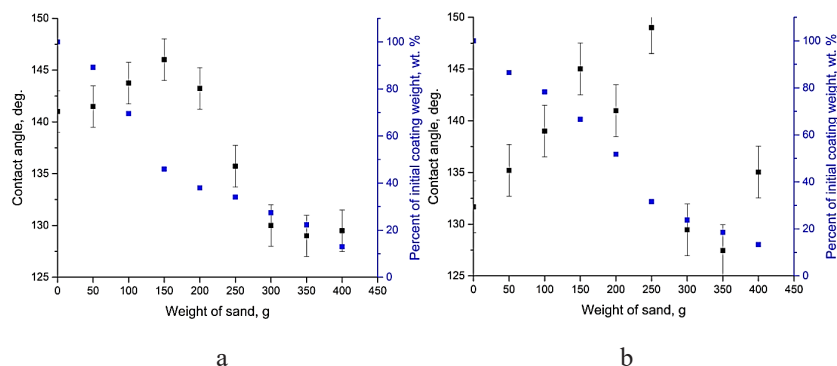


area, making them of special interest. Ground expanded perlite is a potential filler material, which is widely used as an adsorbent in sunflower oil production. An acrylate polymer is considered as a binder for microparticles in this study, which is a widely used film-forming agent for exterior coatings [3].

During the wear test the value of the contact angle of the coatings increases to a certain limit, after which begins to decrease to the initial values and below (Fig. 1). The increase in the contact angle to the extremum point can be explained both by surface contamination of the microtextured coating with fragments or whole pearlite particles, and by the removal of a part of the acrylic film former. A decrease in this indicator after the extremum point, in turn, can be explained in a gradual removal of pearlite microparticles that form the structure of the coating this assumption is partially confirmed by the correlation of the contact angle curves and the mass loss of the coating.



**Figure 1** – The impact of perlite filler content on the mechanical abrasion resistance of coatings: a – 85 wt. %; b – 65 wt. %

### CONCLUSIONS

The study demonstrates that crushed perlite coatings maintain their water-repellent properties even during abrasive wear, and the resistance to abrasion increases with higher binder content. Grinding expanded perlite produces products with a smaller particle size range, hydrophobized with polymethylhydrosiloxane, resulting

in a wetting angle of 145° and surface energy of 27 mN/m. The coatings exhibit an inhomogeneous surface geometry with most fine fraction lamellar particles oriented perpendicularly to the substrate. Water contact angles depend on the amount of abrasive, with the extremum point determined by binder content. Under the static action of water, a decrease in the contact angle occurs, but the Cassie state is not completely lost.

### References

1. Myronyuk, O., Dudko, V., Baklan, D., Melnyk, L. (2017). Study of structure influence on wear resistance of hierarchical superhydrophobic coatings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (12 (87)), 44–49. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.103028
2. Assessment of using secondary raw materials from sunflower oil production as a compound of elastomeric compositions. (2019). *Voprosy Khimii I Khimicheskoi Tekhnologii*, (2), 99–105. DOI: 10.32434/0321-4095-2019-123-2-99-105
3. Davachi, S. M., Heidari, B. S., Sahraeian, R., Abbaspourrad, A. (2019). The effect of nanoperlite and its silane treatment on the crystallinity, rheological, optical, and surface properties of polypropylene/nanoperlite nanocomposite films. *Composites Part B: Engineering*, 175, 107088. DOI: 10.1016/j.compositesb.2019.107088

УДК 678.523.4

## ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ АДИТИВНОГО ВИРОБНИЦТВА У СТВОРЕННІ ТЕПЛОПРОВІДНИХ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ

Богдан Савченко, д. т. н., проф.,  
Денис Пушкарьов, аспірант

Київський національний університет технологій та дизайну

**Анотація.** Робота присвячена висвітленню питання можливості застосування технології адитивного виробництва для створення

виробів на основі полімерних композиційних матеріалів з покращеними теплопровідними властивостями.

**Ключові слова:** адитивне виробництво, 3D-друк, теплопровідні полімерні композити, теплофізичні властивості, параметри адитивного виробництва.

**Abstract.** The paper is devoted to the issue of the possibility of using additive manufacturing technology to create products based on polymer composite materials with improved thermal conductive properties.

**Key words:** additive manufacturing, 3D printing, thermally conductive polymer composites, thermophysical properties, additive manufacturing parameters.

Адитивне виробництво (також відоме як 3D-друк) є важливою сучасною технологією, яка зробила революцію у промисловості. Ця технологія передбачає створення тривимірного об'єкта шляхом додавання шарів матеріалу один на одного, а не віднімання матеріалу з блоку, як у традиційних методах виробництва. Адитивне виробництво пропонує кілька переваг порівняно з традиційними методами виробництва, включаючи більшу гнучкість конструкції, швидший час виробництва, зменшення матеріальних відходів і можливість створювати складні геометрії, які було б важко або неможливо виготовити традиційними методами [1]. Технологія знайшла широкий спектр застосувань у різних галузях, включаючи аерокосмічну, автомобільну, медичну та споживчу промисловість. Використовується для створення всього: від легких компонентів літаків до індивідуальних протезів і зубних імплантатів.

Існує кілька типів технологій адитивного виробництва, кожна з яких має свій унікальний процес створення 3D-об'єктів. Ось деякі з найбільш часто використовуваних типів адитивного виробництва: пошарове наплавлення філаменту (FFF), стереолітографія (SLA), вибіркоче лазерне спікання (SLS), цифрова обробка світлом (DLP), Спрямоване лазерне осадження (DED).

Пошарове наплавлення філаменту (FFF) Fused Filament Fabrication – це популярна технологія адитивного виробництва, яка передбачає плавлення термопластичної нитки та її нанесення шар за шаром для створення 3D-об'єкта. Процес починається

з 3D-моделі, яка нарізається на тонкі шари, а потім 3D-принтер нагріває термопластичну нитку до температури плавлення та екструдує її через сопло. Далі екструдований матеріал наноситься шар за шаром на будівельну платформу, при цьому кожен шар з'єднується з попереднім у міру охолодження та твердіння. Процес FDM широко використовується завдяки низькій вартості, простоті застосування та універсальності, і зазвичай, використовується для швидкого створення прототипів, розробки одиничного продукту та дрібносерійного виробництва.

Адитивне формування або 3D-друк є чудовою технологією для створення теплопровідних корпусів для електронних пристроїв. За допомогою 3D-друку можна створювати складні геометрії та форми, які важко виготовити традиційними методами виробництва. Це може бути особливо корисним для створення складних каналів охолодження та ребер, які допомагають ефективно розсіювати тепло від пристрою. Досить часто технології адитивного виробництва використовують для виготовлення деталей та конструкцій для котрих важлива теплопровідність, зокрема, корпуси для електронних пристроїв. Адже тепло, що виділяється під час роботи електроніки має бути відведене для забезпечення безперервності та надійності її роботи.

Теплопровідні полімерні композити – це матеріали, які поєднують полімерну матрицю з теплопровідними наповнювачами для покращення теплопровідності матеріалу. Полімерною матрицею може бути будь-який термопластичний або терморективний полімер, такий як поліамід, полікарбонат, АБС-пластик, поліефіри або навіть епоксидна смола. Теплопровідними наповнювачами можуть бути металеві або неметалічні частинки, волокна або пластівці, такі як алюміній, мідь, графіт або вуглецеві нанотрубки [2]. Теплопровідність композиту визначається теплопровідністю частинок наповнювача та їх об'ємною часткою в полімерній матриці. Частинки наповнювача утворюють мережу всередині полімерної матриці, створюючи шляхи для теплопередачі через композит. Чим вище об'ємна частка частинок наповнювача, тим вище теплопровідність композиту.

Крім теплопровідності, інші важливі властивості теплопровідних полімерних композитів включають механічну міцність, стабільність розмірів і електропровідність. Властивості композиту можна адаптувати шляхом регулювання типу та об'ємної частки частинок наповнювача, а також умов обробки, що використовуються для виготовлення композиту.

Використовуючи 3D-друк, також можна виготовляти корпуси з легкими, але міцними конструкціями, що зменшує вагу всього пристрою та покращує його мобільність. Крім того, 3D-друк дозволяє використовувати передові матеріали зі специфічними властивостями, такими як висока теплопровідність, які можуть допомогти підвищити ефективність охолодження корпусу.

Адитивне виробництво має ряд унікальних можливостей – програмне перетворення моделі виробу у шарувату просторову структуру – оболонки та її заповнення. Шарувата структура виробу дозволяє програмним чином регулювати розподіл матеріалу та його орієнтацію щодо форми виробу. Ймовірно, що особливості технологій адитивного виробництва впливають та теплофізичні властивості створених полімерних композитів і дослідження в цьому напрямку є актуальним завданням полімерної галузі.

Для досліджень обрано полімери, що найчастіше використовуються в адитивному виробництві, зокрема PLA [3], PET-g, TPU та композити на їх основі з доступними та недорогими теплопровідними наповнювачами, наприклад, порошки металів, оксиди металів, графіт, вуглецеві нанотрубки та інші речовини. Для оцінки впливу параметрів адитивного виробництва на теплофізичні властивості досліджуваних композитів буде проведено порівняння властивостей зразків, отриманих литтям під тиском та надрукованих з різним просторовим розташуванням шарів.

В результаті проведення досліджень очікується встановлення залежності впливу параметрів адитивного виробництва на теплофізичні властивості полімерних композитів. Розробка складу композиційного матеріалу та вибір технології створення готового виробу з прогнозованими характеристиками.

## ВИСНОВКИ

1. У роботі проведено аналіз можливостей технологій адитивного виробництва при створенні функціональних полімерних композитів.

2. Сформульовано мету та основні задачі дослідження для створення полімерних композитів з покращеними теплопровідними властивостями.

## Список літератури

1. Gibson, Ian et al. Additive manufacturing technologies. Vol. 17. Cham, Switzerland: Springer, 2021. 675 p.
2. Ma, H., Gao, B., Wang, M., Yuan, Z., Shen, J., Zhao, J., Feng, Y. Strategies for enhancing thermal conductivity of polymer-based thermal interface materials: A review. J. Mater. Sci. 2021. 56. P. 1064–1086.
3. Jiang, C., & Hu, Y. High thermal conductivity polylactide composites: a review. Journal of Polymer Research. 2021. 28 (8). P. 1–15.

УДК 678.7

## ВПЛИВ НАНОНАПОВНЮВАЧА $\text{CaCO}_3$ НА ДЕЯКІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІЕТИЛЕНУ НИЗЬКОЇ ГУСТИНИ

**Катерина Сингаївська,  
Любов Мельник, к. т. н., доц.**

КПІ ім. Ігоря Сікорського

**Анотація.** В даній роботі було проведено дослідження впливу нанонаповнювача  $\text{CaCO}_3$  на деякі властивості поліетилену низької густини. Було з'ясовано, що додавання даного наповнювача до поліетилену низької густини (ПЕНГ) сприяє підвищенню міцності матеріалу без зміни температури плавлення та ступеня кристалізації, але при цьому знижується його пластичність.

**Ключові слова:** нанонаповнювачі, поліетилен,  $\text{CaCO}_3$ , модуль Юнга, межа текучості, деформація.