

УДК 538.9:536.6

## ТЕПЛОТА КРИСТАЛІЗАЦІЇ ВИСОКОТЕПЛОПРОВІДНИХ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ ПОЛІЕТИЛЕНУ ПРИ ЙОГО НАПОВНЕННІ МІКРОЧАСТИНКАМИ МІДІ

Фіалко Н.М.<sup>1</sup>, член-кореспондент НАН України, Дінжос Р.В.<sup>2</sup>, докт. техн. наук,  
Косєва Н.С.<sup>3</sup>, канд. хім. наук, Шеренковський Ю.В.<sup>1</sup>, канд. техн. наук,  
Меранова Н.О.<sup>1</sup>, канд. техн. наук, Навродська Р.О.<sup>1</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup>Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Капніст, 2а, м. Київ, 03680, Україна

<sup>2</sup>Миколаївський національний університет ім. В.О. Сухомлинського, вул. Никольська, 24, м. Миколаїв, 54030, Україна

<sup>3</sup>Інститут полімерів Болгарської Академії наук, вул. Акад. Г. Бончева, 103а, м. Софія, 1113, Болгарія

<https://doi.org/10.31472/ttpe.2.2019.3>

Наведено результати експериментальних досліджень питомої теплоти кристалізації полімерних композитів на основі поліетилену, наповненого мікрочастинками міді. Представлено дані щодо ефектів впливу на теплоту кристалізації досліджуваних композитів таких факторів, як масова частка наповнювача та швидкість охолодження композитів з розплаву. Подаються результати зіставлення величин питомої теплоти кристалізації полімерних мікрокомпозитів, одержаних на основі методу, що базується на змішуванні компонентів у сухому вигляді та у розплаві полімеру.

Приведены результаты экспериментальных исследований удельной теплоты кристаллизации полимерных композитов на основе полиэтилена, наполненного микрочастицами меди. Представлены данные, касающиеся эффектов воздействия на теплоту кристаллизации исследуемых композитов таких факторов, как массовая доля наполнителя и скорость охлаждения композитов из расплава. Представлены результаты сопоставления величин удельной теплоты кристаллизации полимерных микрокомпозитов, полученных на основе метода, базирующегося на смешении компонентов в сухом виде и в расплаве полимера.

The results of experimental studies of the specific heat of crystallization of polymer composites based on polyethylene filled with copper microparticles are presented. Data concerning the effects on the crystallization heat of the studied composites on such factors as the mass fraction of the filler and the cooling rate of the composites from the melt are presented. The results of the comparison of the values of the specific heat of crystallization of polymer microcomposite, obtained by a method based on the mixing of components in a dry form and in a polymer melt, are presented.

Бібл. 15, табл. 3, рис. 1.

**Ключові слова:** теплота кристалізації, високотеплопровідні полімерні мікрокомпозити, мікрочастинки міді, екзотерми кристалізації.

$q_{кр}$  – питома теплота кристалізації;  
 $Q_{\Pi}$ ,  $Q_{\Pi}^{\min}$ ,  $Q_{\Pi}^{\max}$  – поточне, мінімальне і максимальне значення питомого теплового потоку;  
 $T$  – поточна температура;  
 $T_N$ ,  $T_K$  – температура початку і кінця кристалізації;

$T_{\max}$  – температура, що відповідає потоку  $Q_{\Pi}^{\max}$ ;  
 $\Delta T$  – різниця температур  $T_N$  та  $T_K$ ;  
 $V_T$  – швидкість охолодження;  
 $\omega$  – масова частка наповнювача.

### Вступ

Одним із перспективних напрямів застосування полімерних мікрокомпозитів є використання їх високотеплопровідних модифікацій [1-15]. Тенденція до все більш широкого застосування вказаних модифікацій потребує проведення поглиблених досліджень їхніх теплофізичних характеристик. Вивченню даних характеристик присвячено цілий ряд робіт, більшість з яких стосується дослідження величин коефіцієнтів теплопровідності та теплоємності високотеплопровідних полімерних мікрокомпозитів (див. наприклад, [1, 4, 6, 12]).

До важливих теплофізичних характеристик полі-

мерних мікрокомпозитів відноситься також питома теплота їх кристалізації  $q_{кр}$ , значення якої береться до уваги при визначенні умов застосування даних матеріалів. Однак, дослідження цієї характеристики для композитів, що розглядаються, є вкрай обмеженими. З огляду на це актуальним є завдання вивчення закономірностей поведінки теплоти кристалізації високотеплопровідних полімерних мікрокомпозитів в залежності від різних визначальних факторів.

### Мета роботи і постановка завдань досліджень

Мета роботи полягає у встановленні на основі експериментальних досліджень залежності від ряду чинників

(масової частки наповнювача, швидкості охолодження з розплаву, методу одержання композитів) питомої теплоти кристалізації композитів на основі поліетилену, наповненого мікрочастинками міді.

Визначення питомої теплоти кристалізації  $q_{кр}$  базувалося на використанні експериментально одержаних екзотерм кристалізації композиту при його охолодженні з розплаву з заданою постійною швидкістю  $V_T$  (методика побудови вказаних екзотерм наводиться в [15]). Величина  $q_{кр}$  визначалась за залежністю

$$q_{кр} = \frac{\int_{T_N}^{T_K} (Q_{II} - Q_{II}^{\min}) dT}{V_T} \quad (1)$$

В роботі для одержання досліджуваних полімерних мікрокомпозитів використовувались два методи:

- метод I, що базується на змішуванні полімеру і наповнювача у сухому вигляді;
- метод II, заснований на змішуванні компонентів у розплаві полімеру.

Більш детальний опис застосованих методів наводиться в [8].

Мікрочастинки міді, що використовувались як наповнювач, виготовлялись методом розтирання мідних ошурків у шаровому млині з одержанням частинок розміром (0,5...1,0) мкм.

Табл. 1. Характеристики процесу кристалізації полімерних мікрокомпозитів на основі поліетилену, наповненого мікрочастинками міді, для методу I їх одержання

$V_T, \text{К/хв}$	$\omega, \%$	$T_N, \text{К}$	$T_{max}$	$T_K, \text{К}$	$\Delta T, \text{К}$	$Q_{II}^{\max} \text{ Вт/кг}$
1	0,3	380,9	375,1	370,7	10,2	13,1
	0,8	379,8	374,1	369,2	10,6	12,9
	4,0	379,2	373,7	368,8	10,4	12,8
2	0,3	379,4	373,0	368,1	11,3	9,6
	0,8	378,7	372,1	367,3	11,4	9,3
	4,0	378,2	372,2	367,2	11,0	9,2
5	0,3	376,0	369,3	362,9	13,1	6,2
	0,8	375,5	368,7	361,9	13,6	5,9
	4,0	375,1	368,2	361,7	13,3	5,8
10	0,3	370,3	363,4	356,6	13,7	4,9
	0,8	369,9	363,1	356,3	13,6	4,8
	4,0	369,7	362,8	355,9	13,8	4,7
20	0,3	365,8	358,1	351,1	14,7	2,9
	0,8	365,1	357,4	350,5	14,6	2,8
	4,0	364,8	357,2	350,2	14,6	2,7

### Результати досліджень та їх аналіз

На рис. 1 і в табл. 1, 2 наведено результати експериментальних досліджень щодо побудови екзотерм кристалізації для композитів, які розглядаються.

Згідно з одержаними даними характер екзотерм кристалізації досліджуваних композитів є в цілому аналогічним для різних швидкостей їх охолодження з розплаву  $V_T$  та значень  $\omega$ . При цьому для фіксованої масової частки наповнювача  $\omega$  у разі застосування методу I одержання мікрокомпозитів зростання швидкості  $V_T$  призводить до:

- зменшення максимуму  $Q_{II}^{\max}$  та його зміщення в область більш низьких температур;
- зниження температур початку  $T_N$  і кінця кристалізації  $T_K$ ;
- зростання інтервалу температур кристалізації  $\Delta T = T_N - T_K$ .

Наприклад, як видно з табл.1, при  $\omega = 0,8\%$  величина  $Q_{II}^{\max}$  зменшується від 12,9 Вт/кг до 2,8 Вт/кг при зростанні швидкості охолодження  $V_T$  з 1 К/хв. до 20 К/хв. При цьому температура початку кристалізації падає від 379,8 К до 365,1 К, а температура кінця кристалізації від 369,2 К до 350,0 К. Що ж до інтервалу температур кристалізації, то він зростає з 10,6 К до 14,6 К. Останнє,

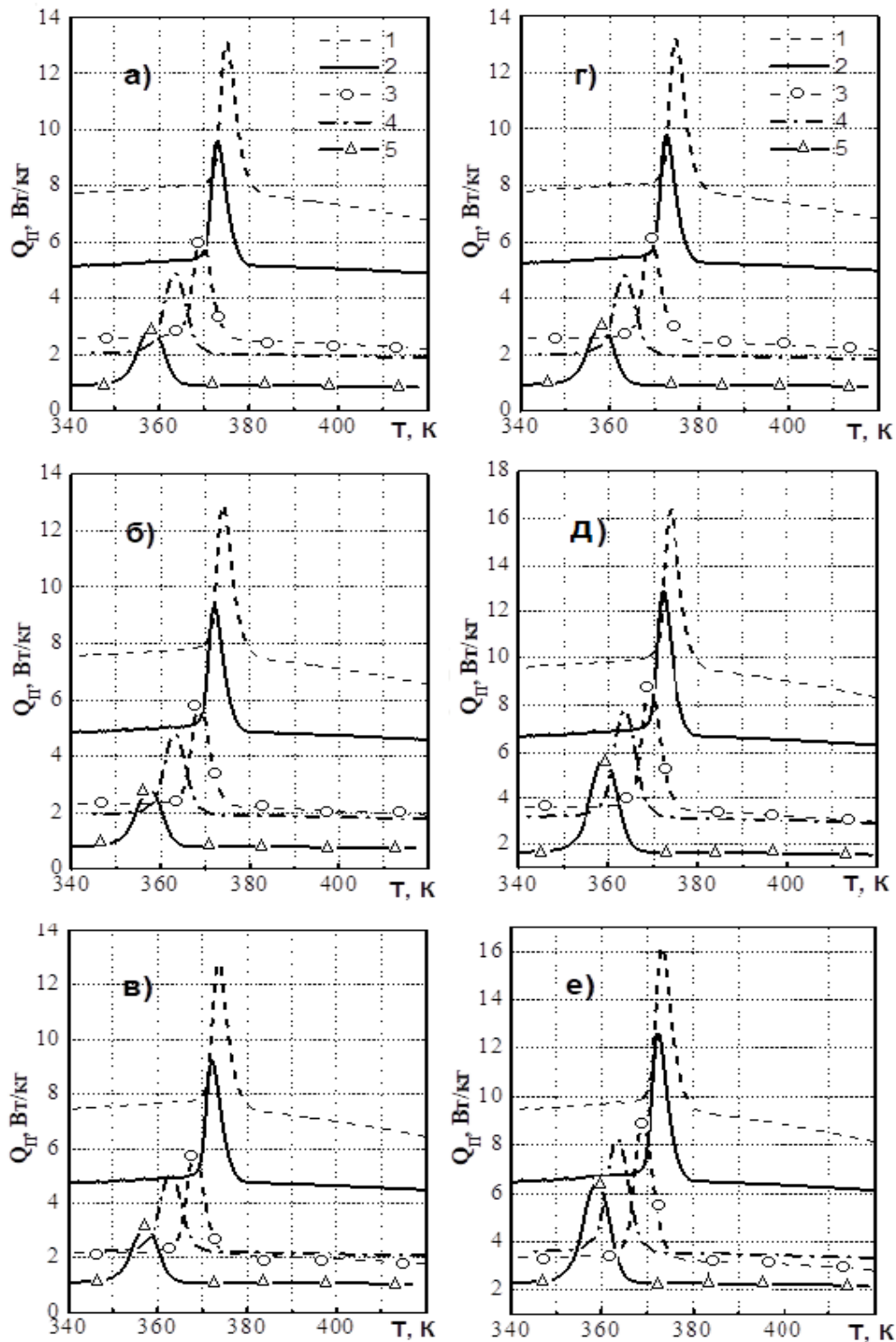


Рис. 1. Екзотерми кристалізації полімерних композитів на основі поліетилену, наповненого мікрочастинками міді, при її масовій частці  $\omega = 0,3\%$  (а, г),  $0,8\%$  (б, д),  $4\%$  (в, е) за умов одержання композитів методом I (а, б, в) та методом II (г, д, е) при різних швидкостях охолодження їх з розплаву: 1 –  $V_T = 1$  К/хв.; 2 –  $V_T = 2$  К/хв.; 3 –  $V_T = 5$  К/хв.; 4 –  $V_T = 10$  К/хв.; 5 –  $V_T = 20$  К/хв.

як очевидно, зумовлено більш суттєвим зниженням температури  $T_K$  ніж  $T_N$  при зростанні величини  $V_T$ .

При застосуванні методу II для одержання досліджуваних композитів вказані закономірності впливу швидкості  $V_T$  на параметри процесу їх кристалізації дещо змінюються. Це стосується, насамперед, характеру зміни величин  $T_K$  і  $\Delta T$  зі збільшенням швидкості  $V_T$  для різних значень  $\omega$ . А саме, для  $\omega = 0,3\%$  ефекти впливу швидкості  $V_T$  на параметри кристалізації залишаються якісно такими ж, як і для методу I. Для масової частки наповнювача  $\omega = 0,8\%$  і  $4,0\%$  спостерігається інша картина. Величина  $T_K$  зі зростанням  $V_T$  змінюється немонотонно, а відтак має місце і немонотонний характер зміни інтервалу температур кристалізації  $\Delta T$ . Так, для  $\omega = 4,0\%$  температура  $T_K$  зростає від 367,7 К до 368,1 К при збільшенні швидкості охолодження від 1 К/хв. до 2 К/хв. і знижується при подальшому підвищенні швидкості  $V_T$  до 20 К/хв. При цьому інтервал температур кристалізації  $\Delta T$  падає від 11,3 К до 9,9 К зі зростанням швидкості охолодження  $V_T$  від 1 К/хв до 2 К/хв., надалі збільшується до 11,4 К і 11,8 К при  $V_T = 5$  К/хв і 10 К/хв і знов знижується до 11,5 К при  $V_T = 20$  К/хв.

Щодо закономірностей впливу масової частки наповнювача на характеристики процесу кристалізації композитів, що розглядаються, то вони теж

дещо відрізняються для різних методів одержання композитів. Для методу I зі збільшенням  $\omega$  для всіх значень  $V_T$  зменшуються температури  $T_N$ ,  $T_K$  і  $T_{max}$  та тепловий потік  $Q_{II}^{max}$ . У випадку застосування методу II має місце більш складний характер впливу  $\omega$  на параметри процесу кристалізації. Тут ефекти впливу  $\omega$  суттєво залежать від величини швидкості охолодження  $V_T$ . Наприклад, як видно з табл. 2, при  $V_T = 1$  К/хв. величина інтервалу кристалізації  $\Delta T$  становить 10,0 К і 11,4 К відповідно для  $\omega = 0,3\%$  і  $0,8\%$ , тобто зростає зі збільшенням  $\omega$ . А для  $V_T = 20$  К/хв., навпаки, при вказаному збільшенні  $\omega$  зменшується від 14,6 К до 11,9 К.

Наведені результати досліджень щодо побудови екзотерм кристалізації використовувались для визначення величини  $q_{кр}$  для композитів, що розглядаються.

В таблиці 3 представлено величини питомої теплоти кристалізації для досліджуваних полімерних мікрокомпозитів, визначені згідно з залежністю (1). Як свідчать одержані дані, теплота кристалізації композитів, що розглядаються, суттєво залежить від масової частки наповнювача. Значення  $q_{кр}$  при інших однакових умовах (фіксованій швидкості охолодження композитів з розплаву  $V_T$  та певному методі їх одержання) виявляється тим нижчим, чим більша масова

Табл. 2. Характеристики процесу кристалізації полімерних мікрокомпозитів на основі поліетилену, наповненого мікрочастинками міді, для методу II їх одержання

$V_T$ , К/хв	$\omega$ , %	$T_N$ , К	$T_{max}$ , К	$T_K$ , К	$\Delta T$ , К	$Q_{II}^{max}$ Вт/кг
1	0,3	380,6	375,6	370,6	10,0	13,2
	0,8	379,6	373,9	368,2	11,4	16,4
	4,0	379,0	373,3	367,7	11,3	16,2
2	0,3	379,1	373,2	368,0	11,1	9,8
	0,8	378,5	372,2	368,3	10,2	12,8
	4,0	378,0	372,4	368,1	9,9	12,6
5	0,3	375,8	369,3	362,5	13,3	6,1
	0,8	375,1	369,2	363,4	11,7	9,1
	4,0	374,7	369,0	363,3	11,4	9,0
10	0,3	370,1	363,1	356,2	13,9	4,8
	0,8	369,5	363,6	357,8	11,7	7,8
	4,0	369,3	363,4	357,5	11,8	7,6
20	0,3	365,7	358,4	351,1	14,6	3,0
	0,8	365,1	359,1	353,2	11,9	5,7
	4,0	364,7	358,9	353,2	11,5	5,6

Табл. 3. Значення теплоти кристалізації  $q_{кр}$  (Дж/кг) для полімерних мікрокомполімерів на основі поліетилену, наповненого мікрочастинками міді при різному вмісті наповнювача  $\omega$  та різних швидкостях  $V_T$  охолодження композитів з розплаву для двох методів їх одержання

$V_T$ , К/хв	$\omega = 0$ %	Метод I			Метод II		
		$\omega$ , %			$\omega$ , %		
		0,3	0,8	4,0	0,3	0,8	4,0
1	1624	1547	1514	1430	1398	1373	1260
2	782	757	752	684	695	674	620
5	306	302	295	265	287	264	241
10	146	145	144	131	132	126	116
20	73	72	71	63	65	63	56

частка наповнювача  $\omega$ . Так, зниження величини  $q_{кр}$  при збільшенні  $\omega$  від 0,0 до 4,0% у досліджуваному діапазоні зміни швидкості охолодження композитів  $V_T$  становить 13,6 – 15,9 % при застосуванні методу I їх одержання і 26,1 – 30,4% – для методу II.

Виконані дослідження показали, що величини  $q_{кр}$  для композитів, які розглядаються, суттєво зменшуються зі зростанням швидкості їх охолодження  $V_T$  з розплаву. Як видно з табл. 3, для  $\omega = 4,0\%$  з підвищенням швидкості охолодження від 1 К/хв. до 20 К/хв. значення  $q_{кр}$  знижується від 1430 Дж/кг до 63 Дж/кг для методу I одержання композитів, тобто приблизно у 22,7 рази, і від 1260 Дж/кг до 56 Дж/кг для методу II, тобто в 22,5 рази. Слід також відзначити, що ефекти впливу швидкості  $V_T$  на значення теплоти кристалізації  $q_{кр}$  є близькими як у якісному, так і у кількісному відношенні при різних величинах масової частки наповнювача і різних методах одержання полімерних композитів. Так, для масової частки наповнювача 0,3%, 0,8% та 4,0% величини  $q_{кр}$  при  $V_T = 1$  К/хв. і 10 К/хв. відрізняються у 10,66; 10,51 і 10,91 рази при одержанні композитів за методом I та у 10,59; 10,89 і 10,86 рази при застосуванні методу II.

Щодо впливу власне методу одержання композитів на величину їх питомої теплоти кристалізації, то як свідчать результати досліджень, методу I відповідають більші значення  $q_{кр}$ . Вказане співвідношення величин  $q_{кр}$  має місце в усьому досліджуваному діапазоні зміни масової частки наповнювача та швидкості охолодження композиту з розплаву. При цьому для всіх величин  $\omega$  абсолютні значення відмінностей питомої теплоти кристалізації композитів, одержаних різними

методами, є тим більшими, чим менші швидкості охолодження  $V_T$ . Так, при  $\omega = 0,8\%$  значення питомої теплоти кристалізації  $q_{кр}$ , що відповідають різним методам одержання композитів, відрізняються на 141 Дж/кг при  $V_T = 1$  К/хв. і лише на 18 Дж/кг при  $V_T = 10$  К/хв.

### Висновки

У відносно широкому діапазоні зміни масової частки наповнювача  $\omega$  та швидкості охолодження з розплаву  $V_T$  виконано експериментальні дослідження питомої теплоти кристалізації  $q_{кр}$  полімерних мікрокомполімерів на основі поліетилену при його наповненні мікрочастинками міді. При цьому:

1. Проведено аналіз результатів експериментів щодо побудови екзотерм кристалізації досліджуваних мікрокомполімерів та встановлено ефекти впливу на характеристики цих екзотерм ряду визначальних чинників.

2. На основі експериментально одержаних екзотерм кристалізації визначено величини питомої теплоти кристалізації  $q_{кр}$  для полімерних композитів, що розглядаються. Показано, що значення  $q_{кр}$ :

- суттєво зменшуються зі зростанням швидкості їх охолодження  $V_T$  з розплаву при різних величинах масової частки наповнювача  $\omega$  і методах одержання композитів;

- виявляється тим меншим чим більша масова частка наповнювача для фіксованої швидкості охолодження  $V_T$  і певного методу одержання композитів;

- для методу їх одержання, що базується на



змішуванні композитів у сухому вигляді, є більшим ніж для методу, заснованому на їх змішуванні в розплаві полімеру для всіх досліджуваних величин масової частки наповнювача  $\omega$  і швидкості охолодження  $V_T$  композитів з розплаву.

## ЛІТЕРАТУРА

1. 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.
2. Фіалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А. Полимерные микро- и нанокомпозиты как объекты теплофизических исследований для элементов теплоэнергетического оборудования. Промышленная теплотехника. 2017. №2. С.36-45.
3. Fialko N., Dinzhos R., Navrodska R., Prokopov V., Sherenkovsky Ju., Meranova N. Thermalphysical properties of polymer micro- and nanocomposites. International journal for science, technics and innovations for the industry. International scientific journal «Machines. Technologies. Materials». Publisher: Scientific Technical Union of Mechanical Engineering. "Industry 4.0", Sofia, Bulgaria, 2018, Issue 4, p.185-188. ISSN PRINT 1313-0226
4. Фіалко Н. М., Динжос Р.В., Шеренковський Ю. В., Меранова Н. О., Навродська Р.О. Теплопроводность полимерных микро- и нанокомпозитов на основе полиэтилена при различных способах их получения. Промышленная теплотехника. 2017. №4. С. 21-26.
5. Динжос Р.В., Фіалко Н.М., Лисенков Е.А. Аналіз теплопровідності полімерних нанокомпозитів наповнених вуглецевими нанотрубками та технічним вуглецем. Journal Nano and Electronic Physics 2014. V6. N1. 01015 (6pp).
6. Долинский А.А., Фіалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А. Теплофизические свойства полимерных микро- и нанокомпозитов на основе поликарбоната. Промышленная теплотехника. 2015. №2. С.12-19.
7. Фіалко Н.М., Динжос Р.В., Меранова Н.О., Шеренковський Ю.В., Навродская Р.А. Теплопроводность полимерных микро- и нанокомпозитов на основе поликарбоната при различных методах их получения. Технологические системы. 2018. 1(82). С. 64-69.
8. Долинский А.А., Фіалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А. Влияние методов получения полимерных микро- и нанокомпозитов на их теплофизические свойства. Промышленная теплотехника. 2015. №4. С.5-12.
9. Динжос 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. Журнал фізики і інженерії поверхності. 2014. т.12. №4. С. 446-453.
10. Динжос Р.В., Фіалко Н.М., Лисенков Е.А. Особливості теплопровідності композитів на основі термопластичних полімерів та частинок алюмінію. Журнал нано- та електронної фізики. 2015. Т. 7. № 3. С. 03022-1 - 03022-5.
11. Фіалко Н.М., Динжос Р.В. Теплофизические основы создания полимерных микро- и нанокомпозитов для элементов энергетического оборудования. Промышленная теплотехника. 2015. №7. С. 172-175.
12. 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.
13. Фіалко Н.М., Навродська Р.О., Динжос 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.
14. Долинский А.А., Фіалко 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.
15. Фіалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А. Влияние типа полимерной матрицы на теплофизические свойства и структурообразование полимерных нанокомпозитов. Технологические системы. 2016. №3(76). С. 49-60.

**CRYSTALLIZATION HEAT OF HIGH HEAT CONDUCTING POLYMER COMPOSITES BASED ON POLYETHYLENE FILLED WITH COPPER MICROPARTICLES**

**Fialko N.M.<sup>1</sup>, Dinzhos R.V.<sup>2</sup>, Koseva N.C.<sup>3</sup>, Sherenkovskiy Ju.V.<sup>1</sup>, Meranova N.O.<sup>1</sup>, Navrodska R.O.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Institute of Engineering Thermophysics, National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Kapnist str., Kyiv, 03680, Ukraine*

<sup>2</sup>*Nikolaev National University. named after V.O. Sukhomlinskiy, 24, Nikolska str., Mykolaev, 540030, Ukraine*

<sup>3</sup>*Institute of Polimers of the Bulgarian Academy of Sciences 1113 Sofia, Acad. G. Bonchev str, Bl. 103A, Bulgaria*

<https://doi.org/10.31472/ttpe.2.2019.3>

The results of experimental studies of the specific heat of crystallization of polymer composites based on polyethylene filled with copper microparticles are presented. Data concerning the effects on the crystallization heat of the studied composites on such factors as the mass fraction of the filler and the cooling rate of the composites from the melt are presented. The corresponding studies were performed with a change in the mass fraction of the filler from 0.3% to 4.0% and the cooling velocity of the microcomposite from the melt from 1 K/min to 20 K/min. It is shown that the specific heat of crystallization decreases significantly with increasing velocity  $V_T$  and the mass fraction of the filler  $\omega$ . The results of the comparison of the values of the specific heat of crystallization of polymer microcomposite, obtained by a method based on the mixing of components in a dry form and in a polymer melt, are presented. It was established that the first of the indicated methods correspond to large values of the heat of crystallization.

**Key words:** the heat of crystallization, high-heat conducting polymer microcomposites, copper microparticles, crystallization exotherms.

References 15, tables 3, figures 1.

1. *Dolinsky A.A., Fialko N.M., Dinzhos R.V., Navrodska R.O.* [Thermophysical characteristics of high heat conduction polymer micro- and nanocomposites], *Promyshlennaya teplotekhnika* [Industrial Heat Engineering], 2015. No 5. P.5–15. (Rus.)

2. *Fialko N.M., Dinzhos R.V., Navrodska R.O.* [Polymer micro- and nanocomposites as objects of

thermophysical research for elements of heat and power equipment], *Promyshlennaya teplotekhnika* [Industrial Heat Engineering], 2017. No 2. P.36–45. (Rus.)

3. *Fialko N., Dinzhos R., Navrodska R., Prokopov V., Sherenkovskiy Ju., Meranova N.* Thermalphysical properties of polymer micro- and nanocomposites. *International journal for science, technics and innovations for the industry. International scientific journal «Machines. Technologies. Materials»*. Publisher: Scientific Technical Union of Mechanical Engineering. “Industry 4.0”, Sofia, Bulgaria, 2018, Issue 4, p.185–188. ISSN PRINT 1313-0226

4. *Fialko N.M., Dinzhos R.V., Sherenkovskiy Ju.V., Meranova N.O., Navrodska R. O.* [Heat conductivity of polymer micro and nanocomposites based on polyethylene in different methods of their production]. *Promyshlennaya teplotekhnika* [Industrial Heat Engineering], 2017. No 4. P. 21–26. (Rus.)

5. *Dinzhos R.V., Fialko N.M., Lisenkov Je.A.* [Analysis of the thermal conductivity of polymer nanocomposites filled with carbon nanotubes and technical carbon]. *Zhurnal Nano i Elektronnoi Fiziki* [Journal Nano and Electronic Physics]. 2014. V6. No 1. 01015. 6pp. (Ukr.)

6. *Dolinsky A.A., Fialko N.M., Dinzhos R.V., Navrodska R.O.* [Thermophysical properties of polymer micro- and nanocomposites based on polycarbonate]. *Promyshlennaya teplotekhnika* [Industrial Heat Engineering], 2015. No 2. P.12–19. (Rus.)

7. *Fialko N.M., Dinzhos R.V., Meranova N.O., Sherenkovskiy Ju.V., Navrodska R. O.* [Heat conductivity of polymer micro- and nanocomposites based on polycarbonate with different methods of their obtaining]. *Technologicheskie sistemy* [Technological Systems]. 2018. No1(82). P. 64–69. (Rus.)

8. *Dolinsky A.A., Fialko N.M., Dinzhos R.V., Navrodska R.O.* [Influence of manufacturing methods polymer micro and nanocomposites on their thermophysical properties], *Promyshlennaya teplotekhnika* [Industrial Heat Engineering], 2015. No 4. P.5–12. (Rus.)

9. *Dinzhos R.V., Lisenkov Je.A., Fialko N.M., Klepko V.V.* [Influence of the method of entering the filler on the thermophysical properties of systems based on thermoplastic polymers and carbon nanotubes], *Zhurnal Fiziki i Inzhenerii poverkhnosti* [Journal of Surface Physics and Engineering]. 2014. V.12. No 4. P. 446–453. (Ukr.)

10. *Dinzhos R.V., Lisenkov Je.A., Fialko N.M.*, [Features of heat conductivity of composites on the basis of thermoplastic polymers and aluminum particles], *Zhurnal nano- ta elektronnoyi fizyky* [Journal of Nano- and Electronic Physics]. 2015. V. 7. No 3. P. 03022-1 - 03022-5. (Ukr.)

11. *Fialko N.M., Dinzhos R.V.* [Thermophysical bases for the creation of polymer micro- and nanocomposites

for energy equipment elements], *Promyshlennaya teplotekhnika* [Industrial Heat Engineering], 2015. No 7. P.172–175. (Rus.)

12. *Dolinsky A.A., Fialko N.M., Dinzhos R.V., Navrodska R.O.* [Temperature dependences of the heat conductivity coefficients of polymer micro and nanocomposites for heat exchange apparatuses], *Promyshlennaya teplotekhnika* [Industrial Heat Engineering], 2016. No 1. P.5–14. (Rus.)

13. *Fialko N.M., Navrodska R.O., Dinzhos R.V., Meranova N.O., Shevchuk S.I.* [Efficiency of using polymer micro- and nanocomposites for heat exchangers of gas-gas type ], *Promyshlennaya teplotekhnika* [Industrial Heat Engineering], 2017. No 5. P. 12–18. (Ukr.)

14. *Dolinsky A.A., Fialko N.M., Dinzhos R.V., Navrodska R.O.* [Structure formation of polycarbonate polymer micro and nanocomposites in their crystallization processes.], *Promyshlennaya teplotekhnika* [Industrial Heat Engineering], 2015. No 3. P.5–15. (Rus.)

15. *Fialko N.M., Dinzhos R.V., Navrodska R.O.* [Influence of the type of the polymer matrix on the thermophysical properties and the structuring of polymer nanocomposites.], *Tekhnologicheskiye sistemy* [Technological Systems]. 2016. No3(76). P. 64–69. (Rus.)

*Отримано 17.05.2019*

*Received 17.05.2019*