

УДК 678: 03: 621.64

Вплив температури на повзучість композиційних матеріалів на основі політетрафторетилену при постійному навантаженні

Г.О. Сіренко¹, В.П. Свідерський², Л.Я. Мідак¹, Л.В. Караванович¹

¹Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, 76000, Україна

²Хмельницький національний університет

вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, 29000, Україна

Досліджено повзучість композиційних матеріалів на основі політетрафторетилену, наповненого волокнистими і порошковими наповнювачами, при підвищених температурах і постійних навантаженнях. Встановлено, що підвищення опору навантаженню полімерного матеріалу в заданому напрямі можна досягнути його попереднім деформуванням.

Повзучість композиційних матеріалів – це найрізноманітніші прояви нерівноважного характеру деформацій, або залежність деформації від тривалої дії навантаження. Стан полімеру суттєво впливає на характер деформацій. У стані скла значну роль відіграє деформація, пов'язана зі зміною відстані між кожною парою сусідніх атомів – миттєва пружна деформація [1, 2]. Високоеластична (часова пружна) деформація пов'язана з тепловим рухом молекул – коливанням атомів біля положення рівноваги, взаємного обертання ланок ланцюгових молекул одна відносно одної навколо валентних зв'язків [1,2].

В ряді робіт [1,2] досліджувався вплив температури на в'язкопружні властивості полімерів. Підвищення температури збільшує відносну деформацію зразків. Спостерігається сильна залежність в'язкопружних властивостей від зміни температури, особливо при швидкому її зниженні від значень, вищих точки склування, до температури, що відповідає стану скла.

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

Мета роботи полягала в тому, щоб дослідити повзучість композиційних матеріалів на основі ПТФЕ, наповненого волокнистими і порошковими наповнювачами, при підвищених температурах і постійних навантаженнях.

Для дослідження впливу температури на повзучість антифрикційних матеріалів вибрані базові

композиційні матеріали на основі ПТФЕ, наповненого 20 % низькомодульного вуглецевого волокна УТМ-8 (НВВ), 20 % термообробленого коксу і суміші наповнювачів 10 % НВВ + 10 % термообробленого коксу, 20 % колоїдного графіту С-1.

Для оцінки деформації матеріалів на основі ПТФЕ від температури і типу наповнювачів вибрані матеріали, які армовані високомодульним графітованим волокном ВМН-4 (ПАН; НМ; $\rho=1940$ кг/м³; $T_k=2673$ К; $\sigma_b=2,0-2,5$ ГПа; $E_b=240-300$ ГПа; $\gamma=1,0$ %; $d_b=6$ мкм) і високоміцним графітованим волокном із стрічки ЛУ-2 (ПАН; НТ; $\rho=1800$ кг/м³; $T_k=2673$ К; $\sigma_b=2,0-2,5$ ГПа; $E_b=200-280$ ГПа; $\gamma=0,8$ %; $d_b=6$ мкм); низькомодульним вуглецевим волокном УТМ-8 (ГЦ; ЛМ; $\rho=1510$ кг/м³; $T_k=1123$ К; $\sigma_b=0,5-0,6$ ГПа; $E_b=30-50$ ГПа; $\gamma=4,5$ %; $d_b=10$ мкм); скляним (алюмобарсилікатним; $\rho=2650$ кг/м³; $\sigma_b=1,4-2,6$ ГПа; $E_b=60-112$ ГПа; $\gamma=1-4$ %; $d_b=11$ мкм) і базальтовим (з Берестовецького базальту; $\rho=2700$ кг/м³; $\sigma_b=1,8-2,2$ ГПа; $E_b=93-114$ ГПа; $\gamma=1-4$ %; $d_b=11$ мкм) волокнами [3-8]. Класифікацію вуглецевих волокон визначено за [9, 10]: ЛМ – низькомодульні; НТ – високоміцні; НМ – високомодульні; ГЦ – з гідратцелюлозної та ПАН – з поліакрилонітрильної тканини, стрічки або волокна; γ – відносне подовження при розриві; d_b – середній діаметр волокна; σ_b – міцність волокна при розтягуванні; E_b – модуль пружності волокна при розтягуванні; T_k – кінцева температура термообробки волокнистих матеріалів.

Колоїдний графіт С-1 отриманий графітизацією термоантрациту при 2673-2873 К з наступним дробленням у колоїдному млинку. Графіт С-1 мав такі характеристики: вміст золи 1,5 %; вологість 0,5 %; тонкість млива: розмір частинок 1–80 мкм, розмір частинок основної фракції 1–8 мкм (75 %), залишок на ситі з отворами 63 мкм – менше 0,5 %.

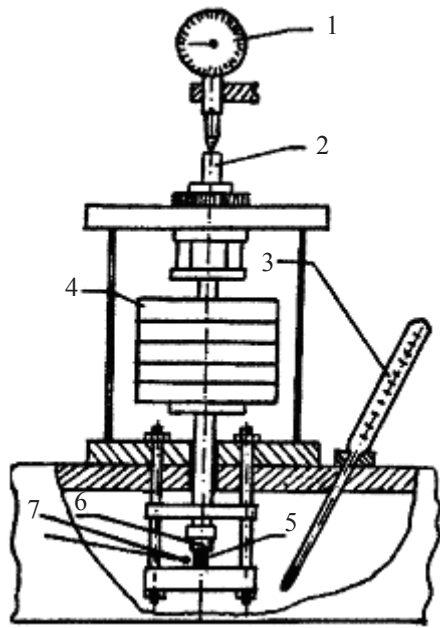


Рис.1. Схема навантажувальної системи приладу FWVR 32/78 для дослідження повзучості полімерних матеріалів при температурах 287-523 К: 1 – індикатор; 2 – стрижень-натискач; 3 – термометр; 4 – наважка; 5 – зразок; 6 – індентор; 7 – термопара ХК.

Кокс отриманий при температурі 1123 К з нафтової сировини.

Композиції [11,12] на основі ПТФЕ і дисперсій волокон, порошоків коксу та графіту або вуглецевих волокон і коксу отримували за ХМА-технологією [13]. Подрібнення вихідних вуглецевих волокнистих матеріалів проводилось у молотковій дробарці КДУ “Українка” при 3000 об./хв. робочих органів, а потім у млинку ножового типу МРП-1 при 7000 об./хв. (частота обертання ножа 117 с^{-1} , максимальна швидкість 78 м/с) 10 хв. для вуглецевих волокон і 20 хв. для базальтового і скляного волокон до одержання волокна з насипною густиною $\rho = 50 \text{ кг/м}^3$. Змішування компонентів: фторопласту і наповнювачів, яке проводили в млинку МРП-1 при 7000 об./хв. 5 хв., супроводжувалося разом з тим додатковим подрібненням композиції, порошоків і волокон. Волокна до і після змішування мали об’ємний (масовий) гамма-розподіл за довжинами в межах 20–1200 мкм [14]. Заготовки виготовлені за технологією переробки фторопластів пресуванням [15]. При вивченні залежності повзучості від температури волокна були розташовані хаотично в шарах, перпендикулярних до зусилля пресування та напрямку деформування.

Дослідження матеріалів на повзучість при одновісному стисненні проводили на модифікованому приладі FWVR 32/78 (рис. 1) на циліндричних зразках (5) діаметром $3 \pm 0,05 \text{ мм}$ і висотою $h_0 = 6 \pm 0,05 \text{ мм}$ при 287 - 423 К. Висоту і діаметр зразка вимірювали мікрометром у трьох позиціях з точністю до 0,01 мм.

Зразки кондиціонували 24 год. та готували різанням на токарному верстаті із заготовок діаметром 10 мм і висотою 25 мм (при дослідженні залежності повзучості від температури) та діаметром 30 мм і висотою 60 мм (при дослідженні залежності повзучості від ступеня попередньої деформації). Торцеві поверхні циліндрів шліфували. Три зразки поміщали у вимірювальні комірки і калібрували 5-кратним навантаженням (5 с) до 5 %-вої тимчасової граничної міцності при 293 К. Із серії зразків (15-20 шт.) відбирали 3. Вони мали максимальну площу контакту з металевим індентором (6) з площею перерізу $28,274 \text{ мм}^2$, виготовленим із сталі 10X18H10T (середнє арифметичне відхилення профілю поверхні $Ra_0 = 0,06 \pm 0,02 \text{ мкм}$) діаметром 6 мм. Помістивши зразки у вимірювальні комірки, їх термостатували 60 хв. при заданій температурі, навантажували (5 с) три рази до 5 %-вої тимчасової граничної міцності.

Після тренування зразки навантажували наважкою 5 кг (4) через стрижень-натискач (2) до питомого навантаження $p = 6,94 \text{ МПа}$ (нормальне навантаження на один зразок $N_i = 49,05 \text{ Н}$). Тривалість навантаження була в межах 2-3 с. Момент повного навантаження зразка приймався за початок відліку повзучості ($t_0 = 0$). Деформацію реєстрували через 0,1; 0,5; 1; 2; 3; 5; 10; 30 і 60 хв. та 3; 10; 30 і 60 год., щоб логарифм часу змінювався на $\sim 0,5$. Похибка часових проміжків складала $\pm 3 \%$. Після цього зразки розвантажували і спостерігали повзучість при розвантаженні. Співвідношення повзучості при навантаженні і розвантаженні дорівнювало 1:5 (60:300 год.). Для вимірювання деформації застосовували індикаторні тензометри годинникового типу (1) з ціною поділки 2 мкм і границею вимірювання 2 мм. Похибка при вимірюванні не перевищувала 1,5 %. Температуру в камері з комірками і зразками визначали термометром (3), а на відстані $\sim 2-3 \text{ мм}$ від зразків – термопарою ХК (7). Циклічні діаграми повзучості “навантаження – розвантаження” для матеріалів I, II і III як усереднені результати за трьома зразками при температурі 323 (а) і 373 К (б) наведені на рис. 3. Після досліду розраховували величини миттєвої пружної ($\epsilon_{\text{мп}}$), в’язкопружної (пружної часової) ($\epsilon_{\text{чп}} = \epsilon_{\text{вп}}$), пластичної (залишкової) ($\epsilon_{\text{пл}} = \epsilon_3$) і сумарної (ϵ_{Σ}) деформацій повзучості. Перед випробуванням на повзучість визначали миттєвий модуль пружності (E), границю короточасової міцності (σ_N) і граничну деформацію (ϵ_N). Випробування проводили при сталій температурі і відносній вологості матеріалу. Статичну напругу брали в інтервалі (0,1-0,5) σ_N з градацією $\Delta\sigma = 0,1$. Відносні деформації для часу τ розраховували за формулою:

$$\epsilon(\tau) = \frac{\Delta l(\tau)}{l_0} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

де l_0 – вихідна висота зразка; $\Delta l(\tau)$ – зміна висоти зразка

для часу навантаження τ .

Деформацію повзучості знаходили за формулою:

$$\varepsilon_i(\tau) = \varepsilon(\tau) - \varepsilon_0, \quad (2)$$

де $\varepsilon_0 = \sigma_k/E$; σ_k – контактна напруга.

Набір статистичних даних при п'ятитратному повторі дослідження повзучості при $523 \pm 0,5$ К для матеріалу ПТФЕ + 20 % УТМ-8 дозволив отримати такі довірчі інтервали (з довірчою ймовірністю 0,95):

$$\varepsilon_{мп} = 0,657 \pm 0,06 \%; \quad \varepsilon_{вп} = 0,415 \pm 0,04 \%;$$

$$\varepsilon_3 = 0,990 \pm 0,15 \%; \quad \varepsilon_\Sigma = 2,062 \pm 0,25 \%.$$

Розрахункові результати дослідження повзучості антифрикційних матеріалів на основі ПТФЕ, наповненого 20 % мас. (20 % об.) порошку термообробленого коксу (матеріал I), 10 % мас. (13,9 % об.) низькомодульного вуглецевого волокна УТМ-8(НВВ) + 10 % мас. (9,6 % об.) термообробленого коксу (матеріал II) і 20 % мас. (26,7 % об.) НВВ (матеріал III) та 20 % порошку графіту (матеріал IV) наведені на рис. 2 і 3.

Пружна миттєва деформація $\varepsilon_{мп}$ обумовлена малими змінами міжатомних або міжмолекулярних відстаней, тому для матеріалів I, II, III і IV при температурі 287-323 К має близькі значення. Зі

збільшенням температури миттєва пружна деформація зростає за законом, близьким до лінійного, особливо для матеріалу I (рис. 2 а). Мінімальна пружна деформація $\varepsilon_{мп}$ властива матеріалу II, який містить порошок і волокнистий наповнювачі. Пружна деформація $\varepsilon_{мп}$ однозначно пов'язана лінійним законом із напруженнями. Вона не залежить від передісторії процесу і є адитивною складовою сумарної деформації.

В'язкопружна деформація $\varepsilon_{вп}$ практично повністю релаксує після розвантаження, але, на відміну від пружної $\varepsilon_{мп}$, з плином часу, тому суттєво залежить від температури. Нагрівання значно прискорює релаксацію деформацій. В процесі розвантаження залежність між напруженнями і деформаціями тим більше відхиляється від лінійної, чим менша швидкість розвантаження. Лінія розвантаження на діаграмі стиснення утворює криву, повернену випуклістю до осі абсцис (рис. 3 а). Переваги матеріалу III порівняно з матеріалом I чіткіше проявляються при підвищенні температури ($T = 373$ К) (рис. 3 б).

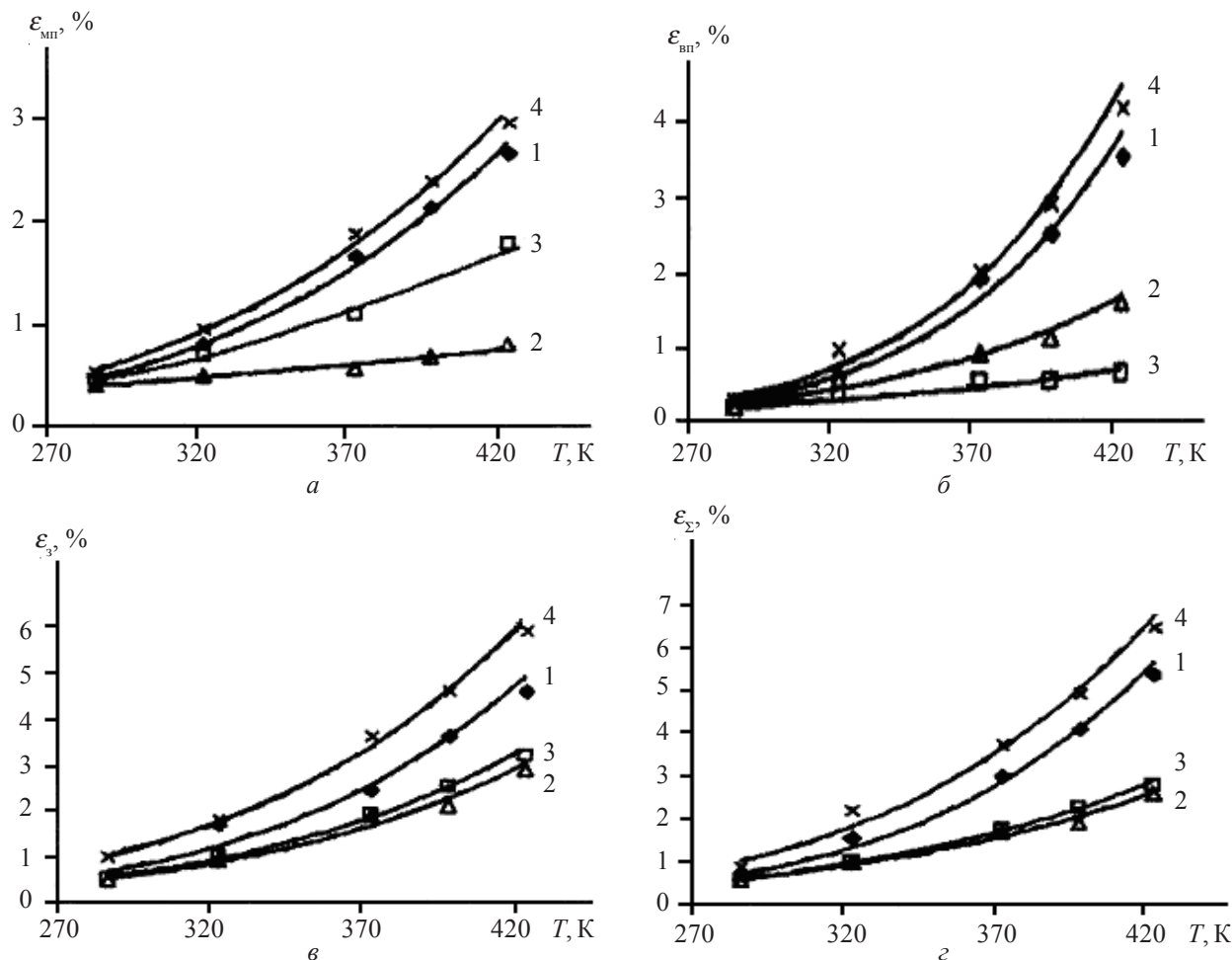


Рис. 2. Залежність миттєвої пружної (а), в'язкопружної (б), залишкової (в) і сумарної (г) деформацій від температури для матеріалів : 1 – ПТФЕ + 20 % коксу; 2 – ПТФЕ + 10 % НВВ + 10 % коксу; 3 – ПТФЕ + 20 % НВВ; 4 – ПТФЕ + 20 % графіту С-1.

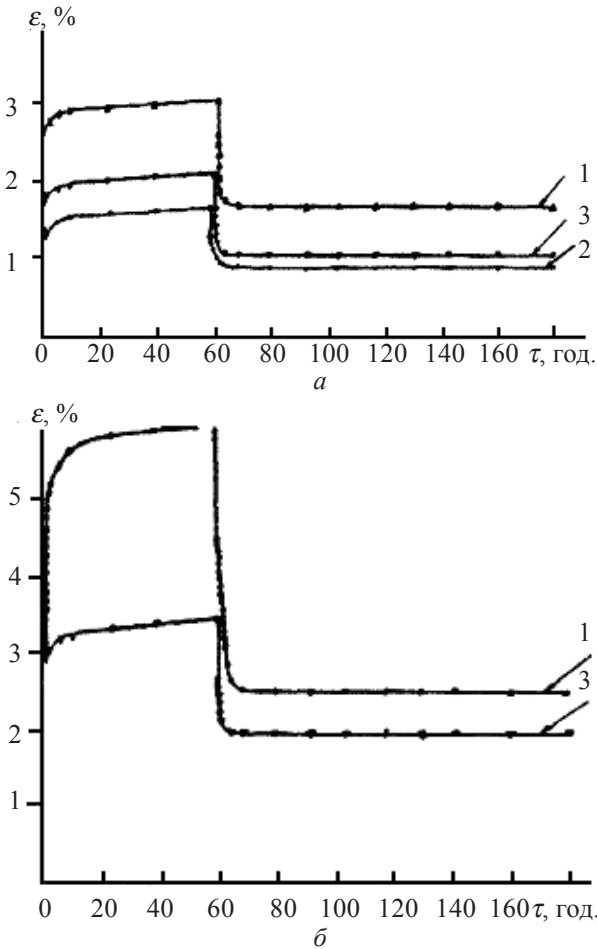


Рис. 3. Циклічна діаграма повзучості при температурі 323 К (а) і 373 К (б) для антифрикційних матеріалів: 1 – ПТФЕ + 20 % коксу; 2 – ПТФЕ + 10 % НВВ + 10 % коксу; 3 – ПТФЕ + 20 % НВВ.

Величина в'язкопружної деформації і, відповідно, її частка в сумарній деформації суттєво залежить від температури. Рівновагова в'язкопружна деформація, яка спостерігається при температурі склування і вище неї, лінійно пов'язана з напруженням. Коефіцієнт пропорційності цієї лінійної залежності – рівноваговий модуль в'язкопружності – лінійно зростає з температурою. Результати показали, що $\epsilon_{\text{вп}}$ матеріалу I і II при 287–323 К більша, ніж матеріалу III та зі збільшенням температури при нелінійному зростанні $\epsilon_{\text{вп}}$ ця різниця стає все більш суттєвою, що обумовлено впливом пружних властивостей волокнистого наповнювача (рис. 2 б) у порівнянні з дисперсним (матеріал I і IV) або сумішшю дисперсного і волокнистого (матеріал II) наповнювачів.

Залишкова деформація, яка є результатом незворотного перегрупування частинок, не змінюється при нагріванні. В процесі повзучості, при постійному напруженні, з плином часу встановлюється близька до сталої швидкості деформації, яка зростає зі збільшенням температури (рис. 2 в). Незалежно від режиму

навантаження швидкість залишкової деформації є однозначною функцією напруження і температури. Залежність швидкості залишкової деформації від напруження, а також, як відомо, і від температури, наприклад, для металів досить сильна, близька до експоненціальної.

Дослідження показали, що залишкова деформація матеріалу I при 287–323 К більша, ніж матеріалів II і III. Зі збільшенням температури в діапазоні 323–423 К, ϵ_z зростає за законом, близьким до лінійного, при цьому різниця між значеннями ϵ_z для матеріалів I–III дещо зменшується (рис. 2 в). Це можна пояснити тим, що при високих температурах (423 К і більше) на величину ϵ_z більш суттєво впливає матеріал матриці, а не наповнювач. Слід відзначити, що наявність волокнистого і комбінованого (волокнистий + порошковий) наповнювачів у складі композиційних матеріалів на основі ПТФЕ (матеріал II) показує нижчі значення залишкової деформації, ніж для матеріалу III.

Сумарна деформація полімерних матеріалів у значній мірі залежить від температури, причому ця залежність у дослідженому діапазоні температур 287–423 К має нелінійний характер (рис. 2 з). Введення в полімерну матрицю волокнистого наповнювача, порівняно з порошковим, помітно зменшує величину сумарної деформації.

Таким чином, дослідження повзучості полімерних матеріалів показали, що перевагу мають композиційні матеріали, наповнені карбонізованими волокнистими наповнювачами: найменшу повзучість мають матеріали II і III, а матеріал II, що містить суміш карбонізованих порошкових і волокнистих наповнювачів, має суттєво меншу миттєву пружну, залишкову і сумарну (крім в'язкопружної) деформації, ніж матеріали, що містять лише один той чи інший карбонізований наповнювач. Це, очевидно, пояснюється формуванням щільно упакованої структури композиту, завдяки наявності суміші наповнювачів. Заміна карбонізованого порошку (коксу) на графітований (графіт С-1) приводить до значного підвищення повзучості всіх видів деформації в діапазоні температур 287–423 К.

Для дослідження впливу типу та вмісту наповнювачів на повзучість композиційних матеріалів на основі ПТФЕ в якості наповнювачів вибрано волокна різної природи та температури карбонізації, оскільки ці характеристики наповнювача та стан його поверхні істотно впливають на фізико-механічні властивості композиційного матеріалу та, ймовірно, і на деформації повзучості. Комбіноване наповнення матеріалу на основі ПТФЕ високомодульним вуглецевим волокном ВМН-4 і високоміцним волокном із вуглецевої стрічки ЛУ-2, скловолокном і базальтовим волокном не проявляє суттєвого позитивного ефекту зменшення повзучості полімерного матеріалу при кімнатній температурі (рис. 4). В цій серії експериментів у діапазоні температур 287–373 К результати апрок-

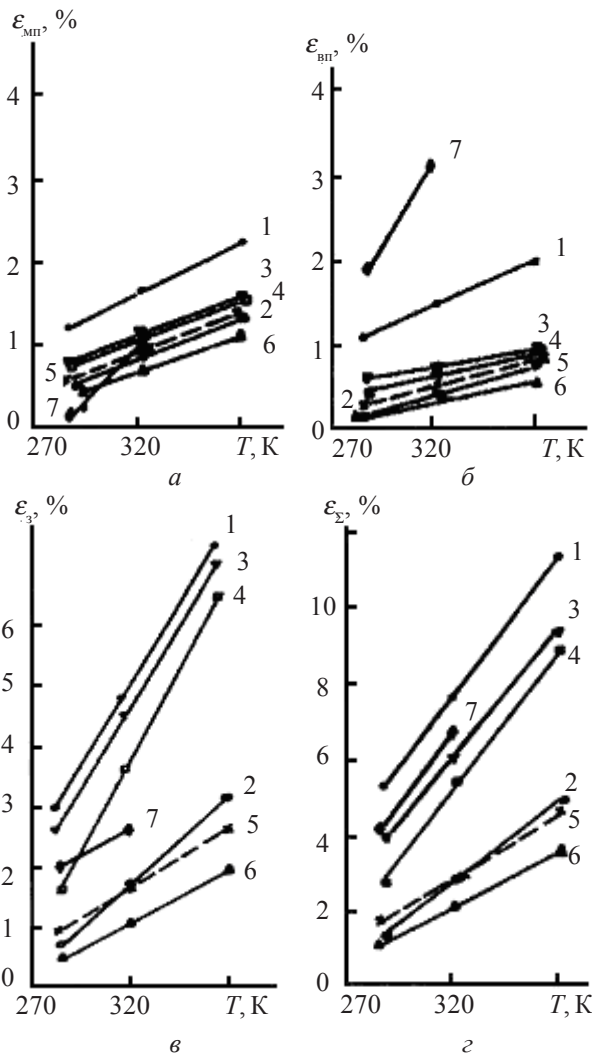


Рис. 4. Залежність пружної (а), в'язкопружної (б), залишкової (в) і сумарної (з) деформацій від температури для матеріалів на основі ПТФЕ і наповнювачів: 1 – 15 % мас. (16,1 % об.) ВМН-4 + 15 % мас. (17,4 % об.) ЛУ-2; 2 – 10 % мас. (10,9 % об.) ВМН-4 + 10 % мас. (11,8 об.) ЛУ-2; 3 – 15 % мас. (13,2 % об.) скловолокна + 15 % мас. (12,9 % об.) базальтового волокна; 4 – 10 % мас. (8,6 % об.) скловолокна + 10 % мас. (8,4 % об.) базальтового волокна; 5 – 20 % графіту С-1; 6 – 20 % мас. (26,7 % об.) УТМ-8; 7 – 30 % мас. (38,4 % об.) УТМ-8.

симували лінійними функціями. Збільшення вмісту даних комбінованих наповнювачів від 20 до 30 % мас. у складі матеріалу на основі ПТФЕ призводить до збільшення повзучості. При цьому найбільше цей ефект проявляється для матеріалів, наповнених високомодульними вуглецевими волокнами. Це, очевидно, пояснюється порушенням оптимальної структури композиційного матеріалу внаслідок збільшення вмісту наповнювача. Матеріали, наповнені графітом С-1, мають повзучість, близьку до композитів з високомодульними вуглецевими волокнами. Збільшення

вмісту вуглецевих волокон у складі композиційних матеріалів на основі ПТФЕ від 20 до 30 % призводить до суттєвого збільшення повзучості, порівняно з матеріалами, армованими скло- і базальтовими волокнами. З досліджених матеріалів перевагу мають композиційні матеріали, наповнені низькомодульними вуглецевими волокнами і комбінованими наповнювачами, вміст яких не повинен перевищувати 20-25 %.

Ймовірно, що підвищення опору полімерного матеріалу до навантаження в заданому напрямі відбувається в результаті його попереднього деформування. При попередньому деформуванні композиційного матеріалу відбувається переорієнтація його структурних елементів у певному напрямку, що супроводжується наданням йому анізотропних властивостей. Це зумовлює зменшення повзучості композиційного матеріалу в перпендикулярному напрямку деформації відносно технологічного зусилля пресування. Попередня деформація дозволяє отримати вироби із зміцненою робочою поверхнею, що недосяжно при звичайній технології пресування.

Досліджено повзучість антифрикційних матеріалів на основі ПТФЕ і порошкового (графіт С-1) або волокнистого (низькомодульне вуглецеве волокно УТМ-8) наповнювачів, підданих попередній деформації стиску. Ступінь стиснення (ξ) дорівнював 20-40 %, і був вибраний за результатами дослідження теплофізичних властивостей антифрикційних матеріалів, підданих деформації стиснення різного ступеня [16-18].

Результати досліджень показали, що для попередньо деформованих матеріалів стиском у напрямку, який співпадає з зусиллям стиску при пресуванні та дослідженні повзучості, пружна і в'язкопружна деформації зростають, а залишкова зменшується. Причому, для матеріалу на основі ПТФЕ і графіту С-1 (20 %) залишкова деформація зменшується в 1,3 рази, а для матеріалу Ш – в 1,1-1,6 рази. Зі збільшенням ступеня деформації до порогового ($\xi = 40$ %) ефект зменшення повзучості матеріалу Ш проявляється сильніше. При напрямку стиску, який перпендикулярний зусиллям стиску при пресуванні та попередній деформації, при дослідженні повзучості $\epsilon_{мп}$ зменшується в 1,1-1,2 рази, а $\epsilon_{вп}$, $\epsilon_з$ і ϵ_{Σ} збільшуються. Причому, залишкова деформація збільшується в ~ 4 рази для обох досліджених матеріалів (таблиця).

Таким чином, з метою зниження повзучості матеріалів у заданому напрямі необхідно піддавати їх деформації стиснення до ступеня $\xi \leq 40$ %. Перевагу з досліджених деформованих антифрикційних полімерних матеріалів на основі ПТФЕ слід надати матеріалу Ш (наповненому 20 % низькомодульного вуглецевого волокна УТМ-8).

Результати статті можна використати при дослідженні повзучості елементів машинобудівних конструкцій [19].

Таблиця. Вплив ступеня попередньої деформації на деформацію матеріалів на основі ПТФЕ і карбонових наповнювачів

Матеріал	Ступінь попередньої деформації	Напрямок деформації відносно напрямку попередньої деформації стиснення	Деформація при 373 К, %			
			$\epsilon_{мп}$	$\epsilon_{вп}$	ϵ_3	ϵ_Σ
ПТФЕ+20 % графіту С-1 (матеріал IV)	0	-	1,28	0,81	2,63	4,72
	20	Паралельно	2,45	1,81	2,04	6,30
	20	Перпендикулярно	1,05	1,01	10,58	12,64
ПТФЕ+20 % УТМ-8 (матеріал III)	0	-	1,51	0,84	1,97	4,32
	30	Паралельно	2,35	1,73	1,75	5,83
	40	Паралельно	2,46	1,96	1,20	5,62
	30	Перпендикулярно	1,34	0,94	8,12	10,40

Висновки

1. За результатами дослідження повзучості полімерних матеріалів, які містять порошкові і волокнисті наповнювачі, показано, що для досягнення мінімальної деформації вміст наповнювача не повинен перевищувати 20-25 % мас.

2. Встановлено, що введення у полімерну матрицю волокнистого (або комбінованого) наповнювача, порівняно з порошковим, значно зменшує величину деформації композиційного матеріалу. Мінімальну повзучість у дослідженому діапазоні температур і навантажень має матеріал на основі ПТФЕ, наповненого 10 % низькомодульного вуглецевого волокна і 10 % карбонізованого порошку вуглецю.

3. Встановлено, що підвищення опору полімерного матеріалу в заданому напрямі можна досягнути його попереднім деформуванням, що пояснено наданням йому анізотропних властивостей.

4. Встановлений пороговий ступінь деформації, необхідний для попереднього механічного деформування матеріалів з метою підвищення їх опору в потрібному напрямку.

Література

1. Ферри Дж. Вязкоупругие свойства полимеров. - М. Мир, 1963. - 535с.
2. Щербакова В.Н., Бухарин О.А. Механика композитных материалов. - 1989. - №2. - С.355 - 360.
3. Сіренко Г. А., Свідерський В. П., Герасимов В. Д., Никонов В. 3. Антифрикционные термостойкие полимеры - К.: Техніка, 1978.- 246 с.
4. Сіренко Г.А. Антифрикционные карбопластики.- К.: Техніка, 1985.- 195с.
5. Базальто-волокнистые композиционные материалы и конструкции. - К.: Наук. думка, 1980. - С.54-81.
6. Наполнители для полимерных композиционных материалов. - М.: Химия, 1981. - С. 540 - 587.
7. Наполнители для полимерных композиционных материалов. - М.: Химия, 1981. - С. 587 - 595.
8. Конструкционные материалы на основе графита. - Т.2. - М.: Металлургия, 1966. - С. 27 - 34.

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

10. Свідерський В.П., Федоришин О.І. // Вісник Прикарп. ун-ту. Сер. Хімія. - Вип. І. - Івано-Франківськ, 2001. - С. 118-132.

11. А.с. 1244933 СССР, МКИ³С 08 J 5/16, С 08L 27/18/. Антифрикционная композиция флуобон-15/ А. Сіренко (Украина), Н.И. Кретов (Белорусь), В. П. Свідерський, Б.О.Таланкин, С.С.Кононюк (Украина).- Опубл. 15.03.86.

12. А.с. 181484 СССР, МКИ³F16 С 33/12. Композиция для получения антифрикционного материала флуобон-ДМ.- Сіренко (Украина), И.И. Новиков, В.П. Захаренко, В.Г. Морозов, А.К. Пугачев, С.А. Назаров (Россия). - Опубл. 2.12.82.

13. А.с. 1736171 СССР, МКИ³С 08 J 5/16; С 08 L 27/18. Способ получения антифрикционной композиции «флуобон». Г.А. Сіренко, А.Ф. Будник (Украина). - Опубл. 22.01.92.

14. Сіренко Г. О., Шийчук О.В. // Композиц. полімер. матеріали. - 2003. - 25, №1.-С.49-53.

15. Горяинова А.В., Божков Г.К., Тихонова М.С. Фторопласты в машиностроении. -М.: Машиностроение, 1971. - 232с.

16. Сіренко Г.А., Свідерський В.П., ВельбойВ.Ф., Кириченко Л.М. // Композиц. полимер. материалы. - 1992.- Вип. 14- С. 43 - 45.

17. Свідерський В.П., Вельбой В.П., Сіренко Г.О. та ін.// Зб. наук. праць Технол. ун-ту Поділля "Проблеми сучасного машинобудування". - Хмельницький: ТУП, 1996. - С. 83 - 84.

18. Свідерський В.П., СіренкоГ.О., Кириченко Л.М., ВельбойВ.П. // Матеріали Міжнар. семінару з проблем фізики і механіки процесів формування і спікання порошків та композиційних матеріалів, механіки та феноменології руйнування. - К.: Ін-т проблем матеріалознавства, 2000. - С. 28-29.

19. Подгорный А.Н., Бортовой В.В., Гонтаровский П.П. и др. Ползучесть элементов машиностроитель-

ных конструкций/ Под ред. А.Н. Подгорного. - К.:
Наук. думка, 1984.-264с.

Надійшла до редакції 6 квітня 2005 р.

Влияние температуры на ползучесть композиционных материалов на основе политетрафторэтилена при постоянной нагрузке

Г.А.Сиренко¹, В.П.Свидерский², Л.Я.Мидак¹, Л.В.Караванович¹

¹Прикарпатский национальный университет имени Василия Стефаника
ул. Шевченко, 57, г. Ивано-Франковск, 76000, Украина

²Хмельницкий национальный университет

ул. Институтская, 11, г. Хмельницкий, 29000, Украина

Исследована ползучесть композиционных материалов на основе политетрафторэтилена, наполненного волокнистыми и порошковыми наполнителями, при повышенных температурах и постоянных нагрузках. Установлено, что повышения сопротивления нагрузке полимерного материала в заданном направлении можно достичь его предшествующим деформированием.

Influence of temperature to a creep of composite materials because of polytetrafluorethylene for want of by constant to a load

H.A.Sirenko¹, V.P.Sviderskiy², L.Ya.Midak¹, L.V.Karavanovich¹

¹Precarpathian University named after V. Stefanyk
57, str. Shevchenka, 76000, Ivano-Frankivsk, Ukraine

²Khmelnitsky National University

11, str. Institutska, 29000, Khmelnytskyi, Ukraine

The creep of composite materials because of polytetrafluorethylene, filled filamentary and powder fillers, for want of increased temperatures and constants loads is investigated. Is established, that the increase of a resistance to a load of a polymeric material in a specific direction is possible to reach it by preceding deformation.