

$$D_1 W(x, y) = W_1(y) \cdot X(x) = [D_1 W(0) \cdot a_{11}(y) + D_1 q(0) \cdot a_{12}(y) - M(0) \cdot a_{13}(y) - Q(0) \cdot a_{14}(y) + b_{11}(y)] \cdot X(x).$$

Всі інші параметри вигину пластини з ребрами жорсткості в двох напрямках визначаються за рівняннями теорії пружності. У результаті розрахунку обчислені прогин і згинальний момент у центрі пластинки; результати розрахунку дані в таблиці 1, де наводяться також значення прогину і згинаючого моменту в центрі пластинки, обчислені методом кінцевих елементів у програмі ANSYS.

Таблиця 1

Величина	Порівняння результатів		Розбіжність, %
	Шарнірне обпирання, розподілене навантаження		
Прогин, м	МГЕ	МКЕ	
	-0,42923e-05	- 0,41665e-05	2,93
Згинальний момент, кН·м	3,6508e-02	3,6992e-02	1,31

### Висновки

Після побудови фундаментальних функцій, функції Гріна і формування векторів зовнішніх навантажень можна реалізувати алгоритм МГЕ [1] для будь-яких граничних умов і довільного числа ребер (як суцільного перетину, так і тонкостінного) в обох напрямках.

Загальна концепція запропонованого підходу полягає в наступному. Частина пластини, що мають ребра в поперечному напрямку (паралельно осі  $ox$ ), розглядаються як «гладкі» пластини товщиною  $h_1 = h + h_{\text{ребра}}$ , де  $h$  – товщина власне пластини,  $h_{\text{ребра}}$  – висота підкріплювального ребра. Для цих модулів справедлива теорія розрахунку «гладких» пластин методом граничних елементів, докладно викладена в [1, 2], з відповідними вираженнями фундаментальних функцій, функції Гріна, векторів навантажень і т.д. Інші модулі являють собою пластини, підкріплені ребрами жорсткості в подовжньому напрямку (паралельно осі  $Oy$ ), і для них фундаментальні функції, функції Гріна, вектори навантажень визначаються вираженнями, отриманими для ребристих пластин.

### Література

1. Численные методы в механике / [Баженов В.А., Оробей В.Ф., Сурьянинов Н.Г. и др.]. – Одесса, «СТАНДАРТЬ», 2005. – 563 с.
2. Численно-аналитический метод граничных элементов : в 2-х т. / [Дашенко А.Ф., Коломиец Л.В., Оробей В.Ф., Сурьянинов Н.Г.]. – Одесса. – СтандартЪ, 2010.
3. Власов В.З. Тонкостенные пространственные системы / Власов В.З. – М. : Стройиздат, 1958. – 502 с.
4. Биргер И.А. Сопrotивление материалов / И.А. Биргер, Р.Р. Мавлютов. – М. : Наука, 1986. – 560 с.

Надійшла 16.12.2011 р.

Статтю представляє: д.т.н. Параска Г.Б.

УДК 621.891

В.П. СВИДЕРСЬКИЙ, Л.П. МЕЛЬНИЧУК, Д.І. КЛАК  
Хмельницький національний університет

## ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПОРШНЕВОГО УЩІЛЬНЕННЯ КОМПРЕСОРА 2ФВ-4/4.5 КОНДИЦІОНЕРА GMS

*Виконано аналіз роботи і видів зношування поршневого ущільнення компресора 2Ф-4/4.5 кондиціонера GMS. Розроблено методуку і виконані стендові дослідження зносостійкості антифрикційних матеріалів поршневого ущільнення, що показали доцільність застосування в якості ущільнюючих елементів матеріалу Ф4УВ20.*

*The analysis of the operation and types of wear in piston compaction of the compressor 2F-4/4.5 of the conditioner GMS has been performed. The methodology have been developed and the stand tests of wear resistance of antifricition materials used for piston compaction have been carried out which proved the expediency of using the F4UB20 material for compacting elements.*

Ключові слова: поршневе ущільнення, антифрикційні матеріали.

### Вступ

Транспортна система кондиціонування повітря функціонує в основному так само, як і будь-який інший тип системи кондиціонування повітря. Транспортна система призначена для відбору тепла і вологи зсередини автомобіля та їх передачі зовнішньому повітрю, а також для очищення повітря.

Холодильна система, що використовується в транспортних системах кондиціонування повітря, складається з наступних вузлів: компресора, електромагнітної муфти, конденсатора, ресивера-осушувача, регулюючого вентиля, випарника, всмоктуючого вентиля, запобіжного клапана високого тиску [1].

Компресор 2ФВ-4/4.5 (рис. 1) – поршневий, одноступінчатий, вертикальний, двоциліндровий, працює на фреоні-12. Зміна холодопродуктивності компресора досягається при збільшенні числа обертів від 450 до 950 в хвилину шляхом заміни маховика.

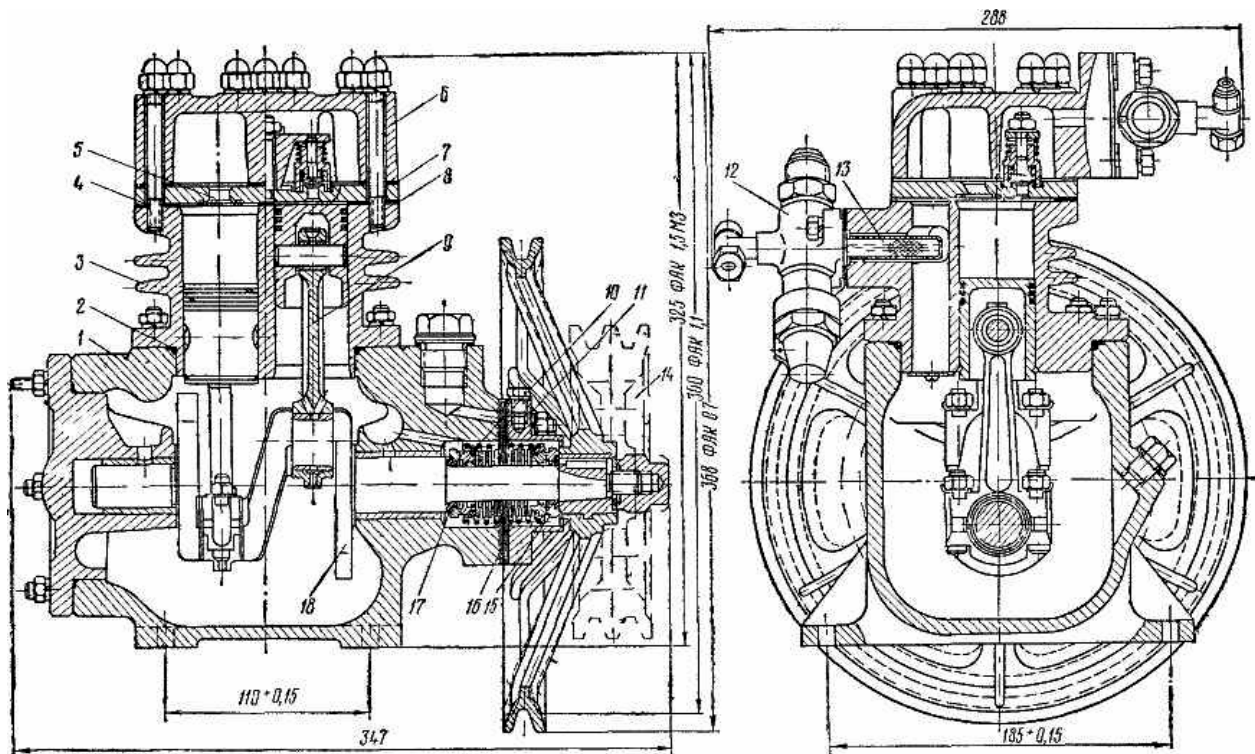


Рис. 1. Компресор 2ФВ-4/4,5:

- 1 – картер; 2 – прокладка; 3 – блок циліндрів; 4 – клапанна група; 5 – всмоктуючий клапан; 6 – кришка; 7 – прокладка;  
8 – прокладка клапанної дошки; 9 – шатунно-поршнева група; 10 – сильфонний сальник; 11 – кришка сальника;  
12 – всмоктуючий вентиль; 13 – фільтр; 14 – маховик; 15 – кільце; 16 – прокладка; 17 – гумове кільце; 18 – колінчастий вал

У транспортних агрегатах для кондиціонування повітря використовуються поршневі компресори трьох варіантів: дво-, шести- і п'ятициліндрові з пасовим приводом від колінчастого валу двигуна. Компресори призначені для створення тиску, потрібного для конденсації холодагента, а також для його циркуляції в системі і створення низького тиску для кипіння у випарнику. До спряження поршень – циліндр пред'являють дві суперечливі вимоги: з одного боку, для забезпечення рухливості між ними повинен бути зазор; з іншої сторони, для запобігання витоків газу із порожнини нагнітання зазору бути не повинно. Ця суперечливість конструктивно вирішується введенням поршневих кілець, які є проміжними деталями між поршнем і циліндром. Поршневі кільця забезпечують ущільнення спряження поршня з циліндром, зберігаючи при цьому їх рухливість. Це відбувається завдяки щільному приляганню кілець до дзеркала циліндру, малим зазорам між кільцями і стінками канавок поршня і лабиринтній дії набору кілець. На один поршень зазвичай ставлять кілька кілець. Матеріал: гільзи – сірий чавун СЧ – 24 твердістю НВ 180-241; поршневих кілець – чавун СЧ – 18.

Оскільки ресурс поршневих кілець менший за ресурс всіх інших деталей поршневої групи, то необхідно підвищити їх ресурс за рахунок чого ми підвищимо ресурс всієї групи в цілому. З підвищенням ресурсу вузла зменшуються затрати на ремонт та обслуговування компресора, це досягається за допомогою технологічного підвищення зносостійкості – заміни матеріалу кільця чавун СЧ-18 на матеріал Ф4УВ20 [2].

Мета роботи полягає в тому, щоб дослідити умови роботи пари поршневе кільце– циліндр компресора 2ФВ-4/4.5, розробити методику і виконати стендові дослідження зносостійкості базового матеріалу чавун СЧ-18 та антифрикційного карбопластика Ф4УВ20.

#### Основний розділ

##### Якісна оцінка видів зношування пари тертя кільце– гільза поршневого компресора

Абразивно-корозійне зношування є найбільш поширеним при експлуатації компресорів і характеризується утворенням вторинної структури внаслідок хімічної реакції.

Під абразивним зношуванням частіше всього розуміють руйнування поверхні металу в результаті дряпання абразивними частинками [3]. В.Ф. Лоренц гадає, що будь-яке зношування є абразивним, тому що в будь-якому випадку продукти зношування є абразивними частинками, які сприяють зношуванню, тобто суть абразивного зносу принципово не змінюється: попадають абразивні частинки у спряження, що труться ззовні, знаходяться в металі деталей, що труться чи утворюються в процесі тертя. Б.Д. Грозін до категорії

абразивного зношування відносить тільки випадки, коли абразивні частинки не є продуктами зношування.

По-іншому визначає абразивне зношування С.Л. Наумов. Він вважає, що абразивне зношування – це процес, при якому швидкість руйнування вторинних структур, що з'являються при терті, перевищує швидкість їх утворення.

Але термін „абразивне зношування”, як вірно відмічають М.М. Хрущов і М.А. Бабишев, ще не характеризує в повній мірі процеси, що відбуваються при зношуванні, так як зазвичай крім абразивних часток на зношування впливають фактори, які пов'язані з умовами експлуатації матеріалу. Їх доцільно враховувати при конкретному розгляді механізму абразивного зношування. В подальшому під „абразивним зношуванням” будемо розуміти руйнування поверхні металу абразивними частками мінерального походження. В той же час, різні дослідники по-різному пояснюють механізм абразивного зношування. Найбільш поширене пояснення зводиться до представлення абразивного зношування як результат дряпання металу абразивними частками, що викликає мікрорізання металу.

Подібного трактування дотримується ряд відомих дослідників. Так, В.Д. Кузнецов вказує, що механізм абразивного зношування є дуже простим і приводиться до суми великого числа елементарних процесів дряпання.

А.К. Зайцев гадає, що зношування від дряпання і шліфування представляє собою зношування різанням, але з мілкішою або крученою стружкою для в'язких металів або стружкою сколювання для крихких матеріалів.

Дослідженнями В.Н. Кашеєва і В.М. Глазкова встановлено, що домінуючим процесом зношування металу вільними частками, що вдаряються при звичайних і підвищених температурах, є різання.

Нарівні з викладеною точкою зору є й інші гіпотези про механізм абразивного зношування. І.В. Крагельський, [4] відзначаючи, що при проникненні абразивної частки на достатню глибину може спостерігатися мікрорізання матеріалу, вважає в реальних умовах це явище досить рідкісним, так як в ґрунті частки закруглені. Він розрізняє три основних види зношування: при пружному контакті, при пластичному відтисненні і при мікрорізанні.

Інтенсивність зношування зв'язується з фактичною і номінальною площадками контактуючого виступу, що взаємодіє з поверхнею металу, і основне рівняння зношування має вигляд:

$$I_h = i_k A_r / A_a = i_h q_a / q_r, \quad (1)$$

де  $I_h$  і  $i_h$  – лінійний і питомий зноси;  $A_r$  і  $A_a$  – фактична і номінальна площа дотику;  $q_a$  і  $q_r$  – номінальний і фактичний тиски.

І.В. Крагельський вважає, що критерієм переходу від пластичного відтиснення до сколювання металу служить відношення глибини проникнення до радіусу сфери (контактуючого виступу). Значення  $\frac{h}{R} \leq 0.3$  відповідає пластичному відтисненню металу. При більш глибокому проникненні сфери спостерігається сколювання металу.

Аналітична перевірка цих положень показала, що найбільш можливим механізмом абразивного зношування при взаємодії з мастилом і газом представляється пластична деформація одних і тих же мікрооб'ємів металу (передеформація), в результаті якого спостерігається втомливе руйнування поверхневого шару металу.

#### Аналіз умов роботи поршневих кілець компресора 2ФВ-4/4.5

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

Тиск, з яким поршневе кільце з експандером притискається до дзеркала циліндра знайдемо за методикою, що викладена в роботі [5]. Він складає 0.72 МПа для першого кільця і 0.57 МПа – для другого. Розрахунки теплових зазорів в замкові ( $f_0$ ) і по висоті кільця ( $\Delta h$ ) показують, що  $f_0 = 2,59$  мм, а  $\Delta h = 0.075$  мм.

В даній роботі, з метою зменшення забруднення повітря мастилом і підвищення довговічності циліндро-поршневої групи, запропоновано переведення компресора 2ФВ-4/4.5 на роботу з обмеженим мащенням [6].

В умовах обмеженого мащення пара тертя чавунне кільце – робоча поверхня циліндра має погану зносостійкість і для підвищення зносостійкості пари тертя поршневе кільце – циліндр запропоновано замінити матеріал поршневого кільця чавун СЧ-18 на матеріал Ф4УВ20.

#### Стендові дослідження пари тертя поршневе кільце – циліндр компресора

Для проведення лабораторних досліджень використовуємо стенд ЗНМ, що дозволяє випробовувати одночасно два зразки, зменшуючи час, необхідний для проведення досліду. Принцип роботи установки полягає у створенні зворотно-поступального руху валів, в опозитному режимі, [7] що в свою чергу

переміщують повзуни.

До повзуна кріпиться ванна, в якій знаходиться зразок гільзи циліндра. До нерухомо закріпленого вузла навантаження кріпиться зразок поршневого кільця.

Установка сконструйована таким чином, що забезпечує щільне прилягання зразків гільзи і кільця, при русі повзуна між ними виникає тертя. Для прискорення процесу зношування до кільця прикладають зусилля  $Q$ , яке регулюється за допомогою тарувальної пружини. Для наближення експериментів до реальних умов роботи у ванну наливають мастило марки К19.

Технічні характеристики стенду: частота обертання двигуна – 1500 об/хв; величина ходу каретки – 18 мм; максимально допустиме навантаження – 9 кг.

Зразки виготовляються з гільзи і компресійних кілець компресора з розмірами відповідно  $26 \times 5 \times 10$  мм і  $40 \times 4 \times 8$  мм. Матеріал гільзи чавун СЧ – 24, кілець – чавун СЧ – 18 і Ф4УВ20.

Дослідження проводимо 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 за час  $\tau$  в хвилинах.

Для визначення величини зносу необхідно знати шлях тертя кільця по гільзі, який визначається за формулою в метрах:

$$S = n \cdot \frac{d}{D} \cdot l \cdot t \cdot 10^{-3} \quad (2)$$

За отриманими експериментальними даними побудована графічна залежність розмірів площадки контакту  $a$  від шляху тертя  $S$  (рис. 2).

Аналіз отриманих результатів показав, що ущільнення з матеріалу Ф4УВ20 за зносостійкістю переважають ущільнення з матеріалу Чавун СЧ-18 на 51 %.

#### Висновки

Проведені стендові дослідження показали, що для підвищення зносостійкості поршневого ущільнення компресора 2ФВ-4/4.5 доцільна заміна матеріалу чавун СЧ-18 на Ф4УВ20.

Як показали дослідження проведені в роботі [6] така заміна особливо суттєва при переведенні компресора на режим обмеженого мащення.

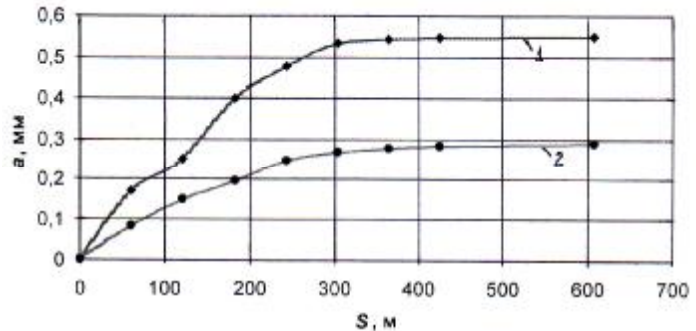


Рис. 2. Залежність розмірів площадки контакту  $a$  від шляху тертя  $S$  для пар тертя 1 – чавун СЧ-18- чавун СЧ-24 і 2 – Ф4УВ20 – чавун СЧ-24

#### Література

1. Лэнгли Б.К. Холодильная техника и кондиционирование воздуха / Лэнгли Б.К. – М. : Легкая и пищевая пром-сть, 1981 – 480 с.
2. Сиренко Г.А. Антифрикционные карбопластики / Сиренко Г.А. – К. : Техніка, 1985. – 195 с.
3. Крагельский И.В. Трение, изнашивание и смазка: справочник / И.В. Крагельский, В.В. Алисин. – М. : Машиностроение, 1979. – 358 с.
4. Крагельский И.В. Основы расчетов на трение и износ / Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. – М. : Машиностроение, 1977. – 525 с.
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. (Вісник технологічного університету Поділля). Технічні науки. – 2006. – № 1. – С. 84–87.
7. Видякин Ю.А. Оппозитные компрессоры / Видякин Ю.А., Доброклонский Е.Б., Кондратьева Т.Ф. – Л. : Машиностроение, 1979. – 280 с.

Надійшла 12.12.2011 р.  
Рецензент: д.т.н. Семенюк М.Ф.