

Г.О. Сіренко, Л.В. Базюк

Вплив параметрів графітів на зносостійкість композиційних матеріалів на основі ароматичного поліаміду

*Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,
вул. Шевченка 57, м. Івано-Франківськ, 76000, Україна*

Досліджено залежність зносостійкості композиційних матеріалів на основі ароматичного поліаміду від параметрів теоретичного розподілу частинок графітів у порівнянні з дискретним розподілом.

Ключові слова: композит, ароматичний поліамід, графіт, зносостійкість, параметри гамма-розподілу.

Стаття поступила до редакції 23.10.2006; прийнята до друку 15.03.2007.

Вступ

Числовий або об'ємний (масовий) розподіл Вейбулла або гамма (γ)-розподіл за довжинами вуглецевих волокон [1], визначає антифрикційні властивості композиційних матеріалів [2]. Навіть перехід від нормального закону розподілу вуглецевих волокон за довжинами до закону Вейбула або γ -закону значно впливає на ці властивості [2]. У роботі [3] виявлено вплив природи графітів на теплофізичні властивості композиційних матеріалів на основі поліамідів. Для дисперсних графітів, які мають різний розподіл розмірів частинок в кількох напрямках і зольність, яка змінюється в широкому діапазоні, необхідно визначити їх параметри розподілу за розмірами та залежність фізико-механічних властивостей і зносостійкості композитних полімерних матеріалів від розмірів частинок графітів та їх зольності.

Мета даної роботи полягала у тому, щоби знайти залежність зносостійкості композиційних матеріалів на основі ароматичного поліаміду від параметрів розподілу графітів (наповнювача).

І. Експериментальна частина

Об'єктом дослідження були композиційні матеріали на основі ароматичного поліаміду фенілон С-2 (продукт поліконденсації метафенілендіаміна і дихлорангідридів ізофталевої (60 %) і терефталевої (40 %) кислот [4]), наповнені природними графітами різних марок, які відрізнялися вмістом золи, вологістю і тонкістю мливу (дисперсністю) (табл.1). Зразки для дослідження діаметром 10мм і висотою 15 мм були виготовлені за технологією [4,5] пресуванням порошку композиції полімеру і графіту.

визначається так [1, 2]:

Методи досліджень

Лінійний аналіз. Завдання визначення розподілу частинок за розмірами зводиться до лінійного аналізу [1,2]. Для лінійного аналізу частинок графітів і полімеру застосовували автоматичний аналізатор відображень мікрооб'єктів "Морфоквант" із обчислювальною машиною ЕС-5060. "Морфоквант" був налагоджений на максимальну кількість кроків 512, мінімальний крок 0,2 мкм, діапазон кроків при скануванні 512*512 і кількість різних ступенів тонів 128. При цьому відносна похибка лінійних розмірів становила 0,2 %.

Програма забезпечувала аналіз 250 частинок за одну пробу (кількість проб для одного виду досліджень – 20-25). Величина відносної квадратичної помилки при обчисленні частинок, що обумовлена випадковим розподілом їх в просторі, дорівнює:

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{N}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де $N = 5000-6250$ – загальна кількість підрахованих частинок.

Таким чином, відносна квадратична похибка обчислення частинок була в межах $\delta = 1,41-1,27\%$ відповідно.

Для такої великої вибірки гіпотезу про підпорядкування емпіричного розподілу певному ймовірному закону розподілу графітів за розмірами перевіряли за допомогою критеріїв відповідності χ^2 і ω^2 [6–9]. Обробка результатів експериментальних даних показала, що вони підпорядковані теоретичному γ -розподілу.

Теоретичний розподіл. Щільність ймовірностей числового γ -розподілу за лінійними розмірами частинок графіту і полімеру

Таблиця 1

Зольність і параметри дискретного розподілу досліджених графітів Завальєвського родовища*

Графіт	Марка	Вміст золи, %	Вологість %	Дискретний розподіл		
				тонкість млива		
				залишок, мкм (%)	фракція, мкм	основна фракція, мкм (%)
Тигельний	ГТ-1	7,0	10	200(>75)	100-600	200(75)
Тигельний	ГТ-2	8,5	10	200(>70)	100-600	200(70)
Елементний	ГЕ-3	10,0	1	160(<10)	10-200	63(>45)
Елементний	ГЕ-4	14,0	1	160(<10)	10-200	63(>45)
Кристалічний ливарний	ГЛ-1 (КЛЗ)	13,0	1	160(<40)	30-400	100(>50)
Електро-вугільний	ЕУЗ-М	0,5	0,2	71(<5)	10-80	45(75-90)
Електро-вугільний	ЕУЗ-Е	5,0	0,2	160(<20)	30-400	-
Спеціальний малозольний	ГСМ-1	0,1	0,2	200(>70)	100-600	200(>70)
Акумуляторний	ГАК-1	0,5	1	160(<50)	30-400	63(50-90)
Акумуляторний	ГАК-2	1,0	1	160(<50)	30-400	63(60-95)
Акумуляторний	ГАК-3	2,0	1	160(<50)	30-400	63(60-95)
Олівцевий	ГК-1	1,0	0,2	63(<0,5)	3-40	
Олівцевий	ГК-2	3,0	0,2	63(<1,0)	3-40	
Олівцевий	ГК-3	5,0	0,2	63(<1,0)	5-50	
Колоїдний сухий	С-1	1,5	0,5	63(<0,5)	1-80	1-8
Колоїдний сухий	С-2	2,0	0,5	63(<0,5)	1-80	1-8
Колоїдний сухий	С-3	2,5	0,5	63(<0,5)	1-80	1-8

* за даними виробника

$$\varphi_2(x) = \frac{\lambda^\theta}{\Gamma(\theta)} t^{\theta-1} \exp(-\lambda x), \quad x \geq 0, \quad (2)$$

де λ, θ – параметри γ -розподілу.Математичне сподівання $E_2(x)$ і дисперсія $\sigma_2^2(x)$ числового γ -розподілу за лінійними розмірами частинок визначається за формулами [1, 2]:

$$E_2(x) = \frac{\theta}{\lambda}; \quad (3)$$

$$\sigma_2^2(x) = \frac{\theta}{\lambda^2}. \quad (4)$$

Щільність ймовірностей об'ємного (масового) γ -розподілу за лінійними розмірами частинок визначається за [1,2] так:

$$p_2(x) = \frac{\lambda^{\theta+1}}{\Gamma(\theta+1)} x^\theta \exp(-\lambda x), \quad x \geq 0, \quad (5)$$

$$\text{де } M_2(x) = E_2(x) + \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\lambda} = \frac{\theta+1}{\lambda} \quad (6)$$

математичне сподівання об'ємного (масового) γ -розподілу;

$$D_2(x) = \sigma_2^2(x) + \frac{1}{\lambda^2} = \frac{\theta}{\lambda^2} + \frac{1}{\lambda^2} = \frac{\theta+1}{\lambda^2} \quad (7)$$

дисперсія об'ємного (масового) γ -розподілу.Показники асиметрії As та ексцесу Ex γ -розподілу визначаються за формулами [6]:

$$As = \frac{2}{\sqrt{\theta}}; \quad Ex = \frac{6}{\theta}. \quad (8)$$

Антифрикційні властивості визначали за такою схемою фрикційного контакту без мащення (режим змінних граничних навантажень): 3 зразки діаметром $10 \pm 0,5$ мм і висотою $15 \pm 0,5$ мм з кінцівкою у вигляді напівсфери з радіусом 6,35 мм контактували сферами з поверхнею сталі 45 термообробленою ($HV = 4,5 \pm 0,2$ ГПа, $R_a = 0,20 \pm 0,3$ мкм) при нормальному навантаженні на зразок $N_i = 100$ Н, швидкості ковзання $v = 0,3$ м/с, температурі $T = 323 \pm 1$ К. Шлях тертя першого етапу $S_1 = 0-4$ км (питоме навантаження змінювалося від $p_0 \approx HV$ полімерного зразка до $p_1 \approx 30-40$ МПа) і другого етапу $S_2 = 416$ км (питоме навантаження

Таблиця 2

Матеріал	Параметри γ -розподілу графітів і ароматичного поліаміду фенілон С-2							
	Параметри γ -розподілу							
	периметр, L							
	λ , мкм ⁻¹	θ	A_s	E_x	$M_2(x)$, мкм	$D_2(x)$, мкм ²	$E_2(x)$, мкм	$\sigma_2(x)$, мкм
графіт ЕУЗ-М	0,0560	5,313	0,868	1,129	112,732	2013,07	94,875	41,16
графіт КЛЗ (ГЛ-1)	0,0051	2,500	1,265	2,400	686,28	134563,63	490,196	310,03
графіт ГЭ-4	0,0071	1,819	1,483	3,299	397,04	55921,44	256,197	189,96
графіт ЕУЗ-Э	0,0157	1,680	1,543	3,571	170,701	10872,65	107,006	82,56
фенілон С-2 (партія 313)	0,0910	2,200	1,348	2,727	351,648	38642,68	241,758	162,99
фенілон С-2 (партія 299)	0,0110	1,700	1,534	3,529	245,455	22314,05	154,545	118,53
ефективний діаметр, D								
графіт ЕУЗ-М	0,1560	4,650	0,927	1,290	36,218	232,17	29,808	13,82
графіт КЛЗ (ГЛ-1)	0,0130	2,050	1,397	2,927	234,615	18047,34	157,692	110,14
графіт ГЭ-4	0,0186	1,530	1,617	3,922	136,022	7312,98	82,258	66,50
графіт ЕУЗ-Э	0,0490	1,531	1,616	3,919	51,633	1054,14	31,245	25,25
фенілон С-2 (партія 313)	0,0315	2,460	1,275	2,439	109,841	3487,02	78,095	49,79
фенілон С-2 (партія 299)	0,0380	1,850	1,470	3,243	75,000	1973,68	48,684	35,79
ширина, d								
графіт ЕУЗ-М	0,3380	4,750	0,918	1,263	17,012	50,33	14,053	6,45
графіт КЛЗ (ГЛ-1)	0,0284	2,180	1,355	2,752	111,972	3942,67	76,761	51,99
графіт ГЭ-4	0,0880	2,610	1,238	2,299	41,022	466,17	29,659	18,36
графіт ЕУЗ-Э	0,0810	1,311	1,747	4,577	28,531	352,23	16,185	14,14
фенілон С-2 (партія 313)	0,0942	2,830	1,189	2,120	40,658	431,62	30,042	17,86
фенілон С-2 (партія 299)	0,0810	1,800	1,490	3,330	34,568	426,76	22,222	16,56

змінювалося від $p_1 \approx 30-40$ МПа до $p_2 \approx 20-25$ МПа). допомогою профілометра-профілографа ВЭН «Калибр» моделі 201 за R_a .

II. Результати та обговорення

Результати досліджень параметрів розподілу за периметром, шириною і діаметром частинок графітів і полімеру фенілон С-2 приведені в табл. 2.

На рис. 1 приведено щільність ймовірності числового гамма-розподілу периметру частинок.

Як видно з рис. 1а, основна частина периметру частинок графіту ЕУЗ-М (крива 1) зосереджена в ділянці 70-110 мкм, а графіту ЕУЗ-Е (крива 2) – в ділянці 20-80 мкм. За даними дискретного розподілу (табл. 1) електровугільні графіти марок ЕУЗ-Е та ЕУЗ-М мають основну частину розподілу в ділянках 30-400 мкм і 10-80 мкм відповідно.

Як видно з рис. 1б, основна частина периметру частинок основної фракції графіту ГЛ-1 (КЛЗ)

Шорсткість поверхні визначали за зміщена в ділянку великих величин 200-500 мкм (крива 1). За даними дискретного розподілу (табл. 1), основна частина розподілу розміщена в ділянці 30-400 мкм. Основна частина розподілу графіту ГЭ-4 (крива 2) зосереджена в ділянці малих величин 60-180 мкм, яка є вужча, ніж за дискретного розподілу (10-200 мкм).

На рис. 1в зображено щільність ймовірності числового γ -розподілу периметру частинок ароматичного поліаміду.

Як видно з рис. 1в, розподіл залежить від технологічної партії синтезу фенілону С-2: для партії 313 основна частина розподілу зосереджена на ділянці 80-220 мкм (крива 1), для партії 299 (крива 2) – на ділянці значень 50-140 мкм.

При порівнянні рис. 1в з рис. 1а і 1б видно, що частинки графітів за периметром мають близькі значення з частинками ароматичного поліаміду. Виняток становлять тільки частинки графіту марки

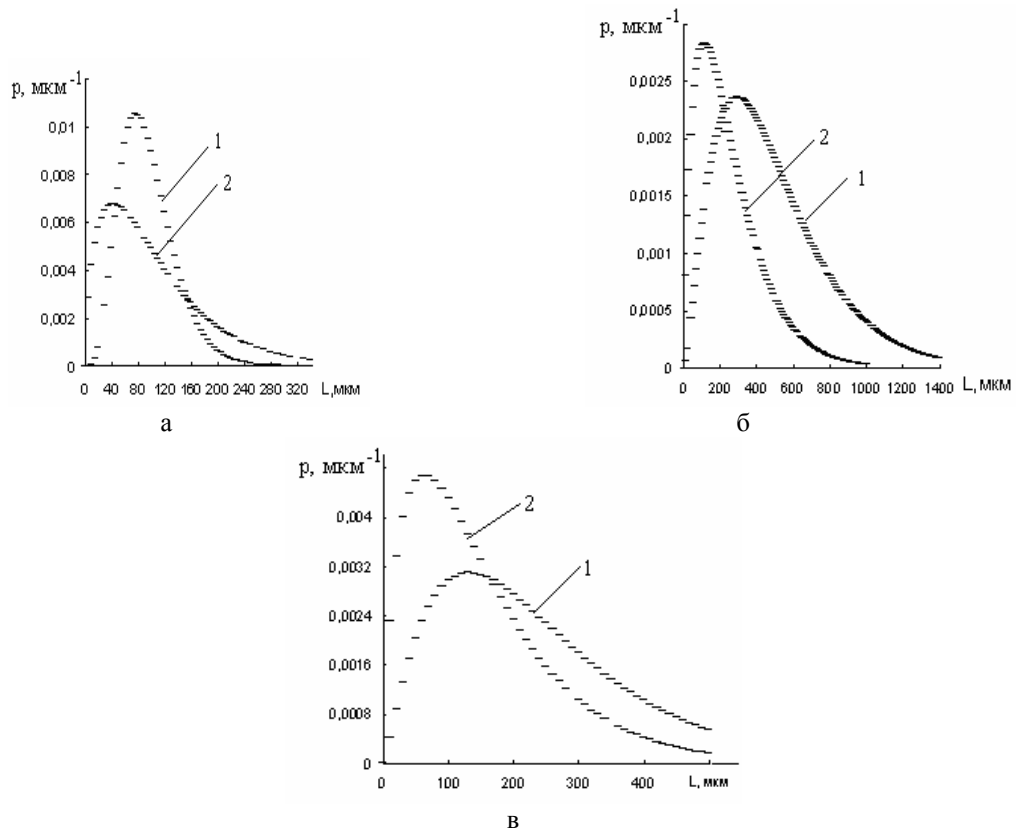


Рис. 1. Залежність щільності ймовірності числового γ -розподілу периметру частинок графіту і ароматичного поліаміду: а – ЕУЗ-М (1); ЕУЗ-Е (2); б – ГЛ-1 (КЛЗ) (1); GE-4 (2); в – фенілон С-2 (партія 313) (1); фенілон С-2 (партія 299) (2).

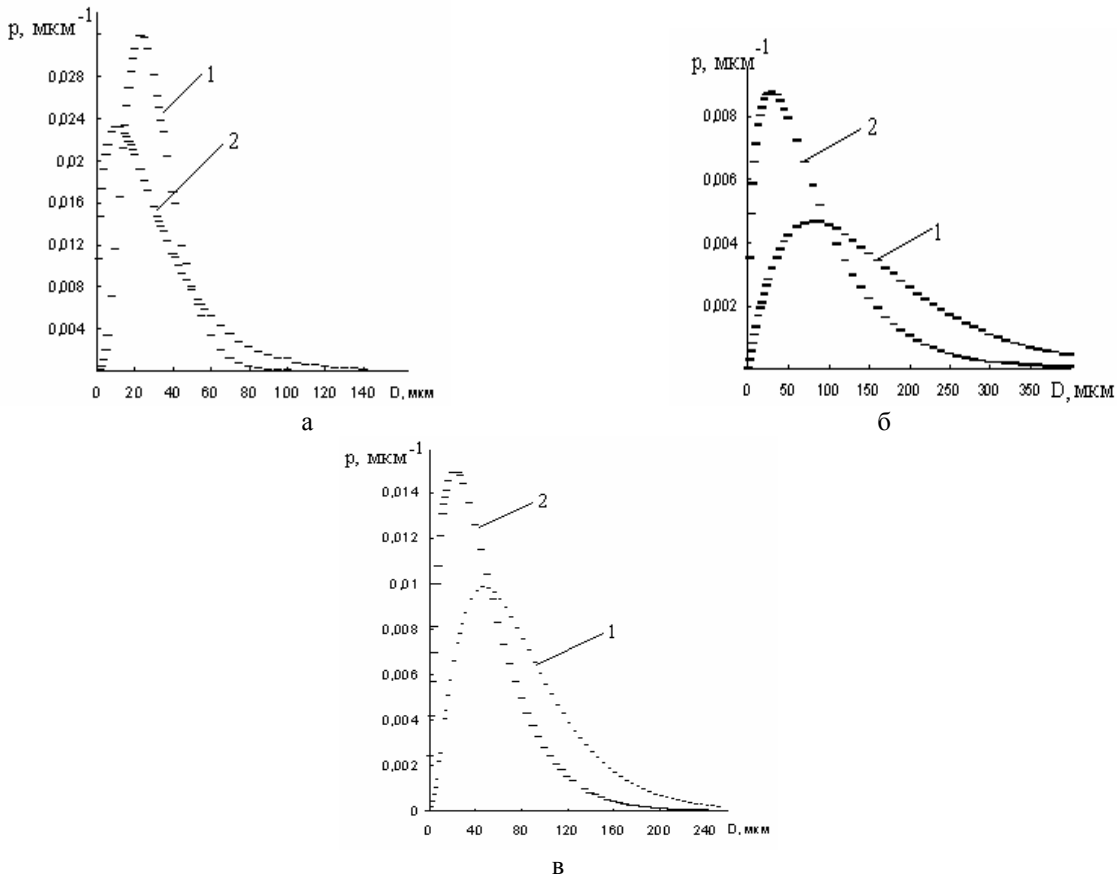


Рис. 2. Залежність щільності ймовірності числового гамма-розподілу ефективного діаметру частинок графіту і ароматичного поліаміду: а – ЕУЗ-М (1); ЕУЗ-Е (2); б – ГЛ-1 (КЛЗ) (1); GE-4 (2); в – фенілон С-2 (партія 313) (1); фенілон С-2 (партія 299) (2).

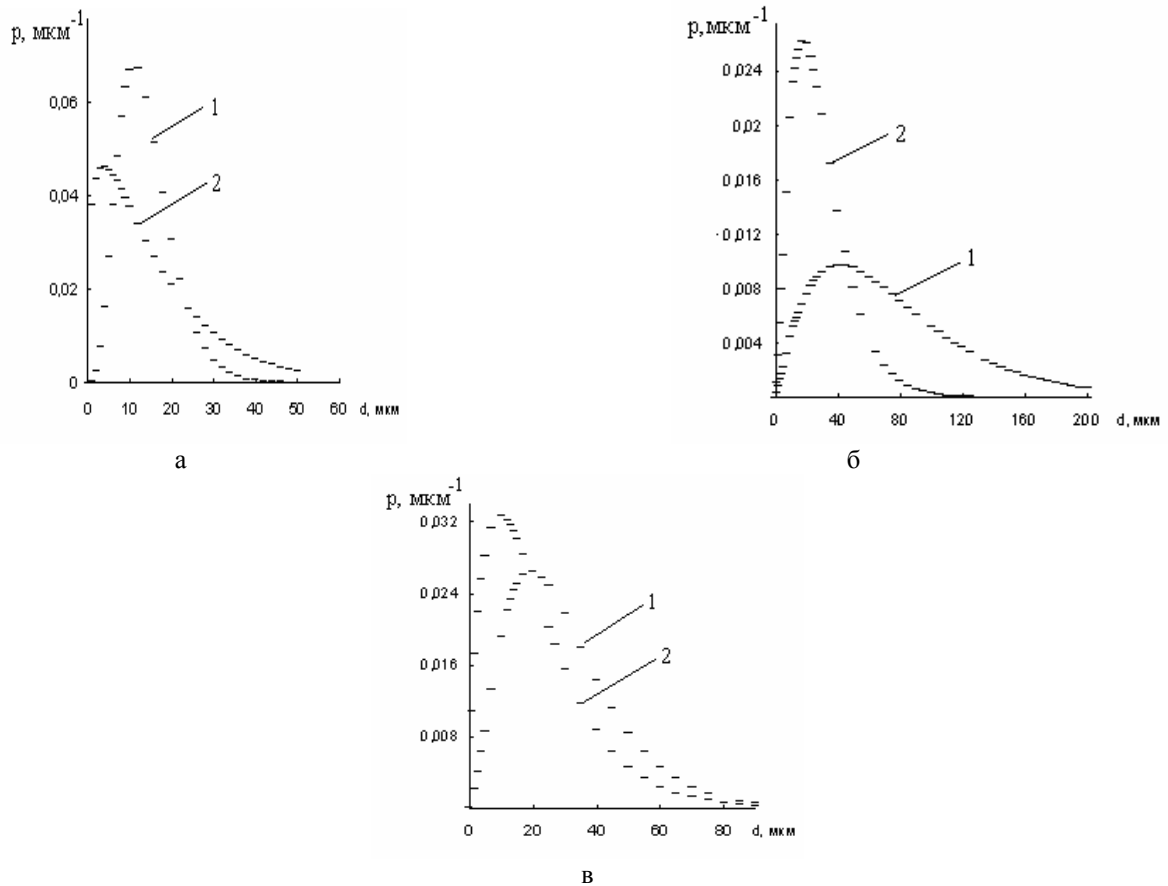


Рис. 3. Залежність щільності ймовірності числового γ -розподілу ширини частинок графіту і ароматичного поліаміду: а – EУЗ-M (1); EУЗ-E (2); б – ГЛ-1 (КЛЗ) (1); GE-4 (2); в – фенілон С-2 (партія 313) (1); фенілон С-2 (партія 299) (2).

ГЛ-1 (КЛЗ), які є більші від частинок ароматичного поліаміду.

На рис. 2 показано залежність щільності ймовірності числового γ -розподілу від ефективного діаметру частинок.

Як видно з рис. 2а, основна частина діаметру графіту EУЗ-M (крива 1) зосереджена в ділянці 20-40 мкм , а графіту EУЗ-E (крива 2) – в ділянці 5-30 мкм . За даними дискретного аналізу (табл.1) графіти марок EУЗ-M та EУЗ-E мають основну частину діаметру в ділянках 10-80 мкм і 30-400 мкм

відповідно. При порівнянні розрахункових результатів з даними дискретного аналізу (табл.1) можна побачити, що ділянка розрахункових значень значно вужча.

Як видно, з рис. 2б основна частина діаметру частинок основної фракції графіту ГЛ-1 (КЛЗ) зміщена в ділянку 50-140 мкм (крива 1). За даними дискретного аналізу (табл. 1) основна частина діаметру частинок розміщена в ділянці 30-400 мкм , яка є значно ширша, ніж за розрахунковими даними. Основна частина діаметру частинок графіту GE-4 (крива 2) зосереджена в ділянці 20-60 мкм , яка є вужча, ніж за даними дискретного аналізу (10-200 мкм).

На рис. 2в зображено залежність щільності

ймовірності числового γ -розподілу від ефективного діаметру частинок ароматичного поліаміду фенілон С-2.

Як видно з рис. 2в, основна частина діаметру частинок фенілону С-2 (партії 313) знаходиться в межах 30-80 мкм (крива 1), для фенілону С-2 (партії 299) – 20-60 мкм . Порівнюючи рис. 2в з рис. 2а і 2б можна зробити висновок, що частинки графітів і ароматичного поліаміду за ефективним діаметром приблизно мають однакові середні значення.

На рис. 3 показано щільність ймовірності числового гамма-розподілу ширини частинок.

Як видно з рис. 3а, основна частина ширини частинок графіту EУЗ-M (крива 1) зосереджена в ділянці 10-15 мкм , тоді як за даними дискретного аналізу ця ділянка значно ширша (10-80 мкм). Для графіту EУЗ-E (крива 2) основна частина ширини частинок зміщена в ділянку малих значень 2-12 мкм , відносно даних дискретного емпіричного розподілу (30-400 мкм).

Як видно з рис. 3б основна частина ширини частинок основної фракції графіту ГЛ-1 (КЛЗ) зміщена в ділянку 30-70 мкм (крива 1). За дискретним емпіричним розподілом основна частина ширини частинок розміщена в ширшій ділянці (30-400 мкм). Основна частина ширини частинок графіту GE-4 (крива 2) зосереджена в ділянці малих величин 10-

30мкм, яка є значно вужча, ніж за даними дискретного емпіричного розподілу (10-200 мкм).

На рис. 3в зображено залежність щільності ймовірності числового гамма-розподілу від ширини частинок ароматичного поліаміду фенілон С-2. Аналіз цих результатів приводить до висновків, що основна частина ширини частинок розміщена в межах 15-30мкм для партії фенілону С-2 313 (крива 1) і 10-20мкм для партії 299 (крива 2), тобто ароматичний поліамід будь-якої партії має малі розміри за шириною.

При порівнянні з рис. 3а і 3б видно, що всі графіти теж мають основну частину ширини частинок на ділянці малих значень. Виняток становить лише графіт ГЛ-1 (КЛЗ), який має основну частину ширини частинок у ділянці середніх значень 30-70 мкм.

На основі отриманих результатів з метою прогнозування ділянки застосування і експлуатаційних властивостей шукали лінійний кореляційний зв'язок між відносною зносостійкістю (I_{Π}/I_K) на першому (S_1) і на другому (S_2) етапах тертя і периметром (як найбільш інформативним параметром) частинок графітів у композиті. Вибірковий коефіцієнт кореляції обчислювали за формулою:

$$r_{розр} = \frac{\sum_{i=1}^5 (x_i y_i) - N \cdot \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sqrt{\sum_{i=1}^5 (y_i^2) - N \cdot (\bar{y})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^5 (x_i^2) - N \cdot (\bar{x})^2}} \quad (9)$$

де $y = (I_{\Pi} / I_K)$ – відношення інтенсивності об'ємного зносу полімеру I_{Π} до цього ж показника композиту (відносна зносостійкість композиту);

$$x = \theta; \lambda; E_2(l); \sigma_2(l)$$

Критичне значення коефіцієнта кореляції знаходили за [9]:

$$r_{кр.} \{ \alpha = 0,05; f = N - 2 = 2 \} = 0,950.$$

Розрахунки коефіцієнтів кореляції дали такі результати.

На першому етапі тертя:

$$\begin{aligned} I_{\Pi}/I_K \sim \theta & \quad r_{розр.1} = -0,48396; \\ I_{\Pi}/I_K \sim \lambda & \quad r_{розр.2} = -0,66192; \\ I_{\Pi}/I_K \sim E_2(x) & \quad r_{розр.3} = 0,6126; \\ \Pi/I_K \sim \sigma_2(x) & \quad r_{розр.4} = 0,6976; \end{aligned} \quad (10)$$

На другому етапі тертя:

$$\begin{aligned} I_{\Pi}/I_K \sim \theta & \quad r_{розр.5} = -0,7942 \\ I_{\Pi}/I_K \sim \lambda & \quad r_{розр.6} = -0,91437 \\ I_{\Pi}/I_K \sim E_2(x) & \quad r_{розр.7} = 0,6598 \\ I_{\Pi}/I_K \sim \sigma_2(x) & \quad r_{розр.8} = 0,7725 \end{aligned}$$

У даному випадку $r_{кр.} > |r_{розр.}|$, то нульова гіпотеза H_0 при рівності нулю генерального коефіцієнта кореляції не відкидається з $p = 0,95$, тобто немає підстав вважати, що між I_{Π}/I_K і $\theta_i, \lambda_i, E_2(l)_i; \sigma_2(l)_i$ (де $i = 1-8$) є лінійний зв'язок. Ступінь лінійності знайдемо, ввівши поняття *коефіцієнта лінійності* (або нелінійності) математичної моделі 1-го порядку:

$$\xi = \left| \frac{r_{розр.}}{r_{кр.}} \right|. \quad (11)$$

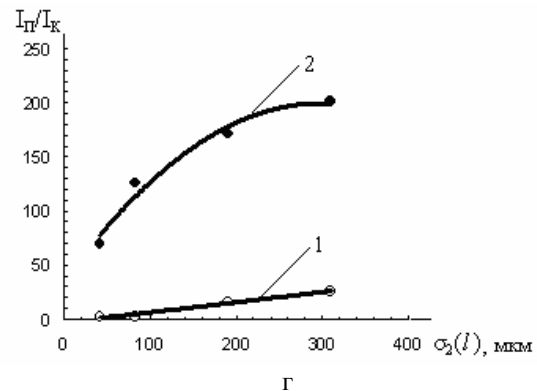
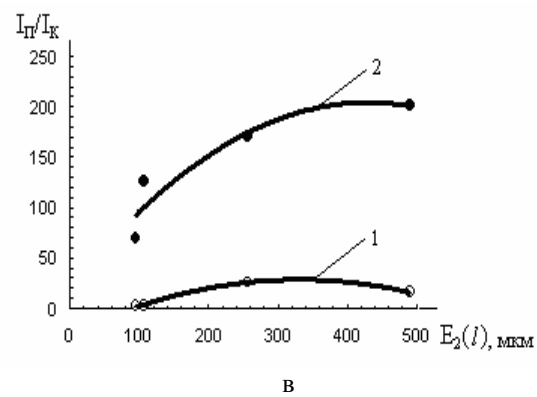
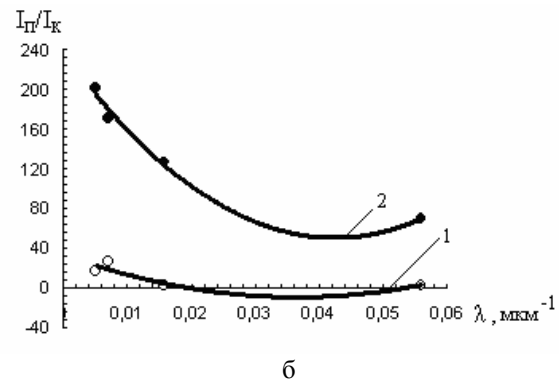
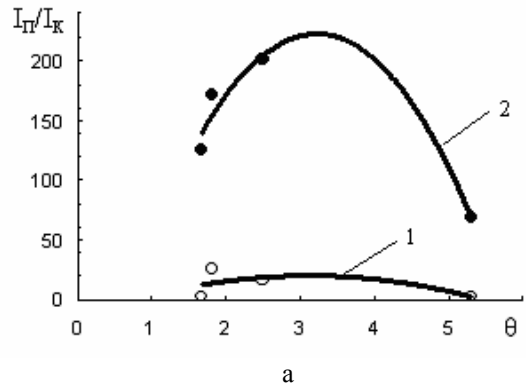


Рис. 4. Залежність відносної зносостійкості композиту I_{Π}/I_K від параметрів розподілу частинок графітів $\theta, \lambda, E_2(l)_i; \sigma_2(l)_i$ для першого $S_1 = 0-4$ км (крива 1) і другого $S_2 = 4-16$ км (крива 2) етапу тертя.

Коефіцієнт лінійності дорівнює:

$$\zeta_1 = 0,5094; \quad \zeta_5 = 0,8392$$

Таблиця 3

Результати кореляційного аналізу для поліноміальної моделі третьої степені		
Вид зв'язку	Рівняння	R ²
	S ₁ = 0–4км	
I _П /I _К ~ θ	I _П /I _К = 62,459θ ³ - 598,78θ ² - 1690,4θ - 1443,5	1
I _П /I _К ~ λ	I _П /I _К = 2·10 ⁷ θ ³ - 10 ⁷ θ ² - 17414θ - 44,686	1
I _П /I _К ~ E ₂ (x)	I _П /I _К = -4·10 ⁻⁶ θ ³ + 0,0027θ ² - 0,4317θ - 22,275	1
I _П /I _К ~ σ ₂ (x)	I _П /I _К = -1·10 ⁻⁵ θ ³ + 0,0047θ ² - 0,4619θ - 1443,5	1
	S ₂ = 4–16км	
I _П /I _К ~ θ	I _П /I _К = 196,52θ ³ - 1890,7θ ² - 5349,6θ - 4456,9	1
I _П /I _К ~ λ	I _П /I _К = 5·10 ⁷ θ ³ - 4·10 ⁶ θ ² - 52983θ - 13,194	1
I _П /I _К ~ E ₂ (x)	I _П /I _К = 6·10 ⁻⁵ θ ³ - 0,0542θ ² + 13,763θ - 801,15	1
I _П /I _К ~ σ ₂ (x)	I _П /I _К = -1·10 ⁻⁶ θ ³ - 0,005θ ² + 1,9805θ - 4,1166	1

$$\zeta_2=0,6968; \quad \zeta_6=0,9625; \quad (12)$$

$$\zeta_3=0,6448; \quad \zeta_7=0,6945;$$

$$\zeta_4=0,7343; \quad \zeta_8=0,8132.$$

Перевіримо наявність лінійного зв'язку між I_П/I_К і θ_i, λ_i, E₂(I)_i; σ₂(I)_i за більш точним співвідношенням:

$$z_{розр.} = \left| \frac{1}{2} \ln \frac{1+r}{1-r} \right| \quad (13)$$

$$z_{розр.1} = \left| \frac{1}{2} \ln \frac{1-0,48396}{1+0,48396} \right| = \left| \frac{1}{2} \ln \frac{0,51604}{1,48396} \right| = \left| \frac{1}{2} \ln 0,3477 \right| = |-0,5282|;$$

$$z_{розр.2} = \left| \frac{1}{2} \ln \frac{1-0,66192}{1+0,66192} \right| = \left| \frac{1}{2} \ln \frac{0,33808}{1,66192} \right| = \left| \frac{1}{2} \ln 0,2034 \right| = |-0,7962|;$$

$$z_{розр.3} = \left| \frac{1}{2} \ln \frac{1+0,6126}{1-0,6126} \right| = \left| \frac{1}{2} \ln \frac{1,6126}{0,3874} \right| = \left| \frac{1}{2} \ln 4,1626 \right| = |0,7131|;$$

$$z_{розр.4} = \left| \frac{1}{2} \ln \frac{1+0,6976}{1-0,6976} \right| = \left| \frac{1}{2} \ln \frac{1,6976}{0,3024} \right| = \left| \frac{1}{2} \ln 5,6138 \right| = |0,8626|;$$

$$z_{розр.5} = \left| \frac{1}{2} \ln \frac{1-0,7942}{1+0,7942} \right| = \left| \frac{1}{2} \ln \frac{0,2058}{1,7942} \right| = \left| \frac{1}{2} \ln 0,1147 \right| = |-1,0827|;$$

$$z_{розр.6} = \left| \frac{1}{2} \ln \frac{1-0,91437}{1+0,91437} \right| = \left| \frac{1}{2} \ln \frac{0,08563}{1,91437} \right| = \left| \frac{1}{2} \ln 0,0447 \right| = |-1,5536|;$$

$$z_{розр.7} = \left| \frac{1}{2} \ln \frac{1+0,6598}{1-0,6598} \right| = \left| \frac{1}{2} \ln \frac{1,6598}{0,3402} \right| = \left| \frac{1}{2} \ln 4,8789 \right| = |0,7924|;$$

$$z_{розр.8} = \left| \frac{1}{2} \ln \frac{1+0,7725}{1-0,7725} \right| = \left| \frac{1}{2} \ln \frac{1,7725}{0,2275} \right| = \left| \frac{1}{2} \ln 7,7912 \right| = |1,0265|.$$

Розрахуємо добуток (z_{табл.}·σ_z), де z_{табл.} є квантиль випадкової величини для ймовірності p: z_p{p = 1 - α/2 = 0,975} = 1,96 [9], а середнє квадратичне

відхилення для функції z перетворення Фішера r_{1,2} σ_z = $\frac{1}{\sqrt{N-3}}$ = 1, де N = 4 – кількість параметрів, то

(z_p·σ_z) = 1,96. Так як |z_{розр.}| < (z_p·σ_z), то приймаємо гіпотезу про те, що немає лінійного зв'язку між інтенсивністю зношування і периметром частинок графітів, що повністю відповідає першому методу дослідження лінійного зв'язку. *Ступінь нелінійності* математичної моделі між I_П/I_К і θ_i, λ_i, E₂(x)_i; σ₂(x)_i, де i=1–8, дорівнює

$$\xi' = \left| \frac{(z_p \cdot \sigma_z)}{z_{розр.}} \right| \quad (14)$$

$$\xi_1=3,7107; \quad \xi_5=1,8103;$$

$$\xi_2=2,4617; \quad \xi_6=1,2616; \quad (15)$$

$$\xi_3=2,7486; \quad \xi_7=2,4735;$$

$$\xi_4=2,2722; \quad \xi_8=1,9094.$$

Шукали нелінійний зв'язок між I_П/I_К і θ_i, λ_i, E₂(I)_i; σ₂(I)_i для i = 1–8 [де i див. (9)] у формі:

$$y = b_0 \ln(x) + b_1 \quad (16)$$

$$y = b_0 \cdot x^{b_1} \quad (17)$$

$$y = b_0 \cdot e^{b_1 \cdot x} \quad (18)$$

$$y = b_0 + b_1 x + b_{11} x^2 \quad (19)$$

$$y = b_0 + b_1 x + b_{11} x^2 + b_{111} x^3 \quad (20)$$

де y = I_П/I_К – відношення інтенсивності об'ємного зносу полімеру I_П до цього ж показника композиту (відносна зносостійкість композиту);

x = θ_i, λ_i, – параметри γ-розподілу;

x = E₂(I)_i; σ₂(I)_i – математичне сподівання і середнє квадратичне відхилення відповідно.

Для першого етапу тертя S₁ = 0–4км для виду зв'язку I_П/I_К ~ θ_i R² змінюється в межах 0,16–1; для зв'язку I_П/I_К ~ λ_i R² змінюється в межах 0,50–1; для зв'язку I_П/I_К ~ E₂(I)_i R² змінюється в межах 0,57–1; для зв'язку I_П/I_К ~ σ₂(x)_i R² змінюється в межах 0,60–1.

Для другого етапу тертя S₁ = 4–16км для виду зв'язку I_П/I_К ~ θ_i R² змінюється в межах 0,55–1; для зв'язку I_П/I_К ~ λ_i R² змінюється в межах 0,88–1; для зв'язку I_П/I_К ~ E₂(I)_i R² змінюється в межах 0,44–1; для зв'язку I_П/I_К ~ σ₂(x)_i R² змінюється в межах 0,60–1. Самий тісний зв'язок існує між вказаними видами рівнянь, коли R² ≈ 1. Рівняння (19) і (20) найбільше відповідають такій вимозі (табл. 3).

На рис. 4 показано залежність відносної зносостійкості I_П/I_К від параметрів розподілу частинок графіту θ_i, λ_i, E₂(I)_i; σ₂(I)_i для першого S₁ і другого S₂ етапів тертя.

Як видно з рис. 4а, відносна зносостійкість композиту на першому етапі тертя (крива 1) незначно змінюється зі зміною θ, на другому етапі тертя (крива 2) відносна зносостійкість композиту зростає, проходячи через максимум (θ = 3–4) і тоді різко зменшується.

Як видно з рис. 4б, із зростанням λ відносна зносостійкість композиту зменшується на обох етапах тертя (крива 1, 2).

Аналіз рис. 4в і 4г приводить до висновків, що відносна зносостійкість композиту на першому етапі тертя (крива 1) із зростанням E₂(I)_i; σ₂(I)_i майже не змінюється. На другому етапі (крива 2) відносна зносостійкість композиту зростає.

Висновки

1. Частинки графітів за периметром мають близькі значення з частинками ароматичного поліаміду, розподіл частинок якого залежить від технологічної партії синтезу фенілону С-2.

2. Частинки графітів і ароматичного поліаміду за ефективним діаметром приблизно мають однакові середні значення, що визначає композиційність цих матеріалів.

3. Ароматичний поліамід будь-якої партії та всі

графіти мають малі розміри за шириною.

4. Встановлено за результатами кореляційного аналізу, що між інтенсивністю зношування і периметром частинок графітів немає лінійного зв'язку.

Сіренко Г.О. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теоретичної і прикладної хімії;
Базюк Л. В. – асистент кафедри теоретичної і прикладної хімії.

- [1] Г.А. Сиренко *Антифрикционные карбопластики*. Техніка, Київ, 195 с. (1985).
- [2] Г.О. Сіренко, О.В. Шийчук. Математичний опис процесу дроблення вуглецевих волокон для наповнених полімерів// *Композиційні полімерні матеріали*, **25**, (1), сс. 49-53 (2001).
- [3] Г.О. Сіренко, В.П. Свідерський, Л.В. Базюк Теплофізичні властивості композиційних матеріалів на основі ароматичного поліаміду, наповнених графітами // *Полімерний журнал*, **27**, (4), сс. 272-277 (2005).
- [4] Л.Б. Соколов, В.Д. Герасимов, В.М. Савинов, В.К. Беляков. *Термостойкие ароматические полиамиды*. Химия, Москва. 254 с. (1975)
- [5] Г.А. Сиренко, В.П. Свидерский, В.Д. Герасимов, В.З. Никонов. *Антифрикционные термостойкие полимеры*. Техника, Киев. 246 с. (1978).
- [6] Г. Корн, Т. Корн. *Справочник по математике для научных работников и инженеров*. Наука, Москва. 832 с. (1978).
- [7] Л.С. Зажигаев, А.А. Кишьян, Ю.И. Романиков. *Методы планирования и обработки результатов физического эксперимента*. Атомиздат, Москва. 232 с. (1978).
- [8] М.Н. Степнов *Статистическая обработка результатов механических испытаний*. Машиностроение, Москва. 232 с. (1972)
- [9] Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. *Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий*. Наука, Москва. 280 с. (1976).

H.O. Sirenko, L.V. Bazyuk

Influence of Parameters of Graphites on Wearproofity for Composite Materials on the Base of the Aromatic Polyamide

*'Vasyl Stefanyk' Precarpathian National University,
57, Shevchenko Str., Ivano-Frankivsk, 76000, Ukraine*

Dependence between wearproofity and parameters of distribution of graphite for composite materials based on aromatic polyamide is explored.