

Технічні науки

УДК 538.9:536.6

Фіалко Наталія Михайлівна

*доктор технічних наук, професор, завідувача відділом,
член-кореспондент НАН України
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Фиалко Наталия Михайловна

*доктор технических наук, профессор, заведующая отделом,
член-кореспондент НАН Украины
Институт технической теплофизики НАН Украины*

Fialko Nataliia

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

Дінжос Роман Володимирович

*доктор технічних наук, доцент, старший науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Динжос Роман Владимирович

*доктор технических наук, доцент, старший научный сотрудник
Институт технической теплофизики НАН Украины*

Dinzhos Roman

*Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor, Senior Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Меранова Наталія Олегівна

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

Меранова Наталия Олеговна

*кандидат технических наук,
старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник
Институт технической теплофизики НАН Украины*

Meranova Nataliia

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

Кліщ Андрій Володимирович

*молодший науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Клищ Андрей Владимирович

*младший научный сотрудник
Институт технической теплофизики НАН Украины*

Klishch Andriy

*Junior Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Хміль Дмитро Петрович

*молодший науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Хмилъ Дмитрий Петрович

младший научный сотрудник

Институт технической теплофизики НАН Украины

Khmil Dmytro

Junior Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Попружук Ілля Олегович

студент

Національного авіаційного університету

Попружук Илья Олегович

студент

Национального авиационного университета

Popruzhuk Illia

Student of the

National Aviation University

Валько Олександр Вікторович

студент

Національного авіаційного університету

Валько Александр Викторович

студент

Национального авиационного университета

Valko Oleksandr

Student of the

National Aviation University

**ТЕПЛОПРОВІДНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІМЕРНИХ МІКРО- І
НАНОКОМПОЗИТІВ ДЛЯ ТЕПЛООБМІННИХ ПОВЕРХОНЬ
ТЕПЛОПРОВОДЯЩИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ МИКРО- И
НАНОКОМПОЗИТОВ ДЛЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ
HEAT-CONDUCTING PROPERTIES OF POLYMER MICRO- AND
NANOCOMPOSITES FOR HEAT-EXCHANGE SURFACES**

***Анотація.** Наводяться результати досліджень щодо створення двох модифікацій типорядів полімерних мікро- і наноконпозиційних матеріалів для теплообмінних поверхонь при застосуванні різних методів одержання даних композитів (методів, що базуються на змішуванні компонентів у сухому вигляді та розплаві полімеру). Представлено дані порівняльного аналізу вказаних модифікацій типорядів полімерних композиційних матеріалів.*

***Ключові слова:** теплопровідні властивості, мікро- і наноконпозиції, теплообмінні поверхні, методи одержання полімерних композитів.*

***Аннотация.** Приводятся результаты исследований по созданию двух модификаций типорядов полимерных микро- и наноконпозиционных материалов для теплообменных поверхностей при использовании различных методов получения данных композитов (методов, основанных на смешении компонентов в сухом виде и расплаве полимера). Представлены данные сравнительного анализа указанных модификаций полимерных композиционных материалов.*

***Ключевые слова:** теплопроводящие свойства, микро- и наноконпозиции, теплообменные поверхности, методы получения полимерных композитов.*

Summary. The results of studies on the creation of two modifications of the standard series of polymer micro- and nanocomposite materials for heat-exchange surfaces using various methods of production of these composites (methods based on dry-mixed components and mixed components in polymer melt) are presented. The data of a comparative analysis of these modifications of the polymers are presented.

Key words: heat-conducting properties, micro- and nanocomposites, heat exchange surfaces, polymer composites production methods.

Вступ. Перспективним напрямом використання полімерних мікро- і нанокомпозитів є їх застосування для створення теплообмінних поверхонь різного призначення [1-10]. При цьому особливий інтерес становить детальна інформація про теплопровідні властивості цих композиційних матеріалів. Важливим є також вирішення проблеми вибору необхідних композитів для виготовлення теплообмінних поверхонь з різними теплопровідними властивостями.

Мета роботи полягає у розробленні типорядів полімерних мікро- і нанокомпозитів для теплообмінних поверхонь при застосуванні різних методів їх одержання.

Постановка задачі і методика проведення досліджень. Розглядаються можливості створення двох модифікацій типоряду полімерних мікро- і нанокомпозитів, а саме, композитів, отриманих на основі методів, які базуються на змішуванні компонентів у сухому вигляді (метод I) і у розплаві полімеру (метод II). В табл. 1 наведено основні характеристики і позначення елементів даних типорядів. Коефіцієнти теплопровідності λ матеріалів розроблених типорядів змінюються від 1,0 до 57,5 Вт/(м·К), а максимальна температура їх експлуатації може варіюватися від 390 до 470 К.

В роботі можливості створення вказаних типорядів матеріалів розглядалися з використанням матриць з частково кристалічних полімерів – поліетилену (ПЕ), поліпропілену (ПП) і полікарбонату (ПК), і аморфного полімеру – поліметилметакрилату (ПММА). Як наповнювачі застосовувалися вуглецеві нанотрубки (ВНТ), а також мікрочастинки міді або алюмінію. Вміст наповнювачів змінювався від 0,2 до 10%.

Основою для визначення елементів типорядів матеріалів слугували отримані експериментальні залежності $\lambda = f(\omega)$, а також результати досліджень щодо максимальних значень температури їх експлуатації.

Таблиця 1

Основні характеристики і позначення розробленого типоряду полімерних композиційних матеріалів для теплообмінних поверхонь

λ , Вт/(м·К)	Позначення елементів типоряду матеріалів		
	Максимальна температура експлуатації матеріалу, К		
	390	425	470
1,0	A1	B1	C1
5,0	A2	B2	C2
10,0	A3	B3	C3
20,0	A4	B4	C4
25,0	A5	B5	C5
30,0	A6	B6	C6
35,0	A7	B7	C7
40,0	A8	B8	C8
45,0	A9	B9	C9
50,0	A10	B10	
55,0	A11	B11	
57,5	A12		

Результати досліджень та їх аналіз. Характерні дані щодо розроблених типорядів полімерних мікро- і нанокомпозитів наведено в табл. 2 та 3.

При побудові вказаних типорядів на першому етапі на основі результатів виконаних досліджень коефіцієнтів теплопровідності полімерних композитів при температурі 25°C було визначено їх склади, за яких значення λ дорівнювали відповідним заданим величинам для розроблених типорядів матеріалів. З використанням цих даних та результатів експериментів щодо максимальних температур експлуатації досліджуваних композитів було встановлено їх склади для кожного елемента типоряду. При цьому бралось до уваги те, що в кожному з груп композитів А, В, і С включаються композити, максимальна температура експлуатації яких перевищує задану для даної групи величину $T_{\max}^{\text{ек}}$. Відповідно групу А склали всі досліджувані композити, групу В – композити на основі поліпропілену і полікарбонату, а групу С – композити на основі полікарбонату.

Таблиця 2

Основні характеристики і позначення розробленого для теплообмінних поверхонь типоряду полімерних композиційних матеріалів, отриманих за методом І

Позначення елементів типоряду матеріалів	Тип полімеру	Тип наповнювача	ω , %	Позначення елементів типоряду матеріалів	Тип полімеру	Тип наповнювача	ω , %
A1	ПЕ	А1	4,0	B6	ПК	ВНТ	7,2
A2	ПП	А1	3,9	B7	ПК	ВНТ	7,6
A3	ПП	А1	4,9	B8	ПК	ВНТ	8,1
A4	ПП	А1	7,3	B9	ПК	ВНТ	8,8
A5	ПП	ВНТ	6,5	C1	ПК	А1	4,6
A6	ПК	ВНТ	8,1	C2	ПК	А1	6,1
A7	ПК	ВНТ	7,6	C3	ПК	А1	6,9
A8	ПК	ВНТ	8,1	C4	ПК	ВНТ	6,4
A9	ПК	ВНТ	8,8	C5	ПК	ВНТ	6,8
B1	ПП	А1	2,5	C6	ПК	ВНТ	7,2
B2	ПП	А1	3,9	C7	ПК	ВНТ	7,6

B3	ПП	Al	4,9	C8	ПК	ВНТ	8,1
B4	ПП	Al	7,3	C9	ПК	ВНТ	8,9
B5	ПП	ВНТ	6,5				

Згідно з одержаними даними кожному елементу типоряду може відповідати декілька полімерних композитів. При побудові типоряду з цих композиційних матеріалів вибирався один з міркувань мінімальної загальної вартості його компонентів.

Одержані дані про склади композитів для теплообмінних поверхонь свідчать про те, що в переліку розроблених композитів відсутні полімери, наповнені мікрочастинками міді. Це пов'язано з тим, що вартість міді суттєво перевищує вартість інших наповнювачів, що розглядаються. Так, вона перевищує вартість інших наповнювачів, що розглядаються. Так, вона перевищує вартість алюмінію у 2,8 рази, а ВНТ – у 1,7 рази.

Таблиця 3

Характеристики і позначення розробленого для теплообмінних поверхонь типоряду полімерних композиційних матеріалів, отриманих за методом II

Позначення елементів типоряду матеріалів	Тип полімеру	Тип наповнювача	ω , %	Позначення елементів типоряду матеріалів	Тип полімеру	Тип наповнювача	ω , %
A1	ПЕ	Al	2,1	B5	ПП	ВНТ	2,8
A2	ПЕ	Al	2,8	B6	ПП	ВНТ	3,1
A3	ПЕ	Al	2,9	B7	ПП	ВНТ	3,4
A4	ПЕ	Al	4,7	B8	ПП	ВНТ	3,9
A5	ПЕ	ВНТ	3,2	B9	ПП	ВНТ	4,8
A6	ПММА	ВНТ	2,8	B10	ПП	ВНТ	6,0
A7	ПММА	ВНТ	3,1	B11	ПП	ВНТ	7,5
A8	ПММА	ВНТ	3,7	C1	ПК	Al	1,8
A9	ПММА	ВНТ	4,4	C2	ПК	Al	2,5
A10	ПММА	ВНТ	5,6	C3	ПК	Al	3,2
A11	ПММА	ВНТ	7,3	C4	ПК	ВНТ	3,0
A12	ПММА	ВНТ	8,6	C5	ПК	ВНТ	3,8

B1	ПП	Al	1,7	C6	ПК	ВНТ	5,1
B2	ПП	Al	2,1	C7	ПК	ВНТ	6,3
B3	ПП	Al	2,4	C8	ПК	ВНТ	7,5
B4	ПП	Al	3,5	C9	ПК	ВНТ	8,7

Як видно з табл. 2, 3, елементи типорядів, що відповідають різним методам отримання композиційних матеріалів, можуть суттєво відрізнятися як за типом матриці або наповнювача, так і за вмістом останнього. При цьому, якщо тип матриці і наповнювача є однаковим для двох порівнюваних методів, то методу I відповідають значно вищі величини вмісту наповнювача, ніж для методу II.

Характеризуючи в цілому матеріали розроблених типорядів слід також відзначити, що вони мають високу корозійну стійкість. Це вельми важливо при створенні широко застосовуваних теплообмінних апаратів, які експлуатуються в умовах дії агресивних середовищ. Традиційно в таких ситуаціях як матеріал для теплообмінних поверхонь застосовується нержавіюча сталь, вартість якої суттєво перевищує вартість розроблених полімерних композиційних матеріалів.

Висновки. Для виготовлення теплообмінних поверхонь різного призначення з максимальною температурою експлуатації, що знаходиться в межах 390 ... 470 К, розроблено два типоряди полімерних мікро- і нанокомпозитів на основі поліетилену, поліпропілену, полікарбонату і поліметилметакрилату, наповнених ВНТ або мікрочастинками алюмінію. Перша модифікація типоряду відповідає застосуванню для одержання композитів методу I (що базується на змішуванні компонентів в сухому вигляді) та їх коефіцієнтам теплопровідності, що змінюються від 1,0 до 45 Вт/(м·К). Друга модифікація пов'язана із застосуванням методу II (що

базується на змішуванні компонентів у розплаві полімеру) і характеризується коефіцієнтами теплопровідності композитів в діапазоні 1,0 - 57,5 Вт/(м·К).

Література

1. Фиалко Н.М. Полимерные микро- и нанокомпозиты как объекты теплофизических исследований для элементов теплоэнергетического оборудования / Н.М. Фиалко, Р.В. Динжос, Р.А. Навродская // Промышленная теплотехника, 2017. №2. С. 36-45.
2. Долинский А.А. Теплофизические свойства низкотеплопроводных полимерных нанокомпозитов для элементов энергетического оборудования / А.А. Долинский, Н.М. Фиалко, Р.В. Динжос, Р.А. Навродская // Промышленная теплотехника. 2015. №6. С. 5-15.
3. Фиалко Н.М. Теплофизические основы создания полимерных микро- и нанокомпозитов для элементов энергетического оборудования / Н.М. Фиалко, Р.В. Динжос // Промышленная теплотехника. 2015. №7. С. 172-176.
4. Долинский А.А. Температурные зависимости коэффициентов теплопроводности полимерных микро- и нанокомпозитов для теплообменных аппаратов / А.А. Долинский, Н.М. Фиалко, Р.В. Динжос, Р.А. Навродская // Промышленная теплотехника. 2016. №1. С. 5-14.
5. Долинский А.А. Теплофизические характеристики высокотеплопроводных полимерных микро- и нанокомпозитов / А.А. Долинский, Н.М. Фиалко, Р.В. Динжос, Р.А. Навродская // Промышленная теплотехника. 2015. №. С. 5-515.
6. Дінжос Р.В. Вплив нанонаповнювача на механізм кристалізації систем на основі поліпропілену та аеросил / Р.В. Дінжос, Е.А. Лисенков, Н.М. Фіалко, В.В. Клепко Полімерний журнал. 2019. 41 (2). С. 116-122.

7. Фиалко Н.М. Теплопроводность полимерных микро- и нанокомпози́тов на основе поликарбоната при различных методах их получения // Н.М. Фиалко, Р.В. Динжос, Н.О. Меранова, Ю.В. Шеренковский, Р.А. Навродская // Технологические системы. 2018. 1(82). С. 64-69.
8. Долинский А.А. Структурообразование полимерных микро- и нанокомпози́тов на основе поликарбоната в процессах их кристаллизации / А.А. Долинский, Н.М. Фиалко, Р.В. Динжос, Р.А. Навродская // Промышленная теплотехника. 2015. №3. С. 5-15.
9. Фиалко Н.М. Теплопроводность полимерных микро- и нанокомпози́тов на основе полиэтилена при различных методах их получения / Н.М. Фиалко, Р.В. Динжос, Ю.В. Шеренковский, Н.О. Меранова, Р.А. Навродская // Пром. Теплотехника. 2017. №4. С. 21-26.
10. Fialko N.M. Efficiency of the use of polymer micro- and nanocomposition materials for heat exchange surface of heat-power equipment / N.M. Fialko, R.A. Navrodskaia, S.I. Shevchuk, G.A. Gnedash, N.O. Meranova, G.A. Sbrodova, M. A. Novakovskiy, R.V. Dinzhos // The development of technical sciences: problems and solutions: Conference Proceedings, April 27-28, 2018. Brno: Baltija Publishing. P. 193-196.