

Свідерський В.П., **
Константинова Т.Є., *
Глазунова В.А., *
Кириченко Л.М., **
Водяний В.І., **
Захарчук Ю.О. **

*Донецький фізико - технічний інститут
 НАН України,
 м. Донецьк, Україна,
 **Хмельницький національний університет,
 м. Хмельницький, Україна
E-mail: tribosenator@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ І АНТИФРИКЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ФТОРОПЛАСТОВИХ КАРБОПЛАСТИКІВ, МОДИФІКОВАНИХ НАНОПОРОШКАМИ ДІОКСИДУ ЦИРКОНІЮ

УДК 621.893

Виконано аналіз властивостей політетрафторетилену і методів його модифікації. Дослідження фізико-механічних і антифрикційних властивостей антифрикційних карбопластиків Ф4УВ15, Ф4УВ20, модифікованих нанопорошком діоксиду цирконію показали доцільність застосування останніх матеріалів в вузлах тертя машин і механізмів.

Ключові слова: фторопластові карбопластики, ультрадисперсні модифікатори, діоксид цирконію, антифрикційні і механічні властивості.

Вступ

Політетрафторетилен (ПТФЕ) або фторопласт-4 є одним з найбільш поширених матеріалів, що використовуються у відповідальних вузлах тертя [1]. Цей матеріал привертає до себе увагу матеріалознавців – трибологів перш за все завдяки найнижчому коефіцієнту тертя з відомих полімерних матеріалів, що дозволяє використовувати його в різних вузлах тертя без мащення. Цінною властивістю матеріалів на основі ПТФЕ є працездатність в широкому діапазоні температур при збереженні низького і стабільного коефіцієнта тертя і забезпеченні плавного ковзання. У підшипників з таких матеріалів відсутні явища схоплювання і заїдання, а коефіцієнт статичного тертя зазвичай нижче кінетичного.

До недоліків ПТФЕ слід віднести такі особливості, як повзучість або холодотекучість, тобто повільне наростання в часі пластичної деформації під дією невеликого навантаження, а також дуже високий коефіцієнт лінійного розширення, що аномально змінюється в широких межах в залежності від температури.

Головним недоліком ПТФЕ, що обмежує застосування його у відповідальних вузлах тертя, є низька зносостійкість. Більшість дослідників пояснюють низьку зносостійкість особливостями структури і фрикційного перенесення ПТФЕ. Морфологія кристалічних областей ПТФЕ різко відрізняється від морфології інших термопластів, оскільки у ПТФЕ відсутня сферолітна структура, що типова фактично для всіх кристалічних полімерів.

Для усунення недоліків ПТФЕ широко використовується модифікація полімеру різними модифікаторами [2]. Модифікація дозволяє істотно понизити знос при збереженні високих антифрикційних властивостей, підвищити фізико - механічні характеристики і розширити області застосування.

Асортимент модифікаторів ПТФЕ дуже широкий: скляні і вуглецеві волокнисті наповнювачі, дисульфід молібдену, кокс, графіт, метали, оксиди і солі металів, полімерні добавки.

Вплив модифікаторів на механічні властивості ПТФЕ досить значний. Введення модифікаторів підвищує твердість, міцність на стиснення, модуль пружності ПТФЕ, знижує міцність при згині і ударну в'язкість. Порошкоподібні модифікатори зменшують міцність при розтягуванні ПТФЕ на 0,5 - 0,7 МПа на кожен об'ємний відсоток наповнювача, ще більше падіння зазнає відносно видовження при розриві.

Опір повзучості модифікованих фторопластів зростає на 200 - 300 % в порівнянні з чистим ПТФЕ. Застосовуючи різні модифікатори, можна також в 2 - 3 рази зменшити високий коефіцієнт лінійного розширення ПТФЕ залежно від природи і форми частинок наповнювача, причому модифікатори сферичної форми сприяють вирівнюванню теплового розширення в різних напрямках.

Проте головною особливістю введення модифікаторів в ПТФЕ є збільшення зносостійкості: залежно від виду і вмісту модифікаторів зносостійкість композицій може зростати до 1000 разів [2, 7]. Такий значний вплив модифікаторів на зносостійкість при порівняно незначній зміні інших властивостей характерний тільки для ПТФЕ і не характерний для інших полімерів.

Перспективним методом модифікації полімерів є використання нетрадиційних компонентів твердих речовин в ультрадисперсному стані [3,4]. Ультрадисперсні з'єднання (УДЗ) є перехідним станом

конденсуючих речовин – макроскопічні ансамблі мікроскопічних частинок з розмірами близько 1 - 100 нм. Основні фізичні властивості УДС істотно відрізняються від властивостей матеріалів в звичайному стані. Системам з компонентами в ультрадисперсному стані властиві унікальні поєднання електричних, магнітних, теплових, механічних, сорбційних, радіопоглинаючих і інших властивостей, що не зустрічаються в масивних кристалах. Поява подібних властивостей пов'язана з розмірними ефектами УДЗ. Ці ефекти реалізуються, коли розмір частинок стає співвимірним з характерним кореляційним масштабом того або іншого фізичного явища (наприклад, розміру домена) або характерною довжиною якого-небудь процесу перенесення (довжина вільного пробігу електронів і інших елементарних частинок).

В якості УДЗ використовують вуглеграфітові наночастинки детонаційного синтезу (УДАГ, УДАВ), фторованої сажі (ФС), фуллеренів (ФЛ), вуглецевих нанотрубок (УН), порошоків металів, оксидів [3, 4].

Оксид цирконію – ZrO_2 (діоксид цирконію) володіє унікальним поєднанням різномірних властивостей: високою міцністю, зносостійкістю, термостійкістю, хімічною стійкістю і стабільністю до випромінювання, в тому числі і до нейтронного потоку, біологічною сумісністю і т. ін. Це визначає його широке застосування в різних галузях промисловості і дозволяє очікувати незвичайних ефектів у властивостях матеріалів на його основі при переході до наноструктурного стану.

Так, в області оксидної кераміки зменшення розмірів частинок вихідного порошку від мікро до нанометрів дозволяє не тільки збільшити густину і покращити механічні характеристики керамічних матеріалів, але й суттєво змінити їх фізичні властивості. Останнє обумовлено тим, що при переході від макро і мікро до нанометрового діапазону твердих тіл (менше 100 нм або 0,1 мкм) властивості речовин суттєво змінюються.

Аналіз науково-технічної інформації з проблеми отримання оксидних нанопорошків [5] показує, що ця проблема в світовій практиці розв'язується різноманітними технологічними методами (роздільно і в комбінаціях). Найбільш поширеними з них є: метод осадження з розчинів солей, гідротермальний метод, розпилувальний піроліз, золь-гель процес з використанням алкоксидів, аерозольний метод, метод отримання порошоків при обробці вихідних матеріалів в смолоскипі полум'я, плазмохімічний метод, лазерний синтез, хімічні газофазні методи конденсації, механічні методи і т. ін.

Особливо ефективний метод хімічного осадження. Основні його переваги перед іншими – низька собівартість продукції і можливість отримання порошоків заданого складу в промислових масштабах. Однак разом з перевагами цей метод має і суттєвий недолік – порошки, що отримуються таким способом, мають високий ступень агрегації і агломерації продуктів осадження і прокалювання осадів, також широкий спектр розмірів як первинних частинок, так і агломерованих. Іншими словами, цей метод, в його класичному варіанті, не дозволяє отримувати неагломеровані порошки з нанорозмірними частинками.

Використаний технологічний процес отримання порошку діоксиду цирконію, оснований на методі хімічного осадження, включає три основні стадії [5]:

- отримання гелеподібного осадку гідроксиду цирконію $Zr(OH)_4 \cdot nH_2O$ в результаті взаємодії оксинітрату цирконію з водними розчинами аміаку;
- зневоднення осадку і дегідроксилізація (видалення ОН груп) гідроксиду цирконію при нагріві до температур 120 – 350 °С з перетворенням гідроксиду в аморфний ZrO_2 ;
- кристалізація частинок ZrO_2 при температурі 400 - 800 °С.

Встановлено, що розмір майбутніх кристалічних частинок ZrO_2 закладається уже в гелеподібному осадку гідроксиду в результаті полімеризації, а також в процесі сушки осадку і дегідроксилізації гідроксиду цирконію. З метою попередження або зниження ступеня агрегації і агломерації частинок в осадку здавна використовуються поверхнево активні речовини (ПАВ), а також електроліти. Ці речовини при додаванні в розчин реагуючих солей, здатні адсорбуватись на поверхні частинок, що випадають в осадок і зменшувати їх взаємодію за рахунок зниження поверхневої енергії частинок або створення на їх поверхні однойменних зарядів. Однак результат використання цих методів не завжди прогнозований, особливо в тих випадках, коли осадки піддаються термообробці. Більш радикальним способом попередження агрегації частинок і виникнення жорстких агломератів є застосування імпульсно - хвильових дій: СВЧ нагріву і імпульсно-магнітних пульсацій (ІМП) в процесі сушки і прокалювання осадів гідроксиду а також їх ультразвукової обробки [6].

Нанокерамічні матеріали на основі ZrO_2 володіють унікальним комплексом фізико - механічних властивостей:

- на відміну від існуючих аналогів, внаслідок особливої технології синтезу, кераміка має одночасно високі значення міцності, в'язкості руйнування і зносостійкості;
- високі експлуатаційні властивості в умовах дії високих температур (понад 1600 °С) і корозійно-активних середовищ без значної деградації механічних властивостей;

Завдяки своїм неповторним властивостям як висока зносостійкість, неймовірно гладка поверхня і практично відсутність негативної взаємодії наприклад з дротом та кабелем, найнижча з усіх відомих керамічних матеріалів теплопровідність - оксид цирконію знаходить застосування в багатьох областях техніки.

Завдяки мінімальній взаємодії з металами оксид цирконію відмінно підходить для пари ковзання, завдяки добрим трибологічним властивостям, особливо при високих температурах, а також має краще, ніж у сталей теплорозширення. Все це робить матеріали на основі оксиду цирконію одним з кращих матеріалів технічної та інженерної кераміки.

В роботі [7] встановлено, що перспективними антифрикційними матеріалами є карбопластики типу флубон (Ф4УВ15, Ф4УВ20 - матеріали на основі політетрафторетилену і основного наповнювача: вуглецевого волокна, що отримане за особливою технологією і модифіковане спеціальними добавками). Для покращення фізико-механічних і антифрикційних характеристик цих матеріалів використано принцип багаторівневого модифікування полімерної матриці [4]. Реалізація даного принципу здійснюється шляхом введення в ПТФЕ суміші наповнювачів різного складу і дисперсності – вуглецевих волокон і нанодисперсних частинок, вибраних з групи оксидів цирконію.

Мета і постановка задачі

Мета роботи полягає в тому, щоб підвищити антифрикційні, фізико-механічні властивості карбопластиків типу флубон (Ф4УВ15, Ф4УВ20) за рахунок модифікації їх оксидними нанопорошками $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (700 °C), $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (500 °C-2h), $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (гідроксид).

Лабораторні дослідження антифрикційних і механічних властивостей фторопластових матеріалів

Підвищення зносостійкості композиційного полімерного матеріалу на основі політетрафторетилену (ПТФЕ) здійснено для матеріалів типу флубон (Ф4УВ15, Ф4УВ20). Випробування на зносостійкість проведені на установці ХТІ-72 [7]. Антифрикційні дослідження виконувались за схемою контакту – «сфера - площина». Режим змінних граничних питомих навантажень при постійному нормальному навантаженні, зразки висотою $(10 \pm 0,1)$ мм і діаметром $(10 \pm 0,1)$ мм з кінцевою сферою радіусу 6,35 міліметра контактували сферою по площині металевого контртіла діаметром $(60 \pm 0,15)$ мм і висотою $(10 \pm 0,15)$ мм; металеве контртіло було виготовлено із сталі 45 (НВ $4,5 \pm 0,18$ ГПа) і оброблено до початкового середнього арифметичного відхилення профілю поверхні $Ra_0 = 0,2 \pm 0,03$ мкм.

В цій схемі випробувань можна виділити дві характерні області:

а) область нелінійної залежності зношування від шляху тертя, коли питома навантаження змінюється від навантаження, близького до твердості НВ матеріалу, до навантаження, яке відповідає граничній навантажувальній здатності; позначення: шлях тертя S_1 , інтенсивність зношування I_1 ;

б) область лінійної залежності зношування від шляху тертя, коли граничне питома навантаження в меншій степені знижується, ніж в першій області; позначення: шлях тертя S_2 , інтенсивність зношування I_2 .

За результатами цього експерименту розраховували чинник зношування (інтенсивність об'ємного зношування) для шляху тертя $\Delta S_1 = 0 \dots 3$ км і $\Delta S_2 = 3 - 23$ км:

$$I_1 = \frac{\Delta V_{1i}}{N_i \cdot \Delta S_1}; \quad (1)$$

$$I_2 = \frac{\Delta V_{2i}}{N_i \cdot \Delta S_2}, \quad (2)$$

де ΔV_{1i} – зміна об'єму і-зразка на проміжку шляху тертя від 0 до 3 км (нелінійна залежність зношування від шляху тертя);

ΔV_{2i} - зміна об'єму і-зразка на проміжку шляху тертя від 3 до 23 км (лінійна залежність зношування від шляху тертя).

Нормальне навантаження на один зразок дорівнювало $N_i = 100$ Н, швидкість ковзання $V = 0,3$ м/с, температура, заміряна на відстані 0,5 - 1 мм від поверхні контртіла, $T = (323 \pm 2)$ К при випробуванні без мащення. Випробування проводилося на шляху тертя $S_1 = 0 \dots 3$ км, $S_2 = 3 \dots 23$ км. Результати виконаних досліджень приведені на (рис. 1).

Встановлено, що вплив оксидного модифікатора $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (700 °C) на зносостійкість фторопластового карбопластика найбільш суттєвий при оптимальній кількості (20 мас.%) вуглецевого воло-

кна в композиті. При підвищенні концентрації вуглецевого волокна у модифікованому фторопластовому карбопластику від 10мас.% до 20мас.% зносостійкість композита суттєво збільшується в результаті зменшення ступеня деформації поверхневого шару і розширення областей пружної і пружно-еластичної деформації при фрикційній взаємодії з металевим контртілом [9]. Зі збільшенням в композиті концентрації вуглецевого волокна частина міжфазних шарів в композиційному матеріалі зростає, при цьому дефектність структури полімера зменшується. Вважають [9], що механізмом модифікуючої дії наповнювачів на структуру ПТФЕ є збільшення густини структурних елементів в результаті формування міжфазних шарів з певним розташуванням молекул на межі розділу «полімерна матриця – наповнювач», що і веде до зміцнення композиційного матеріалу. Матеріали з покращеними фізико-механічними властивостями відповідає найбільш впорядкована надмолекулярна структура з певною орієнтацією вуглецевого волокна в міжфазних ділянках [9].

За зносостійкістю карбопластик модифікований 2 мас. % діоксиду цирконію $ZrO_2+3\%Y_2O_3(700\text{ }^\circ\text{C})$ або 1 мас. % діоксиду цирконію $ZrO_2+3\%Y_2O_3$ (гідроксид) переважає матеріал Ф4УВ20 відповідно в 3,6 і в 2,1 рази. Менш ефективним модифікатором карбопластиків діоксид цирконію $ZrO_2+3\%Y_2O_3(500\text{ }^\circ\text{C}-2\text{h})$ при введенні якої в кількості 2 мас. % до складу композиту його зносостійкість зростає лише в 1,22 разів.

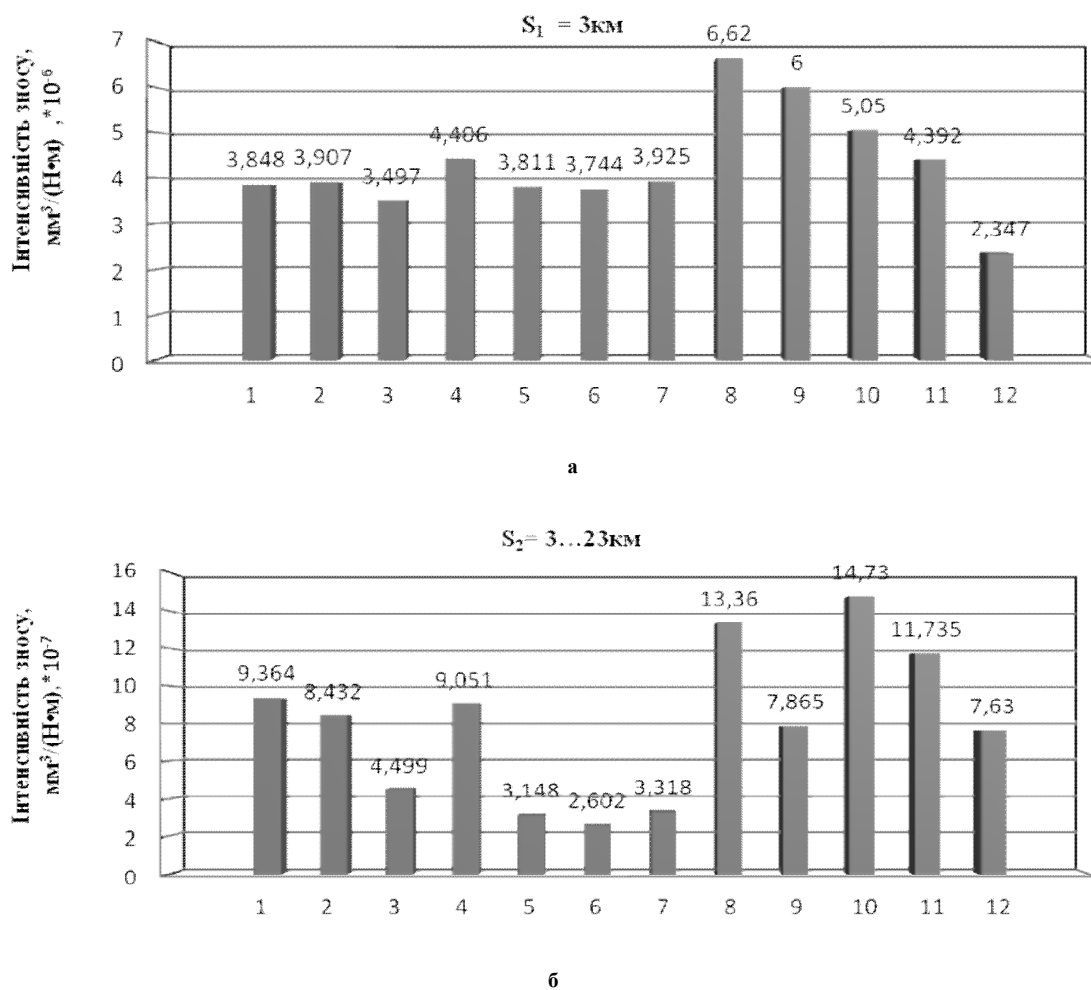


Рис. 1 – Гістограма інтенсивності зносу антифрикційних карбопластиків, модифікованих нанопорошками діоксидів цирконію: а – перший етап досліджень; б – другий етап досліджень;

- 1 – Ф4УВ20; 2 – Ф4УВ20+0,5мас.%($ZrO_2+3\%Y_2O_3$, гідроксид); 3 – Ф4УВ20+1мас.%($ZrO_2+3\%Y_2O_3$, гідроксид);
- 4 – Ф4УВ20+2мас.%($ZrO_2+3\%Y_2O_3$, гідроксид); 5 – Ф4УВ20 + 1 мас.%($ZrO_2+3\%Y_2O_3,700\text{ }^\circ\text{C}$);
- 6 – Ф4УВ20 + 2 мас.%($ZrO_2+3\%Y_2O_3,700\text{ }^\circ\text{C}$); 7 – Ф4УВ20 + 3 мас.%($ZrO_2+3\%Y_2O_3,700\text{ }^\circ\text{C}$);
- 8 – Ф4 –88 мас. %, +Урал Т-15 – 10 мас. %, + ($ZrO_2 + 3\% Y_2O_3, 700\text{ }^\circ\text{C}$) -2 мас.%;
- 9 – Ф4-ПН –83 мас. %, + Урал Т-15 – 15 мас. %, + ($ZrO_2 + 3\% Y_2O_3, 700\text{ }^\circ\text{C}$) – 2 мас.%;
- 10 – Ф4УВ20+0,5мас.%($ZrO_2+3\%Y_2O_3, 500\text{ }^\circ\text{C}-2\text{h}$); 11 – Ф4УВ20+1мас.%($ZrO_2+3\%Y_2O_3, 500\text{ }^\circ\text{C}-2\text{h}$);
- 12 – Ф4УВ20+2мас.%($ZrO_2+3\%Y_2O_3, 500\text{ }^\circ\text{C}-2\text{h}$)

Ці ефекти можна пояснити тим, що частинки діоксиду цирконію є додатковими центрами кристалізації ПТФЕ, в результаті чого зменшуються розміри структурних елементів надмолекулярної структури, остання стає більш впорядкованою і орієнтованою (рис. 2). В цьому випадку ефект збільшення адгезійної взаємодії між матрицею ПТФЕ і частинками наповнювача реалізується в результаті структурую-

чого впливу наночастинок з некомпенсованим зарядом на макромолекули граничного шару і формування мілкосферолітних надмолекулярних утворень в об'ємі композиту [3, 4, 9]. Внаслідок хімічної інертності макромолекул ПТФЕ на межі розділу з наповнювачем не утворюється хімічних зв'язків, а в результаті низької поверхневої енергії і високої в'язкості не забезпечується якісного змочування розплавом поверхні наповнювача. В результаті міжфазний шар не здатний до передачі навантаження і при дослідженнях на розтяг композитів армуючий наповнювач фактично не сприяє підвищенню опору зразка розриву. Тому значення міцності на розтяг є показником якості наповненого ПТФЕ: на відміну від всіх інших полімерів його наповнення будь-яким компонентом при застосуванні традиційних технологій приводить до зниження міцності на розтяг композиту [7, 10, 11].

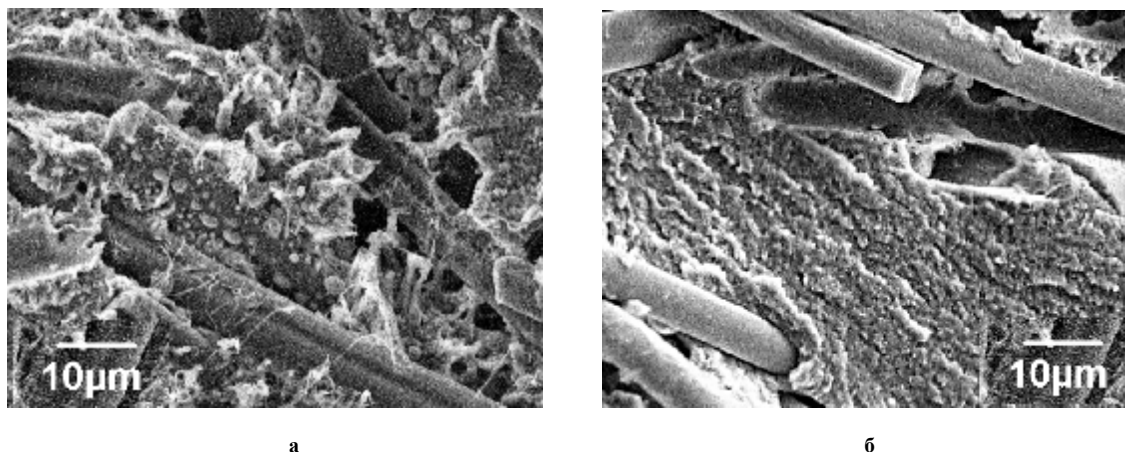


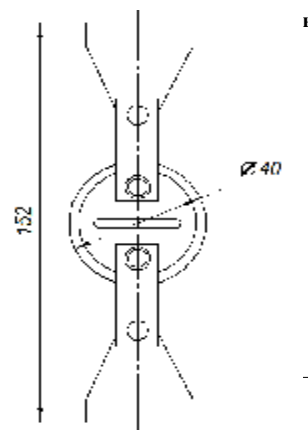
Рис.2 – Надмолекулярна структура композиційних матеріалів:
а – Ф4УВ20 (×4000);
б - Ф4УВ20 + 2 мас.%. (ZrO₂ + 3% Y₂O₃, 700 °C) (×4000)

Перед дослідженнями на розтяг по три зразки кожного матеріалу кондиціонували за ГОСТ 12423-66 не менше 16 годин при температурі (23 ± 2) °C і відносній вологості (50 ± 5) %. Висоту, ширину, діаметр зразка вимірювали з похибкою не більше 0,01 міліметра і не менше ніж в чотирьох місцях. По мінімальних значеннях вираховували поперечний переріз зразка.

Встановлювали зразок між опорними площадками так, щоб вертикальна вісь зразка збігалась з напрямком дії навантаження. Для механічних випробувань на одноосьовий розтяг застосовують плоскі, трубчасті і кільцеві зразки. Недоліком плоских зразків є труднощі надійного кріплення в захватах випробувальних машин. За невеликої довжини і ширини зразка важко позбутися його проковзування або роздавлювання в захватах. Для часткової ліквідації цих недоліків до смуги приклеюють або приварюють накладки з матеріалу, що має більшу пластичність і меншу жорсткість, ніж досліджуваний композиційний матеріал. Наприклад, на карбопластики рекомендується наклеювати накладки з дерев'яного шпона. Результати, що отримані при осьовому розтягу плоских і трубчастих зразків, часто не збігаються. Причиною цього є відмінність в технології отримання і в схемах напруженого стану зразків. В трубчастих зразках відбувається концентрація напружень поблизу захватів, розподіл напружень по довжині трубчастого зразка відрізняється від такого ж в плоскому, тому результати досліджень плоских і трубчастих зразків неможливо порівнювати між собою.

Специфічні особливості антифрикційних карбопластиків: ступінь натягу волокон, їх викривлення, наявність внутрішніх напружень враховуються за допомогою досліджень кільцевих зразків.

Дослідження для визначення σ_p виконувались з допомогою розривної машини МР-05-1 ($v = 15$ мм/хв). Границя міцності на розтяг, визначена за формулою (3), не є істиною характеристикою композиційного матеріалу, оскільки поблизу місць роз'єднання напівдисків в результаті зміни кривизни кільця відбуваються деформації розтягу і згину, причому їх співвідношення залежить від відношення товщини стінки кільця до його діаметра. Чим більше це співвідношення і чим сильніше виявлена анізотропія композиційного матеріалу, тим сильніше проявляється вплив згину. Тому випробування з кільцевими зразками слід виконувати тільки як порівняльні. Дослідження міцності на розтяг антифрикційних карбопластиків виконувались за ГОСТ 11262-80 в результаті навантаження жорстких напівдисків, на які одягається, досліджува-



не кільце (рис. 3). Границя міцності на розтяг σ_p , МПа визначалась за формулою:

$$\sigma_p = \frac{P}{2h(R-r)}, \quad (3)$$

де P – розривне зусилля, Н;

h – висота зразка, мм;

R – зовнішній радіус, мм;

r – внутрішній радіус, мм.

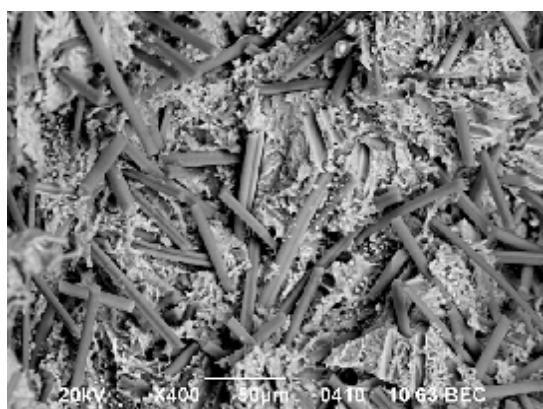
Результати випробувань приведені в табл. 1.

Таблиця 1

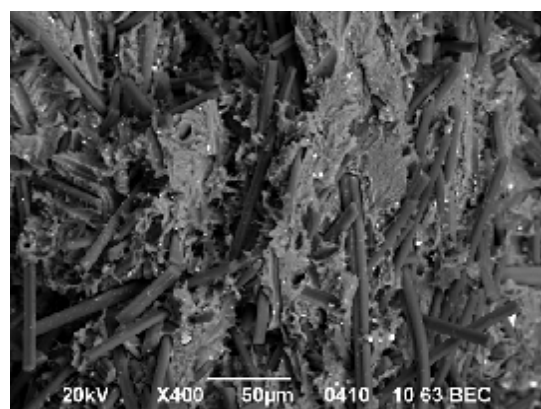
Міцність при розтягу антифрикційних карбопластиків, модифікованих нанопорошком $ZrO_2+3\%Y_2O_3$ (гідроксид), $ZrO_2+3\%Y_2O_3$ (700 °C), $ZrO_2+3\%Y_2O_3$ (500 °C - 2h)

Найменування, склад композиції, мас.%	Міцність при розтягу, МПа	Вибірковий коефіцієнт варіації міцності при розтягу, %
Ф4УВ20	10,54	7,7
Ф4УВ20+1 мас.%. ($ZrO_2+3\%Y_2O_3$, гідроксид)	12,54	7,1
Ф4УВ20+2 мас.%. ($ZrO_2+3\%Y_2O_3$, гідроксид)	11,01	7,2
Ф4-ПН –80 мас. %, Текарм-5 мас. %, Урал Т15-15 мас. %, + ($ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$, 700 °C) -1 мас.%	13,42	7,6
Ф4-ПН –80 мас. %, Текарм-5 мас. %, Урал Т15-15 мас. %, + ($ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$, 700 °C) -2 мас.%	14,63	7,2
Ф4-ПН –80 мас. %, Текарм-5 мас. %, Урал Т15-15 мас. %, + ($ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$, 700 °C) -3 мас.%	11,88	6,8
Ф4УВ20+1мас.%. ($ZrO_2+3\%Y_2O_3$, 500 °C - 2h)	13,2	7,9
Ф4УВ20+1,5 мас.%. ($ZrO_2+3\%Y_2O_3$, 500 °C - 2h)	10,80	7,3
Ф4УВ20+2 мас.%. ($ZrO_2+3\%Y_2O_3$, 500 °C - 2h)	10,75	7,1

З розрахунків можна зробити висновок, що найбільш ефективним є введення до матеріалу Ф4УВ20 2 мас.% $ZrO_2+3\%Y_2O_3$ (700 °C): міцність при розтягу композита зростає на 39 %; при введенні ж 1 мас.% $ZrO_2+3\%Y_2O_3$ (500 °C - 2h) або 1 мас.% $ZrO_2+3\%Y_2O_3$ (гідроксид), міцність при розтягу композита зростає відповідно на 25 % і 19 %: Це можна пояснити тим, що частинки нанодисперсного наповнювача мають некомпенсований заряд і забезпечують ефект впорядкування полімерної матриці, а також підвищення міцнісних характеристик композиту. Наявність в складі олігомерного компонента підвищує термодинамічну сумісність на межі розділу і сприяє пластифікуванню граничних шарів ПТФЕ. В результаті адгезійна взаємодія на межі розділу компонентів підсилюється, що підвищує міцнісні характеристики композита (рис. 4).



а



б

Рис. 4– Надмолекулярна структура композиційних матеріалів після випробування на розтяг:
а – Ф4УВ20 (×400);

б – Ф4УВ20 + 2 мас.%. ($ZrO_2+3\%Y_2O_3$, 700 °C) (×400)

Зв'язок вуглецевих волокон з ПТФЕ в зразках з нанопорошком оксиду цирконію суттєво кращий ніж в матриці карбопластика Ф4УВ20.

Висновки

1. Досліджено полімерні композити на основі політетрафторетилену (ПТФЕ), модифіковані спеціальними вуглецевими волокнами і оксидними нанопорошками $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (700 °С), $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (500 °С-2h) - 2 мас. % і $ZrO_2+3\% Y_2O_3$ (гідроксид) - 1 мас. %, максимальної структуруючої дії, перевищення якої призводить до утворення по границях сферолітів «сітки» з координаційно зв'язаних ультрадисперсних частинок.

2. Встановлено, що оксидні фази являються ефективними модифікаторами ПТФЕ, що дозволяє направлено формувати надмолекулярну структуру зв'язуючого і отримувати матеріали з оптимальним поєднанням деформаційно - міцнісних і триботехнічних характеристик.

3. Визначена оптимальна концентрація нанонаповнювачів $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (700 °С) - 2мас. %, $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (500 °С-2h) - 2 мас. % і $ZrO_2+3\% Y_2O_3$ (гідроксид) - 1 мас. %, максимальної структуруючої дії, перевищення якої призводить до утворення по границях сферолітів «сітки» з координаційно зв'язаних ультрадисперсних частинок.

4. При зношуванні системи ПТФЕ – спеціальні вуглецеві волокна – «активний» наповнювач (схема досліджень сфера – площина) спостерігається незначний знос як композиційного матеріалу, так і контртіла.

Міцність на розтяг антифрикційного карбопластика Ф4УВ20 модифікованого 2 мас. % $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (700 °С) зростає на 39 %, а зносостійкість в 3,6 разів.

5. Вплив оксидного наповнювача $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (700 °С) на зносостійкість фторопластового карбопластика найбільш суттєвий при оптимальній кількості 20 мас. % вуглецевого волокна в композиті. При зменшенні концентрації вуглецевого волокна у модифікованому фторопластовому карбопластику від 20 мас. % до 10 мас. % зносостійкість композита суттєво зменшується.

Література

1. Паншин Ю. А. Фторопласти. / Ю.А. Паншин, С.Г. Малкевич, Ц.С. Дунаевская. – Л.: Химия, 1978. – 232 с.
2. Истомин Н. П. Антифрикционные свойства композиционных материалов на основе фторполимеров. / Н. П. Истомин, А. П. Семенов. – М.: Наука. – 1981. – 146 с.
3. Охлопкова А.А. Модификация полимеров ультрадисперсными соединениями. / А.А. Охлопкова, О.А. Адрианова, С. Н. Попов. – Якутск: ЯФ Издательство СО РАН. – 2003. – 247 с.
4. Горбачевич Г.Н. Структура и технология углеродных герметизирующих материалов для статических и подвижных уплотнений: Дисс... канд. тех наук. Гродно, 2002. – 138 с.
5. Константинова Т.Е. Нанопорошки на основе диоксида циркония: получение, исследование, применение / Т.Е. Константинова, И.А. Даниленко, В.В Токий., [и др.] // Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии. – К.: Академперіодика. – 2004. – Т. 2. – С. 609-632.
6. Константинова Т.Е. Получение нанодисперсных порошков диоксида циркония. От новации к инновации / Т.Е. Константинова, И.А. Даниленко, В.В Токий., [и др.] // Наука та інновації. – 2005. – Т. 1. – № 3. – С. 76-87.
7. Сиренко Г.А. Антифрикционные карбопластики. / Г.А. Сиренко. – К.: Техника. – 1985. – 195 с.
8. Применение синтетических материалов: материалы конференции. / Гл. редактор Р.И. Силин. Кишинев.: Карта Молдовеняскэ. – 1975. – 199 с.
9. Стручкова Т.С. Разработка и исследование полимерных композиционных материалов на основе активации политетрафторэтилена и углеродных наполнителей: автореф. дис. канд. тех. наук / Т. С. Стручкова. – Комс. - на - Амуре. – 2008. – 19 с.
10. Сиренко, Г.А. Материалы графелон и флубон для уплотнительных пар / Г.А. Сиренко // Тез. 3-го Всесоюзного совещания по уплотнительной технике. – Сумы, 1982. – С. 42-43.
11. Сиренко, Г.А. Разработка и исследование новых антифрикционных материалов для бесшумных поршневых компрессоров холодильных установок / Г.А. Сиренко, И.И. Новиков, В.П. Захаренко [и др.] // Повышение эффективности холодильных машин. – Л.: Технологический институт холодильной промышленности, 1981. – С. 148-154.

Надійшла в редакцію 16.05.2014

Svoderskiy V.P., Konstantinova T.E., Glazunova V.A., Kirichenko L.M., Vodjanij V.I., Zaharchuk J.O. **Investigation of mechanical and friction properties of polytetrafluoroethylene carboplastics modified by nanopowder zirconium dioxide.**

The analysis of the properties of polytetrafluoroethylene and methods of his modification. Research of physico-mechanical and antifriction properties antifriction carbon plastics F4UV15, F4UV20 modified by nanopowder zirconium dioxide has shown the expediency of application of the latest materials in friction units of machines and mechanisms.

Key words: polytetrafluoroethylene carboplastics, ultradispersed modifiers, zirconium dioxide, anti-friction and mechanical properties.

References

1. Panshin J.A., Malkevich S.G., Dunaevskaya C.S., Ftoroplastu, Leningrad, Khimiya, 1978. 232 p.
2. Istomin N.P., Semenow A.P., Antifrikcionnue svoystva kompozicijonnykh materialov na osnove ftoropolimerov, M: Nauka. 1981. 146 p.
3. Okhlopko A.A., Adrianova O.A., Popov S.N., Modifikacija polimerov ul'tradispersnykh soedinenijami, Yakutsk: JF Izdatel'stvo SO RAN. 2003. 247 p.
4. Gorbachevich G.N., Stryctura i tehnologija yglernodnykh germetiziruyemykh materialov dlja staticheskikh i podvizhnykh yplotnenij : Diss... Cand. teh. nauk. Grodno, 2002. 138 p.
5. Konstantinova I.E., Danilenko I.A., Tokiy V.V., [i dr.], Nanoporoshki na osnove dioksida zirconija: polychenie, issledovanie, primenenie, Nanosistemy, nanomaterialy, nanotekhnologii. 2004. so 2. - Akademperiodyka. (Kyiv). p. 609-632.
6. Konstantinova I.E., Danilenko I.A., Tokiy V.V., [i dr.], Polychenie nanodispersnykh poroshkov dioksida zirkonia. Ot novacii k innovacii, Nayka ta inovacii. 2005. t 1. № 3. p.76-87.
7. Sirenko G.A., Antifrikcionnue carboplastiki, Kiev. Tehnika. 1985. 195 p.
8. Priminenie sinteticheskikh materialov: materialu konferencii, Gl. redaktor R.I. Silin. Kishinev.: Kartja Moldovenyaskie. 1975. 199 p.
9. Struchkova T.S., Razrabotka i issledovanie polimernykh kompozicijonnykh materialov na osnove aktivacii politetrafluoretilena i yglernodnykh napolnitelej: Avtoref. dis. kand. tech. nauk, Koms. - na - Amure. 2008. 19 p.
10. Sirenko G.A., Materialu grafelon i flubon dla yplotnitel'nykh par, Tez. 3-go Vsesoyuznogo soveschaniya po uplotnitel'noj tekhnike. Symu, 1982. p. 42-43.
11. Sirenko G.A., Novikov I.I., Zakharenko V.P., [i dr.], Razrabotka i issledovanie novykh antifrikcionnykh materialov dlja bezsmazochnykh porshnevnykh kompressorov holodil'nykh ustanovok, Povisheniye effektivnosti holodil'nykh mashin. Leningradskij Tekhnologicheskij Instytut holodil'noj promyshlennosti, 1981. p. 148-154.