

УДК 621.51:52 (075.8)

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПОРШНЕВИХ КІЛЕЦЬ АВТОМОБІЛЬНИХ ГАЗОНАПОВНЮВАЛЬНИХ КОМПРЕСОРНИХ СТАНЦІЙ

В.П. Свідерський, доц., канд. техн. наук,
Л.М. Кириченко, старший науковий співробітник,
С.А. Гриньков, ст. гр. МТВАм-20-1,
А.В. Васишин, ст. гр. МТВАм-20-1,
Хмельницький національний університет, м.Хмельницький, Україна

Конструкція автомобільних газонаповнювальних компресорних станцій (АГНКС) потребує застосування ефективних полімерних матеріалів для ущільнювальних елементів, що могли б працювати при тиску нагнітання до 30 МПа, за температури 423 К та терміну роботи від 7000 до 15000 годин без мащення.

Використання антифрикційних полімерних матеріалів нового покоління та відповідно підвищення зносостійкості вузлів тертя без мащення свідчить про той факт, що створення нових компресорів для стиснення природного газу та застосування їх в АГНКС приведе до значної економії пального.

При цих умовах економія палива планується до дванадцяти мільйонів тонн на рік із розрахунку економії 10 тонн бензину на один автомобіль. При переведенні автомобіля на газ слід відмітити наявні переваги: газ не розбавляють, він має значно нижчу собівартість та не такий обтяжливий для двигуна, як рідке паливо. Окрім економії пального та мастила, переведення автомобіля на газ дозволяє знизити викиди в атмосферу шкідливих речовин майже на 40 відсотків.

Таким чином, для підвищення зносостійкості та надійності конструкцій машин необхідне застосування сучасних, екологічних та економічно обґрунтованих технологічних процесів підвищення зносостійкості поверхонь тертя, так як це впливає на довговічність вузлів тертя.

Для деталей, що працюють в умовах контактної взаємодії, ця проблема зумовлює необхідність розробки нових композиційних матеріалів деталей машин для підвищення їх експлуатаційних параметрів.

Одним із перспективних методів, що дозволяють вирішити поставлене завдання – це створення композиційних матеріалів з використанням принципу багаторівневого модифікування полімерної матриці шляхом введення в політетрафторетилен суміші наповнювачів різного складу та дисперсності, а саме: вуглецевих волокон та наномодифікаторів [1].

В роботі [2] встановлено, що перспективними антифрикційними матеріалами є карбопластики типу флубон (Ф4ВВ20, Ф4К10ВВ10 – матеріали на основі політетрафторетилену і наповнювачів: вуглецевого волокна, що отримане за особливою технологією, модифіковане спеціальними добавками і коксом. Для покращення фізико-механічних та антифрикційних характеристик цих матеріалів використано принцип багаторівневого модифікування полімерної матриці. Реалізація даного принципу здійснюється шляхом введення в ПТФЕ суміші наповнювачів різного складу та дисперсності – вуглецевих волокон, коксу і нанодисперсних частинок, вибраних з групи оксидів цирконію [3].

Мета роботи полягала в тому, щоб, виходячи з аналізу умов роботи автомобільної газонаповнювальної компресорної станції, розробити метод підвищення зносостійкості поршневих кілець та перевірити на лабораторних установках працездатність антифрикційного полімерного матеріалу Ф4ВВ20 з різними наномодифікаторами.

Досліджено умови роботи пари поршневе ущільнення – циліндр компресора. Надані рекомендації по конструюванню поршневих кілець і експандерів. Освоєна технологія технічного обслуговування і поточного ремонту агрегату та вузла тертя поршневе ущільнення – циліндр компресора.

Розроблено технологію виготовлення поршневого ущільнення для компресора з наномодифікованих матеріалів Ф4ВВ20.

Досліджено зносостійкість наномодифікованих матеріалів Ф4ВВ20. Випробування на зносостійкість проведені на установці ХТІ-72 [5]. 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 мм контактували сферою по площині металевого контртіла діаметром $(60 \pm 0,15)$ мм та висотою $(10 \pm 0,15)$ мм; металеве контртіло було виготовлено зі сталі 45 ($HV = 4,5 \pm 0,18$ ГПа) і оброблено до початкового середнього арифметичного відхилення профілю поверхні $R_{a0} = 0,2 \pm 0,03$ мкм.

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

$$I_i = \frac{\Delta V_i}{N_i \cdot \Delta S_i}; \quad (1)$$

де ΔV_i – зміна об'єму і-зразка на проміжку шляху тертя від 0 до 3 км (нелінійна залежність зношування від шляху тертя) і 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 $S_1 = 0-3$ км, $S_2 = 3-23$ км.

Визначена оптимальна концентрація нанонаповнювачів $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ ($700^\circ C$) і $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ ($500^\circ C-2h$) – 2 мас. %, а $Zr(Y)O(OH)_2$ і фулерену C_{60} – 1 мас. %, максимальної структуруючої дії, перевищення якої приводить до утворення по границях сферолітів сітчастого розташування координаційно зв'язаних ультрадисперсних частинок. При введенні до складу Ф4ВВ20 1 мас. % фулерену C_{60} або 1 мас. % гідроксиду цирконію $Zr(Y)O(OH)_2$ зносостійкість композиту зростає відповідно в 1,55 та 2,08 разів.

Встановлено, що найбільш суттєвий вплив на зносостійкість фторопластового карбопластика Ф4ВВ20 спричиняє оксидний модифікатор $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ ($700^\circ C$): за зносостійкістю карбопластик модифікований 2 мас. % діоксиду цирконію $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ ($700^\circ C$) переважає матеріал Ф4ВВ20 в 3,42 рази.

За ефективністю впливу на зносостійкість матеріалу Ф4ВВ20 наномодифікатори можна розташувати в наступний ряд: $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ ($700^\circ C$) > $Zr(Y)O(OH)_2$ > Фулерен C_{60} > $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ ($500^\circ C - 2h$).

Досліджено міцність на розтяг наномодифікованих матеріалів Ф4ВВ20. Механічні випробування фторполімерних композиційних матеріалів виконують на розтяг з застосуванням зразків, як плоских, трубчастих, так і кільцевих. Основним недоліком плоских зразків вважають достатні проблеми при кріпленні в захватах випробувального обладнання. Оскільки, ширина та довжина плоских зразків є невеликими, тому важко уникнути їх проковзування, або роздавлювання в захватах. Частково цей недолік ліквідовують методом наклеювання до смуги зразка або приварювання накладки з матеріалу. Ця накладка має на відміну від досліджуваного наномодифікованого матеріалу меншу жорсткість але більшу пластичність. Допускається в деяких випадках в якості накладок використовувати дерев'яний шпон. Досить часто, за результатами досліджень при осьовому розтягу плоских та трубчастих зразків, результати не співпадають. Основною причиною такої невідповідності результатів є

відмінність в технології одержання, а також у схемах напруженого стану зразків. Результати досліджень плоских та трубчастих зразків неможливо порівнювати через те, що у трубчастих зразках спостерігається концентрація напружень найбільшою мірою біля захватів, а розподілення напружень по довжині трубчастого зразка відрізняється від розподілу напружень у плоскому зразку. Специфічні характеристики антифрикційних композиційних матеріалів, а саме таких як: наявність внутрішніх напружень, ступінь натягу волокон, їх викривлення, враховуються за допомогою досліджень кільцевих зразків.

Для визначення межі розтягу зразків дослідні експерименти були виконані на розривній машині МР-05-1, за швидкості переміщення затискачів 15 мм/хв. Дослідження міцності на розтяг антифрикційних композиційних матеріалів виконували згідно ГОСТ 11262-80 при навантаженні жорстких напівдисків, на які одягається досліджуване кільце.

При цьому, межу міцності на розтяг (σ_p , МПа) визначали за формулою:

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

де P – розривне зусилля, Н; h – висота зразка, мм; R – зовнішній радіус кільця, мм; r – внутрішній радіус кільця, мм.

Цей результат не є істинною характеристикою і може бути використаний лише як порівняльний, так як біля роз'ємів напівдисків спостерігаються деформації розтягу та згину, в результаті зміни кривизни кільця. Співвідношення деформації розтягу та згину залежать від відношення товщини стінки кільця до його діаметру. У цьому випадку, вплив згину є більш вагомим, якщо співвідношення є більш відмінним, а значення анізотропії композитного матеріалу є вищим. Тому з кільцевими зразками отримували дослідження лише, як порівняльні.

Результати дослідження на розтяг наномодифікованих карбопластиків Ф4ВВ20 показали, що при введенні до складу композиційного матеріалу 2 мас. % ZrO_2 + 3% Y_2O_3 (700°C) межа міцності під час розтягу зростає на 38 відсотків.

Наведено механізм модифікуючої дії ультрадисперсних наповнювачів на структуру політетрафторетилену і з врахуванням характеристик електронного стану з'єднань.

Самими важливими характеристиками електронного стану з'єднань є потенціали іонізації, спорідненість до електрону та електровід'ємність (ЕВ). На даний час відомо, що специфіка електронного стану ультрадисперсного наповнювача визначається аномаліями кристалічної ґратки. Це ініціює усунування електронної системи усіма елементами з'єднань та делокалізацію електронної густини [4]. В подібному стані ультрадисперсні наповнювачі характеризуються як ємності електронної густини та є активними електронодонорами. Очевидно, свій вагомий вклад в міграцію електронів вносять поляризаційні ефекти іонів, які є складовими ультрадисперсних наповнювачів.

Зменшення електровід'ємності та потенціалів іонізації структуроутворюючих катіонів відповідно сприяє підвищенню делокалізації електронів у системі та збільшенню електронодонорних властивостей ультрадисперсних наповнювачів. В макромолекулі політетрафторетилену зв'язок С–F є поляризований, в результаті цього на атомі вуглецю має місце частковий позитивний заряд, і відповідно вуглець може виступати в якості центру для нуклеофільної атаки сильних електронодонорів. Згідно сучасних досліджень, донорно-акцепторна взаємодія активних центрів компонентів полімерного композиту в більшості випадків є домінуючою в процесах адсорбції та адгезії [4]. Взаємодія політетрафторетилену з ультра дисперсним наномодифікатором може відбуватись за донорно-акцепторним механізмом взаємодії, який зображений на рис.1.

Отже, міжмолекулярна взаємодія в матеріалах політетрафторетилен та наномодифікатор, що реалізується за донорно-акцепторним механізмом, формує адгезійний контакт полімер – наповнювач за рахунок молекулярних сил та підвищує інтенсивність адгезії в граничних зонах.

Таким чином, можна припустити, що першим фактором, який сприяє підсиленню активності ультрадисперсного наповнювача по відношенню до полімерного матеріалу є електронний стан структуроутворюючих атомів, які характеризуються електровід'ємністю та потенціалом іонізації. Наступним фактором, що підсилює електроннодонорні властивості ультрадисперсного наповнювача є структура кристалічної ґратки. Відомо [4,5], що для нанорозмірних частинок твердих тіл може мати місце дефектність кристалічної ґратки. Ця кристалічна ґратка пов'язана зі значною зміною валентних кутів та зв'язків, що приводить до коливальних збуджень атомів, в результаті електронного збудження та іонізації.

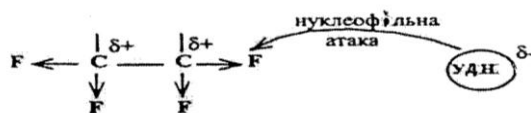


Рисунок 1 – Донорно-акцепторний механізм взаємодії в матеріалах ПТФЕ–УДН

Як правило, електронне збудження супроводжується переходом у квазіекзистантні стани, при яких відбувається висока рухомість та делокалізація електронів. В результаті цього, спостерігаємо кореляції між електронними властивостями, структурою кристалічної ґратки ультрадисперсного наповнювача з їх електроннодонорною активністю по відношенню до полімерного матеріалу. Для композиційних матеріалів, які модифіковані самими сильними електроннодонорами такими, як ультрадисперсні наповнювачі, характерне максимальне підвищення зносостійкості. Це, в свою чергу, може свідчити про ріст адгезійної міцності в міжфазних шарах.

Досить важливою характеристикою ультрадисперсних наповнювачів різного хімічного складу та технології отримання є їх висока хімічна та фізична активність в процесі структуроутворення при взаємодії з полімерним матеріалом [5]. Зазвичай, ефективність застосування ультрадисперсного наповнювача в якості модифікатора фторполімерного матеріалу зумовлена його енергетичними параметрами. Ця обставина надає широкі можливості для реалізації різних хімічних та фізичних процесів на міжфазних межах наповнювача та полімерного матеріалу. Відомо, що ультрадисперсні наповнювачі, такі як нітриди та оксиди перехідних металів, досить суттєво впливають на утворення сферолітної структури в об'ємі композиційного матеріалу. В даному випадку, відбувається значне підвищення зносостійкості при одночасному незначному зменшенні величини міцності композитів. Це не залежить від хімічної природи частинок наповнювача [4,5].

Таким чином, встановлено, що у відповідності з запропонованим механізмом структуроутворення, підвищення опору зношуванню та покращення термомеханічних характеристик композиційних фторполімерних матеріалів зумовлено додатковим структуроутворюючим впливом ультрадисперсних наповнювачів, а також їх здатністю до термодинамічної сумісності дисперсних частинок та полімерного матеріалу.

Список використаних джерел

1. Наукові основи розробки полімерних композиційних матеріалів триботехнічного призначення на основі політетрафторетилєну : 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.
2. 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.
3. Сіренко Г. О. Створення антифрикційних композитних матеріалів на основі порошків термотривких полімерів та вуглецевих волокон: Дис. доктора техн. наук. Ін-т матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАНУ / Сіренко Геннадій Олександрович, К., – 1997. – 431 с.
4. Polymers containing fullerene or carbon nanotube structures / C. Wang [a.o.] // Prog. Polym. Sci. – 2004. – V. 29. – P. 1079–1141.
5. Coleman, J. N. Small but strong: A review of the mechanical properties of carbon nanotube-polymer composites / J. N. Coleman [a.o.] // Carbon. – 2006. – V. 44, № 9. – P. 1624–1652.