

Технічні науки

УДК 538.9:536.6

**Фіалко Наталія Михайлівна**

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

**Fialko Nataliia**

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

**Дінжос Роман Володимирович**

*доктор технічних наук, професор  
Кафедра фізики і математики  
Миколаївський національний університет ім. В.О. Сухомлинського*

**Dinzhos Roman**

*Doctor of Technical Sciences, Professor  
Department of Physics and Mathematics  
V.O. Sukhomlinskiy National University of Mykolaiv*

**Шеренковський Юлій Владиславович**

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

**Sherenkovskiy Julii**

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

**Meranova Nataliia**

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

**Прокопов Віктор Григорович**

*доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник  
Інститут технічної теплофізики НАН України*

**Prokopov Viktor**

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

**Полозенко Ніна Петрівна**

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

**Polozenko Nina**

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

**Альошко Сергій Олександрович**

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

**Aleshko Sergey**

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

**Кутняк Ольга Миколаївна**

*науковий співробітник*

*Інститут технічної теплофізики НАН України*

**Kutnyak Olha**

*Scientific Researcher*

*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**Махровський Володимир Миколайович**

*кандидат фізико-математичних наук,*

*доцент кафедри фізики і математики*

*Миколаївський національний університет імені В. О. Сухомлинського*

**Makhrovskiy Volodymyr**

*Candidate of Physical and Mathematical Sciences,*

*Associate Professor of the Department of Physics and Mathematics*

*V.O. Sukhomlinskiy National University of Mykolaiv*

**ОСОБЛИВОСТІ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ПОЛІМЕРНИХ КОМПЗИТИВ,  
НАПОВНЕНИХ МІКРОЧАСТИНКАМИ АЛЮМІНІЮ  
FEATURES OF CRYSTALLIZATION OF POLYMER COMPOSITES  
FILLED WITH ALUMINUM MICROPARTICLES**

*Анотація.* Наведено дані експериментальних досліджень кристалізації полімерних композитів на основі полікарбонату, наповнених мікрочастками алюмінію. Представлено результати щодо впливу на характеристики екзотерм кристалізації масової частки наповнювача і швидкості охолодження композиту з розплаву.

*Ключові слова:* полімерні мікрокомпозити, екзотерми кристалізації, мікрочастинки алюмінію.

**Summary.** *The data of experimental studies of the crystallization of polymer microcomposites based on polycarbonate filled with aluminum microparticles are given. Results on the influence of the mass fraction of the filler and the cooling velocity of the composite from the melt on the characteristics of the crystallization exotherm are presented.*

**Key words:** *crystallization exotherms, carbon nanotubes, polymer composites.*

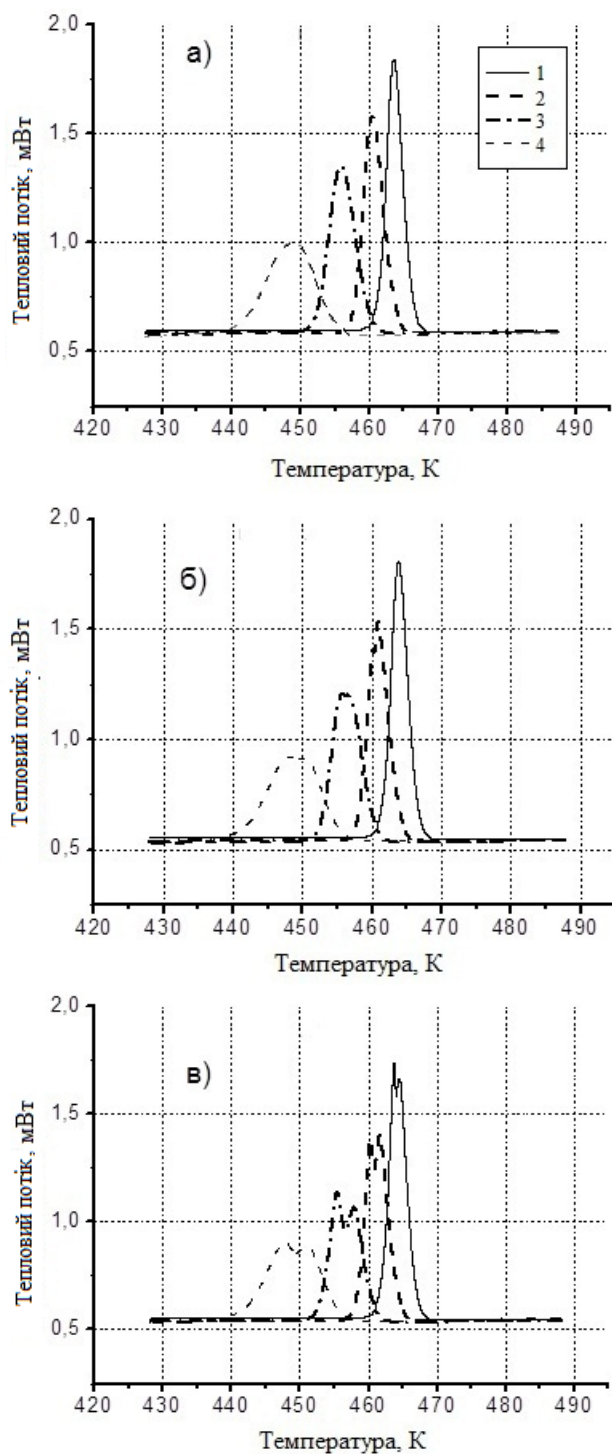
**Вступ.** Полімерні композити останнім часом набувають все більшого розповсюдження завдяки їхнім особливим фізичним і технологічним властивостям [1-14]. Як відомо, введення в полімерну матрицю відносно незначної кількості часток мікронаповнювача сприяє поліпшенню властивостей матеріалу в цілому. При розробці нових полімерних композиційних матеріалів на особливу увагу заслуговує вивчення особливостей структуроутворення в процесі їх кристалізації, від протікання якого значною мірою залежать властивості одержуваних композитів.

**Результати досліджень.** В роботі досліджувались механізми формування структури полімерних мікрокомпозитів при охолодження їх з розплаву. Розглядалися композити, матрицею яких слугував полікарбонат, наповнювачем – мікрочастинки алюмінію. Дослідження проводилися при варіюванні масової частки наповнювача  $\omega$  від 0,2 до 4,0 % і швидкості охолодження мікрокомпозиту  $V_t$  від 0,0083 К/с (0,5 К/хв.) до 0,333 К/с (20 К/хв.)

Результати експериментів для полімерних мікрокомпозитів, які розглядаються, наведено в табл. 1 і на рис. 1.

**Характеристики процесу кристалізації полімерного мікрокомполімера,  
наповненого мікрочастинками алюмінію, при різному вмісті  
наповнювача  $\omega$  та різних швидкостях охолодження  $V_t$  композита з  
розплаву**

$\omega, \%$	$T_N, K$	$T_M, K$	$T_k, K$	$\Delta T, K$	$Q_{max}, мВт$
$V_t = 0,0083 K/c$					
0	467,5	463,0	460,0	7,5	1,79
0,2	468,0	463,5	460,6	7,4	1,84
1	468,7	463,8	460,5	8,2	1,81
4	468,5	464,4; 463,7	460,8	7,7	1,75
$V_t = 0,0166 K/c$					
0	467,1	462,3	459,2	7,9	1,70
0,2	467,6	462,8	459,7	7,9	1,75
1	468,3	463,3; 462,6	459,6	8,7	1,71
4	468,1	463,7; 462,8	459,5	8,6	1,66
$V_t = 0,0333 K/c$					
0	465,2	460,0	457,0	8,2	1,55
0,2	465,7	460,5	457,6	8,1	1,59
1	466,3	460,8; 460,0	457,5	8,8	1,57
4	466,2	461,7; 460,4	457,8	8,4	1,41
$V_t = 0,0833 K/c$					
0	461,2	455,4	451,9	9,3	1,32
0,2	461,7	455,9	452,3	9,4	1,38
1	462,4	456,9; 455,5	451,9	10,5	1,22
4	462,2	458,0; 455,5	452,1	10,1	1,14
$V_t = 0,166 K/c$					
0	457,9	451,2	446,9	11,0	1,16
0,2	458,4	451,7	447,4	11,0	1,20
1	459,1	453,6; 451,5	446,8	12,3	1,10
4	459,0	453,9; 451,7	447,0	12,0	1,09
$V_t = 0,333 K/c$					
0	456,5	448,4	441,5	15,0	0,97
0,2	457,0	448,9	440,6	16,4	1,02
1	457,7	450,9; 447,5	440,4	17,3	0,94
4	457,4	451,0; 447,8	440,2	17,2	0,90



**Рис. 1. Екзотерми кристалізації для полімерних композиційних матеріалів на основі полікарбонату, наповнених мікрочастинками алюмінію, при вмісті наповнювача  $\omega = 0,2$  % (а), 1,0 (б) и 4,0 % (в) при різних швидкостях охолодження композиту з розплаву  $V_t$ : 1 –  $V_t = 0,0083$  К/с; 2 – 0,0333 К/с; 3 – 0,0833 К/с; 4 – 0,333 К/с**

Згідно отриманих даних при підвищенні швидкості охолодження  $V_t$  максимальне значення теплового потоку, що відводиться від композиту, суттєво знижується. При цьому розташування  $Q_{max}$  на кривій  $Q = f(T)$  зміщується в область більш низьких температур. Так, для мікрокомпозита, що містить 0,2% часток алюмінію, величина  $Q_{max}$  дорівнює 1,84 мВт при  $V_t = 0,0083$  К/с і зменшується до 1,02 мВт при  $V_t = 0,333$  К/с. Для вказаних швидкостей  $V_t$  температура  $T_M$ , яка відповідає тепловому потоку  $Q_{max}$ , становить 463,5 К та 448,9 К (табл. 1).

Спостерігається також вплив зміни швидкості охолодження композиту  $V_t$  на значення температур початку  $T_N$  і кінця  $T_K$  кристалізації. При зростанні  $V_t$  температури  $T_N$  і  $T_K$  знижуються, однак інтервал температур кристалізації  $\Delta T$  ( $\Delta T = T_N - T_K$ ) збільшується. Так для нанокompозита з вмістом мікрочасток алюмінію  $\omega = 1\%$  при  $V_t = 0,0083$  К/с цей інтервал  $\Delta T$  дорівнює 8,2 К, а при  $V_t = 0,333$  К/с становить 17,3 К.

На рис. 1 наведено екзотерми кристалізації досліджуваних мікрокомпозитів для різних швидкостей охолодження з розплаву  $V_t$  при різних величинах масової частки наповнювача  $\omega$ . Як видно з рисунку, для відносно невеликих значень  $\omega$  ( $\omega = 0,2\%$ ) характер екзотерм кристалізації є аналогічним. При цьому їх рівень знижується з підвищенням швидкості охолодження  $V_t$ .

Отримані експериментальні дані свідчать також про те, що підвищення вмісту наповнювача  $\omega$  призводить до зміни типу піку на кривій  $Q = f(T)$ : він змінюється з унімодального в бімодальний. При цьому ця трансформація стає більш вираженою зі збільшенням швидкості охолодження  $V_t$ .

### **Висновки.**

1. Виконано аналіз експериментально одержаних екзотерм кристалізації полімерних мікрокомпозитів на основі полікарбонату, наповнених мікрочастками алюмінію.

2. Встановлено закономірності впливу швидкості охолодження  $V_t$  та вмісту наповнювача на різні параметри процесу кристалізації мікрокомпозиту. Показано, що зростання  $V_t$  призводить до зниження максимального значення теплового потоку, що відводиться від композиту, зменшення температур початку і кінця кристалізації та підвищення інтервалу температур кристалізації.

3. Виявлено, що при збільшенні масової частки наповнювача  $\omega$  на екзотермах кристалізації відбувається зміна унімодального піку у ф бімодальний.

### Література

1. Фіалко Н.М., Дінжос Р.В., Навродська Р.О., Меранова Н.О., Шеренковський Ю.В. Закономірності кристалізації полімерних мікрокомпозиційних матеріалів при різних методах їх отримання. Промышленная теплотехника. 2018. №2. С. 5-11.
2. Фіалко Н.М., Навродська Р.О., Дінжос Р.В., Шевчук С.І., Меранова Н.О., Гнедаш Г.О. Ефективність використання полімерних мікро- і наноконпозиційних матеріалів в теплоутилізаційних технологіях. Миколаїв: СПД Румянцева Г.В., 2020. 128 с.
3. Fialko N, Dinzhos R, Sherenkovskiy Ju, Meranova N, R Navrodska Features of structure formation of dispersively filled with microcomposites with a polypropylene matrix. Mechanics and Advanced Technologies. 2020. № 2(89). P. 91-98. doi: <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2020.89.211384>
4. Фиалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А. Влияние типа полимерной матрицы на теплофизические свойства и структурообразование полимерных наноконпозитов. Технологические системы. 2016. № 3(76). С. 49-60.



5. Дінжос Р.В., Лисенков Е.А., Фіалко Н.М., Клепко В.В. Вплив методу введення наповнювача на теплофізичні властивості систем на основі термопластичних полімерів та вуглецевих нанотрубок. Фізика інженерії поверхні. 2014. Т.12. № 4. С. 446-453.
6. Долинский А.А., Фіалко 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.
7. Фіалко Н.М., Дінжос Р.В., Прокопов В.Г., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О., Навродська Р.О. Теплофізичні властивості і структуроутворення полімерних мікро- і нанокомпозиційних матеріалів. Миколаїв: СПД Румянцева Г.В., 2020. 142 с.
8. Долинский А.А., Фіалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А. Теплофизические характеристики высокотеплопроводных полимерных микро- и нанокомпозитов. Промышленная теплотехника. 2015. № 5. С. 5-15.
9. Фіалко Н.М., Динжос Р.В. Теплофизические основы создания полимерных микро- и нанокомпозитов для элементов энергетического оборудования. Промышленная теплотехника, 2015. № 7. С. 172-176.
10. Fialko N., Dinzhos R., Sherenkovskii Ju., Meranova N., Navrodska R., Izvorska D., Korzhyk V., Lazarenko M., Koseva N. Establishing Patterns in the Effect of Temperature Regime when Manufacturing Nanocomposites on Their Heat-Conducting Properties. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. Vol. 4. №5 (112). P. 21–26. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.236915>
11. Фіалко Н.М., Навродська Р.О., Дінжос Р.В., Меранова Н.О., Шевчук С.І. Ефективність використання полімерних мікро- і нанокомпозитів

для теплообмінних апаратів газо-газового типу. Промышленная теплотехника. 2017. №5. С. 12-18.

12. Фиалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А. Полимерные микро- и нанокompозиты как объекты теплофизических исследований для элементов теплоэнергетического оборудования. Промышленная теплотехника, 2017. №2. С. 36-45.

13. Долинский А.А., Фиалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А. Влияние методов получения полимерных микро- и нанокompозитов на их теплофизические свойства. Промышленная теплотехника. 2015. №4. С. 5-12.

14. Fialko N., Dinzhos R., Sherenkovskii Ju., Meranova N., Alosko S., Izvorska D., Korzhyk V., Lazarenko M., Mankus I., Nedbaievskia L. Establishment of regularities of influence on the specific heat capacity and temperature conductivity of polymer nanocomposites of a complex of defining parameters. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. Vol. 6. №12 (114). P. 34-39. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.245274>