3D-друку отримували за допомогою Ego extruder (Україна) (рис. 1). Екструзію полімер-базальтового композиту проводили за температури 260 °C з діаметром сопла 1,5 мм. Отриманий матеріал виходив занадто крихким, що унеможливило автоматичне намотування його на стандартну катушку, тому філамент після охолодження намотували вручну.



Рис. 1. Ego extruder

#### **Результати дослідження**

Отриманий методом екструзії полімер-базальтовий композит представлено на рис. 2. Діаметр філаменту змінювався в межах 1.55-1.75 мм. Аналіз зламу філаменту показав, що базальтові волокна розподілені рівномірно в полімерній матриці (рис. 2 б).

Із отриманого філаменту на 3D принтері MALYAN Desktop 3D Printer (рис. 3) за температури столу в 100°C і сопла 235°C була надрукована шестерня (рис. 4, 5). Коефіцієнт екструзії було

встановлено на рівні 1.15, оскільки отриманий матеріал пористий, і для суцільної заливки моделі за тієї ж швидкості друку потрібно більше матеріалу продавлювати через сопло.



а б  
**Рис. 2. Філамент після першого екструзування на echo extruder: а – загальний вид (x14), б – злам полімер-базальтового композиту (x28)**

Зважаючи на високий ступінь заповнення ABS філаменту базальтовим волокном під час 3D-друку виникло ряд проблем, в першу чергу з відшаруванням під час друку композитного матеріалу від столу 3D принтера. За допомогою зміни налаштувань принтера та визначення оптимальних параметрів друку (коригування відстані між столом та соплом, температури столу, швидкості друку, та коефіцієнту екструзії) було досягнуто максимальної відповідності надрукованого виробу заданій моделі.

Наша подальша робота буде зосереджена на пошуку оптимального вмісту базальтового волокна в пластику ABS для досягнення балансу між технологічними параметрами філаменту (пластичність для можливості автоматичного намотування на стандартну катушку, мінімальне відхилення діаметру) та фізико-механічними властивостями надрукованих виробів.



**Рис. 3. 3D принтер MALYAN Desktop 3D Printer**

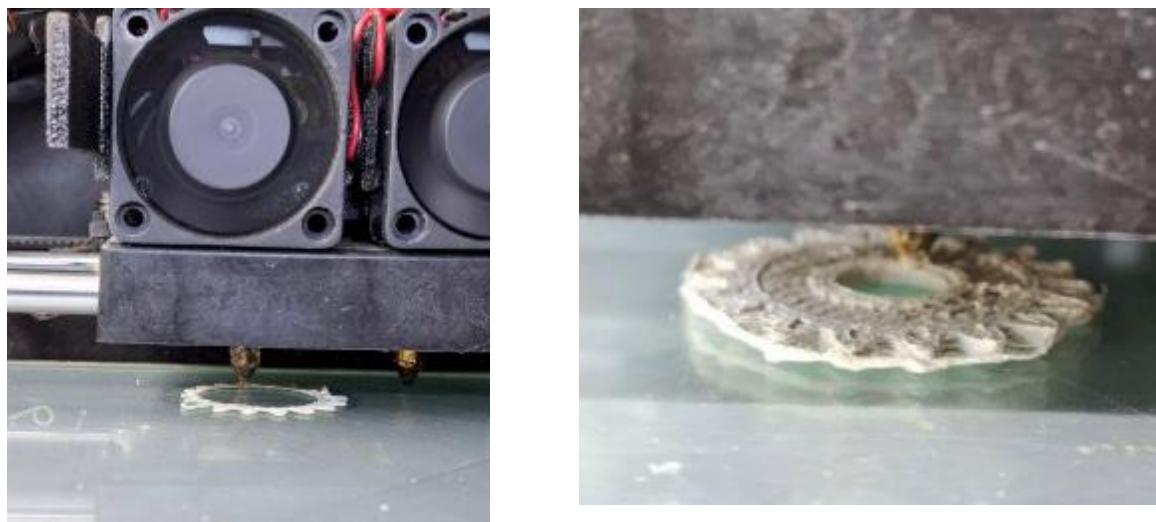


Рис. 4. Процес друку шестерні на 3Д принтері MALYAN Desktop 3D Printer



Рис. 5. Шестерня надрукована на 3Д принтері MALYAN Desktop 3D Printer

#### **Висновки**

Було проведено дослідження умов отримання філаменту методом екструзії для 3Д друку за технологією FDM на основі пластику ABS з додаванням 10 мас. % базальтових волокон. В результаті отримано композиційний матеріал із рівномірно розподіленими базальтовими волокнами. З отриманого композиційного матеріалу було надруковано шестерню, розміри якої відповідали заданій цифровій моделі.

#### **Список використаних джерел інформації**

1. Shen, H.T. Interaction of Ice Covers with River Channels and Bridges // *Journal of Fluids Engineering*. – 1981. – Vol. 103, No. 3. – P. 365–368. DOI: [10.1115/1.2900701] (<https://doi.org/10.1115/1.2900701>).
2. Zgalat-Lozynskyy, O.B. Materials and Techniques for 3D Printing in Ukraine (Overview). *Powder Metall Met Ceram* 61, 398–413 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11106-023-00327-y>
3. Згалат-Лозинський, О. Б. (2024). Сучасні технології 3D-друку, мікрохвильової обробки та іскро-плазмового спікання для виготовлення виробів із композиційних матеріалів на основі тугоплавких сполук: За матеріалами доповіді на засіданні Президії НАН України 6 березня 2024 року. *Вісник Національної академії наук України*, (5), 91–98. <https://doi.org/10.15407/visn2024.05.092>
4. Gibson, I., Rosen, D.W., Stucker, B. *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*. – Springer, 2015. – 498 p.

5. O. Tolochyna, N. Zgalat-Lozynska, Y. Podrezov, D. Verbylo, O. Tolochyn, O. Zgalat-Lozynskyy, The role of flexible polymer composite materials properties in energy absorption of three-dimensional auxetic lattice structures, *Materials Today Communications*, Vol. 37, 2023, 107370, <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.107370>.
6. Xu, D., Li, Y., et al. Mechanical and Morphological Properties of Polymers // *Polymer Testing*. – 2022. – Vol. 107. – Article 107545. DOI: [10.1016/j.polymertesting.2022.107545] (<https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2022.107545>).
7. Zgalat-Lozynskyy, O.B., Matviichuk, O.O., Litvyn, R.V. et al. Microwave Sintering of 3D Printed Composites from Polymers Reinforced with Titanium Nitride Particles. *Powder Metall Met Ceram* 62, 164–173 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11106-023-00380-7>
8. Zgalat-Lozynskyy, O., Matviichuk, O., Tolochyn, O. et al. Polymer Materials Reinforced with Silicon Nitride Particles for 3D Printing. *Powder Metall Met Ceram* 59, 515–527 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11106-021-00189-2>
9. MDPI. Special Issue on Fiber Reinforced Polymer Concrete: Analysis, Modeling, and Application // *Polymers* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [[https://www.mdpi.com/journal/polymers/special\\_issues/Fiber\\_Reinforced\\_Polymer\\_Concrete\\_Analysis](https://www.mdpi.com/journal/polymers/special_issues/Fiber_Reinforced_Polymer_Concrete_Analysis)] ([https://www.mdpi.com/journal/polymers/special\\_issues/Fiber\\_Reinforced\\_Polymer\\_Concrete\\_Analysis](https://www.mdpi.com/journal/polymers/special_issues/Fiber_Reinforced_Polymer_Concrete_Analysis))
10. Davis, L.C. Fiber Reinforcement in Thermoplastics // *Comprehensive Composite Materials*. – 2000. – Vol. 2. – P. 489–510. DOI: [10.1016/B978-0-443-13623-8.00012-5](<https://doi.org/10.1016/B978-0-443-13623-8.00012-5>).
11. Feng, P., et al. Mechanical Properties of Fiber-Reinforced Concrete // *Cement and Concrete Composites*. – 2019. – Vol. 97. – P. 106–115. DOI: [10.1016/j.cemconcomp.2018.11.015] (<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.11.015>).
12. Research on Basalt Fiber-Reinforced ABS Thermoplastic Composite in Space // 3D Print [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: [<https://3dprint.com/254829/basalt-fiber-reinforced-abs-researchers-develop-thermoplastic-composite-in-space>](<https://3dprint.com/254829/basalt-fiber-reinforced-abs-researchers-develop-thermoplastic-composite-in-space>).
13. MDPI. Mechanical Behavior of Reinforced Polymers // *Polymers*. – 2023. – Vol. 16, No. 6. – Article 831. DOI: [<https://www.mdpi.com/2073-4360/16/6/831>](<https://www.mdpi.com/2073-4360/16/6/831>).
14. International Journal of Textile Science. Mechanical Properties of Fiber-Reinforced Textiles // *International Journal of Textile Science*. – 2012. – Vol. 1, No. 4. – P. 19–28. DOI: [10.5923/j.textile.20120104.02](<https://doi.org/10.5923/j.textile.20120104.02>).
15. Smith, A. et al. Advanced Materials and Their Applications // *Materials Letters*. – 2022. – Vol. 323. – Article 132942. DOI: [10.1016/j.matlet.2022.132942] (<https://doi.org/10.1016/j.matlet.2022.132942>).
16. Anderson, P., et al. Polymer Composites and Their Industrial Applications // *Polymer Composites*. – 2023. – Vol. 44, No. 3. – P. 567–578. DOI: [10.1002/pc.28641] (<https://doi.org/10.1002/pc.28641>).
17. Johnson, R., et al. Applications of Smart Materials in Engineering // *Journal of Composites Science*. – 2023. – Vol. 7, No. 9. – Article 367. DOI: [10.3390/jcs7090367] (<https://doi.org/10.3390/jcs7090367>).
18. Miller, S. et al. Behavior of Polymer Concrete // *Composites Part B*. – 2011. – Vol. 42, No. 4. – P. 778–789. DOI: [10.1016/j.compositesb.2011.01.030] (<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2011.01.030>).