

**Свідерський В.П., \*\***  
**Константинова Т.Є., \***  
**Кириченко Л.М., \*\***  
**Декалюк Д.Ю. \*\***

\* Донецький фізико - технічний інститут  
 НАН України,

\*\* Хмельницький національний університет,  
 м. Хмельницький, Україна

## ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПОРШНЕВОГО УЩІЛЬНЕННЯ КОМПРЕСОРНОЇ УСТАНОВКИ СО-243-1

УДК 620.178

Виконано аналіз умов роботи поршневого ущільнення компресорної установки СО-243-1. Дослідження фізико-механічних і антифрикційних властивостей матеріалу Ф4К20, модифікованого нанопорошками діоксиду цирконію показали доцільність застосування останніх матеріалів в вузлах тертя машин і механізмів.

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

### Вступ

Компресорна установка СО-243-1 призначена для одержання стисненого повітря, коли тиск повітря не перевищує 0,6 МПа (6 кгс/см<sup>2</sup>), а витрата -  $(32 \pm 2)$  м<sup>3</sup>/год. Поршневі кільця це найбільш відповідальна деталь поршня. Дефекти роботи поршневих кілець впливають на ресурс та надійність компресора і тому підвищення їх зносостійкості є досить актуальною задачею. До переваг машин з обмеженим машенням і без машення поршневих ущільнень необхідно віднести простоту конструкції і відносно низькі втрати продуктивності за рахунок перетоку газу.

Варто відмітити, що при застосуванні машин з обмеженим машенням і без машення може бути вирішено одночасно ряд технічних завдань: одержання технологічного ефекту, економія мастила, запобігання забруднень навколишнього середовища й зниження шуму в компресорному залі, збільшення міжремонтного пробігу компресора й скорочення трудовитрат на його ремонт (за рахунок запобігання зношування циліндра), підвищення надійності й безпеки роботи систем, що використовують газ для стискування [1 - 4].

Для ущільнень компресорів широке застосування знайшли композиційні матеріали на основі політетрафторетилену (ПТФЕ) або фторопласту - 4 [5 - 7]. Для забезпечення заданого рівня службових характеристик компресора до складу ПТФЕ вводять порошкоподібні і волокнисті наповнювачі і модифікатори різного складу і дисперсності а саме: порошки металів, оксидів, силікатів, базальтові, скляні, вуглеграфітові волокна, кокс, графіт і т. ін.. Наповнювачі і модифікатори в полімерній матриці ПТФЕ забезпечують створення механічних перешкод для переміщення надмолекулярних агрегатів і тим самим суттєво збільшують зносостійкість композита. 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.

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 [6]. Такий значний вплив модифікаторів на зносостійкість при порівняно незначній зміні інших властивостей характерний тільки для ПТФЕ і не характерний для інших полімерів.

Найбільш значні ефекти підвищення триботехнічних характеристик досягаються в тому випадку, якщо дисперсний наповнювач має здатність здійснювати упорядкований вплив на граничні шари матриці, формуючи при цьому надмолекулярну структуру з підвищеною стійкістю до переддеформування і руйнування. В цьому аспекті досить ефективними є наповнювачі нанометрової дисперсності, що мають некомпенсований заряд і формують в об'ємі композиту впорядковані «квазікристалічні» області [8,9]. Слід відмітити, що дуже малі розміри наночастинок (менше 100 нм) і їх велика питома поверхня (до 350 м<sup>2</sup>/г) дозволяють досягнути технічно значимого ефекту при малих концентраціях наномодифікаторів (1 ÷ 2 мас. %) в композіті [9 - 11].

Таким чином, досить перспективним напрямком створення триботехнічних композитів на основі вуглевмісного ПТФЕ є використання принципу багаторівневого модифікування [10, 11].

В роботі [3] встановлено, що перспективними антифрикційними матеріалами в якості поршневих ущільнень компресорів загального призначення є фторопластові матеріали Ф4К20. Для покращення

фізико-механічних і антифрикційних характеристик цих матеріалів використано принцип багаторівневого модифікування полімерної матриці. Реалізація даного принципу здійснюється шляхом введення в ПТФЕ суміші наповнювачів різного складу і дисперсності – коксу і нанодисперсних частинок, вибраних з групи оксидів цирконію [12, 13].

### Мета і постановка задачі

Мета роботи полягає в тому, щоб підвищити антифрикційні і фізико-механічні властивості матеріалу Ф4К20 за рахунок модифікації його оксидними нанопорошками  $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$  (700 °С),  $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$  (гідроксид).

### Аналіз умов роботи поршневого ущільнення компресорної установки СО-243-1

Компресорна установка СО-243-1 складається з наступних вузлів: компресора, ресивера, масловогнєвостокремлювача, повітряного фільтра, регулятора тиску, запобіжного клапана, електродвигуна, трубопроводу, пускача й огороження. Охолодження компресора - повітряне примусове від шків-маховика з лопатками. Компресор - поршневий двоциліндровий одноступінчастий простої дії з повітряним охолодженням.

Призначення поршневих кілець - запобігання втрат газу з порожнини стискування. Ущільнюючий ефект кілець засновано на щільному притисканні їх до дзеркала циліндра і до стінок канавок поршня і на лабиринтній дії набору кілець. Поршневі кільця це найбільш відповідальна деталь поршня, що суттєво впливає на ресурс та надійність компресора.

### Розрахунок теплового розширення кільця

Замок у накладку підвищує щільність у зазорі порівняно з прямим і косим замками всього на 5 відсотків. Тому, в зв'язку зі складністю виготовлення, його застосовують рідко. Тепловий зазор в замку ( $f_0$ ) розраховували за формулою:

$$f_0 = \alpha \pi \cdot D_u \cdot \Delta T_{n.k} + c_1, \quad (1)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт лінійного термічного розширення матеріала, (для матеріалів на основі політетрафторетилену типу Ф4К20,  $\alpha = 11 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ );

$D_u$  – діаметр циліндра компресора ( $D_u = 70 \text{ мм}$ );

$\Delta T_{n.k}$  – зміна температури поршневого кільця:

$$\Delta T_{n.k} = \frac{T_{BC} + T_n}{2} - T_0, \quad (2)$$

де  $T_{BC}$  – температура газу на лінії всмоктування ( $T_{BC} = 298 \text{ К}$  298 К);

$T_n$  – температура газу на лінії нагнітання ( $T_n = 414 \text{ К}$  414 К);

$T_0$  – температура в приміщенні при складанні вузла тертя ( $T_0 = 293 \text{ К}$  293 К); тоді  $\Delta T_{n.k} = 63 \text{ К}$  63 К.

$c_1$  – мінімальний зазор, що забезпечує вільне переміщення кільця в стикові ( $c_1 = 0,05 \text{ мм}$  0,05 – 0,1 мм).

Підставивши значення  $\alpha$ ,  $D_u$ ,  $\Delta T_{n.k}$ ,  $c_1$  в формулу (1) отримували:  $f_0 = 1,57 \text{ мм}$  1,57 – 1,62 мм.

Розрахунок теплового розширення поршневого кільця по висоті ( $\Delta h$ ) виконували за формулою:

$$\Delta h = \alpha h \cdot \Delta T_{n.k} + c_2, \quad (3)$$

де  $c_2$  – значення мінімального зазору, що забезпечує вільне переміщення кільця в поршневій канавці ( $c_2 = 0,02 \text{ мм}$  0,02 – 0,04 мм);  $h$  – висота кільця ( $h = 4 \text{ мм}$  4 мм).

Підставивши значення  $\alpha$ ,  $h$ ,  $\Delta T_{n.k}$ ,  $c_2$  в формулу (3) отримували:  $\Delta h = 0,048 \text{ мм}$  0,048 – 0,068 мм.

### Розрахунок тисків

Поршневе кільце виконано з прорізью (замком) і у вільному стані має розмір більший від діаметра циліндра. Тому коли кільце знаходиться в циліндрі, воно тисне на стінки циліндра в силу пружності матеріалу. В канавку поршня кільце посажено з зазором. При роботі компресора під дією різних тисків

попереду та позаду кільця зазор зменшується і кільце притискається до бокової поверхні канавки зі сторони меншого тиску.

Тиск, що діє на внутрішню поверхню кільця, приблизно дорівнює тиску перед кільцем. Цей тиск перевищує середній тиск, що діє на зовнішню поверхню кільця, після чого отримується додаткове зусилля, що притискає кільце до дзеркала циліндра (рис. 1) [14].

Таким чином, тиск, з яким поршневе кільце притискається до дзеркала циліндра, буде рівний:

$$P = P_{\kappa} + P_{np} - P_{\kappa}^* \quad (4)$$

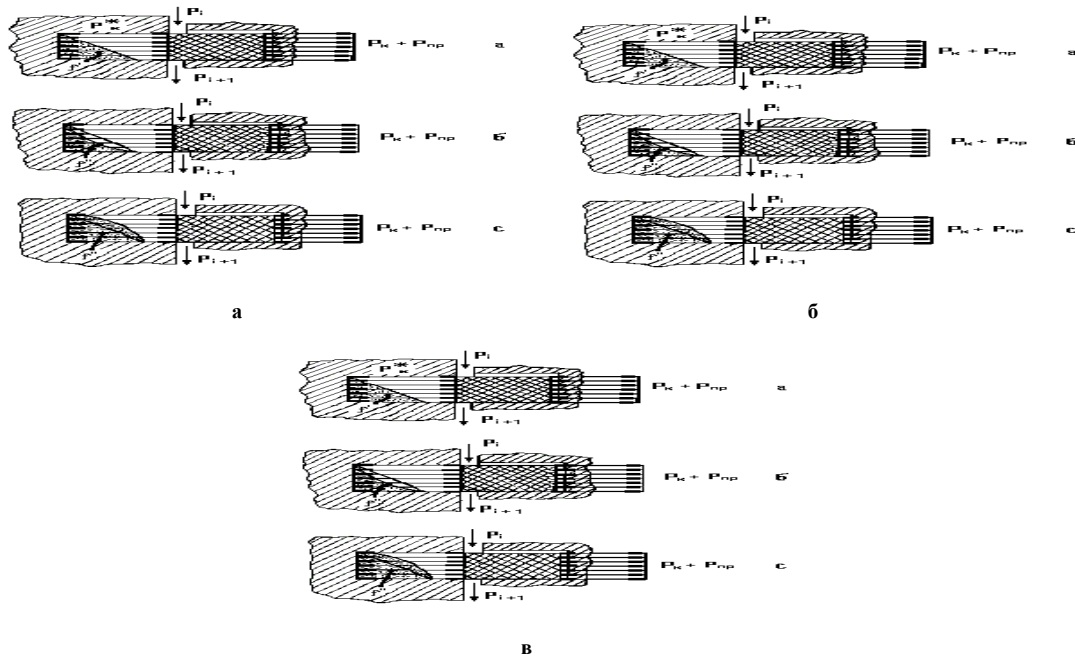


Рис. 1 – Схема розподілу тиску газу по висоті ущільнювального кільця при значенні куткового коефіцієнта:  
а –  $\beta = 1$ ; б –  $\beta < 1$ ; в –  $\beta > 1$

Середній тиск газу в зазорі  $P_{\kappa}^*$  знаходиться частинним від ділення інтегралу за кривою зміни тиску на довжину відрізка інтегрування:

$$P_{\kappa}^* = \left\{ \int_0^h \left[ P_i^2 - (P_i^2 - P_{i+1}^2) \frac{x}{h} \right]^{1/2} dx \right\} / h = \frac{2}{3} (P_i^3 + P_{i+1}^3) / (P_i^2 - P_{i+1}^2), \quad (5)$$

де  $P_i$  і  $P_{i+1}$  – тиск газу перед та за кільцем відповідно, ( $P_i: 0,6 \text{ МПа}$ ,  $0,6 \text{ МПа}$ ,  $P_{i+1}: 0,35 \text{ МПа}$ ,  $0,35 \text{ МПа}$ ),

тоді  $P_{\kappa}^*: 0,73 \text{ МПа}$ ,  $0,73 \text{ МПа}$ .

Тиск зі сторони внутрішньої поверхні кільця буде рівний:

$$P_{\kappa} = \beta \cdot 4P_{\kappa}^*, \quad (6)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт, що враховує вплив проти тиску в контактні поршневого кільця з робочою поверхнею циліндра:  $\beta = f_{\check{y}} / f_{\check{y}}$  (для матеріалу Ф4К20:  $\beta = 1,51$ ,  $1,51$  [14]), тоді  $P_{\kappa}: 1,1 \text{ МПа}$ ,  $1,1 \text{ МПа}$ .

Згідно теорії поршневих кілець, тиск кільця  $P_{np}$ , виготовленого з матеріалу Ф4К20, на стінку циліндра розраховували за формулою:

$$P_{np} = A \cdot E (S/R_m)^3 / 113R_n, \quad (7)$$

де  $A$  – величина замка за середнім діаметром вільного кільця (без врахування теплового зазору) ( $A: 0,01 \text{ м}$ ,  $0,01 \text{ м}$ );

$E$  – модуль пружності кільця ( $E: 120 \text{ ГПа}$ ,  $1,2 \cdot 10^3 \text{ МПа}$ );

$R_n$  – зовнішній радіус поршня ( $R_n: 0,035 \text{ м}$ ,  $0,035 \text{ м}$ );

$R_m$  – середній радіус кільця в циліндрі ( $R_m: 0,033\text{м}$  0,033 м);

$S$  – радіальна товщина кільця ( $S: 0,004\text{м}$  0,004 м).

Підставивши  $A$ ,  $E$ ,  $R_n$ ,  $R_m$ ,  $S$  в формулу (7) отримували:  $P_{np}: 0,005\text{МПа}$  0,005 МПа, що задовольняє умови, коли тиск поршневого кільця  $P_{np}$  на дзеркало циліндра повинен бути в межах 0,005 - 0,03 МПа [2].

Тоді за формулою (4) знаходили тиск, з яким поршневе кільце притискається до дзеркала циліндра:  $P: 0,375\text{МПа}$  0,375 МПа.

З метою зменшення забруднення повітря мастилом і підвищення довговічності циліндро-поршневої групи, запропоновано переведення компресора СО-243-1 на роботу з обмеженим мащенням і без мащення [1 - 4].

### Лабораторні дослідження антифрикційних і механічних властивостей фторопластових матеріалів

Підвищення зносостійкості композиційного полімерного матеріалу на основі політетрафторетилену (ПТФЕ) здійснено для матеріалу Ф4К20. Випробування на зносостійкість проведені на установці ХТІ-72 [15]. 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 ( $HB$  4,5  $\pm$  0,18 ГПа) і оброблено до початкового середнього арифметичного відхилення профілю поверхні  $Ra_i: 0,2$   $\pm$  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  $HB$  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  $S_1: 0...3\text{км}$  0 ... 3 км і  $S_2: 3...23\text{км}$  3 ... 23 км:

$$J_1 J_1 = \frac{\Delta V_{1i}}{N_i \cdot \Delta S_1}; \quad (8)$$

$$J_2 J_2 = \frac{\Delta V_{2i}}{N_i \cdot \Delta S_2}, \quad (9)$$

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

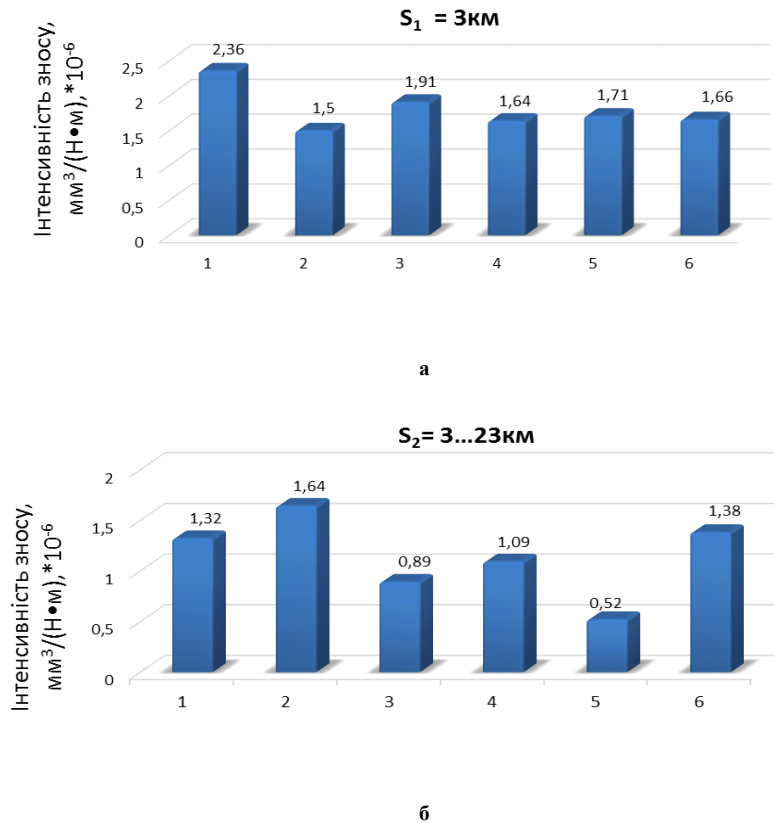
$\Delta V_{2i}$  – зміна об'єму і-зразка на проміжку шляху тертя від 3 до 23 км (лінійна залежність зношування від шляху тертя).

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

Вважають [9 - 11], 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. Матеріалам з покращеними фізико-механічними властивостями відповідає найбільш впорядкована надмолекулярна структура з певною орієнтацією наповнювача в міжфазних ділянках.

Введення наномодифікаторів сприяє інтенсивному структуруванню матриці, оскільки наночастинки можуть створювати ансамблі за типом кластерів. В результаті цього створюється армована полімерна система, що відрізняється підвищеними міцнісними і триботехнічними характеристиками. В композиті одночасно існують різні за типом і розмірами надмолекулярні утворення. Наномодифікатор, в першу чергу, сприяє структурним змінам в аморфній фазі полімера, змінюючи співвідношення між її впорядкованою і неупорядкованою ділянками [9 - 11].

Встановлено, що за зносостійкістю антифрикційний фторопластовий матеріал наповнений 20 мас. % коксу і 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 Ф4К20 відповідно в 1,5 і в 2,6 разів.



**Рис. 2 – Гістограма інтенсивності зносу фторопласту, модифікованого нанопорошками діоксидів цирконію:**  
 1 – Ф4К20; 2 – Ф4К20 + 1мас.%. $(ZrO_2 + 3\%Y_2O_3, 700\text{ }^\circ\text{C})$ ; 3 – Ф4К20 + 2мас.%. $(ZrO_2 + 3\%Y_2O_3, 700\text{ }^\circ\text{C})$ ;  
 4 – Ф4К20 + 1,5мас.%. $(ZrO_2 + 3\%Y_2O_3, 700\text{ }^\circ\text{C})$ ; 5 – Ф4К20 + 1мас.%. $(ZrO_2 + 3\%Y_2O_3, \text{гідроксид})$ ;  
 6 – Ф4К20 + 2мас.%. $(ZrO_2+3\%Y_2O_3, \text{гідроксид})$ ;  
 а – перший етап досліджень;  
 б – другий етап досліджень

Цей ефект 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. В цьому випадку ефект збільшення адгезійної взаємодії між матрицею ПТФЕ і частинками наповнювача реалізується в результаті структуруючого впливу наночастинок з некомпенсованим зарядом на макромолекули граничного шару і формування мілкосферолітних надмолекулярних утворень в об'ємі композиту [8, 9]. Вважають, що частинки наномодифікатора збільшують адгезійну взаємодію полімера і коксу і сприяють підвищенню рухомості структурних елементів ПТФЕ і, тим самим, полегшують протікання деформаційних процесів [10].

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. 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.

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 [6, 7].

Перед дослідженнями на розтяг по три зразки кожного матеріалу кондиціонували не менше 16 год при температурі  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$  і відносній вологості  $(50 \pm 5)\%$ . 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 застосовували кільцеві зразки.

Дослідження для визначення  $\sigma_p$  виконувались з допомогою розривної машини МР-05-1 (швидкість 15 мм/хв). Границя міцності на розтяг, визначена за формулою (10), не є істинною характеристикою композиційного матеріалу, оскільки поблизу місць роз'єднання на півдисків 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 матеріалів виконувались за ГОСТ 11262-80 в результаті навантаження жорстких напівдисків, на які одягається, досліджуване кільце [11]. Границя міцності на розтяг  $\sigma_p, \text{МПа}$  визначалась за формулою:

$$\sigma_p = \frac{P}{2h \cdot (R - r)}, \quad (10)$$

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 матеріалів Ф4К20, модифікованих нанопорошком  $\text{ZrO}_2+3\%\text{Y}_2\text{O}_3$  (гідроксид),  $\text{ZrO}_2+3\%\text{Y}_2\text{O}_3$  (700 °С)**

Найменування, склад композиції, мас. %	Міцність при розтягу, МПа	Вибірковий коефіцієнт варіації міцності при розтягу, %
Ф4К20	5,1	3,3
99 мас. %Ф4К20, 1мас.%. ( $\text{ZrO}_2 + 3\%\text{Y}_2\text{O}_3$ , 700 °С)	6,04	2,8
98 мас. %Ф4К20, 2мас.%. ( $\text{ZrO}_2 + 3\%\text{Y}_2\text{O}_3$ , 700 °С)	5,7	8,2
99 мас. %Ф4К20, 1мас.%. ( $\text{ZrO}_2 + 3\%\text{Y}_2\text{O}_3$ , гідроксид)	2,97	5
98 мас. %Ф4К20, 2мас.%. ( $\text{ZrO}_2 + 3\%\text{Y}_2\text{O}_3$ , гідроксид)	6,13	2,7

Встановлено, що найбільшу міцність при розтягу має матеріал Ф4К20 модифікований 2 мас. %  $\text{ZrO}_2 + 3\% \text{Y}_2\text{O}_3$  (гідроксид): міцність при розтягу композита зростає на 20,2 %; при введенні ж 1 мас. %  $\text{ZrO}_2 + 3\% \text{Y}_2\text{O}_3$  (700 °С) міцність при розтягу композита зростає на 18,4 %. Це можна пояснити тим, що частинки нанодисперсного наповнювача мають некомпенсований заряд і забезпечують ефект впорядкування полімерної матриці, а також підвищення міцнісних характеристик композиту [11].

### Висновки

1. Виконано аналіз умов роботи поршневого ущільнення компресорної установки СО-243-1.
2. Досліджено полімерні композити на основі політетрафторетилену (ПТФЕ), модифіковані коксом і оксидними нанопорошками  $\text{ZrO}_2 + 3\% \text{Y}_2\text{O}_3$  (700 °С) і  $\text{ZrO}_2+3\%\text{Y}_2\text{O}_3$  (гідроксид) в кількості 1 ÷ 2 мас. % кожного.
3. 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.

4. Визначена оптимальна концентрація нанонаповнювачів  $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$  (700 °C) - 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.

5. При зношуванні системи ПТФЕ – кокс – «активний» наповнювач (схема досліджень сфера – площина) спостерігається незначний знос як композиційного матеріалу, так і контртіла. За зносостійкістю фторопластовий матеріал наповнений 20 мас. % коксу і модифікований 2 мас. % діоксиду цирконію  $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$  (700 °C) або 1 мас. % діоксиду цирконію  $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$  (гідроксид) переважає матеріал Ф4К20 відповідно в 1.5 і в 2.6 разів. Міцність на розтяг антифрикційного матеріалу Ф4К20 модифікованого 2 мас. %  $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$  (гідроксид) або 1 мас. %  $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$  (700 °C) зростає відповідно на 20,2 % і 18,4 %.

### Література

- Новиков И.И. Бессмазочные поршневые уплотнения в компрессорах. / И.И. Новиков, В.П. Захаренко, Б.С. Ландо – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение. – 1981. – 238 с.
- Фотин Б.С. Поршневые компрессоры: Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности “Холодильные и компрессорные машины и установки”/ Б.С.Фотин, И.Б.Пирумов, И.К.Прилуцкий, [и др.] Под общ. ред. Б.С.Фотина. – Л. – Машиностроение. – 1987. – 372с.
- Свідерський В.П. Підвищення зносостійкості поршневого ущільнення компресорної установки СО-243-1, переведеної на роботу з обмеженим мащенням. / В.П. Свідерський, Л.М. Кириченко. Р.М. Коржинський // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – №1. – 2006. – С. 84-87
- Невейкин В. Ф. Эксплуатация и ремонт компрессоров, работающих без смазки. В.Ф. Невейкин, Ю.И. Сапольков. – М.: Химия. – 1980. – 144 с.
- Паншин Ю. А. Фторопласты / Ю.А. Паншин, С.Г. Малкевич, Ц.С. Дунаевская. – Л.: Химия, 1978. – 232 с.
- Истомин Н.П. Антифрикционные свойства композиционных материалов на основе фторполимеров / Н.П. Истомин, А. П.Семенов. – М.: Наука. – 1981. – 146 с.
- Сиренко Г.А. Антифрикционные карбопластики / Г.А. Сиренко. – К. – Техника. – 1985. – 195 с.
- Охлопкова А.А. Модификация полимеров ультрадисперсными соединениями / А.А. Охлопкова, О.А. Адрианова, С. Н. Попов. – Якутск: ЯФ Издательство СО РАН. – 2003. – 247 с.
- Горбацевич Г.Н. Структура и технология углеродных герметизирующих материалов для статических и подвижных уплотнений: Дисс... канд. тех наук. Гродно, 2002. – 138 с.
- 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.
- Свідерський В.П, Дослідження механічних і антифрикційних властивостей фторопластових карбопластиків, модифікованих нанопорошками діоксиду цирконію / В.П, Свідерський, Т.Є., Константинова, В.А. Глазунова, [і ін.] // Проблеми трибології. – №2. – 2014. – С. 103-110.
- 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. – 2004. – Т. 2. – Академперіодика. (Київ). – С. 609-632.
- 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.
- Свідерський В.П. Підвищення щільності і зносостійкості поршневих кілець автомобільних газонаповнювальних компресорних станцій. / В.П. Свідерський, Г.О. Сіренко, Л.М. Кириченко, [и др.]. – // Проблеми трибології. – 2004. – №4. – С. 156-167.
- Применение синтетических материалов: материалы конференции. / Гл. редактор Р.И. Силин. Кишинев.: Карта Молдовеняскэ. – 1975. – 199 с.

Поступила в редакцію 20.05.2015

Sviderskiy V.P., Konstantinova T.E., Kirichenko L.M., Dekalyuk D.U. **Investigation of mechanical and friction properties of polytetrafluoroethylene modified by nanopowder zirconium dioxide.**

The analysis of the properties of polytetrafluoroethylene and methods of his modification. Research of physico-mechanical and antifriction properties of F4K20 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, ultradispersed modifiers, zirconium dioxide, anti-friction and mechanical properties.

### References

1. Novikov I.I., Zakharchenko V.P., Lando B.S. Bezsmazochnie porshnevie uplotnenija v kompresorah. L.: Mashinostroenie, Leningr. otdelenie. 1981. 238 p.
2. Photin B.S., Pirumov I.B., Prilutskiy I.K. [I dr.] Porshnevie kompresori: Uchebnoe posobie dlya studentov vuzov, obuchaushihsja po spetsialnosti "Holoilnie i kompresornie mashini I ustanovki". Pod obsch. red. B.S.Photina. L. Mashinostroenie. 1987. 372p.
3. Sviderskiy V.P., Kirichenko L.M., Korzhinskiy R.M. Pidvischennja znosostiykosti porshneвого ushlnennja kompresornoj ustanovki SO-243-1, perevedenoj na robotu z obmezhenim maschennyam. Visnik Khmel'nitskogo natsionalnogo universitetu. Tekhnichni nauki. 2006. p. 84-87
4. Nevejkin V. F. Sapol'kov Ju. I. Jekspluatacija i remont kompressorov, rabotajushhij bez smazki. M.: Himija. 1980. 144p.
5. Panshin J.A., Malkevich S.G., Dunaevskaya C.S., Ftroplastu, Leningrad, Khimiya, 1978. 232 p.
6. Istomin N.P., Semenov A.P., Antifrikcionnye svojstva kompozicionnyh materialov na osnove ftropolimerov, M: Nauka. - 1981. - 146 p.
7. Sirenko G.A. Antifrikcionnye karboplastiki. Kiev. Tehnika. 1985. 195 p.
8. Okhlopko A.A., Adrianova O.A., Popov S.N., Modifikacija polimerov ul'tradisperscnumi soedinenijami, Yakutsk: JF Izdatel'stvo SO RAN. 2003. 247 p.
9. Gorbatsjevich G.N., Stryctyra i tehnologija yglerodnih germetizirujuschih materialov dlja staticheskij i podvizhnyh uplotnenij : Diss... Cand. teh. nauk. Grodno, 2002. 138 p.
10. Struchkova T.S. Razrabotka i issledovanie polimernykh kompozitsionnykh materialov na osnove aktivatsii politetraforetilena i uglerodnykh napolniteley: avtoref. dis. kand. teh. nauk. Koms. – na – Amure. 2008. 19 s.
11. Sviderskiy V.P., Konstantinova T.E., Glazunova V.A. Doslidzhennja mehanichnykh i antifrikcijnykh vlastivostej ftroplastovykh karboplastikov, modifikovanih nanoporoshkami dioksidu cirkoniju. Problemi tribologii. №2. 2014 p. 103-110.
12. Konstantinova I.E., Danilenko I.A., Tokiy V.V., [i dr.]. Nanoporoshki na osnove dioksida zirkonija: polychenie, issledovanie, primenenie, Nanosistemy, nanomaterialy, nanotehnologiji. 2004. so 2. Akademperi-odika. (Kyiv). p. 609-632.
13. Konstantinova I.E., Danilenko I.A., Tokiy V.V., [i dr.]. Polychenie nanodispersnykh poroshkov dioksida zirkonija. Ot novacii k innovacii, Nayka ta inovacii. 2005. t 1. № 3. p.76-87.
14. Sviderskiy V.P., Sirenko G.O., Kirichenko L.M. [i dr.]. Pidvischennja shhil'nosti i znosostiykosti porshnevijh kilec' avtomobil'nykh gazonapovnjuval'nykh kompresornijh stancij. Problemi tribologii. 2004. №4. p. 156-167.
15. Primenenie sinteticheskijh materialov: materialy konferencii. Gl. redaktor R.I. Silin. Kishinev.: Kartja Moldovenjaskje. 1975. 199 p.