

Технічні науки

УДК 538.9:536.6

Фіалко Наталія Михайлівна

*доктор технічних наук, професор,
чл.-кор. НАН України, завідувача відділом
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Fialko Nataliia

*Doctor of Technical Sciences, Professor,
Corresponding Member of the NAS of Ukraine, Head of Department
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Дінжос Роман Володимирович

*доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи
Чорноморський національний університет імені Петра Могили*

Dinzhos Roman

*Doctor of Technical Sciences, Professor.
Vice-rector for Scientific Work
Petro Mohyla Black Sea National University*

Меранова Наталія Олегівна

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Meranova Nataliia

*Candidate of Technical Sciences, Senior Scientific Researcher,
Leading Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Шеренковський Юлій Владиславович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,

провідний науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Sherenkovskiy Julii

Candidate of Technical Sciences, Senior Scientific Researcher,

Leading Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Манькусь Ірина Володимирівна

кандидат педагогічних наук, доцент,

завідувач кафедри фізики та математики

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

Mankus Irina,

PhD, Associate Professor,

Head of the Department of Physics and Mathematics,

Petro Mohyla Black Sea National University

Юрчук Володимир Леонідович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Yurchuk Volodymyr

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Місюра Тимофій Олексійович

доктор філософії, старший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Misiura Tymofii

PhD, Senior Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Хміль Дмитро Петрович

доктор філософії, старший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Khmil Dmytro

PhD, Senior Researcher

of Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

**ТЕПЛОПРОВІДНІСТЬ ПОЛІМЕРНИХ МІКРО – І
НАНОКОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ ПОЛІАМІДУ –6
HEAT CONDUCTIVITY OF POLYMER MICRO- AND
NANOCOMPOSITES BASED ON POLYAMIDE-6**

Анотація. В статті наведено дані експериментальних досліджень теплопровідності полімерних мікро – і нанокомпозитів на основі поліаміду-6 при використанні різних наповнювачів та зміні їх масової частки. Як наповнювачі використовувались вуглецеві нанотрубки, мікрочастинки міді та алюмінію. Досліджено вплив на теплопровідні властивості композитів двох методів їх отримання: змішування компонентів у сухому вигляді та в розплаві полімеру.

Ключові слова: Мікро- і нанокомпозити, коефіцієнт теплопровідності, поліамід-6, вуглецеві нанотрубки, мікрочастинки міді, мікрочастинки алюмінію.

Summary. The article presents data from experimental studies of heat conductivity of polymer micro- and nanocomposites based on polyamide-6 using different fillers and changing their mass fraction. Carbon nanotubes, copper and

aluminum microparticles were used as fillers. The effect of two methods of obtaining composites on their heat conductivity was studied: mixing components in dry form and in a polymer melt.

Key words: *Micro- and nanocomposites, heat conductivity coefficient, polyamide-6, carbon nanotubes, copper microparticles, aluminum microparticles.*

Вступ. Полімерні нанокомпозити характеризуються унікальним спектром фізико-механічних і технологічних властивостей [1-13]. Однією з важливих властивостей матеріалів, що застосовуються для виготовлення енергетичного обладнання, є їх теплопровідність. В залежності від величини та зміни коефіцієнта теплопровідності різних полімерних мікро- і нанокомпозитів ці матеріали можуть мати високо- і низькотеплопровідні властивості. Це дає можливість широкого використання полімерів для виготовлення теплообмінних поверхонь різного призначення, теплозахисних шарів енергетичного устаткування. Вивченню теплофізичних властивостей полімерних мікро- і нанокомпозитів присвячено багато наукових досліджень, які показали, що коефіцієнт теплопровідності композитів залежить від багатьох параметрів, зокрема, від виду наповнювачів, їх частки та методу одержання композитів.

В роботі представлені результати експериментальних досліджень теплопровідності полімерних мікро- і нанокомпозитів на основі поліаміду- 6, наповненого вуглецевими нанотрубками (ВНТ), мікрочастинками міді та алюмінію, при застосуванні для їх одержання методів, що базуються на змішуванні компонентів в сухому вигляді (метод 1) або в розплаві полімеру (метод 2). В ході проведення досліджень масова частка наповнювача змінювалась від 0,3 до 10%, температура композитів – від 320 до 525 К.

Аналіз літературних джерел. Теплопровідні властивості полімерних композиційних матеріалів залежать від багатьох факторів, таких як тип полімерної матриці, матеріал і концентрація наповнювача, метод одержання композитів. Дослідженню впливу цих факторів присвячені роботи [1-6].

Так в роботах [1-2] досліджено залежність теплопровідності нанокомпозитів на основі поліпропілену, наповненого вуглецевими нанотрубками, від температурного режиму їх отримання – рівня перегріву розплаву полімеру відносно температури його плавлення. Визначено раціональний рівень перегріву полімера для отримання високотеплопровідних нанокомпозитів. Зміну коефіцієнтів теплопровідності композитів на основі полікарбонату в залежності від масової частки наповнювачів представлено в роботі [4]. Результати експериментальних досліджень теплофізичних властивостей полімерних мікро- та нанокомпозитів на основі поліаміду 6 представлено в роботах [5-6]. Встановлено закономірності зміни теплопровідності цих композитів від вмісту різних теплопровідних наповнювачів.

В роботі [7-10] отримані результати, що можуть бути використані при розробці полімерних композиційних матеріалів для теплоенергетичного обладнання.

Мета роботи. Метою роботи є встановлення за даними експериментальних досліджень ефектів впливу на теплопровідність полімерних нанокомпозитів на основі поліаміду 6 методів їх одержання та виду наповнювачів і їх частки.

Методика проведення досліджень. Розглядаються два методи синтезу полімерних композитів. Перший з них базується на змішуванні компонентів у сухому вигляді з використанням магнітної мішалки і ультразвукового диспергатора при подальшому гарячому пресуванні отриманої композиції. У другому методі змішування компонентів відбувається в розплав полімеру із застосуванням дискового екструдера при

подальшому наданні композиту необхідної форми методом гарячого пресування.

Вказані методи застосовуються для одержання композитів на основі поліаміду 6, наповнених вуглецевими нанотрубками, або мікрочастинками алюмінію чи міді. Вуглецеві нанотрубки, які використовувались у дослідженнях, виготовлялися методом хімічного парофазного осадження. Мікрочастинки міді і алюмінію, що використовувались як наповнювач, одержувались відповідно з мідних і алюмінієвих ошурків шляхом їх розтирання у кульовому млині до утворення частинок розміром 0,5 ...1,0 мкм.

Коефіцієнт теплопровідності композитів визначався із застосуванням модифікованого приладу ІТ- λ -400.

Результати виконаних досліджень. Як показали дослідження при використанні як першого, так і другого методів отримання композитів їх теплопровідність ранжується однаковим чином. Але теплопровідність композитів на основі поліаміду 6, наповнених вуглецевими нанотрубками, мікрочастинками міді та алюмінію, отриманих з використанням другого методу, є значно вищою. Так, при $\omega = 10\%$ коефіцієнти теплопровідності композитів λ , що відповідають другому методу, досягають 29,4-50,2 Вт/(м·К), у разі ж застосування першого методу – лише 4,86–9,95 Вт/(м·К). Для прикладу рисунок 1 ілюструє концентраційну залежність теплопровідності композитів на основі поліаміду 6, від виду наповнювачів та їх частки в нанокompозиті при отриманні його методом 2.

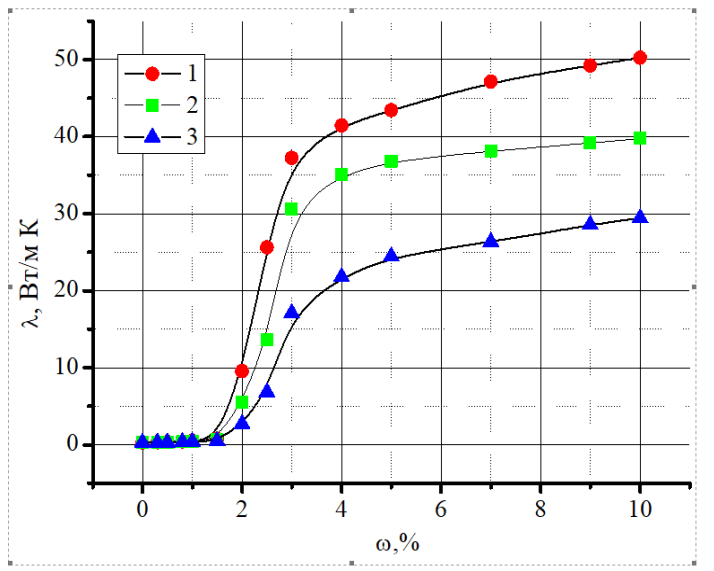


Рис. 1. Залежність коефіцієнта теплопровідності полімерних нанокомпозитів на основі поліаміду 6, від масової частки наповнювачів $\omega = 0,3 - 10\%$, та їх виду: 1 - вуглецеві нанотрубки; 2- мікрочастинки міді; 3 - мікрочастинки алюмінію при другому методі їх одержання.

З наведених даних видно, що найбільшим є значення теплопровідності при наповненні поліаміду 6 вуглецевими нанотрубками $-50,2 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, меншим – мікрочастинками міді $-40 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ та найменшим $29,4 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ – мікрочастинками алюмінію. При цьому згідно з отриманими даними вплив методу одержання нанокомпозитів, що розглядаються, є суттєво різним при використанні різних наповнювачів. Найбільш чутливою до методу отримання є теплопровідність композитів, наповнених ВНТ, дещо менш чутливою – при їх наповненні мікрочастинками міді та найменш чутливою при використанні як наповнювача мікрочастинок алюмінію. На рисунку 2 представлені дані розходження коефіцієнтів теплопровідності композитів $\delta\lambda$, отриманих на основі різних методів, від масової частки наповнювача.

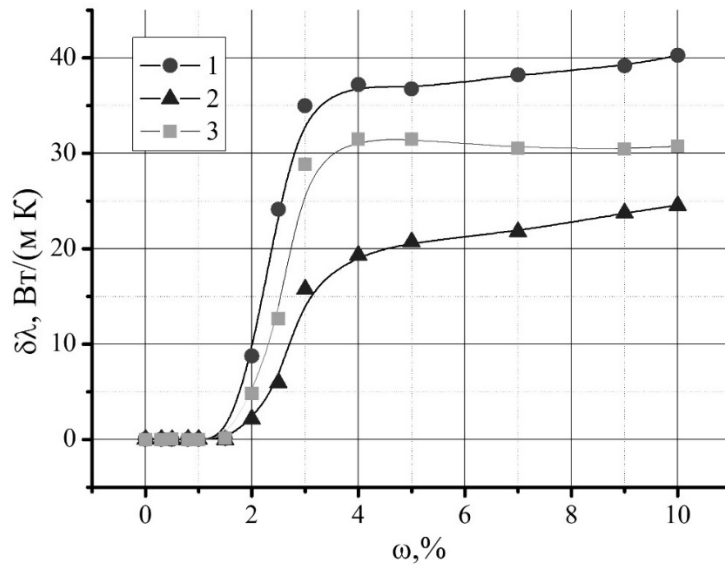


Рис. 2. Розходження коефіцієнта теплопровідності $\delta\lambda$ композитів, отриманих на основі різних методів, від масової частки наповнювача: 1- ВНТ, 2 – мікрочастинки алюмінію; 3 – мікрочастинки міді

Як видно з наведених даних, поведінка вказаних розбіжностей для всіх аналізованих композитів має загальні особливості в діапазоні зміни вмісту наповнювача від 0 до 3%. А саме, вони є незначними при $\omega \leq 1,5\%$ і далі суттєво зростають зі збільшенням ω . В області $3\% \leq \omega \leq 10\%$ значення $\delta\lambda$ змінюються менш інтенсивно. При цьому в разі використання як наповнювача ВНТ і мікрочастинок алюмінію спостерігається тенденція до підвищення $\delta\lambda$ з ростом ω . У разі наповнення поліаміду 6 мікрочастинками міді залежність $\delta\lambda=f(\omega)$ має локальний максимум.

Отже, виконані дослідження свідчать про те, що метод одержання композитів спричиняє суттєвий вплив на їхній коефіцієнт теплопровідності. При цьому застосування першого методу, заснованому на змішуванні компонентів у сухому вигляді, значно обмежується з огляду на максимально досяжні величини даних коефіцієнтів.

Порівняльний аналіз різних аспектів розглянутих методів одержання полімерних мікро- і нанокомпозитів дозволяє визначити область їх ефективного застосування. Перший метод дає можливість отримати

низькотеплопровідні матеріали. Застосування другого методу пов’язано з високотеплопровідними властивостями нанокомпозитів. Як одні, так і другі матеріали можуть широко використовуватися для виготовлення теплообмінних поверхонь теплоенергетичного обладнання різного призначення.

Висновки.

1. Експериментальними дослідженнями встановлено ефекти впливу на теплопровідні властивості полімерних мікро- і нанокомпозитів на основі поліаміду 6 двох методів їх одержання, що базуються на змішуванні компонентів у сухому вигляді (метод 1) і у розплаві полімеру (метод 2). Вказані ефекти досліджено для різних наповнювачів (ВНТ, мікрочастинок міді і алюмінію), у відносно широкому діапазоні зміни їх масової частки (0,3 ... 10%) та температури (320 ... 520K).

2. Дослідження показали, що:

- при застосуванні методу 2 можуть бути одержані композити з порівняно високою теплопровідністю λ (до 50,2 Вт/(м·К) при наповненні поліаміду 6 вуглецевими нанотрубками;

- за використання методу 1 досяжні значення теплопровідності не перевищують 9,95 Вт/(м·К);

- при застосуванні обох методів теплопровідність композитів ранжується однаковим чином – найвищі λ відповідають наповненню поліаміду 6 вуглецевими нанотрубками, менші – мікрочастинками міді і найменші – мікрочастинками алюмінію.

- нанокомпозити, отримані як першим так і другим способом, можуть бути широко використані для виготовлення теплоенергетичного обладнання.

Література

1. Фіалко Н.М., Дінжос Р.В., Прокопов В.Г., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О., Попружук І.О., Клищ А.В. Исследование влияния на теплопроводящие свойства нанокompозитов температурного режима их получения. *Международный научный журнал «Интернаука»*. 2021. № 12(112). С. 31-34. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2021-12-7529>.
2. Fialko N., Dinzhos R., Sherenkovskii Ju., Meranova N., Navrodska R., Izvorska D., Korzhyk V., Lazarenko M., Koseva N. Study of the temperature regime effect of obtaining nanocomposites on their heat-conducting properties. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. 4 №5(112), P. 21–26. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.236915>.
3. Фіалко Н.М., Дінжос Р.В., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О., Прокопов В.Г., Навродська Р.О., Полозенко Н.П., Кутняк О.М., Попружук І.О., Пархоменко О.Ю. Залежність коефіцієнта теплопровідності нанокompозитів на основі поліпропілену від часу змішування компонентів. *Міжнародний науковий журнал «Интернаука»*. 2022. № 5(124). С. 56-60. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2022-5-7999>.
4. Фіалко Н.М., Дінжос Р.В., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О., Прокопов В.Г., Навродська Р.О., Полозенко Н.П., Альошко С.О., Кутняк О.М., Пархоменко О.Ю. Залежність теплопровідності полімерних мікро- і нанокompозиційних матеріалів на основі полікарбонату від масової частки наповнювача. *Міжнародний науковий журнал «Интернаука»*. 2022. № 6(125). С. 60-64. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2022-6-8053>.
5. Фіалко Н.М., Дінжос Р.В., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О., Прокопов В.Г. Теплопровідність і питома теплоємність мікро-і нанокompозитів на основі поліаміду 6. *Міжнародний науковий журнал "Интернаука"*. 2022. № 12. С. 58-62. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2022-12-8291>.

6. Фіалко Н.М., Дінжос Р.В., Меранова Н.О., Шеренковський Ю.В. Теплофізические свойства полимерных микро- и нанокомпозитов при использовании высокотеплопроводных наполнителей. *1st International scientific and practical conference "Progressive research in the modern world"* (October 5-7, 2022) BoScience Publisher, Boston, USA, 2022. P.188-196.

7. Фіалко Н.М., Дінжос Р.В., Меранова Н.О., Шеренковський Ю.В., Навродська Р.О., Кутняк О.М. Теплота кристалізації полімерних мікро-і нанокомпозиційних матеріалів для теплоенергетичного устаткування. *Теплофізика та теплоенергетика*. 2019. № 5. С. 26-27.

8. Фіалко Н.М., Дінжос Р.В., Меранова Н.О., Кліщ А.В., Хміль Д.П., Попружук І.О., Валько О.В. Теплопровідні властивості полімерних мікро-і нанокомпозитів для теплообмінних поверхонь. *Міжнародний науковий журнал "Інтернаука"*. 2020. № 7 (87), 1т. С. 42-46.

9. Фіалко Н.М., Дінжос Р.В., Прокопов В.Г., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О. Створення низькотеплопровідних полімерних нанокомпозитів для внутрішніх газовідвідних стволів димових труб котелень. *Енергетика та автоматика*. 2020. № 5. С. 57-68. URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/view/14641>

10. Фіалко Н.М., Дінжос Р.В., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О., Юрчук В.Л., Хміль Д.П., Федосенко Л.П., Малецька О.Є., Чехаровська М.І., Дашковська І.Л. Теплофізичні властивості полімерних мікро-і нанокомпозитів для елементів теплоенергетичного обладнання. Збірник праць «Проблеми екології та експлуатації об'єктів енергетики» / за ред. О.І. Сігала; Інститут промислової екології. К.: ІВЦ АЛКОН НАН України, 2024. С. 178-185.

11. Фіалко Н.М., Дінжос Р.В., Меранова Н.О., Прокопов В.Г. та ін. Дослідження структуроутворення полімерних нанокомпозитів на основі поліаміду 6 при його наповненні наночастинками діоксиду кремнію.

Міжнародний науковий журнал "Інтернаука". 2024. № 8. С. 83-88.
<https://doi.org/10.25313/2520-2057-2024-8-10182>.

12. Fialko N.M., Dinzhos R.V., Sherenkovskiy Ju.V., Meranova N.O, Navrodska R.O. Features of structure formation of dispersively filled with microcomposites with a polypropylene matrix. *Mechanics and Advanced Technologies*. 2020. Vol 89, No 2. P. 91-98. <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2020.89.211384>.

13. Фіалко Н.М., Дінжос Р.В., Меранова Н.О., Прокопов В.Г. та ін. Аналіз експериментальних екзотерм кристалізації полімерних нанокompозитів «поліамід 6-діоксид кремнію». *Міжнародний науковий журнал "Інтернаука".* 2024. № 8 (163). С.89-94.
<https://doi.org/10.25313/2520-2057-2024-8-10182> .