

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПОРШНЕВИХ КІЛЕЦЬ КОМПРЕСОРА АВТОМОБІЛЬНОГО КОНДИЦІОНЕРА

Свідерський В. П.¹, Яремчук В. С.², Шкільняк К. О.³

Хмельницький національний університет,

м. Хмельницький, вул. Інститутська, 11

E-mail: ¹svidersky.vladyslav@gmail.com,

²yaremchuk1954@gmail.com, ³kostyashkilszsh1@gmail.com

Складно уявити сучасний автомобіль без систем підвищення комфорту водія та пасажирів. Однією з таких систем є кондиціонер – герметична конструкція, заповнена фреоном R12 або R134a (холодоагент) і рефрижераторним або компресорним мастилом для мащення компресора та інших елементів системи.

Автомобільний кондиціонер – це достатньо зручний пристрій, який на сьогодні доступний до монтажу та установки майже у кожній моделі автомобіля. Крім регулювання температури повітря в салоні влітку, кондиціонер також допоможе уникнути запотівання скла в холодну погоду. Кондиціонер автомобіля забезпечує не тільки достатній комфорт, але і основу для активної безпеки водіння. Надмірна температура на вулиці при прямих променях сонця (влітку часто між 30 °C та 45 °C) – суттєво погіршує умови роботи водія, його витривалість, увагу і час реакції. Одна година поїздки на сонячному світлі при зовнішній температурі 30 °C викликає значне потовиділення, призводить до перегріву області голови, підвищує кров'яний тиск. В результаті цього погіршується самопочуття, знижується працездатність водія, а в екстрених випадках – збільшується гальмівний шлях.

Однак кожен додатковий пристрій схильний, як і будь-який механізм, до поломок та відмов у результаті зношення рухомих елементів. Це відноситься і до найбільш складного та дороговартісного вузла системи кондиціонування – компресора [2]. Компресор іноді називають «серцем» системи, настільки важлива його безперебійна робота для нормального функціонування кондиціонера. Водночас, саме компресор зазнає і найбільше навантаження.

Більшість компресорів в системі автомобільного кондиціонера мають механічний привід від колінчастого вала двигуна. Їх поділяють на компресори:

– постійного обертання, які з'єднані з колінчастим валом безпосередньо через шків та починають працювати одночасно з роботою двигуна. Але поки кондиціонер не потрібен, то його компресор працює без навантаження і тільки при увімкненні робочого режиму кондиціонера, він починає перекачувати холодоагент;

– непостійного обертання – з'єднуються з колінчастим валом через шків за допомогою соленоїда – електромагнітної муфти, яка спрацьовує при увімкненні кондиціонера і тільки тоді запускає в роботу компресор.

Інший варіант – компресори з власним приводом (електричні), які можуть працювати від акумулятора автомобіля в той час, коли двигун не працює. А для автомобілів із системою «старт-стоп» використовуються моделі агрегатів з комбінованим приводом.

Привід від колінчастого вала відбирає у двигуна орієнтовно від 1,5 до 15 к.с., залежно від моделі компресора і потужності самого двигуна.

Компресори розрізняються за типом конструктивного виконання на поршневі, аксіально-поршневі, аксіально-поршневі з косою шайбою, роторні (лопатеві і пластинчасті) та спіральні.

В основі конструкції поршневого компресора використовується схема, коли є кілька поршнів (рідко один) з різними варіантами розташування: по колу, V-подібно, опозитно або в ряд. Найчастіше можна зустріти кругове розташування, при якому встановлюють від 2 до 10 поршнів, що по чергово приводяться у рух обертотним нахиленим диском.

У поршневих компресорах є можливість регулювання робочого об'єму, від 2–3 до 100 %. Зміна об'єму здійснюється за рахунок переміщення рухомого диска (і відповідно поршнів) вздовж осі, в результаті чого зменшується або збільшується довжина ходу поршня [1]. Прикладом може бути компресор моделі 2ФВ-4/4.5 – поршневий, одноступінчатий, вертикальний, двоциліндровий, у якому холодоагентом виступає фреон-12. Зміна холодопродуктивності компресора досягається при збільшенні числа обертів на хвилину від 450 до 950 шляхом переведення пасової передачі на інший діаметр шківів маховика або його заміни.

У транспортних агрегатах для кондиціонування повітря використовують поршневі компресори трьох варіантів: двох-, шести- і п'ятициліндрові з пасовим приводом від колінчастого вала двигуна. Компресори забезпечують створення тиску, необхідного для конденсації холодагента, а також для його циркуляції в системі і створення низького тиску – для кипіння робочої рідини у випарнику. До системи «поршень – циліндр» пред'являють дві суперечливі вимоги: з одного боку, для забезпечення рухомості між ними повинен бути зазор; з іншої сторони, для запобігання витоку газу з порожнини нагнітання зазорів бути не повинно. Ця суперечливість конструктивно вирішується введенням системи поршневих кілець, які є проміжними деталями між поршнем та циліндром. Поршневі кільця забезпечують ущільнення спряження поршня з циліндром, зберігаючи при цьому можливість його переміщення. Це відбувається завдяки щільному приля-

ганню кілець до дзеркала циліндра, малим зазорам між кільцями і стінками канавок поршня та лабіринтній дії набору кілець. На один поршень зазвичай встановлюють кілька кілець. Матеріал гільзи – сірий перлітний чавун марки СЧ-24, твердістю НВ 180–240, а для поршневих кілець – чавун СЧ-18 (феритно-перлітний з пластинчастим графітом).

Поршневе кільце виконано з прорізю (замком) і в вільному стані має розмір більший від діаметра циліндра, тому коли кільце знаходиться в циліндрі, воно тисне на стінки циліндра з силою, яка відповідає силі пружності матеріалу. В канавку поршня кільце посаджено с зазором. При роботі компресора під дією різниці тисків попереду та позаду нього, зазор зменшується і кільце притискається до бокової поверхні канавки зі сторони меншого тиску. Тиск, що діє на внутрішню поверхню кільця, приблизно відповідає тиску перед кільцем. Разом з тим, цей тиск перевищує середній тиск, що діє на зовнішню поверхню кільця, у результаті чого отримується додаткове зусилля, яке притискає кільце до дзеркала циліндра.

Тиск, з яким поршневе кільце з експандером (металевим тонким пружним розрізним кільцем) притискається до дзеркала циліндра знайдемо за методикою, що викладена в роботі [5]. Він складає 0,72 МПа для першого кільця та 0,57 МПа – для другого. Розрахунки теплових зазорів у замку (f_0) і по висоті кільця (Δh) показують, що ці параметри становлять: $f_0 = 2,59$ мм, а $\Delta h = 0,075$ мм.

В роботі [6], з метою зменшення забруднення повітря мастилом і підвищення довговічності циліндро-поршневої групи, запропоновано переведення компресора моделі 2ФВ-4/4.5 на роботу в умовах обмеженого мащення.

В умовах обмеженого мащення, пара тертя «чавунне кільце – робоча поверхня циліндра» має достатньо низьку зносостійкість і для її підвищення у парі тертя запропоновано замінити матеріал поршневого кільця із чавуну СЧ-18 на інший антифрикційний матеріал, продукти зносу якого не засмічували би систему циркуляції холодоагента, а навпаки були би елементом мащення.

Оскільки ресурс поршневих кілець є меншим за ресурс всіх інших деталей поршневої групи, то необхідно його підвищити, за рахунок чого зросте і ресурс всієї групи в цілому. З підвищенням ресурсу вузла зменшуються затрати на ремонт та обслуговування компресора, що досягається за допомогою використання найбільш простого способу технологічного підвищення зносостійкості – шляхом заміни матеріалу кільця з чавуну СЧ-18 на антифрикційний конструкційний матеріал марки Ф4ВВ20 (фторопласт-4 і наповнювач – 20 % вуглецевого волокна з тканини УТМ-8) [3, 4].

Стенові дослідження проводили при наступних умовах: частота обертання двигуна $n = 1500$ об/хв; діаметр шківів на валу двигуна $d = 30$ мм; діаметр веденого шківів $D = 80$ мм; хід каретки за один оберт веденого шківів $l = 18$ мм; сила притискання кільця $Q = 3$ кг протягом часу випробовування τ (у хвиликах). Аналіз отриманих результатів показав, що ущільнення з матеріалу Ф4ВВ20 за зносостійкістю переважають ущільнення із чавуну СЧ-18 на 51 % [4].

Маючи ці результати, була сформульована мета нового етапу досліджень: вивчити умови роботи пари «поршневе кільце – циліндр» компресора 2ФВ-4/4.5, розробити методика та виконати лабораторні дослідження антифрикційних властивостей композиційних фторопластових матеріалів, модифікованих комбінованими наповнювачами.

Для досягнення цієї мети вирішувалось таке завдання: виконувалися експериментальні дослідження антифрикційних властивостей композиційних фторопластових матеріалів модифікованих вуглецевим волокном і порошками закису міді або свинцю.

Матеріали, методика досліджень. Для досліджень використовували композитні матеріали триботехнічного призначення на основі політетрафторетилену марки Ф-4 ПН (ГОСТ 10007-80), зарубіжний аналог Teflon 7 або TCI (ASTM D4895, ISO 12086) з модифікацією вуглецевими волокнами та порошками закису міді або свинцю.

Як наповнювач використовували вуглецеві волокна з тканини марки «Tekarm» (ТУ 48–20–17–77) або з графітованої тканини ТГН-2МК, виготовлених на основі гідратцелюлозної тканини. Для подрібнення волокон та змішування композиції використовували змільчувач-млинок моделі МРП-1 з подовими ножами (частота обертів – 7000 об/хв). Середня довжина волокон після подрібнення складала 50–200 мкм.

Підвищення зносостійкості композиційного полімерного матеріалу на основі політетрафторетилену (ПТФЕ) забезпечено в результаті модифікації його комбінованими наповнювачами. Дослідження зношування композитів проводилися на модифікованій машині тертя при терті полімерних зразків по металевих контртілах [3]. Робоча частина машини тертя складалася з шпинделя, на кінці якого була закручена головка з запресованою верхньою кулькою. Остання, разом з трьома нижніми кульками, що вільно перекочувались у чашці, складала чотирикулькову піраміду. Наявність верхньої кулькової опори (чотирикулькової піраміди) та нижньої підшипникової системи, яка складається з двох підшипників кочення – дворядного кульового радіально-упорного та упорного, дозволяє відцентрувати систему контакту, зменшити час припрацювання та виконувати вимірювання зносу без розбирання головки з дослідними зразками. Зразки закріплювали у головці, конструкція якої дозволяє виконувати її швидко зняття. Ви-

мірювання лінійних розмірів проводили у восьми точках разом з голівкою після її охолодження тривалістю не менше 0,5 год, за допомогою вертикального оптиметра (точність вимірювання 0,001 мм).

Антифрикційні дослідження виконувались за схемою контакту «сфера – площина», у режимі змінних граничних питомих навантажень при постійному прикладеному нормальному зусиллі. При цьому використовували зразки висотою $(10 \pm 0,1)$ мм і діаметром $(10 \pm 0,1)$ мм, які закінчувалися сферою радіусом 6,35 мм і контактували цією сферою по площині металевого контртіла діаметром $(60 \pm 0,15)$ мм та висотою $(10 \pm 0,15)$ мм. Металева контртіла було виготовлено із сталі 45 (НВ $4,5 \pm 0,18$ ГПа) і оброблено до початкового середнього арифметичного відхилення профілю поверхні $Ra = 0,2 \pm 0,03$ мкм.

За результатами цього експерименту розраховували інтенсивність об'ємного зношування для шляху тертя ΔS_i (км), використовуючи такі вирази:

$$I_1 = \frac{\Delta V_{1i}}{N_i \cdot \Delta S_1}$$

та

$$I_2 = \frac{\Delta V_{2i}}{N_i \cdot \Delta S_2}$$

де ΔV_{1i} – зміна об'єму i -го зразка на проміжку шляху тертя S_1 (де спостерігається початкова нелінійна залежність зношування від шляху тертя – період припрацювання); ΔV_{2i} – зміна об'єму i -го зразка на проміжку шляху тертя S_2 (лінійна залежність зношування від шляху тертя – період сталого зносу).

Нормальне зусилля на один зразок становило $N_i = 100$ Н, швидкість ковзання $V = 1,1$ м/с, температура, заміряна на відстані 0,5–1 мм від поверхні контртіла була у межах $T = (323 \pm 2)$ К при режимі випробування без мащення.

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

Оптимальні антифрикційні властивості мають фторопластові композиційні матеріали, модифіковані 15 мас. % вуглецевого волокна з тканини «Текарм» і 15 мас. % закису міді, а також 25 мас. % вуглецевого волокна з тканини «Текарм» і 5 мас. % свинцю. Необхідно також відмітити, що для карбопластиків, модифікованих оптимальними

кількостями закису міді або свинцю характерно крім високої зносостійкості і дещо нижчі значення коефіцієнта тертя.

За зносостійкістю фторопластовий композиційний матеріал модифікований 15 мас. % вуглецевого волокна з тканини «Текарм» і 15 мас. % закису міді переважає базовий матеріал Ф4ВВ20 на 64,4 %, а фторопластовий композиційний матеріал модифікований 25 мас. % вуглецевого волокна з тканини «Текарм» і 5 мас. % порошку свинцю переважає матеріал Ф4ВВ20 на 30,8 %.

Таким чином проведені дослідження показали, що для підвищення зносостійкості поршневого ущільнення компресора 2ФВ-4/4.5 доцільна заміна базового матеріалу чавуну СЧ-18 на модифікований полімерний матеріал Ф4ВВ20, до складу якого в якості третього компонента введена певна частка закису міді (15 %) або свинцю (5 %).

Література

1. Будова кондиціонера. URL: <https://genstar.ua/poleznye-stati/ustrojstvo-avtokondicionera>
2. Кондиціонування повітря. URL: https://wurth.ua/pdf/Coolius_/compressed
3. Сіренко Г. А. Антифрикційні карбопластики / Г. О. Сіренко. – Київ : Техніка, 1985. – 195 с.
4. 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.
5. Підвищення щільності і зносостійкості поршневих кілець автомобільних газонаповнювальних компресорних станцій / В. П. Свідерський, Г. О. Сіренко, Л. М. Кириченко та ін. // Проблеми трибології. – 2004. – № 4. – С. 156-167.
6. 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. – 2006. – № 1. – С. 84–87.