

*Лілія Караванович, Владислав Свідерський*

## ТЕПЛОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІТЕТРАФТОРЕТИЛЕНУ З ДВОКОМПОНЕНТНИМ НАПОВНЮВАЧЕМ

### Вступ

Одними з найважливіших експлуатаційних характеристик полімерних матеріалів являються такі теплофізичні властивості, як теплопровідність та теплоємність. Знання цих характеристик дозволяють правильно вибрати галузі застосування та оптимальні температурні діапазони експлуатації виробів із полімерних матеріалів [1-2]. Тому метою дослідження являється вивчення теплофізичних властивостей композиційних матеріалів на основі політетрафторетилену (ПТФЕ) в залежності від температури і концентрації наповнювачів.

### Експериментальна частина

Об'єктом дослідження були композиційні матеріали на основі полімерної матриці з порошку політетрафторетилену, наповненої високодисперсним порошком ароматичного полііміду ПІМ-69 та порошком вуглецевого волокна із тканини УТМ-8 (на основі гідратцелюлози з кінцевою температурою термообробки 850<sup>0</sup>С).

Композицію отримували шляхом 5 хвилинного змішування дроблених вуглецевих волокон з порошками полііміду та матричного матеріалу в дробарці МРП-1 при 7000 обертів на хвилину.

Вимірювання коефіцієнтів теплоємності і теплопровідності композиційних матеріалів проводили за допомогою вимірювача теплоємності ИТС-400 і вимірювача теплопровідності ИТЛ-400 в монотонному режимі нагрівання на зразках циліндричної форми діаметром  $15 \pm 0,1$  мм і висотою  $10 \pm 0,5$  мм для вимірювання теплоємності і діаметром  $15 \pm 0,3$  мм і висотою  $0,5 \pm 5$  мм для вимірювання теплопровідності в залежності від очікуваних значень. Плоскі поверхні зразків притиралися шліфувальним порошком на контрольній плиті до шорсткості  $R_z = 0,63$ . Число повторних дослідів дорівнювало 6. Таріровка проводилася на зразках із кварцевого скла. Вимірювання проводили в діапазоні температур 50–200<sup>0</sup>С згідно стандартної методики.

## Результати та обговорення

Дані про залежність теплофізичних властивостей композиційних матеріалів на основі політетрафторетилену, наповнених поліімідом ПМ-69 та вуглецевим волокном із тканини УТМ-8 від температури і концентрації наповнювачів наведені в табл. 1 і 2.

Таблиця 1

Результати дослідження питомої теплоємності зразків багатокомпонентного композиту на основі ПТФЕ

Назва речовини, °С	Питома теплоємність, кДж/кг К			
	ПТФЕ+10%ПІ+ 15% УТМ-8	ПТФЕ+5%ПІ+ 15%УТМ-8	ПТФЕ +15%ПІ+ +5% УТМ-8	ПТФЕ +8%ПІ+ +8%УТМ-8
50	0,846	0,913	1,243	1,191
75	1,041	1,031	0,968	1,037
100	1,177	1,147	1,058	1,171
125	1,319	1,233	1,154	1,223
150	1,499	1,435	1,359	1,337
175	1,765	1,592	1,479	1,487
200	1,462	1,404	0,879	1,321

При перевірці адекватності цих моделей виявилось, що залежність теплоємності  $C_p$  від температури  $T$  відповідає лінійній моделі  $y = a + b \cdot x$  (для проміжку температур 50 – 175°С) :

$$\text{ПТФЕ} + 5\% \text{ПІ} + 15\% \text{УТМ-8} \quad C_p = -0,84256 + 0,005363 \cdot T(\text{К}) \quad F_{\text{розр}} = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_{\text{пом}}^2} = 0,02;$$

$$\text{ПТФЕ} + 8\% \text{ПІ} + 8\% \text{УТМ-8} \quad C_p = 0,1691 + 0,00278 \cdot T(\text{К}) \quad F_{\text{розр}} = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_{\text{пом}}^2} = 0,362;$$

$$\text{ПТФЕ} + 10\% \text{ПІ} + 15\% \text{УТМ-8} \quad C_p = -1,4184 + 0,006986 \cdot T(\text{К}) \quad F_{\text{розр}} = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_{\text{пом}}^2} = 0,017;$$

$$\text{ПТФЕ} + 15\% \text{ПІ} + 5\% \text{УТМ-8} \quad C_p = 0,3613 + 0,00227 \cdot T(\text{К}) \quad F_{\text{розр}} = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_{\text{пом}}^2} = 0,606,$$

$F_{\text{розр}}$  – розрахункове значення критерія Фішера;

$S_{\text{ад}}^2$  – дисперсія адекватності;

$S_{\text{пом}}^2$  – дисперсія помилки.

Оскільки для лінійної моделі табличне значення критерія Фішера  $F_{\text{табл.}} \{ \alpha = 0,05;$

$f_{\text{ад}} = N - \lambda = 6 - 2 = 4; f_{\text{пом.}} = N - 1 = 6 - 1 = 5 \} = 5,19$ , то  $F_{\text{табл.}}$  більше  $F_{\text{розр.}}$  і

модель адекватна. Тут

$\alpha$  – рівень значущості;

$f$  – число ступенів вільності;

N – кількість дослідів;

λ – кількість коефіцієнтів, що перевіряються на адекватність.

Таблиця 2

Теплопровідність матеріалів на основі ПТФЕ і поліімиду

Назва речовини  t, °C	Питома теплопровідність, Вт/(м К)			
	ПТФЕ+10%ПІ+ +15% УТМ-8	ПТФЕ+5%ПІ+ +15% УТМ-8	ПТФЕ +15%ПІ+ +5% УТМ-8	ПТФЕ +8%ПІ+ +8% УТМ-8
50	0,405	0,423	0,483	0,403
75	0,455	0,446	0,388	0,4202
100	0,499	0,492	0,385	0,423
125	0,479	0,432	0,341	0,4089
150	0,445	0,491	0,359	0,438
175	0,342	0,582	0,345	0,383
200	0,274	0,647	0,2402	0,412

Співставляючи значення вибірових коефіцієнтів кореляції ( $r_{розр 1} = 0,9927$ ;  $r_{розр 2} = 0,843$ ;  $r_{розр 3} = 0,993$ ;  $r_{розр 4} = 0,718$ ) з табличним  $r_{кр}$ .  $\{\alpha = 0,005$ ;  $f = N - 2 = 6 - 2 = 4\} = 0,811$  можна сказати, оскільки  $r_{кр}$  менше  $r_{розр}$  (крім  $r_{розр 4}$ ), то між даними властивостями є кореляційний зв'язок.

Залежність теплопровідності  $\lambda$  від температури  $T$  відповідає не лише моделі  $y = a + b \cdot x$ , але й адекватна моделі  $y = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$  (для проміжку температур 50 – 200°C):

ПТФЕ+5%ПІ+15%УТМ-8  $\lambda_1 = -0,03453 + 0,001348 \cdot T$  (К)  $F_{розр} = \frac{S_{ад}^2}{S_{ном}^2} = 0,293$ ;

$\lambda_1 = 1,0316 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 - 6,8485 \cdot 10^{-3} \cdot T + 1,5678$   $F_{розр} = \frac{S_{ад}^2}{S_{ном}^2} = 0,263$ .

ПТФЕ+8%ПІ+8% УТМ-8  $\lambda_2 = 0,4312 + 0,0000467 \cdot T$  (К)  $F_{розр} = \frac{S_{ад}^2}{S_{ном}^2} = 1,17$ ;

$\lambda_2 = -3,742 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 + 2,9313 \cdot 10^{-3} \cdot T - 0,1519$   $F_{розр} = \frac{S_{ад}^2}{S_{ном}^2} = 1,278$ .

ПТФЕ+10%ПІ+15%УТМ-8  $\lambda_3 = 0,7986 + 0,0009656 \cdot T$  (К)  $F_{розр} = \frac{S_{ад}^2}{S_{ном}^2} = 0,701$ ;

$\lambda_3 = -2,1985 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 - 1,651 \cdot 10^{-2} \cdot T - 2,6195$   $F_{розр} = \frac{S_{ад}^2}{S_{ном}^2} = 0,057$ .

ПТФЕ+15%ПІ+5%УТМ-8  $\lambda_4 = 0,84005 + 0,0011987 \cdot T$  (К)  $F_{розр} = \frac{S_{ад}^2}{S_{ном}^2} = 0,237$ ;

$\lambda_4 = -1,1049 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 - 3,1496 \cdot 10^{-4} \cdot T + 0,6647$   $F_{розр} = \frac{S_{ад}^2}{S_{ном}^2} = 0,3$ .

Оскільки для лінійної моделі  $F_{табл} \{\alpha = 0,05$ ;  $f_{ад} = N - \lambda = 7 - 2 = 5$ ;  $f_{ном} = N - 1 = 7 - 1 = 6\} = 4,51$ , а для нелінійної моделі  $F_{табл} \{\alpha = 0,05$ ;  $f_{ад} = N - \lambda = 7 - 3 = 4$ ;

$f_{\text{пом.}} = N - 1 = 7 - 1 = 6 \} = 4,66$ , то  $F_{\text{табл.}}$  більше  $F_{\text{розра}}$  і моделі адекватні, при цьому (судячи за  $F_{\text{розра}}$ ) нелінійна модель більш точно відповідає експериментальним даним.

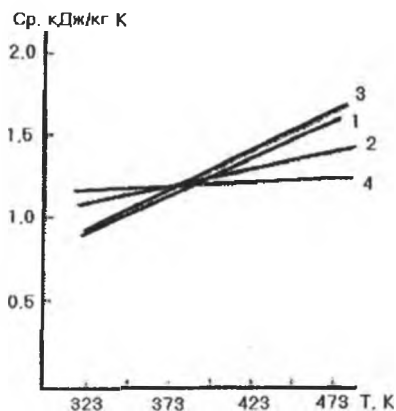


Рис. 1. Залежність теплоємності ПТФЕ від температури та концентрації наповнювачів: 1 – 5% ПІ + 15% вуглецевого волокна УТМ-8 ( $T_K = 850^\circ\text{C}$ ); 2 – 8% ПІ + 8% УТМ-8; 3 – 10% ПІ + 15% УТМ-8; 4 – 15% ПІ + 5% УТМ-8

На рис. 1 і 2 приведено залежності теплоємності і теплопровідності цих матеріалів від температури. Як видно з рис. 1 теплоємність досліджуваних матеріалів із ростом температури зростає.

Із зростанням температури теплопровідність зменшується (рис.2, криві 1, 2, 4), крім матеріалу ПТФЕ+5% ПІ+15% УТМ-8 (рис.2, крива 3).

Враховуючи, що теплоємність композицій залежить від природи матриці і те, що похибка приладу складає  $\sim 10\%$  можна зробити висновок, що із введенням різних наповнювачів особливих змін теплоємності не спостерігається.

Аналіз отриманих результатів показав, що коефіцієнт теплопровідності із зростанням температури практично не змінюється.

### Висновки

Таким чином, приведено нові співвідношення залежностей теплоємності і коефіцієнта теплопровідності від температури і концентрації для композиційних матеріалів на основі ПТФЕ (фторлон-4), полііміду ПМ-69 та наповнювачів. Встановлено, що теплоємність досліджуваних полімерних матеріалів зростає із зростанням температури, а коефіцієнт теплопровідності – зменшується.

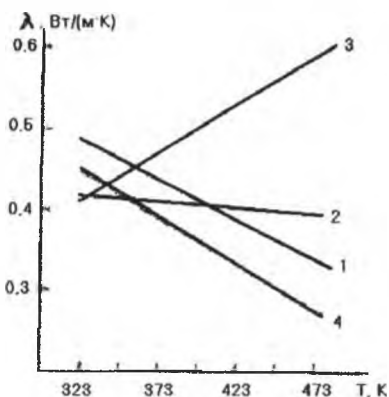


Рис. 2. Залежність теплопровідності ПТФЕ від температури та концентрації наповнювачів:

- 1 – 10% ПІ + 15% вуглецевого волокна УТМ-8 ( $T_K = 850^\circ\text{C}$ );
- 2 – 8% ПІ + 8% УТМ-8; 3 – 5% ПІ + 15% УТМ-8;
- 4 – 15% ПІ + 5% УТМ-8

1. Караванович Л. В. Дослідження теплофізичних властивостей композиційних матеріалів на основі політетрафторетилєну з різними наповнювачами // Тези допов. Четвертій Всеукр. наукової конференції студентів та аспірантів “Сучасні проблеми хімії”. – м. Київ, 21–22 травня 2003 р. – К.: Київ. нац. ун-т ім. Т. Г. Шевченка, 2003. – С. 26.
2. Караванович Л. В. Дослідження теплофізичних властивостей композиційних полімерних матеріалів // Тези допов. V Української конференції молодих вчених з високомолекулярних сполук. – м. Київ, 20–21 травня 2003р. – К.: Нану, 2003. – С. 127.

Karavanovych L. V., Sviderskyy V. P. Thermophysical properties of polytetrafluorineethylene with twocomponents filler. This article. contains experimental investigation of thermophysical properties of composite polymeric materials. The regularities of heat-capacity and heat-conduction of composite materials on the basis of polytetrafluorineethylene, based on dependency upon temperature and concentration of ingredients of a filler were discovered. Tabl. 2, Fig. 2, Litr. 2.