

ДИХА ОЛЕКСАНДР

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-3020-9625>e-mail: tribosensor@gmail.com

СВІДЕРСЬКИЙ ВЛАДИСЛАВ

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-4816-6977>e-mail: svidersky.vladyslav@gmail.com

ГОЛЕНКО КОСТЯНТИН

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-6140-4573>e-mail: kgolenko@gmail.com

ПІДВИЩЕННЯ АНТИФРИКЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРШНЕВИХ УЩІЛЬНЕНЬ КОМПРЕСОРА КОНДИЦІОНЕРА АВТОМОБІЛЯ

Проаналізовано недоліки, що мають місце при застосуванні фторполімерів у вузлі тертя поршневе ущільнення – циліндр компресора кондиціонера автомобіля. Розглянуті перспективні методи модифікації політетрафторетилену і вимоги до його наповнювачів. Проведені експериментальні дослідження підтвердили переваги антифрикційних композиційних фторопластових матеріалів модифікованих комбінованими наповнювачами: вуглецевим і скловолокном, вуглецевим волокном і порошком закису міді або свинцю для вузла тертя поршневе ущільнення – циліндр компресора кондиціонера автомобіля.

Ключові слова: поршень, циліндр компресора, автомобільний кондиціонер, фторопластові матеріали, комбіновані наповнювачі, вуглецеві та скляні волокна, порошки оксиду міді та свинцю, антифрикційні властивості.

DYKHA OLEKSANDR, SVIDERSKYI VLADYSLAV, HOLENKO KOSTIANTYN
Khmelnyskyi National University

INCREASING THE ANTI-FRICTION CHARACTERISTICS OF CAR AIR CONDITIONER COMPRESSOR PISTON SEALS

The shortcomings that occur when using fluoropolymers in the piston seal friction unit - the air conditioner compressor cylinder of the car are analyzed. It has been determined that a physical modification method has been developed in world practice to eliminate the drawbacks of fluoropolymers, which is based on creating composite materials by introducing finely dispersed fillers (graphite, coke, metal oxides, carbon fiber, nanopowders, etc.) into polytetrafluoroethylene (PTFE).

The prospective methods for modifying polytetrafluoroethylene and the requirements for its fillers are discussed. The use of polymer-oligomeric matrices and the principle of multilevel modification are quite promising directions for creating multi-purpose tribotechnical composites based on fluoroplastics. Comparative studies of the mechanical, thermophysical, and anti-friction properties of thermoplastics reinforced with carbon and glass fibers have shown that carbon fiber reinforced composites outperform thermoplastics reinforced with glass fibers in terms of bending modulus by a factor of two, thermal conductivity by a factor of 2-3, and have 2 times less deformation under creep conditions.

This prompted the development and study of self-lubricating materials based on fluoroplastics modified with combined fillers. It has been established that when developing anti-friction materials based on fluoroplastics, it is necessary to select polymer-filler systems that would form intermediate films on the metal during friction using one of the filler or polymer mechanisms. The implementation of the second mechanism provides more wear-resistant friction pairs, and for improving the adhesion of such an intermediate film to metal, the composite must contain a light abrasive to facilitate the formation of a juvenile surface that is active to the dispersing matrix. Conducted experimental studies confirmed the advantages of anti-friction composite fluoroplastic materials modified with combined fillers: carbon and glass fiber, carbon fiber and copper or lead oxide powder for the piston seal friction unit - the compressor cylinder of the car air conditioner.

Key words: piston sea, compressor cylinder, car air conditioner, fluoroplastic materials, combined fillers, carbon and glass fibres, powders of cuprous and lead oxide, anti-friction properties

В наш час доступний кожному власнику автомобіля досить зручний пристрій автомобільний кондиціонер (рис. 1) [1]. Проте цей додатковий пристрій схильний, яклюбий механізм, до зношування та поломки. Аналогічно це відноситься також до вузла системи кондиціонування – **компресора**.

Система кондиціонування повітря транспорту функціонує аналогічно будь-якій іншій системі кондиціонування повітря. Вона має призначення для відбору тепла та вологи зсередини транспортного засобу з наступною передачею зовнішньому повітрю, крім того для очищення повітря. Варіанти теплопередачі такі ж, як і в інших системах. Система холодильна розділена на сторони низького та високого тиску (рис.1).

Усі вузли у системі повітряного стиснення розміщені у наступному порядку: нагнітаючий компресор на стороні нагнітання, нагнітальний вентиль, конденсатор, ресивер-осушувач, регулюючий вентиль на стороні впускання та сполучні шланги до цих всіх вузлів. Вузли, що входять у бік низького тиску, включають регулюючий вентиль (сторона випуску), випарник, всмоктуючий компресор (сторона всмоктування) та всмоктуючий вентиль, разом зі сполучними шлангами.

Компресор кондиціонера є основою системи. Досить важлива його безперебійна робота при нормальному функціонуванні кондиціонера. Також на компресор приходить і найбільше навантаження даної системи.

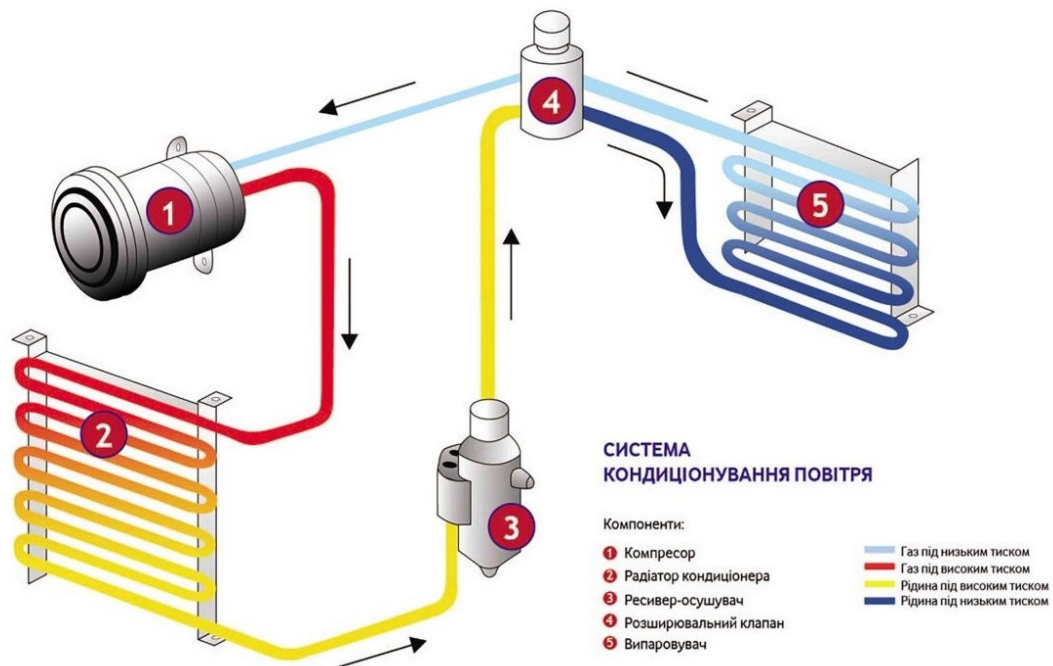


Рис. 1. Холодильна система кондиціонера GMS автомобіля

В транспорті для кондиціонування повітря використовують поршневі компресори трьох видів: дво-, шести- та п'ятициліндрові. Працюють вони через пасовий привід від колінчастого валу двигуна агрегату. Призначення компресора для створення тиску, який потрібен для конденсації холодагента. До контакту циліндр – поршень висувають дві суперечливі вимоги. Перша вимога: для забезпечення рухливості між ними повинен бути зазор. Друга вимога: зазору не повинно бути для запобігання витоків газу із порожнини нагнітання. Конструктивно цю суперечку вирішують застосуванням поршневих кілець. Вони є проміжними деталями між поршнем та циліндром. Поршневі кільця на ряду забезпечення ущільнення поршня з циліндром, зберігають при цьому їх рухливість. Відбувається це в результаті щільного прилягання кілець до поверхні циліндру, малому зазору між кільцями та стінками канавок поршня, а також лабіринтній дії набору кілець. Так як ресурс поршневих кілець значно менший за ресурс усіх інших деталей поршневої групи, то відповідно необхідно підвищити їх ресурс, а це в свою чергу підвищить ресурс усієї групи. При підвищенні ресурсу даного вузла значно зменшуються затрати на ремонтні роботи та обслуговування компресора. Використання сірого чавуну СЧ 18 для виготовлення кілець у контакті "кільце-гільза" поршневого компресора є неефективним і може призводити до швидкого зношення гільзи. Для підвищення терміну експлуатації даного контакту важливо замінити СЧ 18 на антифрикційний матеріал, який має більшу зносостійкість і характеризується значно кращими властивостями [2,3].

Умови обмеженого мащення приводять до швидкого зношення пари тертя, де використовуються чавунне кільце та робоча поверхня циліндра. Для підвищення зносостійкості пари тертя запропоновано замінити матеріал поршневого кільця, яке зазвичай виготовляють із чавуну СЧ-18, на композиційний матеріал Ф4ВВ20 [3]. Отримані результати показали, що ущільнення з композиційного матеріалу Ф4ВВ20 за зносостійкістю на 51 відсоток переважають ущільнення з матеріалу чавун СЧ-18 [3].

Підвищення ресурсу даного вузла можливо досягти за допомогою технологічного підвищення зносостійкості методом заміни матеріалу кільця чавун СЧ-18 на модифікований фторопластовий карбопластик з застосуванням принципу багаторівневого модифікування з використанням комбінованих наповнювачів.

Широке застосування політетрафторетилену (ПТФЕ) в компресоробудуванні обумовлено, перш за все, двома його унікальними властивостями: низьким коефіцієнтом тертя і відсутністю прилипання речовин, що переробляються до робочих поверхонь деталей і вузлів тертя. Важливе значення мають такі властивості ПТФЕ, як висока теплостійкість, можливість застосування при криогенних температурах, хімічна стійкість в більшості агресивних середовищ і довговічність. Разом з тим, є істотні недоліки, що стосуються застосування даного фторполімеру. Перший пов'язаний з його високою повзучістю. Другий недолік пов'язаний з низькою зносостійкістю, незважаючи на дуже малий коефіцієнт тертя, інтенсивність зносу виявляється неприпустимо високою. Обидва недоліки призводять до необхідності частого ремонту елементів вузлів тертя, де застосовують цей полімер. Для усунення зазначених недоліків у світовій практиці був розроблений фізичний спосіб модифікування, який заснований на створенні композиційних матеріалів шляхом введення в ПТФЕ дрібнодисперсних наповнювачів (графіту, коксу, оксидів металів, вуглецевого волокна, нанопорошків та ін.). Підвищення зносостійкості і терміну служби металополімерних вузлів тертя автомобільної техніки залежить в першу чергу від триботехнічних і фізико-механічних властивостей композиційних матеріалів на основі ПТФЕ [4].

Введення структурно-активних наповнювачів до складу ПТФЕ покращує його механічні властивості, зменшує усадку під час формування композиту, знижує вартість полімерних матеріалів. Причиною такого значного впливу є структурно-фазові перетворення з формуванням модифікованих структур, що супроводжуються істотною зміною фізико-механічних властивостей і підвищенням зносостійкості композиційних матеріалів на основі ПТФЕ. В цілому наповнення ПТФЕ слід розглядати як фізико-хімічну модифікацію матриці, яка структуруванням полімеру на самих різних рівнях організації дозволяє отримати композицію з необхідною структурою і властивостями, при цьому велике значення має вибір наповнювача. Перспективним методом модифікації полімерів є використання як наповнювачів твердих речовин в ультрадисперсному стані [5,6]. При цьому наповнювачі повинні відносно рівномірно розподілятися в об'ємі утвореної композиції і мати чітко виражену межу розділу з безперервною полімерною фазою (матрицею ПТФЕ). Істотний вплив на властивості ПТФЕ здійснюють розміри і форми частинок наповнювача, що вводиться. Основною вимогою, якій повинен задовольняти наповнювач для ПТФЕ, є здатність витримувати нагрівання до температури 370 °С, при якій відбувається спікання виробів з ПТФЕ. Крім того, до наповнювачів пред'являються такі вимоги: а) здатність змішуватися з полімером з утворенням системи заданого ступеня однорідності; б) стабільність властивостей в процесах переробки, при зберіганні і експлуатації ПТФЕ; в) доступність і низька вартість.

Як наповнювачі найчастіше застосовують волокна, азбест, бронзу, свинець, кварц, дисульфід молібдену, графіт. Наповнювачами для фторопластових композицій можуть бути також оксид цирконію, коксова мука, каолін, цемент, андезит, нітрид бору, біла сажа, діоксид титану, оксид алюмінію, тальк, фторид кальцію, сульфат барію, скляна мука, бентоніт і ін.. Залежно від природи наповнювача оптимальний вміст його різний. Вельми важливо в кожному випадку правильно вибрати як вид наповнювача, так і його кількість. Низький об'ємний вміст наповнювачів – від 3 до 10 мас. % дозволяє отримати матеріал з високою міцністю при розтягуванні і відносним подовженням, хорошим опором багаторазовому вигину, низьким вмістом пор поблизу частинок наповнювача. Такі матеріали мають знижений опір зносу, хоча і значно більший, ніж у чистого ПТФЕ. Матеріали з таким наповненням знайшли застосування при виготовленні манжет з тонкою ущільнюючою стінкою. При середньому об'ємному вмісті наповнювачів – від 10 до 20 мас. % отримують матеріали для експлуатації при невисоких навантаженнях і швидкостях ковзання механізмів, працюючих безперервно: вони мають високу зносостійкість і швидко припрацьовуються. Такі матеріали застосовуються для ущільнень гідравлічних циліндрів підсилювачів рульового управління і гальмівних систем автомобілів. При високому об'ємному вмісті наповнювачів – від 20 до 35 мас. % забезпечуються найбільша зносостійкість, стійкість до деформації під навантаженням, що має велике значення при роботі з найбільшими навантаженнями і швидкостями ковзання при безперервній роботі. Такі матеріали використовують в підшипниках, поршневих кільцях і ущільненнях, що працюють багато годин підряд, без зупинок, зі збереженням при цьому низьких допусків на розміри антифрикційних деталей.

Досить перспективними напрямками створення триботехнічних композитів багатоцільового призначення на основі фторопласту є використання полімер-олігомерних матриць і принципу багаторівневого модифікування [7]. Для отримання матеріалів застосовували активовані наповнювачі, піддані дії коронного розряду. Для отримання полімер-олігомерних матриць використовували механічно активовані суміші дисперсного і поверхнево активованого фторопласту [8]. Додатковий ефект досягається при введенні до складу композиту нанодисперсних компонентів з розмірами одиничних фрагментів 3–10 нм. При цьому висока активність нанопоповнювачів визначається структурними параметрами і розмірами частинок [9].

Постановка проблеми

Проведені порівняльні дослідження механічних, теплофізичних і антифрикційних властивостей термопластів армованих вуглецевими і скляними волокнами, показали, що карбопластики переважають термопласти, армовані скловолокном, за модулем згину в 2 рази, за теплопровідністю в 2–3 рази і мають в 2 рази меншу деформацію в умовах повзучості [7]. Це і обумовило проведення розробки і досліджень властивостей самозмащувальних матеріалів на основі фторопластів, наповнених вуглецево-волокнистими матеріалами [9], а також фторопластових матеріалів модифікованих комбінованими наповнювачами для поршневих ущільнень компресора кондиціонера автомобіля.

Мета та завдання

Мета даної роботи полягала в обґрунтуванні вибору і дослідженні антифрикційних властивостей композиційних фторопластових матеріалів модифікованих комбінованими наповнювачами з визначенням параметрів моделі зношування для підвищення зносостійкості і зменшення коефіцієнта тертя вузла тертя поршневе ущільнення – циліндр компресора.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні завдання:

- виконати експериментальні дослідження антифрикційних властивостей композиційних фторопластових матеріалів модифікованих вуглецевим волокном і скловолокном або вуглецевим волокном і порошком закису міді або свинцю;
- визначити параметри моделі зношування розроблених композиційних фторопластових матеріалів.

Виклад основного матеріалу

Матеріали, методика досліджень. Для досліджень використовували композитні матеріали триботехнічного призначення на основі політетрафторетилену: Ф-4 ПН (ГОСТ 10007-80), зарубіжний аналог Teflon 7 (TCI, USA) (ASTM D4895, ISO 12086) з модифікацією вуглецевими, скловолнами та іншими складовими.

Як наповнювач використовували вуглецеві волокна з тканини марки «Tekarm» (ТУ 48–20–17–77) і тканини ТГН-2М (ГОСТ 28005-88), отриманих на основі гідратцелюлозної тканини. Для подрібнення волокон та змішування композиції використовували дробарку-млинок МРП-1 з подовими ножами та частотою обертання 7000 об/хв. Середня довжина волокон після подрібнення складала 50...200 мкм. Властивості волокон, отриманих з вуглецевих тканин наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Властивості вуглецевих волокон, отриманих з тканин

Вуглецева тканина	Середній діаметр волокна, мкм	Відносне подовження при розриві, %	Міцність волокна при розтягуванні, ГПа	Модуль пружності волокна при розтягуванні, ГПа	Кінцева температура термообробки вуглецевих тканин, К
«Текарм»	10	4,5	0,4-0,5	30-50	1123
ТГН-2м	8,9	2,0	0,45-0,50	30-50	2673

Для отримання композиції використовували також скловолно ВМП з міцністю при розтягуванні 4,61 ГПа і модулем пружності 93,3 ГПа, а також дрібнодисперсні порошки закису міді і свинцю.

Підвищення зносостійкості композиційного полімерного матеріалу на основі політетрафторетилену (ПТФЕ) здійснено в результаті модифікації його комбінованими наповнювачами. Дослідження зношування композитів проведені на модифікованій машині тертя при терті полімерних зразків по металевих контртілах [5]. Робоча частина машини тертя складалася з шпинделя, на кінці якого була закручена головка з запресованою верхньою кулью. Остання з трьома нижніми кулями, що вільно перекочувались у чашці, складала чотирикульову піраміду. Наявність верхньої кульової опори (чотирикульової піраміди) та нижньої підшипникової системи, яка складалася з двох підшипників кочення: дворядного кульового радіально-упорного та упорного, дозволили відцентрувати систему контакту і зменшити час припрацювання та виконати вимірювання зносу без розбирання головки із дослідними зразками. Зразки закріплювали у знімальній головці. Вимірювання лінійних розмірів проводили у восьми точках разом з головкою після її охолодження не менше 0,5 години на вертикальному оптиметрі (точність вимірювання 0,001 мм).

Антифрикційні дослідження виконувались за схемою контакту «сфера – площина». Режим змінних граничних питомих навантажень при постійному нормальному навантаженні, зразки висотою (10±0,1) мм і діаметром (10±0,1) мм з кінцевою сферою радіусу 6,35 міліметра контактували сферою по площині металевого контртіла діаметром (60±0,15) мм і висотою (10±0,15) мм; металеве контртіло було виготовлено із сталі 45 (НВ 4,5±0,18 ГПа) і оброблено до початкового середнього арифметичного відхилення профілю поверхні Ra = 0,2±0,03 мкм.

Шлях тертя визначали за формулою:

$$S = K \cdot \Delta A, \quad (1)$$

$$\Delta A = A_k - A_n, \quad (2)$$

де K – коефіцієнт перерахунку; A_n – показник на спідометрі перед дослідженням; A_k – показник на спідометрі після дослідження.

$$K = \frac{2\pi R_{TP} n}{\Delta A_T}, \quad (3)$$

де R_{TP} – радіус тертя, мм; ΔA_T – показники при таруванні на 1 км показників шкали; n – число обертів шпинделя.

Коефіцієнт тертя розраховували за наступними формулами:

$$\mu = \frac{F_{TP}}{N} = \frac{L \cdot f}{F_{TP} \cdot N}, \quad (4)$$

де F_{TP} – сила тертя, Н; N – нормальне навантаження, Н; R_{TP} – радіус тертя, мм; f – зусилля, що згинає тензобалку, Н; L – плече моменту тертя M_L = f L, [мм·Н].

За результатами цього експерименту розраховували інтенсивність об'ємного зношування для шляху тертя ΔS_i:

$$I_1 = \frac{\Delta V_{1i}}{N_i \cdot \Delta S_1}, \quad (5)$$

$$I_2 = \frac{\Delta V_{2i}}{N_i \cdot \Delta S_2}. \quad (6)$$

де ΔV_{1i} – зміна об’єму і-зразка на проміжку шляху тертя S_1 (нелінійна залежність зношування від шляху тертя); ΔV_{2i} – зміна об’єму і-зразка на проміжку шляху тертя S_2 (лінійна залежність зношування від шляху тертя).

Нормальне навантаження на один зразок дорівнювало $N_i = 100$ Н, швидкість ковзання $V = 1,1$ м/с, температура, заміряна на відстані 0,5 – 1 мм від поверхні контртіла, $T = (323 \pm 2)$ К при випробуванні без мащення.

Результати експериментальних досліджень антифрикційних властивостей фторопластових матеріалів і їх обговорення

Виконані дослідження антифрикційних властивостей композиційних фторопластових матеріалів модифікованих комбінованим наповнювачем, а саме: вуглецевим волокном (ВВ) з тканини «Текарм» та скловолоконно ВМП і вуглецевим волокном (ВВ) з тканини ТГН-2М та скловолоконно ВМП. Антифрикційні випробування виконували на шляху тертя для фторопластових матеріалів позицій 1–3 і 6–8: $\Delta S_1 = 20$ км і $\Delta S_2 = 20$ км, а для матеріалів позицій 4,5,9: $\Delta S_1 = 2$ км і $\Delta S_2 = 4$ км. Результати досліджень наведені на рис. 2 і 3 для шляху тертя ΔS_2 .

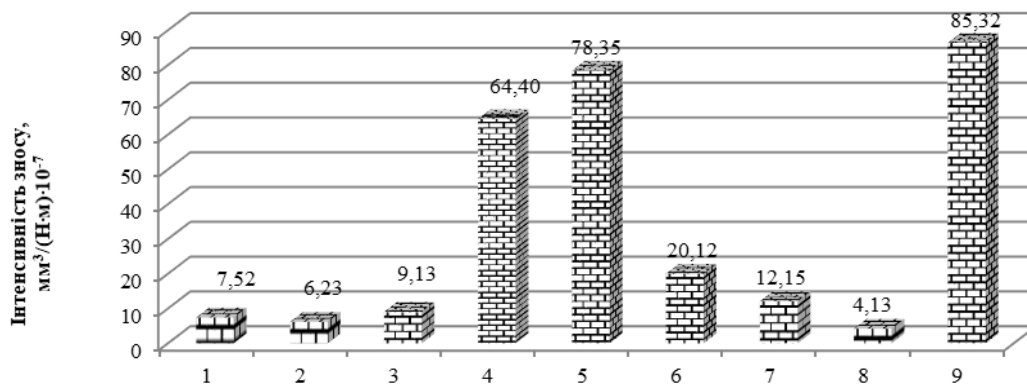


Рис. 2. Гістограма інтенсивності зносу антифрикційних фторопластових матеріалів, модифікованих вуглецевими і скловолокнами: 1 – Ф4ВВ20; 2 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (19 мас. %) + скловолоконно ВМП (1 мас. %); 3 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (18 мас. %) + скловолоконно ВМП (2 мас. %); 4 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (15 мас. %) + скловолоконно ВМП (5 мас. %); 5 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (10 мас. %) + скловолоконно ВМП (10 мас. %); 6 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини ТГН-2М (19 мас. %) + скловолоконно ВМП (1 мас. %); 7 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини ТГН-2М (18 мас. %) + скловолоконно ВМП (2 мас. %); 8 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини ТГН-2М (15 мас. %) + скловолоконно ВМП (5 мас. %); 9 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини ТГН-2М (10 мас. %) + скловолоконно ВМП (10 мас. %);

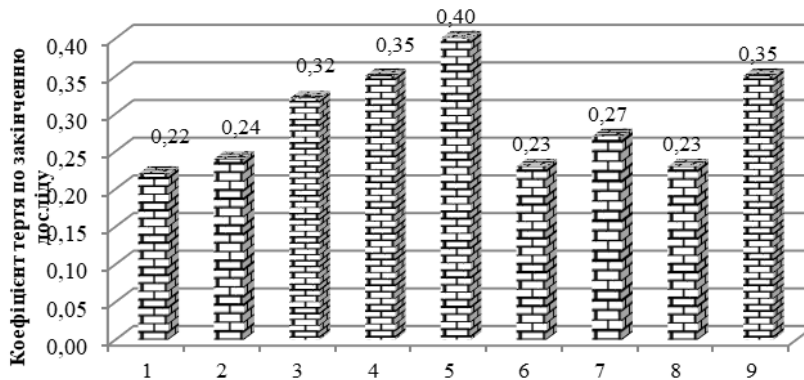


Рис. 3. Гістограма коефіцієнта тертя по закінченню дослідження фторопластових матеріалів, модифікованих вуглецевими і скловолокнами: 1 – Ф4ВВ20; 2 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (19 мас. %) + скловолоконно ВМП (1 мас. %); 3 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (18 мас. %) + скловолоконно ВМП (2 мас. %); 4 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (15 мас. %) + скловолоконно ВМП (5 мас. %); 5 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (10 мас. %) + скловолоконно ВМП (10 мас. %); 6 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини ТГН-2М (19 мас. %) + скловолоконно ВМП (1 мас. %); 7 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини ТГН-2М (18 мас. %) + скловолоконно ВМП (2 мас. %); 8 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини ТГН-2М (15 мас. %) + скловолоконно ВМП (5 мас. %); 9 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини ТГН-2М (10 мас. %) + скловолоконно ВМП (10 мас. %);

Встановлено, що при розробці антифрикційних матеріалів на основі фторопластів необхідно вибирати такі системи полімер-наповнювач, з яких формувались би на метали при терті проміжні плівки за одним з механізмів з наповнювача або з полімеру [7,8,10]. Реалізація другого механізму дає більш зносостійкі пари тертя, причому для підвищення адгезії такої проміжної плівки до металу необхідно наявність в композиті легкого абразиву, що полегшує утворення ювенільної поверхні, активної до диспергуючої матриці.

Прикладом такої системи може слугувати система фторопласт – дисульфід молібдену – графіт, при терті якої в сухому газі або вакуумі дисульфід молібдену слугує твердим мастилом, а графіт абразивом; при

терті в киснемістких середовищах або вологих газах графіт виконує функції твердого мастила, а оксиди молібдену, що утворюються при окисленні дисульфиду молібдену ювенюють металеву поверхню.

Для фторопластових композитів з вуглецевим волокном реалізується перший механізм утворення проміжної плівки. При введенні до складу таких карбопластиків легкого абразиву можна реалізувати і другий механізм утворення проміжної плівки. З цією метою і було введено до складу композиційного матеріалу на основі фторопласта-4 і вуглецевого волокна легкого абразиву, функції якого виконує скловолокно.

Виконані дослідження антифрикційних властивостей композиційних матеріалів на основі фторопласту-4, модифікованих комбінованими наповнювачами: ВВ з тканини «Текарм» і порошку свинцю, а також ВВ з тканини «Текарм» і порошку закису міді. Результати цих досліджень наведені на рис. 4–6 для шляху тертя $\Delta S_2 = 40$ км.

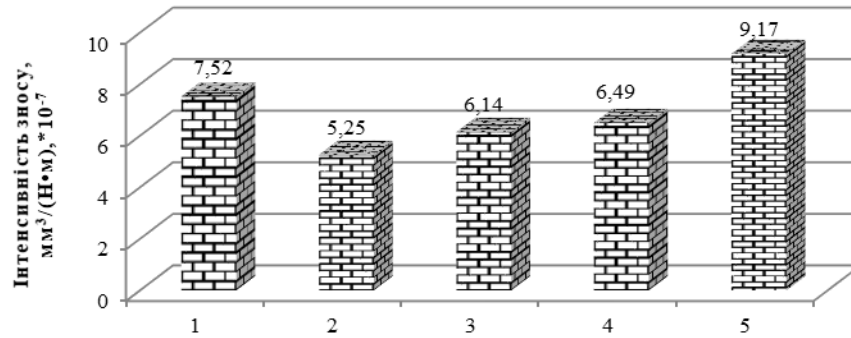


Рисунок 4. Гістограма інтенсивності зносу антифрикційних фторопластових матеріалів, модифікованих вуглецевим волокном (ВВ) і порошком свинцю: 1 – Ф4ВВ20; 2 – Фторопласт-4 (70 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (25 мас. %) + порошок свинцю (5 мас. %); 3 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (15 мас. %) + порошок свинцю (5 мас. %); 4 – Фторопласт-4 (70 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (15 мас. %) + порошок свинцю (15 мас. %); 5 – Фторопласт-4 (70 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (20 мас. %) + порошок свинцю (10 мас. %)

Встановлено, що оптимальний вміст скловолокна ВМП в композиті на основі фторопласту-4, модифікованого 19 мас. % ВВ з тканини «Текарм» складає 1 мас. %, а в композиті на основі фторопласту-4, модифікованого 15 мас. % ВВ з тканини ТГН-2М – 5 мас. %. Необхідно відмітити, що зі збільшенням вмісту скловолокна в композитах на основі фторопласту-4 і вуглецевих волокон інтенсивність зносу і коефіцієнт тертя суттєво зростають.

В результаті проведених досліджень також встановлено, що композиційний матеріал на основі фторопласту-4, ВВ з тканини «Текарм» і закису міді має більшу зносостійкість ніж матеріал на основі фторопласту-4, ВВ з тканини «Текарм» і свинцю.

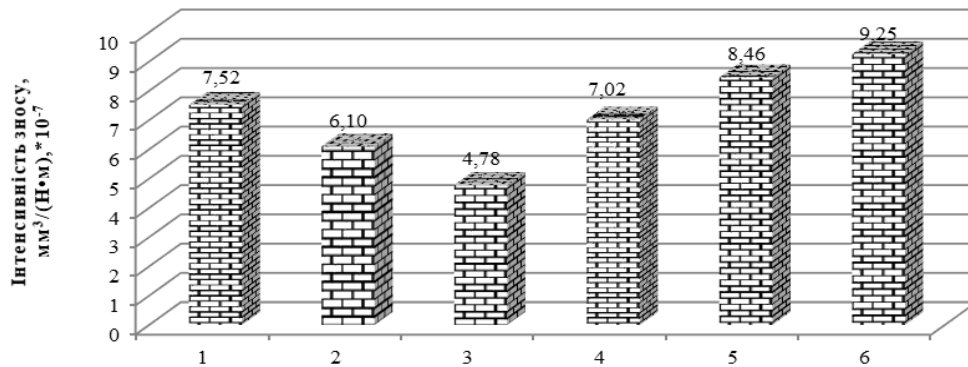


Рисунок 5. Гістограма інтенсивності зносу антифрикційних фторопластових матеріалів, модифікованих вуглецевим волокном і порошком закису міді: 1 – Ф4ВВ20; 2 – Фторопласт-4 (65 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (20 мас. %) + порошок закису міді (15 мас. %); 3 – Фторопласт-4 (70 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (15 мас. %) + порошок закису міді (15 мас. %); 4 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (10 мас. %) + порошок закису міді (10 мас. %); 5 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (15 мас. %) + порошок закису міді (5 мас. %); 6 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (10 мас. %) + порошок закису міді (10 мас. %)

Оптимальні антифрикційні властивості мають фторопластові композиційні матеріали, модифіковані 15 мас. % ВВ з тканини «Текарм» і 15 мас. % закису міді, а також 25 мас. % ВВ з тканини «Текарм» і 5 мас. % свинцю. Необхідно відмітити, що для карбопластиків, модифікованих оптимальними кількостями закису міді або свинцю характерно крім високої зносостійкості і дещо нижчі коефіцієнти тертя, що важливо для зменшення втрат потужності при експлуатації поршневих компресорів (рис. 6).

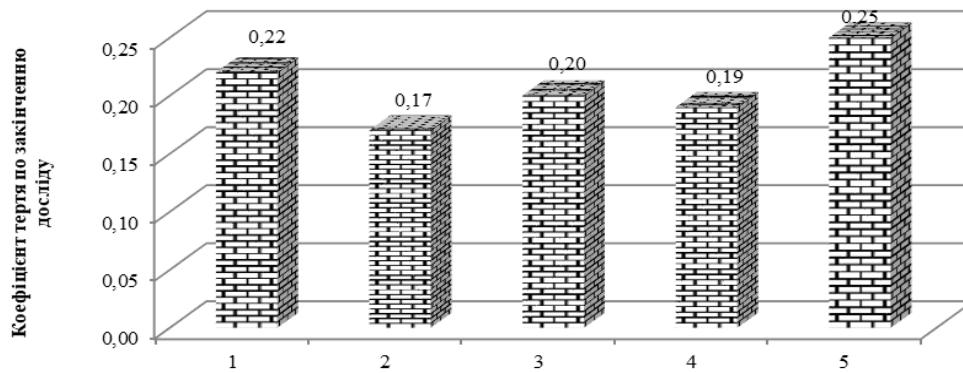


Рисунок 6. Гістограма коефіцієнта тертя по закінченню досліджу фторопластових матеріалів, модифікованих вуглецевим волокном і порошками свинцю або закису міді: 1 – Ф4ВВ20; 2 – Фторопласт-4 (70 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (25 мас. %) + порошок свинцю (5 мас. %); 3 – Фторопласт-4 (70 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (20 мас. %) + порошок свинцю (10 мас. %); 4 – Фторопласт-4 (70 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (15 мас. %) + порошок закису міді (15 мас. %); 5 – Фторопласт-4 (65 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (20 мас. %) + порошок закису міді (15 мас. %).

Експериментальні результати по дослідженню зносостійкості розроблених матеріалів знайшли підтвердження розрахунками з визначенням параметрів моделі зношування [11] (Табл.2).

Таблиця 2

Результати випробувань і визначення параметрів моделі зношування антифрикційних матеріалів

№	Матеріал	β	$C \frac{мм}{мм\beta}$	K_w	m	k
1	Ф4ВВ20	0,149	0,191	$6,158 \cdot 10^{-6}$	2,336	1,0
2	Фторопласт-4 (70 мас. %)+25 мас. % ВВ з тканини «Текарм» і 5 мас. % порошку свинцю	0,146	0,183	$3,706 \cdot 10^{-6}$	2,425	0,73
3	Фторопласт-4 (80 мас. %)+19 мас. % ВВ з тканини «Текарм» і 1 мас. % скловолокна	0,166	0,135	$1,673 \cdot 10^{-6}$	2,012	0,81
4	Фторопласт-4 (70 мас. %)+15 мас. % ВВ з тканини «Текарм» і 15 мас. % порошку закису міді.	0,084	0,494	0,0011	4,952	0,41

Порівняння зносу антифрикційних матеріалів:

$$K = \frac{U_{W1}}{U_{W2}} = \frac{K_{W1}(0.06)^{m_1}}{K_{W2}(0.06)^{m_2}} = 0.73,$$

$$K = \frac{U_{W1}}{U_{W3}} = \frac{K_{W1}(0.06)^{m_1}}{K_{W3}(0.06)^{m_3}} = 0.81,$$

$$K = \frac{U_{W1}}{U_{W4}} = \frac{K_{W1}(0.06)^{m_1}}{K_{W4}(0.06)^{m_4}} = 0.41,$$

Встановлено, що за зносостійкістю фторопластовий композиційний матеріал модифікований 15 мас. % ВВ з тканини «Текарм» і 15 мас. % закису міді переважає матеріал Ф4ВВ20 на 59,0 %, а фторопластовий композиційний матеріал модифікований 25 мас. % ВВ з тканини «Текарм» і 5 мас. % порошку свинцю переважає матеріал Ф4ВВ20 на 27 %.

Композит на основі фторопласту-4, модифікованого 19 мас. % ВВ з тканини «Текарм» і 1 мас. % скловолокна за зносостійкістю переважає матеріал Ф4ВВ20 на 19,0 %.

За результатами повторних дослідів (повторний етап дослідження) визначені дисперсії відтворюваності антифрикційних характеристик (інтенсивності зносу – $S_f^2 = 8.6 \cdot 10^{-14}$ і коефіцієнту тертя – $S_\mu^2 = 0.002$) композиційного матеріалу на основі фторопласту-4, 15 мас. % ВВ з тканини «Текарм» і 15 мас. % закису міді.

Отримані чисельні значення дисперсій відтворюваності S_f^2 і S_μ^2 свідчать про достатньо високу точність проведених експериментальних досліджень.

Висновки

1. З метою покращення антифрикційних властивостей до складу композиційного матеріалу на основі фторопласту-4 і вуглецевого волокна доцільно вводити в якості третього компонента скловолокно, порошки закису міді або свинцю. Встановлено, що оптимальний вміст скловолокна в композиті на основі фторопласта-4, модифікованого 19 мас. % ВВ з тканини «Текарм» складає 1 мас. %, а в композиті на основі фторопласту-4, модифікованого 15 мас. % ВВ з тканини ТГН-2М – 5 мас. %. При цьому за зносостійкістю композит на основі фторопласту-4, модифікованого 19 мас. % ВВ з тканини «Текарм» і 1 мас. % скловолокна переважає

матеріал Ф4ВВ20 на 19 %, а композит на основі на основі фторопласту-4, модифікованого 15 мас. % ВВ з тканини ТГН-2М і 5 мас. % скловолокна переважає матеріал Ф4ВВ20 на 47 %.

2. Оптимальні антифрикційні властивості мають фторопластові композиційні матеріали модифіковані 15 мас. % ВВ з тканини «Текарм» і 15 мас. % закису міді або 25 мас. % ВВ з тканини «Текарм» і 5 мас. % порошку свинцю. За зносостійкістю фторопластовий композиційний матеріал модифікований 15 мас. % ВВ з тканини «Текарм» і 15 мас. % закису міді переважає матеріал Ф4ВВ20 на 59 %, а фторопластовий композиційний матеріал модифікований 25 мас. % ВВ з тканини «Текарм» і 5 мас. % порошку свинцю переважає матеріал Ф4ВВ20 на 27 %.

3. Експериментальні результати дослідження зносостійкості розроблених матеріалів знайшли підтвердження в результаті розрахунків з визначенням параметрів моделі зношування.

4. Розроблені модифіковані фторопластові матеріали триботехнічного призначення рекомендовані для підвищення зносостійкості і зменшення коефіцієнта тертя вузла тертя поршневе ущільнення – циліндр компресора кондиціонера автомобіля.

Література

1. Конструкція кондиціонера [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://genstar.ua/poleznye-stati/ustrojstvo-avtokondicijonera>
2. Sina Ebnesajjad. Fluoroplastics Volume 1: Non-Melt Processible Fluoropolymers / Sina Ebnesajjad. – The Definitive User's Guide and Data Book. – Second Edition. – 2015. – 698 p.
3. Свідерський В. П. Підвищення зносостійкості поршневого ущільнення компресора 2ФВ-4/4.5 кондиціонера GMS / В. П. Свідерський, Л. П. Мельничук, Д. І. Клак // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2012. – № 1. – С. 15-18.
4. Монтач О. Ю. Підвищення зносостійкості пари тертя втулка – рейка в рульовому управлінні автомобіля "Таврія Нова" / О. Ю. Монтач, А. Г. Кузьменко, В. П. Свідерський // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2006. - №4. – с. 18 – 20.
5. Дослідження механічних і антифрикційних властивостей фторопластових карбопластиків, модифікованих нанопорошками діоксиду цирконію. / В. П., Свідерський, Т. Є., Константінова, В. А. Глазунова, [і ін.] // Проблеми трибології. – 2014. – № 2. – С. 103–110.
6. Dykha A., Svidersky V., Danilenko I., Bilichenko V., Kukurudzyak Y u., Kirichenko L. et. al. (2020). Design and study of nanomodified composite fluoropolymer materials for tribotechnical purposes / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5(12-107), pp. 38-48, doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.205779>
7. Наукові основи розробки полімерних композиційних матеріалів триботехнічного призначення на основі політетрафторетилену : монографія / Х. В. Берладір, О. А. Будник, К. О. Дядюра та ін. ; за заг. ред. К. О. Дядюри. – Суми : Сумський державний університет, 2017. – 176 с.
8. Yan Y. Preparation and mechanical properties of PTFE/nano-EG composites reinforced with nanoparticles / Y. Yan, Z. Jia, Y. Yang // Procedia Environmental Sciences. – 2011. – V. 10. – P. 929-935.
9. Baziuk L. V. Thermophysical Properties of Metals and Polymer Compositions / L. V. Baziuk, H. A. Sirenko // Фізика і хімія твердого тіла. – 2013. –Т. 14, № 1. – С. 21-27.
10. Технологічне забезпечення довговічності технічних трибосистем : монографія / О. В. Диха, В. П. Свідерський, О. С. Дробот, Н. С. Машовець. – Хмельницький : ХНУ, 2021. – 178 с.
11. Кузьменко А. Г. Методи розрахунків і випробувань на зношування та надійність: Навч. посібн. / А. Г. Кузьменко. – Хмельницький: ТУП, 2002. – 151 с.

References

1. Konstruktisiia kondytsionera [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://genstar.ua/poleznye-stati/ustrojstvo-avtokondicijonera>
2. Sina Ebnesajjad. Fluoroplastics Volume 1: Non-Melt Processible Fluoropolymers / Sina Ebnesajjad. –The Definitive User's Guide and Data Book. – Second Edition. – 2015. – 698 p.
3. Sviderskyi V. P. Pidvyshchennia znosostiikosti porshnevoho ushchilnennia kompresora 2FV-4/4.5 kondytsionera GMS / V. P. Sviderskyi, L. P. Melnychuk, D. I. Klak // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2012. – № 1. – S. 15-18.
4. Montach O. Yu. Pidvyshchennia znosostiikosti pary tertia vtulka – reika v rulovomu upravlinni avtomobilia Tavriia Nova / O. Yu. Montach, A. H. Kuzmenko, V. P. Sviderskyi // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2006. - №4. – P. 18 – 20.
5. Doslidzhennia mekhanichnykh i antyfrityktsiinykh vlastyvostei ftoroplastovykh karboplastykyv, modyfikovanykh nanoporoshkami dioksydu tsyrkoniiu. / V. P. Sviderskyi, T. Ye., Konstantynova, V. A. Hlazunova, [i in.] // Problemy trybolohii. – 2014. – № 2. – P. 103–110.
6. Dykha A., Svidersky V., Danilenko I., Bilichenko V., Kukurudzyak Yu., Kirichenko L. et. al. (2020). Design and study of nanomodified composite fluoropolymer materials for tribotechnical purposes / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5(12-107), pp. 38-48, doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.205779>
7. Naukovi osnovy rozrobky polimerykh kompozytsiinykh materialiv trybotekhnichnoho pryznachennia na osnovi politetraftoretylenu: monohrafiia / Kh. V. Berladir, O. A. Budnyk, K. O. Diadiura ta in. ; za zah. red. K. O. Diadiury. – Sumy: Sumskyi derzhavnyi universytet, 2017. – 176 p.
8. Yan Y. Preparation and mechanical properties of PTFE/nano-EG composites reinforced with nanoparticles / Y. Yan, Z. Jia, Y. Yang // Procedia Environmental Sciences. – 2011. – V. 10. – P. 929-935.
9. Baziuk L. V. Thermophysical Properties of Metals and Polymer Compositions / L. V. Baziuk, H. A. Sirenko // Fizyka i khimiia tverdoho tila. – 2013. –Т. 14, № 1. – P. 21-27.
10. Tekhnolohichne zabezpechennia dovhovichnosti tekhnichnykh trybosystem : monohrafiia / O. V. Dykha, V. P. Sviderskyi, O. S. Drobot, N. S. Mashovets. – Khmelnytskyi : KhNU, 2021. – 178 p.
11. Kuzmenko A. H. Metody rozrakhunkiv i vyprobuvan na znoshuvannia ta nadiinist: Navch. posibn. / A. H. Kuzmenko. – Khmelnytskyi: TUP, 2002.– 151 p.