ФІЗИКА І ХІМІЯ ТВЕРДОГО ТІЛА
Т. 5, № 4 (2004) С. 819-824

PHYSICS AND CHEMISTRY OF SOLID STATE
V. 5, № 4 (2004) P. 819-824

УДК 678: 03: 621. 64

ISSN 1729-4428

Л.Я. Мідак[1], Г.О. Сіренко[1], В.П. Свідерський[2]

Повзучість композиційних матеріалів на основі політетрафторетилену при одновісному стисненні

[1]Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, 76000, Україна,
[2]Хмельницький державний університет, вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, 29000, Україна

Досліджено повзучість композиційних матеріалів на основі політетрафторетилену, наповнених вуглецевими дисперсними і волокнистими наповнювачами при одновісному стисненні. Одержано рівняння, які описують тривалу повзучість і дозволяють з високою точністю прогнозувати тривалу повзучість різних матеріалів на основі ПТФЕ.

Ключові слова: композиційний матеріал, політетрафторетилен, наповнювач, вуглецеве волокно, кокс, деформація, повзучість.

Стаття поступила до редакції 09.05.2004; прийнята до друку 31.08.2004.

I. Вступ

Завдяки комплексу високих хімічних, фізико-механічних і триботехнічних характеристик широке застосування в ущільнювальній техніці одержали матеріали на основі політетрафторетилену. Проте основним недоліком цього матеріалу є його холодотекучість – зміна форми під дією зовнішніх навантажень. Введення наповнювачів значно зменшує холодотекучість політетрафторетилену.

Під повзучістю означимо всі можливі прояви нерівноважного характеру деформації або залежність деформації від тривалої дії навантаження.

Мінімальна повзучість спостерігається для матеріалів на основі політетрафторетилену з меншим ступенем кристалічності полімерної матриці, який обумовлений методами переробки у вироби, умовами термообробки і охолодження виробів. Під дією навантаження розтягу відбувається переорієнтація аморфних і кристалічних областей полімеру, причому спочатку орієнтуються аморфні області, а потім руйнуються кристалічні утворення.

Стан полімеру здійснює суттєвий вплив на характер деформацій. У стані скла значну роль грає деформація, пов'язана зі зміною відстані між кожною парою сусідніх атомів – миттєва деформація, а високоеластична деформація пов'язана з тепловим рухом молекул – коливанням атомів біля положення рівноваги, взаємного обертання ланок ланцюгових молекул одна відносно одної навколо валентних зв'язків.

Оскільки механізм високоеластичної деформації суттєво пов'язаний з тепловим рухом речовини, деформація завжди розвивається з кінцевою швидкістю, і процес сильно залежить від режиму навантаження в часі.

Якщо зразок навантажується силою стиску, яка прикладається до нього практично миттєво і далі підтримується незмінною, то спочатку деформація зразка буде цілком миттєво пружною, далі в'язкопружна деформація буде розвиватися в часі і наближатися, сповільнюючи швидкість, до свого рівноважного значення, що супроводжується пластичною деформацією. При розвантаженні спочатку щезає миттєво пружна деформація, далі в'язкопружна і залишається пластична деформація.

Мета роботи полягала в тому, щоби дослідити повзучість композиційних матеріалів на основі політетрафторетилену (ПТФЕ), наповнених вуглецевими дисперсними і волокнистими наповнювачами при одновісному стисненні. При цьому суттєвим є фізичний стан полімерної матриці і проведення випробувань при сталій температурі 296±1 К, що перевищує фазовий перехід ПТФЕ при 292-294 К.

II. Експериментальна частина

Для дослідження повзучості антифрикційних матеріалів вибрані композиційні матеріали на основі ПТФЕ, наповненого 20% низькомодульного вуглецевого волокна з тканини УТМ-8 (НВВ), і матеріали, в яких 5; 10 і 15% НВВ замінено термообробленим коксом при 1123 К (ТК).

Для дослідження впливу природи волокнистого

Таблиця 1

Властивості вуглецевих волокон, отриманих з тканин

Вуглецева тканина	Вихідна органічна тканина	d, мкм	γ, %	$\sigma_в$, ГПа	$E_в$, ГПа	$T_к$, К	Тип волокна
УТ-4	ГЦ	14	8,0	0,2-0,5	10-30	723	LM
УТМ-8	ГЦ	10	4,5	0,5-0,6	30-50	1123	LM
Текарм-2	ГЦ	10	4,5	0,4-0,5	30-50	1123	LM
Урал ТР 3/2-15	ГЦ	–	–	–	–	1773	–
Урал Т-15	ГЦ	4,5	2,0	1,5-1,7	70-80	1773	MT
Урал Т-215	ГЦ	4,5	2,5	1,5-1,7	120-180	2423	MT
ТГН-2м	ГЦ	8,9	2,0	0,45-0,50	30-50	2673	LM

наповнювача на тривалу повзучість композиту на основі ПТФЕ вибрані матеріали, які армовані волокнами з вуглецевих тканин УТ-4, УТМ-8, Текарм-2, Урал ТР 3/2-15, Урал Т-15, Урал Т-215, ТГН-2м. Властивості волокон, отриманих з вуглецевих тканин, приведені в табл. 1.

Класифікація вуглецевих волокон дана за [1,2]: LM – низькомодульні; MT – середньої міцності; ГЦ – на основі гідратцелюлозної тканини; $\sigma_в$ – міцність волокна при розтягуванні; $E_в$ – модуль пружності волокна при розтягуванні; $T_к$ – кінцева температура термообробки вуглецевих тканин; γ –- відносне подовження при розриві; d – середній діаметр волокна.

Подрібнення тканин проводилось в молотковій дробарці при 3000 об/хв., а потім в дробарці ножового типу МРП-1 при 7000 об/хв. (частота обертання ножа 117 $с^{-1}$, максимальна швидкість 78 м/с) до одержання волокна з насипною густиною ρ = 50 кг/$м^3$ і розподілом за довжинами Вейбулла. Змішування компонентів проводили в МРП-1 при 7000 об/хв. на протязі 5 хв.

Випробування на повзучість проведені на модифікованій установці важільного типу – твердомірі ПТМ (обладнаному термокамерою для стабілізації температури при 296±1 К), яка дозволяла змінювати питоме навантаження від 7,6 до 12,7 МПа і вище. Вимірювання деформації здійснювалось за допомогою чутливої індикаторної головки з ціною поділки шкали 0,002 мм. Досліджуванні зразки були виконані у вигляді циліндрів діаметром 10±0,1 мм і висотою 10±0,1 мм. Зразки термостатували при 296±1 К протягом 12 год., встановлювали на столик приладу і навантажували.

При вимірюванні початкової повзучості відлік деформацій проводився за наступною схемою: через 10-30 с після навантаження, потім через 1 хв. протягом 5 наступних хвилин і далі через 15 хв. протягом 1 години, а при тривалій повзучості початкова схема відповідала початковій повзучості, а далі вимірювання здійснювали через 12-20 хв. протягом 4 діб, а далі 10 діб спостерігали деформацію при розвантаженні.

При вимірювання циклічної повзучості цикл "навантаження–розвантаження" складав 15 і 5 хв. відповідно. Вимірювання зразків при розвантаженні (зразки знімали з установки) проводили мікрометром МКО-25 відповідно до ГОСТ 6507-78 з точністю 0,01 мм.

Відносні лінійні деформації зразків (повзучість) при одновісному стисненні розраховували за формулою:

$$\varepsilon = \frac{l_\tau - l_0}{l_\tau} \cdot 100\ \%,$$

де l_τ – розмір зразка під дією навантаження в заданий момент часу, мм, l_0 – початковий розмір зразка, мм.

III. Результати і обговорення

1. Дослідження початкової, тривалої і циклічної повзучості.

Для визначення загальних закономірностей повзучості матеріалу під дією напружень стиску або розтягу необхідно провести цілий ряд досліджень при різних напруженнях. Це дозволить передбачити теоретичну криву ступінчатого навантаження композиційного матеріалу. Кожну програму ступінчатого навантаження можна представити у вигляді [3]:

$$\sigma(t) = \sum_{m=0}^{n-1}\left[H(t-t_m) - H(t-t_{m+1})\right]\sigma^{(m)^0}, \quad (1)$$

$t_{n-1} \le t \le t_n$ (n= 1, 2, ...), H (t) – функція Хевісайда, що виражає осьове напруження, швидко прикладене до зразка в момент t = 0 (σ (t) = H (t) σ^0); H ($t-t_{m+1}$) – функція Хевісайда, що виражає осьове напруження, швидко прикладене до зразка в момент t > 0; t_m – моменти, в які σ (t) має розрив; $\sigma^{(m)^0} = \sigma(t)$ в інтервалі $t_m \le t \le t_{m+1}$.

І відповідно до принципу складання деформацій, вираз для деформації зразка, підданого ступінчатому навантаженню має вигляд:

$$\varepsilon(t) = \sum_{m=0}^{n-1}\left[D(t-t_m, \sigma^{(m)^0}) - D(t-t_{m+1}, \sigma^{(m)^0}\right], (2)$$

$t_{n-1} < t < t_n$.

При σ = const в найпростішому випадку деформація при постійній температурі є функцією часу.

На рис. 1, 2 представлені результати дослідження повзучості антифрикційних матеріалів на основі політетрафторетилену (ПТФЕ), наповненого 20% низькомодульного вуглецевого волокна з тканини

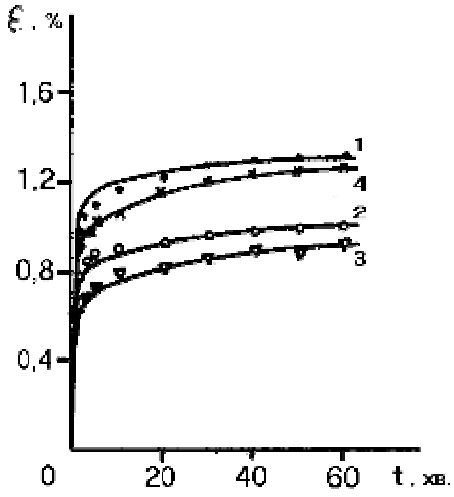

Рис. 1. Криві початкової повзучості при одновісному стисненні матеріалу на основі ПТФЕ, наповненого 20% вуглецевого волокна УТМ-8 (1), 15% УТМ-8 + 5% порошку термообробленого при 1123 К коксу (2); 10% УТМ-8 + 10% коксу (3); 5% УТМ-8 + 15% коксу: (-) – розрахункова крива повзучості; (·) – експериментальні значення повзучості.

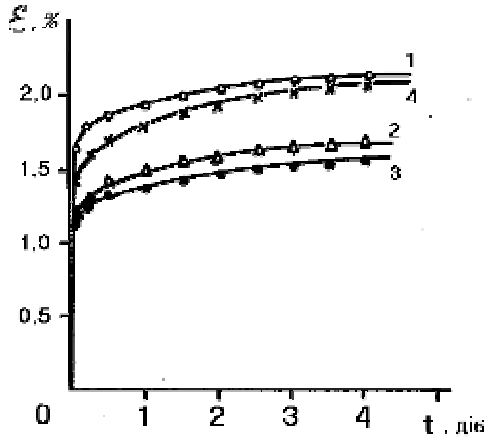

Рис. 2. Криві тривалої повзучості матеріалу на основі ПТФЕ, наповненого 20% вуглецевого волокна УТМ-8 (1), 15% УТМ-8 + 5% порошку термообробленого при 1123 К коксу (2); 10% УТМ-8 + 10% коксу (3); 5% УТМ-8 + 15% коксу: (-) – розрахункова крива повзучості; (·) – експериментальні значення повзучості.

УТМ-8 (НВВ) (матеріал I), 15% НВВ + 5% ТК (матеріал II) і 10% НВВ +10% ТК (матеріал III) і 5% НВВ + 15% ТК (матеріал (IV) при одновісному стисненні при навантаженні 7,6 МПа. Такі навантаження, які створюються у вузлах тертя, що містять деталі з композиційних матеріалів на основі ПТФЕ, забезпечують тривалу роботу елементів конструкцій.

У табл. 2 наведені рівняння зв'язку деформації даних матеріалів від часу навантаження, одержані на основі дослідження повзучості цих матеріалів при навантаженні N = 7,6 МПа і сталій температурі 296±1 К. Для кожного матеріалу одержано два рівняння, які описують миттєву повзучість (хвилини з моменту прикладення напруження до 60 хв.) і тривалу повзучість на протязі від 1 год. до 30 діб.

Рівняння, які описують тривалу повзучість, дозволили не тільки з високою точністю описати повзучість (дисперсія адекватності $S^2_{ад} = 1{,}095 \cdot 10^{-4}$, дисперсія помилки $S^2_{пом} = 2{,}4 \cdot 10^{-4}$, розрахункове значення критерію Фішера $F_{розр} = 0{,}456$, табличне значення критерію Фішера для рівня значущості $\alpha = 0{,}05$, числа ступенів вільності $f_{ад} = 4$; $f_{пом} = 6$ $F_{табл}$ $\{\alpha = 0{,}05; f_{ад} = 4; f_{пом} = 6\} = 4{,}53$) [4], але й можливість прогнозувати тривалу повзучість різних матеріалів на основі ПТФЕ (рис. 1, 2, табл. 2).

Відхилення експериментальних даних (табл. 3) від розрахункових (табл. 2), що визначені за формулою (3):

$$\delta = \left| \frac{\varepsilon_{експ} - \varepsilon_{розр}}{\varepsilon_{розр}} \right| \cdot 100\ \% \qquad (3)$$

складає для часу деформації:
60 хв. 0,80 – 3,94%; 4 доби 1,89 – 6,15% (табл. 3).

Таблиця 2

Рівняння регресії, які описують повзучість (%) композиційних матеріалів на основі ПТФЕ при одновісному стисненні (N = 7,6 МПа, t = 296 К)

№ кривої на рис.1, 2	Матеріал	Рівняння регресії, які описують миттєву повзучість на початкових етапах*	Рівняння регресії, які описують тривалу повзучість**
1	ПТФЕ + 20% НВВ (I)	$\varepsilon = 1{,}0780 \cdot t^{0{,}0399}$	$\varepsilon = 1{,}5650 \cdot t^{0{,}0601}$
2	ПТФЕ + 15% НВВ + 5% коксу (II)	$\varepsilon = 0{,}7546 \cdot t^{0{,}0669}$	$\varepsilon = 1{,}1964 \cdot t^{0{,}0888}$
3	ПТФЕ + 10% НВВ + 10% коксу (III)	$\varepsilon = 0{,}5905 \cdot t^{0{,}0999}$	$\varepsilon = 1{,}1267 \cdot t^{0{,}0757}$
4	ПТФЕ + 5% НВВ + 15% коксу (IV)	$\varepsilon = 0{,}9140 \cdot t^{0{,}0756}$	$\varepsilon = 1{,}4482 \cdot t^{0{,}0722}$

* ε в %, t в хв.;
** ε в %, t в год.

Таблиця 3

Величини деформацій (%) матеріалів на основі ПТФЕ, вуглецевих волокон та коксу при початковій, тривалій та циклічній повзучості

№ матеріалу	Стале навантаження					
	Початкова повзучість			Тривала повзучість		
	60 хв.			4 доби		
	експеримент	розрахунок	δ, %	експеримент	розрахунок	δ, %
I	1,32	1,27	3,94	2,15	2,06	4,37
II	1,01	0,99	2,02	1,68	1,79	6,15
III	0,91	0,89	2,25	1,56	1,59	1,89
IV	1,26	1,25	0,80	2,07	2,01	2,99

№ матеріалу	Циклічне навантаження				
	Сумарна деформація			Залишкова деформація	
	I цикл	II цикл	III цикл	I цикл	II цикл
	15 хв.	35 хв.	60 хв.	20 хв.	40 хв.
I	1,10	1,21	1,35	0,39	0,49
II	–	–	–	–	–
III	0,88	0,97	1,0	0,23	0,27
IV	1,0	1,07	1,10	0,27	0,33

Деформація матеріалу I через 60 хв., 4 і 30 діб після прикладання навантаження 7,6 МПа при 296 К, що розрахована за рівняннями табл. 2, складала 1,27; 2,06 та 2,32% (табл. 3), а контрольні досліди перевірки точності прогнозування дали величини деформації 1,32; 2,15 і 2,45 % відповідно. Таким чином, відхилення експериментальних даних від розрахункових складало 3,94; 4,37 і 5,60% відповідно. Експериментальні результати в координатах ε ~ lg t апроксимуються лінійною моделлю (рис. 3).

Порівняльний аналіз даних закономірностей дозволяє оцінити повзучість матеріалів на основі ПТФЕ, наповненого різними наповнювачами. Найменшу повзучість, як на початковому етапі навантаження, так і на етапі тривалої повзучості, має матеріал III, а найбільшу – матеріал I, решта матеріалів займає проміжне становище.

Як видно з рис. 4 залишкові деформації при циклічному навантаженні дещо більші у матеріалу I, ніж у матеріалів, що містять одночасно два наповнювачі. Після двох циклів навантаження і наступного розвантаження залишкові деформації після 5 хв. відпочинку склали: для матеріалу I – 0,49%, матеріалу IV – 0,33%, матеріалу III – 0,27% (рис. 4, табл. 3).

Більша жорсткість композиційних матеріалів, наповнених дисперсними і волокнистими наповнювачами пов'язана, очевидно, з явищем агрегації частинок дисперсного наповнювача в

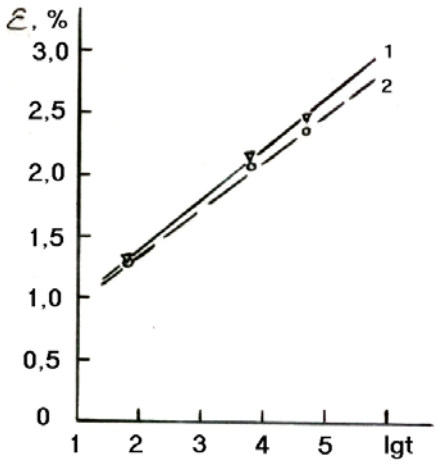

Рис.3. Залежність деформації (%) матеріалу I від часу навантаження (τ в хв.): 1 – експериментальні дані; 2 – розрахункові дані.

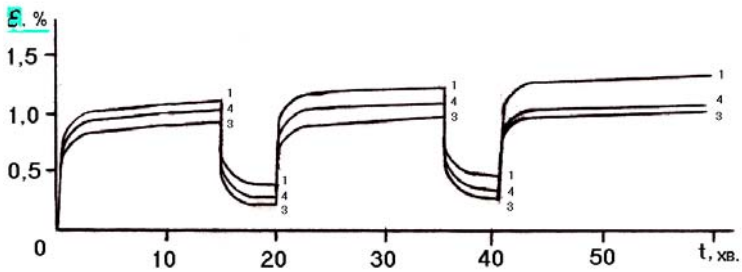

Рис. 4. Криві повзучості матеріалів на основі політетрафторетилену при одновісному стисненні та циклічному навантаженні (при 7,6 МПа) – розвантаженні: 1 – ПТФЕ, наповненого 20% НВВ; 3 – ПТФЕ, наповненого 10% НВВ + 10% термообробленого коксу; 4 – ПТФЕ, наповненого 5% НВВ + 15% термообробленого коксу.

полімерній матриці [5]. Факт впливу агрегації наповнювача на деформаційно-міцнісні властивості композиційних матеріалів з комбінованим зернисто-волокнистим наповнювачем експериментально встановлений в ряді робіт [5,6]. Вважається, що існує гранична концентрація зернистого наповнювача, при якій він утворює неперервну сітку включень, що армують полімерну матрицю.

Волокнистий наповнювач з розподілом за довжинами за законом Вейбулла або гамма-розподілом створює структурну сітку, всередині якої розміщується каркас із зернистого наповнювача. Причому агреговані ланцюги зернистого наповнювача можуть переплітати волокна.

Враховуючи це, можна припустити, що для композиційних матеріалів на основі політетрафторетилену, наповнених волокнистим і дисперсним наповнювачем існує гранична концентрація дисперсного наповнювача, яка забезпечує утворення неперервного каркасу зернистого наповнювача, що армує полімерну матрицю, і дорівнює ~ 10% при 10% волокнистого наповнювача. Агрегація порошкового наповнювача в гібридному композиті обумовлює появу гібридного ефекту, який полягає у збільшенні жорсткості гібридного композиту з комбінованим наповнювачем порівняно із жорсткістю вихідних двокомпонентних матеріалів при рівних коефіцієнтах наповнення: повзучість матеріалу I більша, ніж матеріалу III.

2. Дослідження впливу природи волокнистого наповнювача на тривалу повзучість ПТФЕ + 20% НВВ.

При досліджені повзучості композитів, наповнених волокнистими наповнювачами можна розглядати два випадки поведінки волокон:

– збереження жорсткості волокна в деформованій матриці;

– деформованість волокна в деформованій матриці [7].

Але односторонній підхід погано узгоджується з експериментальними даними. Добре узгодження з експериментальними даними одержане для композитів з волокнами при двосторонньому підході. Визначальними факторами структури, які впливають на механічні властивості коротковолокнистого композита, є об'ємний вміст наповнювача, довжина та орієнтація волокон. Сучасні прийоми подрібнення приводять, як правило, до одержання волокон різної довжини. Руйнування наповнювача в процесі переробки композиту ще більше збільшують інтервал розподілу волокон за довжинами [8]. Спосіб переробки матеріалу у виріб також може сильно впливати на розподіл орієнтації коротких волокон, обумовлюючих анізотропію властивостей матеріалу.

Для проведення розрахунку пружних характеристик матеріалів з хаотично розміщеними волокнами наповнювача, виділяють структурний елемент, в якому передбачають однонаправлене армування короткими волокнами. Далі проводять усереднення характеристик пружності елементів з урахуванням статистичного розподілу Вейбулла орієнтації волокон в матеріалі [9]:

$$f(l) = \alpha\beta l\beta\text{-}1.\ \exp(-\alpha l)\beta, \qquad (4)$$

l – довжина волокна, мкм; α, β – коефіцієнти; f(l) – густина розподілу, мкм$^{-1}$.

Встановлено, що при сталій концентрації наповнювача модуль пружності нелінійно залежить від довжини волокна і наближається при збільшенні l/d до значення модуля пружності композиту, армованого неперервним волокном. Чим вужчий розподіл довжин, тим більше значення модулів пружності композиційного матеріалу, найбільшою жорсткістю володіє матеріал, армований волокнами однакової довжини. Неоднорідність орієнтації волокон в об'ємі матеріалу може призвести до значної анізотропії властивостей композиту вже при невисоких значеннях коефіцієнта наповнення.

Гібридні композиційні матеріали на основі ПТФЕ, які містять дисперсний (кокс) і волокнистий (карбонові волокна) наповнювачі проявляють різну повзучість при стисненні в залежності від типу волокна (рис. 5). Композиційні матеріали з волокнами Урал Т-15, УТМ-8, Урал Т-215 і Текарм-2 проявляють меншу повну повзучість, ніж композиційні матеріали з волокнами на основі Урал ТР 3/2-15, УТ-4 і ТГН-2м. Залишкові деформації, які характеризують перевагу пластичних деформацій над пружними, також значніші для композиційного матеріалу, що містить волокно Урал ТР 3/2-15, УТ-4 і

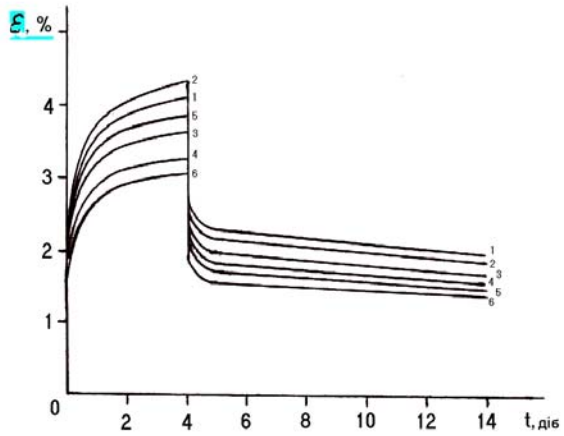

Рис. 5. Криві тривалої повзучості матеріалу III при одновісному стисненні з різними вуглецевими волокнами: 1 – ТГН-2м; 2- Урал ТР 3/2-15, УТ-4; 3- Текарм-2; 4- Урал Т-215; 5- УТМ-8; 6 – Урал Т-15. Умови випробувань N = 12,7 МПа, t = 23^{0}С.

ТГН-2м (рис. 5).

Ряд ефективності для таких волокон (у порядку зростання повної деформації): Урал Т-15 < Урал Т-215 < Текарм-2 < УТМ-8 < ТГН-2м < Урал ТР 3/2-15 = УТ-4. Тут можна виділити дві групи волокон за вихідною органічною сировиною і каталізаторами карбонізації (антипіренами):

УТ-4, УТМ-8, Текарм-2, ТГН-2м;

Урал ТР 3/2-15, Урал Т-15, Урал Т-215.

Окрім того, волокна відрізняються кінцевими температурами термообробки. Мінімальна повзучість

характерна для матеріалів, які наповнені вуглецевими волокнами з Тк = 1123–2423 К, тобто волокнами з найбільш міцними зв'язками і недосконалою турбостратної структурою, яка передує графітизації [1,10,11].

Значення залишкових деформацій, які розвиваються в композитах після зняття прикладених навантажень, особливо важливе тоді, коли температура виготовлення деталі вища, ніж робоча температура. Крім того встановлено [3], що для запобігання тріщиноутворення при наступному навантаженні корисно створювати конструктивно вигідну систему залишкових напружень, наприклад, напружень стиску біля поверхні.

Ефективно працюючий ущільнювальний матеріал повинен володіти не тільки малою повзучістю, але і достатньою пружністю, тобто повинен швидко відновлювати задані розміри після зняття навантаження. А такими властивостями в значній мірі володіють композиційні матеріали на основі ПТФЕ з волокнами УТМ-8 і Урал Т-15.

Ряд ефективності для вуглецевих волокон (у порядку зростання залишкової деформації): Урал Т-15 < УТМ-8 < Урал Т-215 < Текарм-2 < Урал ТР 3/2-15 = УТ-4 < ТГН-2м.

IV. Висновки

Одержано рівняння, які описують тривалу повзучість і дозволяють з високою точністю прогнозувати тривалу повзучість різних матеріалів на основі ПТФЕ.

Порівняльний аналіз повзучості матеріалів на основі ПТФЕ, наповненого різними наповнювачами, показав, що наповнення полімеру волокнистим і дисперсним наповнювачами зменшує повзучість, порівняно з наповненням тільки волокнистим наповнювачем.

Встановлена гранична концентрація дисперсного наповнювача для композиційних матеріалів на основі політетрафторетилену, наповнених волокнистим і дисперсним наповнювачем, яка забезпечує утворення неперервного каркасу зернистого наповнювача, що армує матрицю, і дорівнює 10% (мас).

Встановлено, що при сталій концентрації наповнювача модуль пружності композиційного матеріалу нелінійно залежить від довжини волокна, причому чим вужчий розподіл довжин, тим більше значення модуля пружності композиційного матеріалу.

[1] Г.О. Сіренко. *Створення антифрикційних композитних матеріалів на основі порошків термотривких полімерів та вуглецевих волокон*: Дис. доктора техн. наук: 05.16.06., Ін-т матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАНУ, К. 431 с. (1997).

[2] В.П. Свідерський, О.І. Федоришин. Аналітичний огляд науково-технічних основ і властивостей антифрикційних карбопластиків: 1. Вуглецеві волокна // *Вісник Прикарпат. ун-ту. Сер. Хімія,* (I), сс. 118-132 (2001).

[3] И.И. Бугаков. *Ползучесть полимерных материалов*. Наука, М. 240 с. (1973).

[4] Дж. Бендат, А. Пирсол. *Измерение и анализ случайных процессов*. Мир, М. сс. 180-181 (1971).

[5] Ю.А. Дзенис, Р.Д. Максимов. Прогнозирование деформационных свойств полимерного композита с зернисто-волокнистым наполнителем // *Механика композитных материалов*, (5), сс. 898-900 (1987).

[6] Ю.А. Дзенис. Влияние агрегирования жесткого дисперсного наполнителя на характеристики упругости полимерного композита // *Механика композитных материалов*, (1), сс. 14-22 (1986).

[7] H. Li Cholt. Compos. Sci and Technol. **XXII**(4), pp. 277-294 (1985).

[8] I.B. Shortall, D. Pennington. The characterization of fiber length distribution in injection moulded plastics// *Plas. Pubber Process. Appl*, **II**(1), pp. 33-40 (1982).

[9] Г.О. Сіренко, О.В. Шийчук. Математичний опис процесу дроблення вуглецевих волокон для наповнених полімерів// *Композиційні полімерні матеріали*, **XXV**(1), сс. 49-53 (2003).

[10] А.А. Конкин. *Углеродные и другие жаростойкие волокнистые материалы*. Химия, М. 376 с. (1974).

[11] А.А. Конкин. Жаростойкие (углеродные) волокна // *Термостойкие и негорючие волокна*. Химия, М. сс. 217–240 (1978).

L.Ya. Midak[1], H.A. Sirenko[1], V.P. Sviderskyy[2]

The Creep of Composite Materials Based on Polytetrafluoroethylene in One-Axle Restrain

[1]'Vasyl Stefanyk' Precarpathian National University, 57, Shevchenko Str., Ivano-Frankivsk, 76000, Ukraine,
[2]Khmelnytsky State University, 11, Instytutska Str., Khmelnytsky, 29000, Ukraine

The creep of composite materials based on polytetrafluoroethylene, which are filled of dispersed and fibred reinforcements, in one-axle restrain is researched. The equations, which describe the creep in time and let to forecast the creep in time of different materials from polytetrafluoroethylene with high precision, are obtained.