

Технічні науки

УДК 538.9:536.6

**Фіалко Наталія Михайлівна**

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

**Фиалко Наталья Михайловна**

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

**Fialko Nataliia**

*Doctor Technical Sciences, Professor,  
Corresponding Member NAS of Ukraine, Head Department  
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, Associate 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*

**Шеренковський Юлій Владиславович**

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

**Шеренковский Юлий Владиславович**

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

**Sherenkovskiy Julii**

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

**Полозенко Ніна Петрівна**

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник*

*Інститут технічної теплофізики НАН України*

**Полозенко Нина Петровна**

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник*

*Институт технической теплофизики НАН Украины*

**Polozenko Nina**

*Candidate of Technical Sciences (PhD), Senior Scientific Researcher*

*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**Малецька Ольга Євгенівна**

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник*

*Інститут технічної теплофізики НАН України*

**Малецкая Ольга Евгеньевна**

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник*

*Институт технической теплофизики НАН Украины*

**Maletska Olha**

*Candidate of Technical Sciences (PhD), Senior Scientific 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*

**ЗАКОНОМІРНОСТІ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ПОЛІМЕРНИХ  
МІКРОКОМПЗИТІВ ПРИ ЇХ НАПОВНЕННІ МІКРОЧАСТИНКАМИ  
МІДІ**

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ  
МИКРОКОМПЗИТОВ ПРИ ИХ НАПОЛНЕНИИ  
МИКРОЧАСТИЦАМИ МЕДИ**

**REGULARITIES OF POLYMER MICROCOMPOSITES  
CRYSTALLIZATION WHEN THEY ARE FILLED WITH COPPER  
MICROPARTICLES**

*Анотація.* Виконано експериментальні дослідження щодо вивчення особливостей кристалізації полімерних композитів на основі поліетилену, поліпропілену або полікарбонату, наповнених мікрочастинками міді.

*Ключові слова:* екзотерми кристалізації, мікрочастинки міді,

поліетилен, поліпропилен, полікарбонат.

**Аннотація.** *Выполнены экспериментальные исследования по изучению особенностей кристаллизации полимерных композитов на основе полиэтилена, полипропилена или поликарбоната, наполненных микрочастицами меди.*

**Ключевые слова:** *экзотермы кристаллизации, микрочастицы меди, полиэтилен, полипропилен, поликарбонат.*

**Summary.** *Experimental studies to study the crystallization of polymer composites based on polyethylene, polypropylene or polycarbonate filled with copper microparticles have been performed.*

**Key words:** *crystallization exotherms, copper microparticles, polyethylene, polypropylene, polycarbonate.*

**Вступ.** Використання різних композицій полімерних матеріалів суттєво розширюється в зв'язку з тим, що вони мають спектр унікальних фізико-механічних і технологічних властивостей. Серед цих матеріалів особливо виділяються мікрокомпозити, властивості яких поліпшені введенням в полімерну матрицю відносно невеликої частки наповнювача [1-7].

Вивчення структури полімерних мікрокомпозиційних матеріалів, які розробляються на основі комплексу експериментально-теоретичних досліджень є актуальним завданням.

**Мета роботи.** Мета роботи полягає у визначенні екзотерм кристалізації полімерних мікрокомпозитів на основі різних матриць – поліетилену, поліпропілену і полікарбонату, при використанні в якості наповнювача мікрочастинок міді.

**Матеріали та методи.** Експериментальні дослідження екзотерм

кристалізації проведено з використанням методу диференціальної скануючої калориметрії з використанням приладу Перкіна-Елмера DSC-2 з модифікованим програмним забезпеченням від IFA GmbH. Проведено комплекс досліджень по визначенню екзотерм кристалізації для досліджуваних мікрокомполімерів.

У роботі використовувалося два методи отримання композиційних матеріалів. Перший із застосовуваних методів (метод I) заснований на змішуванні компонентів, які знаходяться в сухому вигляді, із застосуванням магнітної мішалки і ультразвукового диспергатора. Другий метод (метод II) базується на змішуванні компонентів в розплаві полімеру із застосуванням дискового екструдера

**Результати та обговорення.** З використанням отриманих експериментальних даних щодо екзотерм кристалізації теоретично визначалися характеристики структуроутворення для двох стадій кристалізації полімерних композитів.

Для всіх досліджуваних композитів з різними полімерними матрицями при застосуванні обох методів їх отримання зростання швидкості охолодження  $V_t$  спричиняє зниження температур початку  $T_N$ , кінця  $T_K$  процесу кристалізації та температури  $T_M$ , що відповідає максимальному значенню питомого теплового потоку  $Q_n^{\max}$ . При цьому величина  $Q_n^{\max}$  суттєво зменшується. Звертає на себе увагу також той факт, що за інших однакових умов більші значення  $Q_n^{\max}$  відповідають композитам, одержаним за методом II

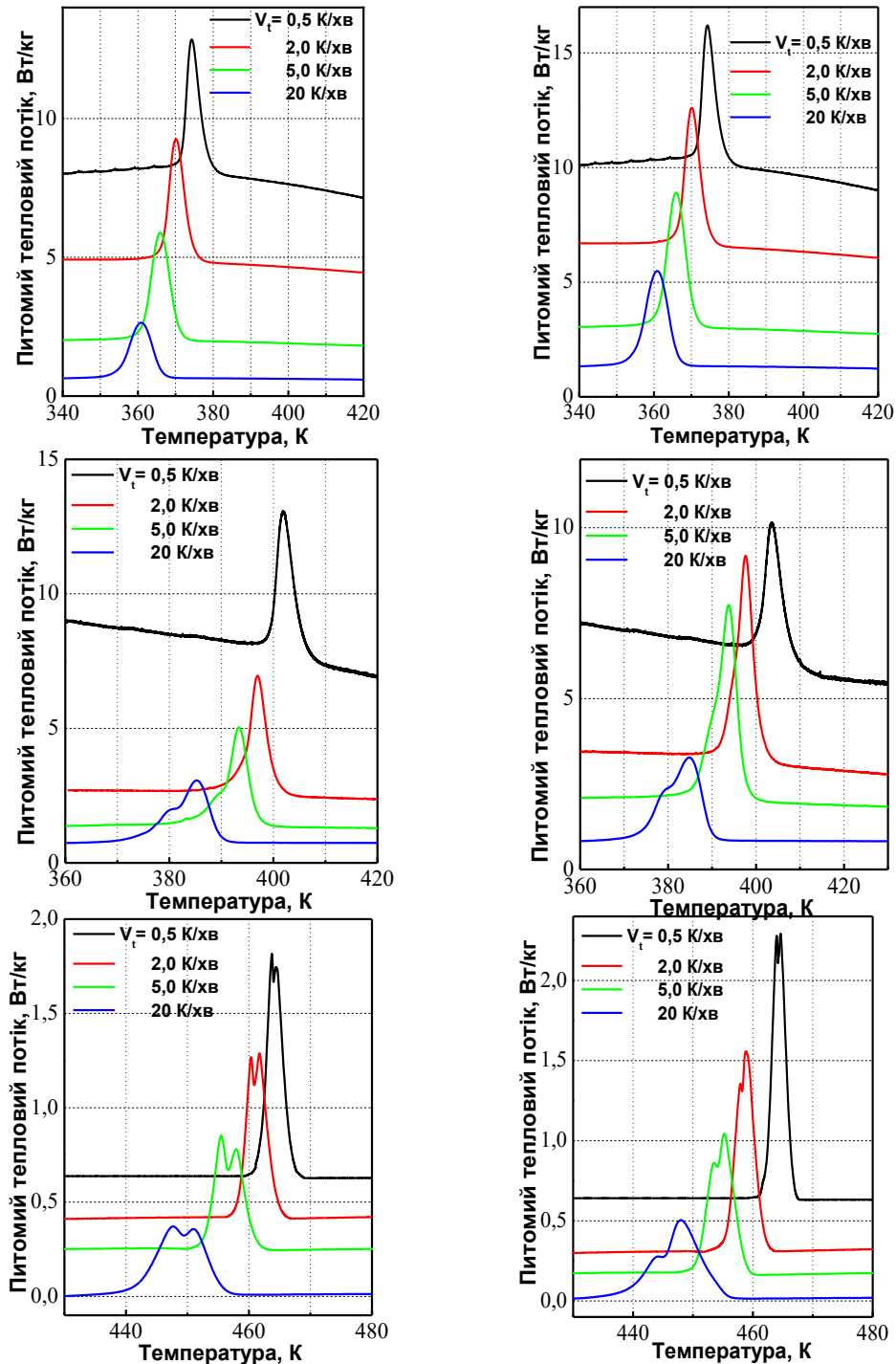
Як свідчать результати досліджень, характеристики процесу кристалізації при однакових значеннях  $V_t$  суттєво відрізняються для композитів на основі різних полімерних матриць. Найбільші величини температур  $T_N$ ,  $T_K$  і  $T_M$  відповідають композитам на основі полікарбонату, дещо менші – поліпропілену і найменші – поліетилену.

Величини максимального теплового потоку  $Q_n^{\max}$  згідно з одержаними даними суттєво залежать від типу полімерної матриці. При цьому має місце тенденція до зменшення значень  $Q_n^{\max}$  при переході від матриці з поліетилену до матриці з поліпропілену та далі – з полікарбонату. Дана тенденція реалізується повною мірою для полімерних композитів, одержаних за методом II, і з певними винятками для матеріалів, одержаних за методом I.

Результати досліджень свідчать також про те, що тип полімерної матриці спричиняє значний вплив на характер екзотерм кристалізації для відповідних полімерних композитів. Як видно з рис. 1, а, з, при використанні полімерної матриці з поліетилену у досліджуваному діапазоні зміни швидкості охолодження  $V_t$  екзотерми кристалізації мають лише унімодальний пік для композитів, одержаних як за методом I, так і за методом II. Для композитів на основі поліпропілену зі збільшенням  $V_t$  відбувається трансформація унімодального піку на кривій  $Q_{\text{п}}=f(T)$  у бімодальний (рис. 1, б, д). Однак значення  $V_t$ , при яких спостерігається дана трансформація, суттєво відрізняються для різних методів одержання досліджуваних полімерних композитів.

Щодо полімерних композитів на основі полікарбонату, то згідно з результатами експериментів відповідні екзотерми кристалізації характеризуються наявністю бімодального піку на кривій  $Q_{\text{п}}=f(T)$  в усьому досліджуваному діапазоні зміни швидкості охолодження  $V_t$ . При цьому такий характер екзотерм кристалізації має місце для обох застосовуваних методів одержання полімерних композиційних матеріалів. (рис. 1, в, е)

На основі одержаних в результаті експериментальних досліджень екзотерм кристалізації проводилось теоретичне визначення параметрів структуроутворення.



**Рис. 1.** Екзотерми кристалізації для полімерних мікрокомполітів, наповнених частинками міді, при вмісті наповнювача  $\omega=4,0\%$  для фіксованих швидкостей охолодження композиту з розплаву  $V_t$ , отриманих двома розглянутими методами на основі різних полімерних матриць: *a* – матриця – поліетилен, метод I; *b* – матриця – поліпропілен, метод I; *в* – матриця полікарбонат, метод I; *г* – матриця поліетилен, метод II; *д* – матриця поліпропілен, метод II; *е* – матриця полікарбонат, метод II



**Висновки.** Отримано експериментальні дані по екзотермам кристалізації для полімерних композитів, наповнених мікрочастинками міді. З використанням результатів експериментальних досліджень екзотерм кристалізації полімерних композитів встановлені закономірності їх структуроутворення на двох стадіях кристалізації

### **Література**

1. Фиалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А. Влияние типа полимерной матрицы на теплофизические свойства и структурообразование полимерных нанокомпозитов. Технологические системы. 2016. №3. С. 49-59.
2. Долинский А.А., Фиалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А. Теплофизические характеристики высокотеплопроводных полимерных микро- и нанокомпозитов. Промышленная теплотехника. 2015. №5. С. 5-15.
3. Фиалко Н.М., Динжос Р.В., Шеренковский Ю.В., Меранова Н.О., Навродская Р.А. Теплопроводность полимерных микро- и нанокомпозитов на основе полиэтилена при различных методах их получения. Промышленная теплотехника. 2017. №4. С. 21-25.
4. Долинский А.А., Фиалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А. Температурные зависимости коэффициентов теплопроводности полимерных микро- и нанокомпозитов для теплообменных аппаратов // Промышленная теплотехника. 2016. №1. С. 5-14.
5. Долинский А.А., Фиалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А. Структурообразование полимерных микро- и нанокомпозитов на основе поликарбоната в процессах их кристаллизации // Промышленная теплотехника. 2015. №3. С. 5-15.

6. Фіалко Н.М., Навродская Р.О., Дінжос Р.В., Меранова Н.О., Шевчук С. І. Ефективність використання полімерних мікро- і нанокompозитів для теплообмінних апаратів газо-газового типу // Промышленная теплотехника. 2017. №5. С. 12-18.
7. Долинский А.А., Фиалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А. Теплофизические свойства низкотеплопроводных полимерных нанокompозитов для элементов энергетического оборудования // Промышленная теплотехника. 2015. №6. С. 5-14.