ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ, ТРАНСПОРТУ ТА АРХІТЕКТУРИ

Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

бакалавра

Освітньо-кваліфікаційний рівень

Галузь знань **27 Транспорт**

Шифр і назва галузі знань

Напрям підготовки (спеціальність): 274 «Автомобільний транспорт»

Шифр і назва напряму підготовки (спеціальності)

на тему: ***«Підвищення зносостійкості поршневих кілець компресорної установки для фарбування автомобілів»***

Шифр ***ДРАТТАМ 24.21247.000. ПЗ***

Виконав: студент 4-го курсу,
група *АТ-20-1* _____ *Олександр ВАРАВА*

Підпис Ім'я, прізвище

Керівник: *к.т.н., доц. каф ТАМ.* _____ *Владислав СВІДЕРСЬКИЙ*

Підпис Ім'я, прізвище

До захисту допускаю:
зав. кафедри ТАМ д.т.н., проф.

_____ *Олександр ДИХА*

Підпис Ім'я, прізвище

10 06 2024 р.

Хмельницький, 2024

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр
Галузь знань: 27 «Транспорт»
Спеціальність: 274 «Автомобільний транспорт»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедрою ТАМ
Диха О.В.
" 04 " березня 2024 р.

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Вараві Олександру Васильовичу

1. Тема проєкту (роботи): «Підвищення зносостійкості поршневих кілець компресорної установки для фарбування автомобілів»

Керівник роботи: Свідерський Владислав петрович, к.т.н., доц. каф. ТАМ.

Затверджено наказом університету від 15 лютого 2024 р. № 8 (Д 29).

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) на кафедру: 20.06.2024 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи): матеріали практики; робочі креслення елементів вузлів тертя автомобілів; нормативно – технологічна документація по розбиранню, дефектації, складанню і регулюванню вузлів тертя; вимоги з охорони праці і безпеки роботи при виконанні ремонтних робіт.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1). Розробка технологічного процесу виготовлення лабораторних зразків і поршневого ущільнення з матеріалів чавун СЧ20 і Ф4К20.

2). Аналіз конструкцій та матеріалів поршневих ущільнень.

3). Освоєння технології технічного сервісу і поточного ремонту агрегату та вузла тертя.

4). Дослідження зносостійкості матеріалів чавун СЧ20 та Ф4К20 в умовах обмеженого мащення вузла тертя.

5. Перелік графічного матеріалу (презентація):

Розробити презентацію у вигляді слайдів з розкриттям питань відповідно до мети роботи.

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання: 4 березня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Розробка технологічного процесу виготовлення лабораторних зразків і поршневого ущільнення з матеріалів чавун СЧ20 та Ф4К20	15.04.2024	вик.
2	Аналіз конструкцій та матеріалів поршневих ущільнень	25.04.2024	вик.
3	Освоєння технології технічного сервісу і поточного ремонту агрегату та вузла тертя	15.05.2024	вик.
4	Дослідження зносостійкості матеріалів чавун СЧ20 та Ф4К20 в умовах обмеженого мащення вузла тертя.	10.06.2024	вик.
5	Оформлення роботи	20.06.2024	вик.
6	Захист роботи	21.06.2024	

Студент _____ Олександр ВАРАВА

Керівник роботи _____ Владислав СВІДЕРСЬКИЙ

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота студента групи АТ-20-1 Варави Олександра Васильовича на тему: «Підвищення зносостійкості поршневих кілець компресорної установки для фарбування автомобілів».

Обсяг роботи: 66 с., 3 табл., 9 рис., 14 джерел зі списку літератури, 1 додаток.

Мета роботи полягає в тому, щоб, виходячи з аналізу умов роботи компресорної установки СО-243-1, розробити метод підвищення зносостійкості чавунних поршневих кілець та перевірити працездатність антифрикційного полімерного матеріалу Ф4К20 в умовах обмеженого мащення в лабораторних умовах на установках.

Об'єкт дослідження: поршневе ущільнення компресора СО-243-1.

Досліджено умови роботи пари поршневе ущільнення – циліндр компресора. Надані рекомендації по конструюванню поршневих, направляючих кілець та експандерів. В даній роботі з метою зменшення забруднення повітря мастилом та підвищення довговічності циліндро-поршневої групи запропоновано переведення компресора СО-243-1 на роботу з обмеженим мащенням. Оскільки за цих умов пара тертя чавунне кільце – робоча поверхня циліндра має погану зносостійкість, для підвищення зносостійкості пари тертя поршневе кільце–циліндр запропоновано замінити матеріал поршневого кільця чавун СЧ20 на матеріал Ф4К20.

Освоєна технологія технічного обслуговування та поточного ремонту агрегату та вузла тертя поршневе ущільнення – циліндр компресора.

Розроблено технологію виготовлення поршневого ущільнення для компресора з матеріалів чавун СЧ20 та Ф4К20. Результати виконаних досліджень на знос матеріалів чавун СЧ20 і Ф4К20 в умовах обмеженого мащення показали, що при витраті компресорного мастила К19, що складає 20 % від номінальної за зносостійкістю матерал Ф4К20 в 19,5 разів переважає чавун СЧ20. При подальшому зниженні витрати мастила К-19 спостерігається катастрофічний знос чавуну СЧ20, в той час як зносостійкість матеріалу Ф4К20 збільшується.

Розроблена технологія переведення компресора на роботу з обмеженим мащенням.

Графічна частина представлена у вигляді презентації.

Ключові слова: ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, МІЦНІСТЬ, ПОРШНЕВЕ КІЛЬЦЕ, НАНОМОДИФІКАТОРИ, СКЛАД, ТЕХНОЛОГІЯ, ФТОРОПЛАСТОВІ КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ.

Зміст

Вступ.....7

1 Аналіз конструкції компресора та вузлів тертя. Постановка завдання...8

1.1 Конструкція вузла тертя.....8

1.1.1 Загальний опис конструкції та роботи поршневого компресора СО-243-1.....8

1.1.2 Аналіз конструкцій та фізико-механічних характеристик матеріалів поршневих кілець компресорів з обмеженим мащенням.....11

1.2 Обгрунтування вибору вузла тертя для підвищення його зносостійкості 26

1.3 Постановка задачі на відновлення та підвищення зносостійкості.....27

2 Технологія технічного обслуговування та поточного ремонту агрегату та вузла тертя.....29

2.1 Технічне обслуговування агрегату.....29

2.1.1 Діагностування: технологія і обладнання.....29

2.1.2 Регулювання та профілактика.....31

2.2 Технологія поточного ремонту.....35

2.2.1 Розбирання.....35

2.2.2 Збирання компресора.....38

2. 3 Конструкторські методи переведення компресора на роботу з обмеженим мащенням.....39

3 Технологія відновлення та підвищення зносостійкості деталей вузла тертя.....42

3.1 Розробка технологічного процесу виготовлення лабораторних зразків і поршневого ущільнення з матеріалу Ф4К20.....42

					ДРАТТАМ 24.21247.000. ПЗ			
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата				
Виконав		Варава О.В.		10.06.24	Підвищення зносостійкості поршневих кілець компресорної установки для фарбування автомобілів	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Свідерський В.П.		10.06.24		Н	5	66
						ХНУ, група АТ-20-1		
Н.контр.		Бабак О.П.		10.06.24				
Затвер.		Диха О.В.		10.06.24				

3.1.1 Приготування композиції матеріалу Ф4К20.....42
3.1.2 Пресування лабораторних зразків і заготовок матеріалу Ф4К20.....43
3.1.3 Термообробка лабораторних зразків та заготовок матеріалу Ф4К20...45
4 Оцінка зносостійкості вузла тертя за схемою конус–площина.....49
4.1 Лабораторні дослідження пар тертя з визначенням параметрів моделі зношування.....49
4.1.1 Зразки і установка для дослідження зносостійкості матеріалів.....49
4.1.2 Підготовка зразків і контртіла для дослідження зносостійкості матеріалів.....51
4.1.3 Методика досліджень і обробки результатів.....52
4.1.4 Дослідження зносостійкості пар тертя з визначенням параметрів моделі зношування.....57
Висновки.....63
Список літератури.....64
Додатки.....66

Вступ

Компресорні установки є важливою складовою процесу фарбування автомобілів. Основна їх роль полягає в постачанні стиснутого повітря для розпилення фарби на поверхню автомобіля. Ось деякі аспекти застосування компресорних установок у процесі фарбування:

- постачання стиснутого повітря: компресори створюють стиснене повітря, яке потім використовується для живлення різноманітних інструментів, таких як розпилювачі фарби;
- регулювання тиску: компресорні установки дозволяють налаштовувати тиск стисненого повітря відповідно до потреб фарбування. Різні етапи процесу (наприклад, підготовка поверхні, нанесення основного шару фарби, фінішне покриття) можуть потребувати різного рівня тиску;
- якість фарбування: налаштований належним чином тиск повітря забезпечує рівномірне і якісне нанесення фарби на автомобільну поверхню без розбризкування чи нерівномірностей;
- ефективність та продуктивність: використання компресорної установки дозволяє забезпечити продуктивність у процесі фарбування через постійне постачання стисненого повітря для робочих інструментів.

Простота конструкції й помітні успіхи в розробці нових матеріалів та їхніх композицій дозволяють вважати, що компресори з неметалевими ущільненнями будуть найпоширенішими й найбільш перспективними в компресоробудуванні.

До переваг машин з обмеженим мащенням з поршневими ущільненнями слід віднести простоту конструкції і відносно низькі втрати продуктивності за рахунок перетоку газу. Варто відмітити, що при застосуванні машин з обмеженим мащенням може бути вирішено одночасно ряд технічних завдань: одержання технологічного ефекту, економія мастила, запобігання забруднень навколишнього середовища й зниження шуму в приміщенні, збільшення міжремонтного терміну експлуатації компресора та скорочення трудовитрат на ремонтні роботи за рахунок запобігання зношування циліндра, що може привести до зменшення витрат на операції фарбування.

1 Аналіз конструкції компресора та вузлів тертя. Постановка завдання

1.1 Конструкція вузла тертя

1.1.1 Загальний опис конструкції та роботи поршневого компресора СО-243-1

Установки компресорні призначені для отримання стиснутого повітря, яке використовується під час будівельно-декоративних робіт, фарбування металевих поверхонь та накачування шин, при тиску повітря, що не перевищує 0,6 МПа (6 кгс/см2), та витраті повітря 32 ± 2 м^3 за годину [1].

Компресорна установка включає в себе такі компоненти: безпосередньо компресор, ресивер, відокремлювач вологи від мастила, повітряний фільтр, регулятор тиску, запобіжний клапан, електродвигун, систему трубопроводів, пускач та огородження.

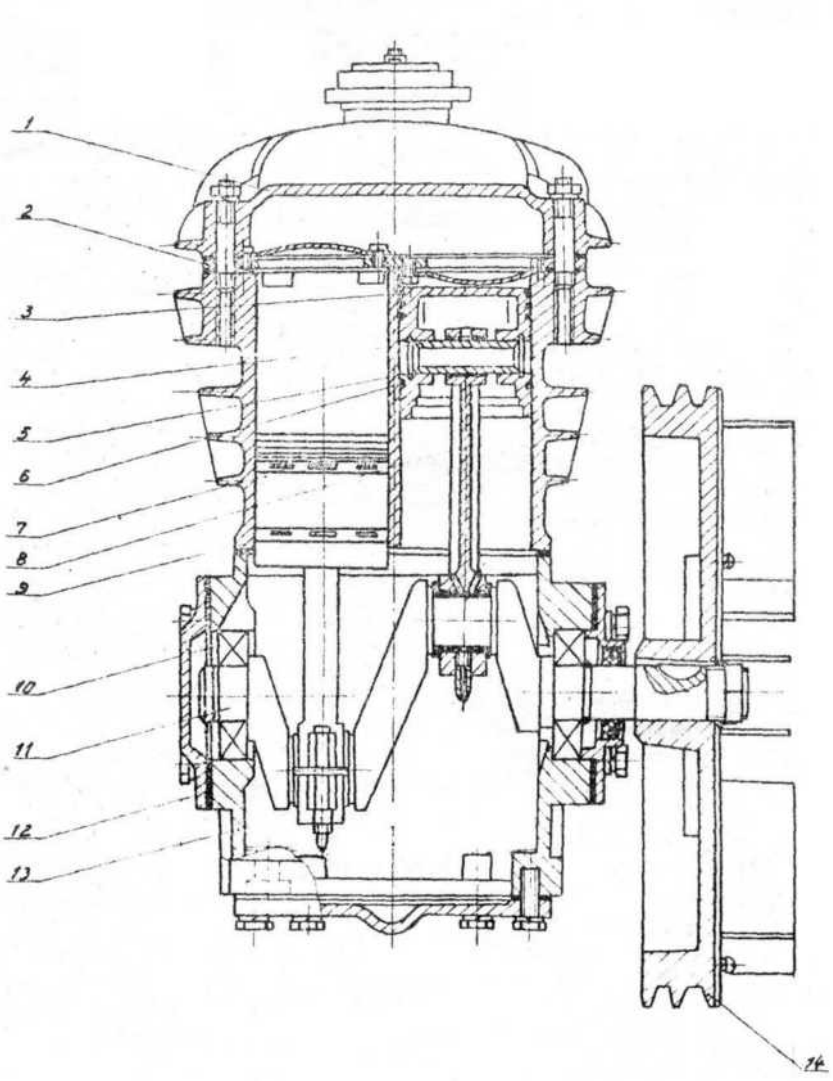
На компресорній установці марки СО-243-1 замість пускача вмонтований вимикач, а замість регулятора тиску використовується автоматичний розвантажувач. Останній складається з регулятора тиску АР-11 та механізму розвантаження, який змонтований у головці блоку циліндрів. Також додатково встановлений зворотний клапан.

Всі компоненти компресора змонтовані на ресивері, який оснащений колесами і поручнями для зручності пересування. З'єднання компресора з електродвигуном здійснюється за допомогою клиноремінної передачі. Охолодження компресора забезпечується за допомогою повітряного примусового потоку, який постачається зі шківа-маховика, обладнаного лопастями.

Компресор є двоциліндровим поршневим одноступінчастим простого дії з охолодженням повітрям. Картер цього компресора виготовлений з чавуну і має закриту конструкцію. В торцевих стінках картера є спеціальні виглиблення або отвори для монтажу основних підшипників колінчастого валу.

Для доступу до кривошипного механізму картера передбачений в нижній

частині люк.



1 – головка блоку циліндрів; 2 – клапанна плита; 3 – компресійне кільце; 4 – поршневий палець; 5 – стопорне кільце; 6 – маслоз'ємне кільце; 7 – поршень; 8 – шатун; 9 – блок циліндрів; 10 – підшипник; 11– колінчатий вал; 12 – кришка; 13 – картер; 14 – шків-маховик

Рисунок 1.1– Компресор установки

Блок циліндра виготовлений з литого чавуну та має встановлені кільцеві ребра для охолодження. Головка блоку виготовлена з литого алюмінію.

Повітряна внутрішня камера головки розділена перегородкою на дві частини, а саме: смоктувальну та нагнітальну. Зовнішня поверхня обладнана ребрами для поліпшення охолодження.

У кожному циліндрі присутні усмоктувальний та нагнітальний клапани, що

виготовлені з пружинної стрічки.

Шатуни в даному випадку виготовлені зі сталі методом штампування. Нижня головка шатуна є роздільною, з бабітовим наповненням, затягується шатунними болтами та має набір прокладок для налаштування. У верхній головці шатуна встановлена втулка з бронзової стрічки, яка є запресованою.

Поршні виготовлені з литого алюмінієвого сплаву. Кожен поршень обладнаний двома компресійними кільцями і двома кільцями для утримання масла. Поршневі пальці є плаваючого типу. З огляду на осьове переміщення, палець утримується за допомогою двох стопорних кілець.

Колінчастий вал виготовлений зі сталі, методом кування. Для підтримки його обертання використовуються два радіальних однорядних кулькових підшипника.

Характеристика повітряного фільтру: повітря, що надходить у фільтр, пройшовши через намотану в кілька шарів сітку, подальше направляється по патрубку в усмоктувальну камеру блоку циліндрів.

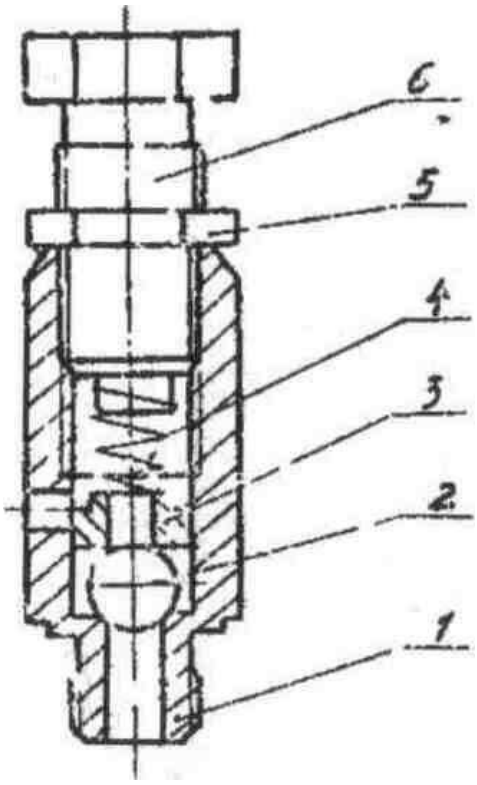
Ресивер призначений для вирівнювання пульсації повітря, що виникає внаслідок зворотно-поступального руху поршня компресора, зменшення коливань тиску в трубопроводі під час нерівномірного використання стиснутого повітря, часткового очищення повітря від мастила та води, що потрапляють у ресивер разом із повітрям. Ресивер складається з циліндричної частини та двох еліптичних днищ.

Масловодовідокремлювач має форму зваренного балона з внутрішньою склянкою, яка заповнена обмідненими трубками, і використовується для очищення повітря перед його введенням у систему. Конденсат, який відділяється в процесі роботи, стікає в ресивер та періодично виводиться через зливний отвір.

Регулятор тиску призначений для налаштування потрібного робочого тиску та може бути налаштований в межах від 0,3 до 0,6 МПа (3-6 кгс/см^2). Цей регулятор встановлено лише на обладнанні марки СО-243-1 (рисунок 1.2).

Для запобігання тиску вище допустимого вмонтований запобіжний клапан, який відрегульований на 0,7 МПа (7 кгс/см^2).

А для переходу повітря у зворотному напрямку з ресивера в компресор служить зворотний клапан при роботі на холостому ходу [1].



1 – корпус; 2 – кулька; 3 – напрямна; 4 – пружина; 5 – гайка;
6 – гвинт регулювальний

Рисунок 1.2 – Регулятор тиску

1.1.2 Аналіз конструкцій та фізико-механічних характеристик матеріалів поршневих кілець компресорів з обмеженим мащенням

Поршневі кільця використовуються для створення герметичного з'єднання між поверхнею циліндра та поршнем. Утворення герметичності за допомогою поршневих кілець можна розглядати як один із варіантів лабіринтного ущільнення з пружними кільцями, розташованими між камерами лабіринту. Навіть у лабіринтних ущільненнях, таких як поршневі кільця, існує певний рівень витоку газу чи рідини через зазори. Це пов'язано з тим, що жодна система ущільнення не є абсолютно герметичною. Ущільнення, включаючи поршневі кільця, розроблені для зменшення витоку та мінімізації його впливу, але повне усунення витоку є

складним завданням [3]. Поміж конструкцією та числом кілець, існують багато інших факторів, які впливають на рівень витоку в ущільненні. Зокрема, температурні зміни можуть викликати деформації циліндра та поршня, що може впливати на ущільнення. Навіть якість мастила та його кількість, а також точність форми, стан поверхонь та якість матеріалу деталей, які складають ущільнення, мають велике значення. Усі ці чинники враховуються під час розробки та виробництва ущільнень для досягнення оптимального рівня герметичності. Робоче кільце, яке знаходиться в робочому стані, зазвичай піддаване тиску газу, що стискається, або силам пружності, які забезпечують його прилягання до зовнішньої циліндричної поверхні дзеркала циліндра. Бічна поверхня кільця, зазвичай, притискається до поверхні канавки за допомогою сили тертя та тиску газу. Цей механізм дозволяє створювати необхідне ущільнення між кільцем та поверхнею циліндра для запобігання витоку рідини чи газу.

На внутрішню поверхню кільця діє середній тиск:

$$\Delta p = (p_1 - p_2)/2$$

де p_1 і p_2 відповідно тиск перед кільцем та за кільцем [4].

Застосування поршневих кілець доцільне при різниці тиску до 50 МПа. Кількість кілець визначається залежно від різниці тиску, яку необхідно ущільнити, тиску стискаючого газу, частоти обертання валу компресора, діаметра ущільнення, а також матеріалу та конструкції кільця. Тиск розподіляється нерівномірно між кільцями. Більша частина різниці тисків має вплив на перші кільця і конкретно зі сторони більшого тиску. Також відносно навантаженим буде останнє кільце.

Поршневі кільця виконують функцію ущільнення, а також розподіляють мастило по поверхні циліндра, передаючи тепло від поршня до циліндра. Їх зносостійкість є важливою та залежить від того, як кільце треться по поверхні циліндра. Це впливає на властивості матеріалів, з яких виготовлені кільця та циліндр. Впливає також на якість та характеристики мастила і чистоту газу.

Частіше всього у промисловості використовують поршневі кільця з чавуну. У важких умовах експлуатації використовують різноманітні типи поршневих кілець, такі як сталеві, бронзові, комбіновані зі сплавів чавуну та бронзи, або ж

чавунні кільця з антифрикційними покриттями в канавках. Кожен з цих типів має свої переваги і використовується відповідно до конкретних умов роботи, ступеня навантаження та особливостей робочого середовища [4].

Останнім часом поршневі кільця з пластмас стали досить поширеними. Ці кільця представляють собою різні композиції на основі фторопласту, які можуть функціонувати без необхідності використання мастила. Ці інноваційні матеріали дозволяють покращити роботу поршневих систем та зменшити знос в умовах, де вимагається робота без мастила.

Поршневі кільця з чавуну можуть мати прорізь або замок. У невіджатому стані вони мають зовнішній діаметр, який більший за діаметр циліндра. Завдяки їхній пружності, коли вони знаходяться в стислому стані, вони притискаються до поверхні циліндра, забезпечуючи необхідне ущільнення.

Початкове притискання є важливим для створення контакту між кільцями та дзеркалом циліндра, особливо при запуску компресора та всмоктуванні на початкових етапах роботи. Деякі кільця мають рівномірний розподіл радіального тиску на поверхню циліндра, тоді як інші – нерівномірний. Виготовлення кілець з рівномірним розподілом тиску є більш простим процесом порівняно з тими, що мають нерівномірний розподіл тиску. Такі кільця, головним чином, виробляються за допомогою методу термофіксації, де кругле кільце, що підготовлене до розміру циліндра, обробляється тепловою обробкою, коли воно знаходиться у розведеному стані. Зазвичай ці кільця з рівномірним епюром тиску мають меншу тривалість служби порівняно з кільцями, що мають нерівномірний розподіл тиску на поверхні циліндра.

В останніх моделях поршневих кілець при їх установці в циліндр використовується нерівномірний радіальний тиск по зовнішній циліндричній поверхні. Це досягається за рахунок форми кілець у вільному стані, яка не є цілком круглою. Такий підхід забезпечує запас тиску у тій частині кільця, де тиск швидше зменшується в процесі зносу. Це дозволяє досягти великої тривалості служби кільця, оскільки відбувається більш рівномірне розподілення тиску під час його роботи.

Для створення поршневих кілець чавунних використовуються сплави чавуну з перлітною структурою, таких марок, як СЧ 18-36, 21-40, 24-44, 28-48, а також спеціальні види чавуну. Додавання легуючих присадок, таких як фосфор у кількості 0,3–0,5 % або хром у діапазоні 0,15–0,25 %, використовується для підвищення якості цих кілець. Мікроструктура чавуну має відповідати дрібнопластинчастому або сорбітоподібному перліту з рівномірно розподіленим графітом. Графіт присутній у вигляді тонких та середніх пластин, які можуть бути завихреними або мати прямолінійну форму. Крім того, мікроструктура містить фосфідну евтектику у вигляді дрібних і рівномірно розподілених включень, які не утворюють замкнутої сітки. На шліфах допускається наявність включень евтектичного графіту, відомого як точковий графіт або графіт переохолодження, але їхня площа не повинна перевищувати 5 відсотків загальної площі шліфу. Не допускається цементит структурно вільний. Ферит може бути присутній у вигляді окремих дрібних включень, але їхня площа також не повинна бути більшою за 5 відсотків площі шліфу.

Тимчасовий опір вигину приймають за показник механічних властивостей чавуну, який для кілець діаметром до 200 мм повинен бути 440 МПа; для кілець діаметром від 200 до 500 мм – 400 МПа; а для кілець діаметром більше 500 мм – 360 МПа. Окрім того, твердість чавунних кілець повинен бути в наступних межах: НВ 91–105. При цьому, різниця показників твердості у одному кільці не має перевищувати чотирьох одиниць.

Радіальна товщина чавунних кілець встановлюється так, щоб при низьких та середніх ущільнювальних тисках від 30 до 100 кПа, а також при високих тисках до 300 кПа, радіальний тиск, який вони створюють на дзеркало циліндра, забезпечував необхідні умови роботи. Радіальний тиск кільця розраховується за формулою [5]:

$$p_к = \frac{AE}{7{,}08D\left(D/s - 1\right)^3}, \tag{1.1}$$

де А – величина розрізу по середньому діаметру вільного кільця; Е –модуль пружності матеріалу кільця; D – зовнішній діаметр кільця; s – радіальна товщина кільця.

Радіальний тиск обмежують через те, що напруги, які виникають у кільці, безпосередньо пропорційні цьому тиску. Максимальні розтягувальні напруження в кільці (σ_p) розраховуються за формулою:

$$\sigma_p = 3p_к\left(D/s - 1\right)^3, \tag{1.2}$$

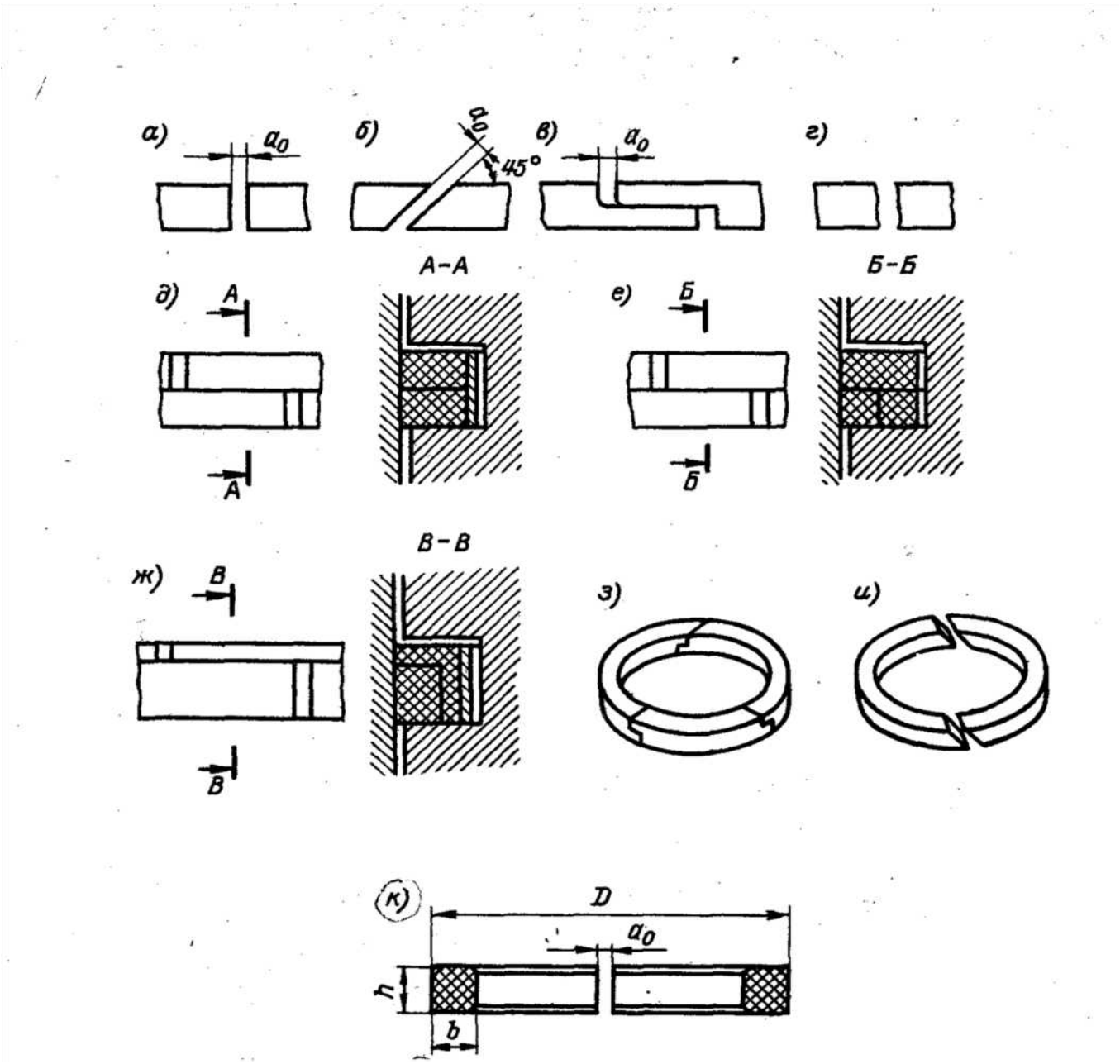
Висоту кільця (за твірною) приймають у межах від 0,6 до 1 радіальної товщини. Ця висота не впливає на радіальний тиск або напругу в кільці, але зі збільшенням висоти зростає сила пружності. Тому для подолання тертя на торцевих поверхнях кільця при ущільненні під високим тиском доцільним вважається збільшувати висоту кільця. Проте надмірне збільшення висоти може призвести до більших втрат потужності через тертя.

На рисунку 1.3 показана будова поршневих кілець, які використовуються у компресорах, де обмежена кількість мастила або мастило взагалі не подається в циліндри [4].

Для запобігання пошкодженню контактних поверхонь, тіло поршня в ступенях компресора не має прямого контакту з поверхнею циліндра. Замість цього, тіло поршня опирається на направляючі кільця, які забезпечують йому опору на поверхні циліндра (рисунок 1.4) [4]. Між направляючими кільцями розміщуються ущільнюючі кільця.

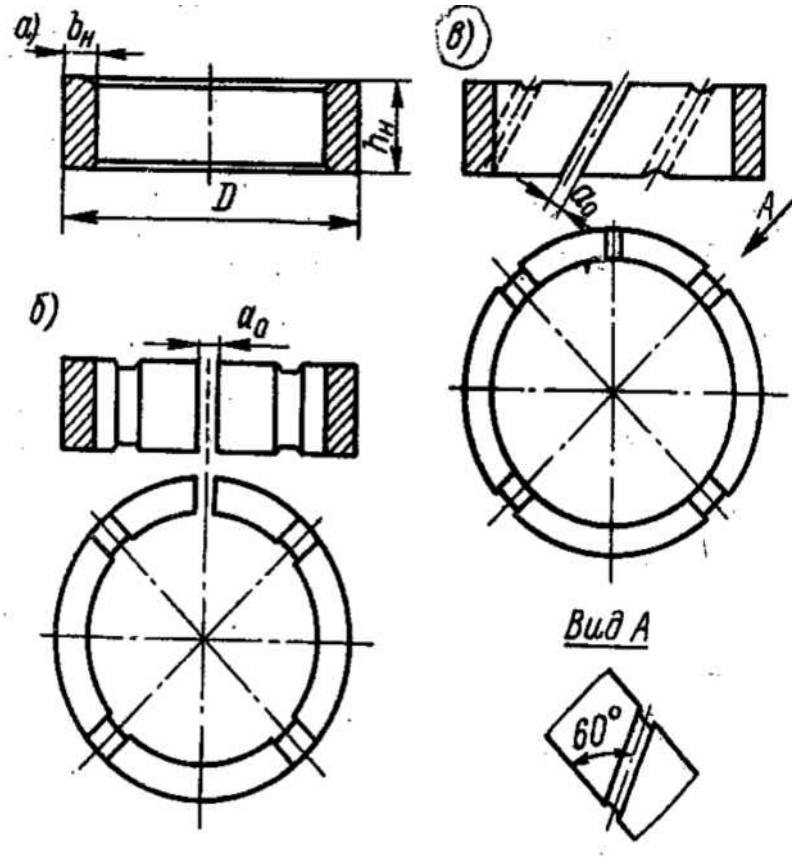
Серед найпоширеніших конструкцій контактних ущільнювальних кілець зустрічаються розрізні кільця прямокутного перерізу з прямими стиками або зі стиком в нахлист. Ці кільця виготовляються з різних полімерних композицій. Завдяки низькій пружності кілець у деяких композиціях, перший контакт їх з циліндром виконується за допомогою пружних металевих кілець, які називають експандерами.

Розміщення двох кілець у канавці поршня, обидва з замками, які перекривають один одного, приводить до підвищення герметичності з'єднання між кільцем та циліндром компресора.



а – прямий; б – косий; в – в нахлист; г – ломаний; д,е,ж – газощільні кільця; з, u – сегментні кільця; к – перетин ущільнювального кільця

Рисунок 1.3 – Розрізні поршневі ущільнюючі елементи та типи стиків



а – цільна; б – розрізна з розвантажувальними канавками прямими по внутрішній поверхні; в – розрізна з розвантажувальними канавками, нахиленими по зовнішній поверхні

Рисунок 1.4 – Конструкції опорно-направляючих поршневих кілець

Для безмастильних компресорів вибір кількості ущільнювальних кілець на поршні (z) рекомендується проводити відповідно до емпіричної формули:

$$\sqrt{10\Delta p} \geq z \geq \sqrt{5\Delta p}, \tag{1.3}$$

де Δр – максимальний перепад тисків на ущільненні, МПа.

Більше всього підходить ця формула для кілець з фторопластових композицій [5]. При стисканні легко текучих газів, таких як водень або гелій, варто обирати більші значення зміщення (z). Геометричні розміри ущільнювальних кілець з фторопластових композицій, такі як висота та інші параметри, підбираються відповідно до діаметра циліндра компресора. Для вуглеграфітових ущільнювальних кілець на поршні значення зміщення розраховують за емпіричною

залежністю:

$$z \geq \sqrt{20\Delta p}, \tag{1.4}$$

Учений Фрейліх для вибору кількості чавунних кілець рекомендує використовувати наступну формулу:

$$z = \sqrt{10\Delta p}, \tag{1.5}$$

У компресорі, який працює без мастила, направляючі кільця є обов'язковими елементами ущільнення поршня. Виготовляють їх як цілі, так і розрізні, з розвантажувальними канавками, які розташовані вздовж внутрішньої циліндричної поверхні або на зовнішній стороні кільця під кутом 60° до головної поверхні. Направляючі кільця не піддаватимуться додатковим радіальним навантаженням від тиску газу, матимуть низьку швидкість переміщення відносно поверхонь циліндра і не будуть висуватися з канавок (не будуть екструзуватися).

Досить чудові відгуки про самопружні поршневі кільця з текстоліту. Такі кільця виготовляють з втулкового текстоліту, вони мають гарантований термін експлуатації, а саме: не менше 8 тис. годин при різниці тисків 25 МПа та за різниці тисків 5 МПа 24 тис. годин. При цьому температура нагнітання не має бути більшою 160 °С при тиску до 15 МПа та 120 °С при тиску 15–32 МПа.

Текстолітові кільця за конструкцією аналогічні чавунним. Ці кільця піддаються лише токарній обробці. Такі операції, як шліфування торців та притирання не потрібні. При виконанні теромообробки кільця витримують у мінеральному маслі за температури 135–140 °С на протязі однієї години на кожен 1 мм радіальної товщини. Для уникнення короблення, кільця при термообробці затискають в оправку по торцях. Сама термообробка виконується до розрізання замків, забезпечуючи стабілізацію розмірів та зміцнення текстоліту. Кількість кілець текстолітових на поршні визначається за формулою (1.3), при цьому великі значення використовуються при стисканні легких газів. Текстолітові кільця можуть функціонувати у чавунних та сталевих циліндрах без втулки завдяки їхній відмінній здатності до ущільнення. Середнє арифметичне відхилення профілю

поверхні дзеркала циліндра має бути менше 0,63 мкм, а щодо торцевих поверхонь канавок у поршні – менше 1,0 мкм на відрізку базової довжини 0,8 мм.

Чудовими антифрикційними властивостями, термостійкістю та хімічною стійкістю, здатністю до самозмащування та достатньою теплопровідністю володіє графіт [5]. Саме ці властивості дозволяють використовувати його для виготовлення поршневих кілець компресорів, які працюють без змащення циліндрів.

Виробляють штучні графіти шляхом змішування тонко подрібненого графіту, нафтового коксу та дерев'яного вугілля, які комбінуються з кам'яновугільною смолою. Ця суміш піддається пресуванню при високому тиску до 200 МПа для створення заготовок різних форм. Після цього вироби посилюють шляхом тривалої термообробки за температури 1273 К.

Під час цього процесу отримують вуглеграфітові матеріали класу, що відповідають маркуванню АО. Шляхом проведення повторної термообробки штучного графіту у спеціальних електричних печах при високій температурі 2773 К та без доступу повітря формують графітовані вуглеграфіти, які відповідають маркуванню АГ.

Досліджено, що графітовані матеріали, порівняно з відпаленими, отриманими за однаковою технологією, відрізняються вищою густиною і теплопровідністю [5]. Проте, границя міцності при стискуванні та згині, а також твердість відпалених матеріалів значно перевищують аналогічні показники у графітованих. Після вигорання смоли, вуглеграфіти стають пористими, причому пори складають 3–5 відсотків від об'єму матеріалу.

Для покращення фізико-механічних властивостей та стійкості до зношування даних матеріалів використовується насичення їх металевими сплавами, такими як сплав С 05, що включає 95 % свинцю та 5 % олова; свинцевиста бронза БРС 30, склад якої 70 % міді та 30% свинцю та бабіт Б83. Під час просочування пори матеріалу заповнюються металом, що приводить до підвищення його міцності.

Насичення вуглеграфіту металами приводить до збільшення його щільності, теплопровідності та твердості а також ці матеріали стають непроникними для рідин та газів. Матеріали з вуглеграфіту відзначаються високою теплопровідністю,

низькими значеннями коефіцієнта теплового розширення (2–4 рази менше, ніж у сталі), невеликим модулем пружності (у порівнянні зі сталлю в 10–20 разів менше), а також малим коефіцієнтом тертя. Швидкість окислення цих матеріалів визначає максимально допустиму температуру експлуатації їх в ущільненнях компресорів.

В умовах інертних газів фізичні та механічні властивості вуглеграфітових матеріалів залишаються стабільними до температури 1300 К, проте при контакті з повітрям починається окислення в межах 500–700 К. Це приводить до збільшення коефіцієнта тертя та швидкого зношування антифрикційного матеріалу.

Проведені дослідження показали, що ущільнюючі елементи, виготовлені з вуглеграфітових матеріалів, можуть працювати у поршневих компресорах за граничних умов: швидкість ковзання до 3 м/с та перепад тиску газу до 10 МПа [3,4]. Використання вуглеграфітів у компресорному обладнанні обмежене через деякі недоліки цих матеріалів, такі як погана пристосованість до високого тиску, низька стійкість до зношування, високий рівень зносу у середовищі сухих газів або в присутності конденсату або інших рідких фаз, а також природна крихкість.

У графітових матеріалів погані пружні властивості, тому поршневі кільця з них не мають властивості самопружності. Зазвичай, вони постачаються з експандерами. Час експлуатації графітових кілець та втрати на тертя при низьких тисках у великій мірі залежить від пружної сили експандерів. Рекомендовані радіальні тиски від експандерів становлять 10–20 кПа. Графітові кільця в основному виготовляють з декількох частин-сегментів, кількість яких визначається в залежності від діаметра самого кільця.

Стики сегментів не мають бути гострими, так як гострі кути можуть легко обламатися. Виконання стиків можливе шляхом розділення цілого кільця на необхідну кількість елементів без гострих кутів.

Механічна обробка графітових кілець відбувається у наступній послідовності: спочатку проводиться шліфування торців сегментів, далі виконується притирання стиків за шаблоном, після чого зібране кільце з сегментів обробляється у спеціальному пристрої з урахуванням внутрішнього та зовнішнього діаметрів. На завершальному етапі виконується кінцева обробка торцевих

поверхонь з урахуванням потрібної товщини.

Для забезпечення кращої міцності графітові кільця, зазвичай, мають квадратний або близький до нього переріз. Розрахунок висоти кілець рекомендується виконувати за наступною емпіричною формулою [4]:

$$h = \sqrt{D,} \tag{1.6}$$

де D – діаметр циліндра, мм.

Збільшення висоти кільця сприяє зменшенню зносу. Тому для ущільнення великої різниці тисків рекомендовано збільшити висоту перших двох-трьох кілець на 1,5–2 рази в порівнянні з іншими. Після цього, висоту наступних кілець можна трохи зменшити. Це підвищує довговічність кілець в таких умовах. З графітовими ущільнюючими кільцями також використовують напрямні кільця, які мають у поршні канавки.

Графітові поршневі кільця мають коефіцієнт тертя близько до 0,1, а це більше, ніж у графітових деталей, у яких односторонній рух і коефіцієнт рівний 0,04–0,05, із-за відсутності при експлуатації поршня конкретної орієнтації часток графіту у шаровій поверхні тертя.

Потрапляння вологи та мастила з кривошипно-шатунного механізму негативно впливає на роботу графітових кілець, а також викликає значний знос при стисканні абсолютно сухих газів. Отже, графітові кільця не є рекомендованими для стискання газів, які містять вологу у меншій концентрації, ніж 3 мг/м^3.

Середня тривалість служби графітових кілець на дві третини менше, ніж у чавунних кілець із використанням мастила. В порівнянні з кільцями, виконаними з наповненого фторопласту, вони також мають меншу довговічність.

Матеріал, який застосовують для поршневих ущільнень, – це текстоліт, що складається з шарових пластиків. Ці пластики створюються шляхом гарячого пресування кількох шарів бавовняної тканини або інших матеріалів, які змочені синтетичними смолами [6]. Для роботи без мащення поршневих ущільнень суттєве значення має додаткове введення до їх складу твердих мастильних матеріалів,

наприклад графіту.

Фторопласт є найбільш ефективним наповнювачем для термореактивних пластиків. Оптимальна концентрація фторопласту в матеріалі становить 15 відсотків. Армовані фенольні смоли з наповнювачем фторопластом експлуатуються при швидкостях ковзання до 6 м/с та при невеликих навантаженнях.

Поршневі кільця можуть бути виготовлені з антифрикційного текстоліту на основі фторопласту, який формується через просякнення бавовняних і капронових тканин спеціальними фторопластовими лаками, такими як ФБФ-48 і ФБФ-749 [7]. Самозмащування текстоліту можна підвищити за рахунок включення до композиції для пресування нафтоподібного мастильного матеріалу високої в’язкості.

Вуглепластик АПГ-1 – це композитний матеріал, що складається з карбонізованих тканин, які просочені фенолформальдегідною смолою. Цей матеріал має високий коефіцієнт теплопровідності та низький коефіцієнт тертя, який в 6–8 разів менший, ніж у текстоліту ПТК.

Краща композиція вуглетекстоліту АГМ-10 була створена шляхом додавання порошку дисульфіду молібдену до її складу. Додаток MoS_2 дозволяє розраховувати на працездатність матеріалу при роботі з сухими газами.

Композиційний антифрикційний матеріал на основі епоксидної смоли, з включенням нітриду бору та молотого коксу, запропонований дослідниками у роботі [8]. Зносостійкість даного композиту в 2–3 рази більша, а ніж звичайних вуглеграфітових матеріалів.

Для виробництва поршневих ущільнень компресорів без потреби у мастилі можуть використовуватися графітоепоксидні самозмащувальні матеріали, такі як АМС-1, або матеріали типу АФ-3Т на основі фенол-формальдегідної смоли [8,9]. Матеріали групи АМС відзначаються високою зносостійкістю.

Значні недоліки цих матеріалів полягають у тому, що термореактивна складова містить у більшості фенолформальдегідну або епоксидну смоли, яким характерна низька тепло- та термостійкість. Це не дає можливість довгий термін

використовувати у роботі дані матеріали при температурах вище 430 К через зниження міцності, значного зношування при навантаженні та швидкості, зависокий коефіцієнт тертя та його нестабільність. Окрім того, композиційні матеріали групи АМС і АФ-3Т мають значну крихкість в результаті низької ударної в'язкості.

Отже, головним недоліком композиційних антифрикційних матеріалів на основі епоксидних та феноформальдегідних смол є порівняно низька термо- та теплостійкість, а також крихкість. Матеріали, подібні до текстолітів, можуть мати тенденцію до розшаровування.

З наповненого фторопласту поршневі кільця в багатьох аспектах перевершують чавунні та графітові кільця. Фторопласт характеризується низьким коефіцієнтом тертя 0,04–0,05, може працювати без мастила, має високу термостійкість до 260 °С та хімічну стійкість, а також володіє великою міцністю, пружністю та в'язкістю. Цей матеріал добре поглинає невеликі тверді домішки, не завдаючи йому значних пошкоджень.

До негативними властивостями фторопласту відносять низьку теплопровідність, холодоплинність, а також залежність фізичних та механічних властивостей від температури. Теплопровідність у 250–300 разів менше, ніж у сталі. Лише використання фторопласту з наповнювачами та армуючими матеріалами в значні мірі поліпшує його властивості [10]. Як наповнювач рекомендовано використання: скловолокна, азбесту, міді, бронзи, графіту, дисульфіду молібдену та ін. Наповнювачі фторопласту підвищують його теплопровідність, механічну міцність, а також зменшують коефіцієнт теплового розширення. На підприємствах з виготовлення компресорів для поршневих кілець отримали широке застосування наповнені фторопласти таких марок: АФМГ та АФГ-80ВС, Ф4К-20, Ф4ВВ20, ФНК-14, а також графелон за спеціальними технічними умовами [10,11]. Такі наповнені фторопласти поставляються у вигляді заголовок, шнура, або втулок, з яких методом обробки механічної отримують поршневі кільця.

Фторопластові кільця за своєю конструкцією можуть бути аналогічними

чавунним і текстолітовим кільцям. Вони можуть бути виготовлені у вигляді цілісних кілець, кілець з прорізом або складатися з сегментів для використання у різних механізмах і системах. Найбільше поширення здобули кільця з прорізом. Замки у них – прямі, косі та в нахлест. Для зменшення витоку газу у кожну канавку поршня монтують два кільця зі зміщенням прорізів. При великих діаметрах циліндрів використовують кільця із сегментів. А для притискання кілець до дзеркала циліндра знайшли застосування експандери.

На циліндричній зовнішній поверхні кільця тиск має бути таким: 10–30 кПа. Тиск, з яким поршневе кільце притискається до дзеркала циліндра, розраховується за формулою:

$$p_k = p_{ek} \cdot D_{ek} \big/ D, \tag{1.7}$$

де p_{ek} – тиск експандера (який визначається аналогічно тиску самопружного металевого кільця); $D_{ek} = D - 2s$ – зовнішній діаметр експандеру.

Товщина експандера рекомендована у межах від 0,012 до 0,015 діаметра (D). Подібно до використання направляючих разом з графітовими кільцями, направляючі також застосовуються з ущільнювальними фторопластовими кільцями. Вони можуть бути надягнуті на зовнішню поверхню поршня через їх достатню еластичність при великих діаметрах для поліпшення роботи ущільнювальних кілець.

Для роботи з фторопластовими кільцям найкращим матеріалом є чавун або нержавіюча сталь. Дзеркало циліндра не потрібно хромувати. Розміри поршневих кілець з фторопласту у компресоробудуванні встановлюються відповідно до технічної документації. Кількість фторопластових кілець на поршні рекомендовано вибирати так, як і текстолітових кілець в залежності від конкретних умов експлуатації.

Фізико-механічні характеристики чавуну СЧ20 наведені у таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Фізико-механічні характеристики матеріалу чавун СЧ20

Марка чавуну	Наближений хімічний склад	Механічні властивості		
		Руйнівне навантаження, МПа	Модуль пружності, МПа	Твердість НВ, Мн/м^2
СЧ20	2,7–3,5 % C	200	$1 \cdot 10^5$	1700–2410
	1,5–2,4 % Si			
	0,6–1,2 % Mn			
	0,12 % S			
	0,3 % P			

Фізико-механічні характеристики матеріалів Ф-4 та Ф4К20 приведені у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Фізико-механічні характеристики матеріалів Ф-4 та Ф4К20

Найменування характеристики	Ф4К20	Ф-4
Густина г/см^3	2,160	2,18
Руйнівне навантаження, МПа	130-150	20
Відносне видовження, %	120	300
Твердість по Бринеллю, МПа	4,0	3,4-3,8
Деформація під навантаженням через 24 години при 22 ºС, %	2,9-3,0	6,6
Критичне навантаження, МПа·см при швидкості ковзання 0,05 м/с теж 0,50 м/с >> 5,00 м/с	50 700 1100	
Відносна зносостійкість	625	1
Інтенсивність зносу, Г/ч·10^4	1,0	
Вміст наповнювача ливарного коксу, % (мас.)	20	б/н

Останнім часом для поршневих кілець неметалеві матеріали є досить перспективними не тільки для обладнання, що працює без мастила, але і при використанні обмеженого мащення.

Дослідження, які проводилися для вивчення впливу газового середовища на зношування ущільнюючих елементів з різних наповнених фторопластів, підтвердили, що матеріал марки Ф4К20 виявив високу стійкість до зношування [12,13].

Проаналізувавши літературні матеріали можна зробити висновок:

а) чавунне кільце без мащення по дзеркалу циліндра не буде працювати, а у випадку обмеженого мащення може працювати лише при певних умовах;

б) поршневе кільце з композиційного матеріалу Ф4К20 досить ефективно працює по дзеркалу циліндра як без змащення так і з мащенням [13];

в) композиційний матеріал Ф4ВВ20 має значно вищу зносостійкість і кращі фізичні та механічні характеристики, а ніж матеріал Ф4К20, але є дорого вартісним. Тому, доцільно для поршневих ущільнень компресорів, які працюють при тиску нагнітання 0,6–0,8 МПа застосовувати матеріал Ф4К20 [10].

1.2 Обгрунтування вибору вузла тертя для підвищення його зносостійкості

Компресор, хоча має просту систему поршневого ущільнення, що працює без змащення і є легким у обслуговуванні, все ж вимагає детального контролю через свою складність. Особливо це стосується автомобілів, які функціонують після серйозного ремонту протягом обмеженого періоду. Під час припрацювання важливо регулярно перевіряти та контролювати ступінь зносу кілець. Після накопичення півтори тисячі годин експлуатації важливо оцінити масштаб та рівномірність зносу деталей. Для цього використовують щуп для визначення зносу, який виявляє зазор між стінкою циліндра та поршневим кільцем. Оцінка зносу кілець проводиться за зміною радіальної товщини кільця. Допустимий знос вважається тоді, коли він знаходиться у межах від двадцяти до тридцяти відсотків

від радіальної товщини кільця. У технічних специфікаціях для ремонту конкретного компресора зазначено максимально припустимий знос поршневого ущільнення. Якщо величина зносу поршневих кілець перевищує встановлені граничні значення, це може призвести до виведення їх з експлуатації передчасно.

На підприємствах, на яких працюють компресори загального призначення і які переведенні на режим без мащення, термін використання кілець складає до дванадцяти тисяч годин. При більш детальній роботі з модернізації цього обладнання можливе подовження терміну служби до наступного капітального ремонту приблизно до вісімнадцяти тисяч годин.

На практиці часто зустрічається нерівномірний знос кілець. Щоб цьому запобігти, провертають кільця на 90°. У цьому випадку не проводиться аналіз основної причини нерівномірного зносу, що призводить до збільшення загального часу експлуатації та значного зниження ефективності поршневих кілець через втрату їх щільності.

Показником зносу поршневих кілець є величина збільшення зазору в замку. У випадку, коли компресори на режимі без мащення, для зниження питомого тиску потрібно по можливості збільшити площу опорних сегментів або зменшити масу поршня. Це можливо, якщо розрахунки підтверджують, що не порушується врівноваженість обладнання.

Отже, поршневі кільця призначені для запобігання перетікання газу з порожнин стискування. І тому, щільне прилягання кілець до поверхні циліндра забезпечує необхідний ущільнюючий ефект. Поршневі кільця вважають найбільш відповідальними елементами компресора.

1.3 Постановка задачі на відновлення та підвищення зносостійкості

Мета роботи полягає в тому, щоб, виходячи з аналізу умов роботи компресорної установки СО-243-1, розробити метод підвищення зносостійкості чавунних поршневих кілець та перевірити працездатність антифрикційного полімерного матеріалу Ф4К20 в умовах обмеженого мащення в лабораторних

умовах.

Об’єкт дослідження: поршневе ущільнення компресора СО-243-1.

Предметом досліджень є антифрикційні властивості чавуну СЧ20 та фторопластового матеріалу Ф4К20 в умовах обмеженого мащення.

Основні завдання дослідження:

1. Дослідити умови роботи пари поршневе ущільнення – циліндр компресора.
2. З метою зменшення забруднення повітря мастилом та підвищення довговічності циліндро-поршневої групи запропоновано переведення компресора СО-243-1 на роботу з обмеженим мащенням, а для підвищення зносостійкості пари тертя поршневе кільце-циліндр замінити матеріал поршневого кільця чавун СЧ20 на матеріал Ф4К20.
3. Розробити технологію виготовлення поршневого ущільнення для компресора з матеріалу Ф4К20.
4. Дослідити зносостійкість з визначенням параметрів моделі зношування чавуну СЧ20 та композиційного матеріалу Ф4К20 в умовах обмеженого мащення.

2 Технологія технічного обслуговування і поточного ремонту агрегату та вузла тертя

2.1 Технічне обслуговування агрегату

2.1.1 Діагностування: технологія і обладнання

Обслуговування компресорів з обмеженим мащенням виявляється значно простішим, ніж обслуговування машин, що потребують змащення: немає потреби в регулюванні або контролі подачі мастила до циліндрів та ущільнювачів. Однак при експлуатації таких компресорів необхідно уважно відстежувати температуру нагрівання штока. Це особливо важливо для компресорів, які працюють обмежений час після проведення модернізації або ремонту.

Слідкування за компресором з обмеженим мащенням охоплює виконання операцій під час зміни навантаження на компресор, контроль та перевірку запобіжних клапанів, пристроїв безпеки й блокування компресора, обслуговування механізму руху, підтяжку грундбуксів у разі наявності м'якого ущільнення. Також, в окремих випадках, контроль над фільтруючими елементами або періодичне очищення системи від зношених ущільнень та корозійних продуктів.

Інтервал міжремонтного пробігу при переході компресорів на режим з обмеженим мащенням у більшості випадків визначається потребою у ремонтних операціях механізму руху, а не поршневого ущільнення. Зате, коли компресори переводять на режим сухого тертя, іноді може відбутися скорочення терміну служби сідла та клапанних пластин, що стає визначальним фактором для інтервалу міжремонтного пробігу.

Дійсні нормативи щодо інтервалів міжремонтного пробігу, технічного обслуговування та ремонту при переході компресора на режим з обмеженим мащенням повинні бути визначені шляхом наукових досліджень, основаних на

вивченні поведінки окремих вузлів та деталей. Ці нормативи мають бути затверджені відповідно до установленого порядку.

Стан зношеності кілець оцінюють за зазором між стінкою циліндра та кільцем, який визначається за допомогою спеціального щупа. Зазвичай оцінка зношеності кілець також здійснюється на основі втрати маси. Але через те, що вимірювання маси деталей умовно складне під час експлуатації, зношення оцінюють за зміною радіальної товщини кільця. Знос буде допустимим, якщо не перевищує 20-30 відсотків радіальної товщини кільця. Для кожного конкретного компресора в технічних характеристиках для ремонту мають бути визначені граничні значення зношування в лінійних вимірах. Ці граничні значення встановлюються з урахуванням необхідності забезпечення мінімального зазору між поршнем і циліндром, а також за допомогою певної страхової частки радіальної товщини на обраний період роботи компресора. Якщо така робота не проводиться, то існує ризик викидати ще придатні до роботи кільця. Наприклад, на деяких підприємствах щодо вітчизняних компресорів загального призначення, переведених на режим з обмеженим мащенням, термін служби кілець може коливатися на рівні 10-12 тисяч годин.

Під час капітального ремонту заміна кілець вказаних машин зазвичай виконується, що призводить до скорочення строку роботи кілець до 8640 годин і збільшує витрати фторопластових матеріалів. Однак при більш детальному проведенні робіт з модернізації на тих самих машинах можна досягти терміну служби до наступного капітального ремонту, що складатиме 17280 годин.

Слід зазначити, що часто при нерівномірному зношуванні кілець із метою економії матеріалу прибігають до повороту їх на 90°. У такий спосіб не аналізується й не усувається основна причина нерівномірного зношування, збільшується сумарний час припрацювання й у значній мірі знижується щільність поршневого ущільнення.

Зношення поршневих кілець може бути вказано також значним збільшенням зазору в замку, більше 0,01Dц. Зношування опорних сегментів призводить до зростання нахилу штоку і його вібрації, що, відповідно, спричиняє

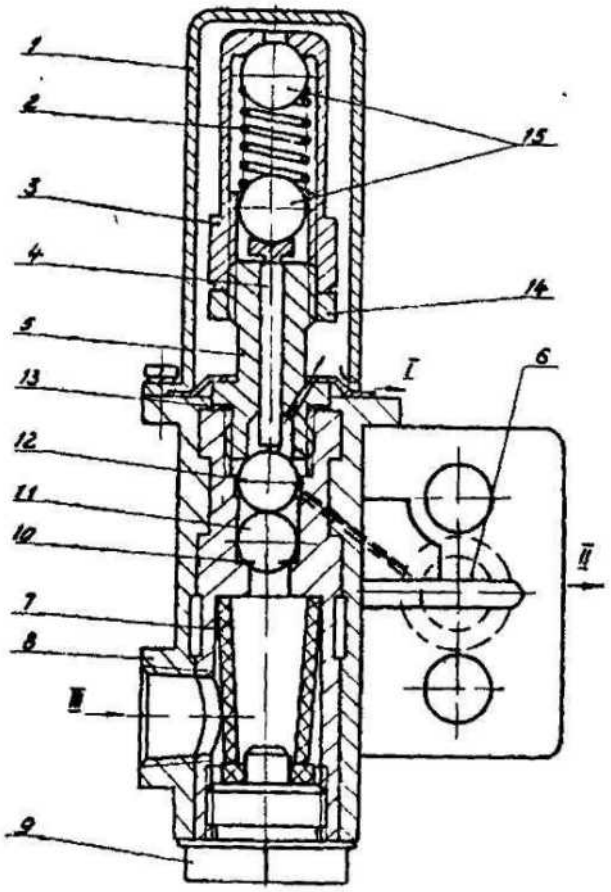
підвищене зношування ущільнювальних та напрямних кілець, а також скорочення міжремонтного пробігу.

Таким чином, коли проводиться переведення компресорів на режим з обмеженим мащенням для зниження питомого тиску необхідно досягати збільшення площі опорних сегментів або зменшення маси поршня. При цьому розрахунки повинні показати, що це не порушить врівноваженість машини. Отже, заходи щодо збільшення площі опорних сегментів або зменшення маси поршня при переведенні компресорів на режим з обмеженим мащенням можуть допомогти зменшити тертя, підвищити ефективність компресора та знизити питомий тиск у системі. При ревізії поршневої групи компресорів з текстолітовими кільцями краще уникати знімання кілець, оскільки механічні властивості матеріалу кілець можуть погіршуватись з часом. А у випадку заміни кілець потрібно враховувати, що допустиме напруження вигину має бути 70 Мпа для текстоліту марок Ш, 45 Мпа для марок У та 40 Мпа для марок ПТ.

Допустимим способом більш повного використання радіальної товщини можна вважати можливу установку самопружних кілець фторопластових, які потім в процесі зношення працюють зі стрічковими експандерами (вертикальні машини) та з експандерами ресорного типу (горизонтальні). У випадку зношення опорних башмаків та сегментів бажано відновлювати початковий зазор між циліндром й поршнем, а також співвісність циліндра та поршня за допомогою прокладок, таких як фібра, пароніт, гетинакс.

2.1.2 Регулювання та профілактика

Регулювання продуктивності установки проводиться періодичним переведенням на холостий хід, використовуючи автомат розвантаження. Автомат розвантаження у компресорі складається з регулятора тиску АР-11 та механізму розвантаження, який зазвичай встановлений в головці блоку циліндрів (рисунок 2.1).



1 – кожух; 2 – пружина; 3 – ковпачкова гайка; 4 – стержень клапанів; 5 – сідло випускного клапану; 6 – сітчатий фільтр; 7 – металокерамічний фільтр; 8 – корпус регулятору; 9 – пробка фільтру; 10 – кільце пружинне; 11 – впускний клапан; 12 – випускний клапан; 13 – регулюючі прокладки; 14 – контргайка; 15 – центруючі кульки.

I – в атмосферу; II – в механізм розвантаження компресора; III – з ресивера.

Рисунок 2.1 - Регулятор тиску АР-11

Регулятор тиску АР-11 містить впускний клапан 11 та випускний клапан 12 у вигляді кульових механізмів, які утримуються за допомогою стержня 4, навантаженого пружиною 2, а також центруються за допомогою кульок 15.

Сітчатий фільтр 6 розташований там, де повітря виходить із регулятора та входить у механізм розвантаження, а металокерамічний фільтр 7 знаходиться у місці, де повітря виходить із регулятора перед його входом у ресивер.

Коли тиск в ресивері досягає максимально допустимого рівня роботи, стиснуте повітря, перемагаючи опір пружини 2, відкриває впускний клапан 11 і надходить до механізму розвантаження.

Поршень 23 механізму розвантаження натискає на запірну кульку 21, що відкриває шлях між камерами всмоктування та нагнітаючою в головці циліндрів. Це призводить до закриття зворотного клапана, розташованого за нагнітаючим трубопроводом. У цей момент компресор, перекачуючи повітря з камери нагнітаючої у камеру всмоктування, працює без навантаження (вхолосту).

Разом із зниженням рівня повітря в ресивері, тиск також падає. При досягненні мінімального робочого тиску, впускний клапан регулятора 11, під дією пружини 2, закривається, а випускний клапан 12 встановлює зв'язок між механізмом розвантаження та атмосферою. Завдяки зусиллю пружини 20, запірна кулька 21 перекриває з'єднання між камерами всмоктування та нагнітаючою. В цей момент відбувається відкривання зворотного клапану і компресор розпочинає нагнітати повітря назад у ресивер.

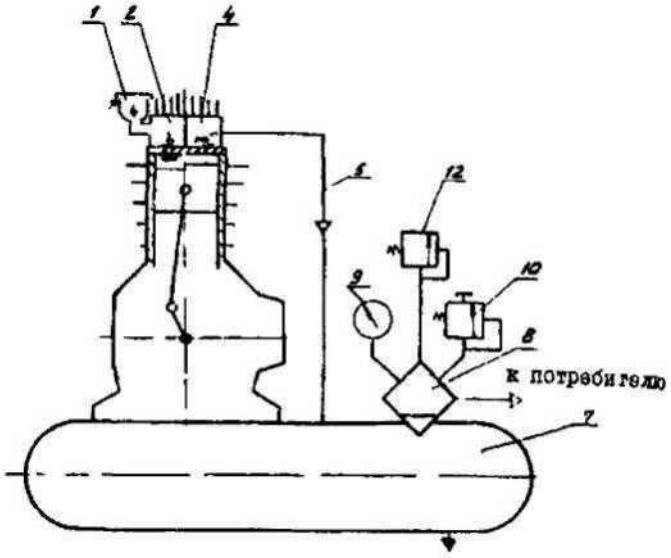
Якщо заданий режим роботи автомату розвантаження не відповідає вимогам (компресор не переходить на режим холостого ходу при заданому тиску або переходить на холостий хід при тиску меншому, ніж необхідно), тоді налаштування регулятора повинно здійснюватися шляхом обертання ковпачкової гайки 3. Якщо гайку закручувати, тиск для включення буде підвищуватися, якщо відкручувати – тиск буде знижуватись. Після регулювання гайку слід надійно зафіксувати за допомогою контргайки 14.

Якщо діапазон спрацювання регулятора тиску від максимального до мінімального робочого значення виходить за межі 0,08–0,18 МПа, налаштування необхідно провести шляхом зміни кількості прокладок 13 під сідлом випускного клапана 5. Це дозволить вирівняти тиск для включення та вимикання регулятора в межах встановлених значень.

Запуск компресора здійснюється за допомогою клиноремінної передачі від трифазного двигуна потужністю 4 кВт. Напрям обертання колінчастого валу: зі сторони маховика проти годинникової стрілки.

Клинопасова передача закрита огородженням. Принцип роботи наступний.

З атмосфери повітря через повітряний фільтр 1 направляється у всмоктувальну камеру 2 головки (рисунок 2.2).



1 – фільтр повітряний; 2 – всмоктуюча камера;3 – механізм розвантаження; 4 – нагнітаюча камера; 5 – нагнітаючий трубопровід; 6 – клапан зворотній; 7 – ресивер; 8 – мастиловологовідокремлювач; 9 – манометр; 10 – клапан запобіжний; 11 – трубопровід; 12 – регулятор тиску АР-11.

Рисунок 2.2 - Пневматична схема компресорної установки СО-243-1.

Під час опускання поршня в циліндрі виникає зменшення тиску, що означає, що тиск повітря всередині стає меншим, ніж атмосферний тиск. Це приводить до відкриття всмоктуючого клапана за допомогою сили, яка діє за рахунок атмосферного тиску, і дозволяє повітрю проникнути безпосередньо у циліндр. Під час зворотнього руху поршня тиск повітря в циліндрі спочатку починає знижуватись, стаючи вищим за атмосферний тиск. Це призводить до того, що всмоктуючий клапан притискається до сідла, перекриваючи доступ зовнішнього повітря до циліндра. Подальшим рухом поршня тиск повітря в циліндрі знижується до того моменту, поки не подолає опір нагнітаючого клапану і тиск стиснутого повітря. Коли це стається, нагнітаючий клапан, що відкритий під час всмоктування поршня, закривається і стиснене повітря з циліндра виштовхується

поршнем у напрямку нагнітаючої камери 4 головки блоку циліндрів, а далі – в нагнітаючий трубопровід 5.

По нагнітаючому трубопроводу повітря переходить у ресивер 7 через запобіжний клапан 6, розташований вертикально на вході повітря в ресивер, а потім проходить через мастиловологовідокремлювач 8. Через розподільні крани повітря подається за допомогою шлангів із мастиловологовідокремлювача. Для контролю тиску в ресивері на мастиловологовідокремлювачі є манометр 9.

На установці для регулювання продуктивності та тиску мастиловологовідокремлювач з'єднаний трубопроводом 11, з регулятором тиску АР-11 (12) та механізмом розвантаження 3.

Запобіжний клапан 10 встановлено для запобігання надмірного тиску у ресивері та захисту компресора.

2.2 Технологія поточного ремонту

2.2.1 Розбирання

Перед розбиранням бажано позначити всі з'єднані деталі, взаємне розміщення яких може бути порушено під час ремонту. На усіх ділянках трубопроводів, які будуть демонтовані під час розбирання, такі як клапани, патрубки, фланці, необхідно встановити заглушки або застосувати плівку, щоб уникнути забруднення та потрапляння сторонніх предметів.

Час від часу, потрібно контролювати горизонтальність положення кришки: заміряти відстань від кутів роз'єднання корпуса та кришки.

При розбиранні контролюють осьовий розбіг і биття ротора, зазори в ущільненнях і проточній частині, натяг між вкладишами й кришками підшипників, зазори в підшипниках і контакти поверхні вкладишів із кришкою.

Під час розбирання поршневих насосів та компресорів спочатку знімають кришки картера та циліндрів для перевірки зазорів між башмаками повзуна та напрямними у верхній та нижній положеннях. Потім демонтується кріпильна

апаратура фланця та кріплення штока з повзуном, щоб відвести поршень разом із штоком у крайнє заднє положення, а повзун відповідно у переднє. Далі проводиться розбір кріплення пальця повзуна й видалення самого пальця. Після цього обов’язково виконують повторне вимірювання зазорів між башмаками повзуна та напрямними, що знаходяться паралельно у верхній та нижній положеннях.

Після викручування шатунних болтів і верхньої головки шатуна, шатун видаляють. При розбиранні кореневих підшипників, важливо виміряти загальну товщину прокладок у горизонтальному положенні. Провіривши зазори між тілом поршня та внутрішньою стінкою циліндра, виймають поршень. Подалі знімають поршневі кільця і викрутивши поршневу гайку, виймають шток.

Додаткові етапи розбирання виконують лише за необхідності або під час капітального ремонту.

При розбиранні деталі обов’язково очищають від забруднень і при необхідності промивають. Деталі очищають чистими ганчірками. Забороняється використовувати необроблену по кінцях тканину, тому що вона залишає волокна на поверхні деталі. Волокна, які попали в маслосистему порушують її роботу.

Деталі розміщують на спеціальних піддонах і накривають чистим брезентом. Якщо відсутні роботи, нижню частину корпусу відцентрових машин обов'язково накривають брезентом або плівкою.

Перед початком ремонту та відновлення деталей виконують контроль їхнього стану. Після завершення ремонтних робіт складання машин проводять у такій же послідовності, що й зворотний процес розбирання. На початковому етапі виконують складання вузлів.

У поршневих насосів і компресорів встановлюють нижні вкладиші корінних підшипників, при цьому перевіряють осьовий і масляний зазори. Також проводять контроль горизонтальності валу та перевіряють наявність биття корінних шийок.

Поршні збирають разом зі штоками, встановлюють їх у циліндри та перевіряють зазори між тілом поршня та стінкою циліндра. Повзун розміщають у напрямні, а далі контролюють зазори між башмаками й напрямними.

Шатун та шток з'єднують із повзуном, а далі шатун монтують із колінчатим валом. Під час складання відцентрових компресорів зазвичай використовують мастику для ущільнення роз'ємів корпусу.

Кришку опускають за допомогою спеціальної траверси по напрямних шпильках, які змащені і які використовувались при розбиранні. Аналогічно, як і при розбиранні, необхідно періодично перевіряти горизонтальність кришки. Якщо відстань між фланцями корпусу становить 4–5 мм, встановлюють контрольні штифти.

Після закріплення кришки, штифти забивають мідним молотком і перевіряють обертання ротора, уважно слухаючи, чи не відбувається стикування з кришкою. Після цього здійснюють легке затягування болтів і знову перевіряють рухливість ротора. Кінцеве затягування болтів проводять після висихання мастики.

Прийняття компресорів після ремонту виконується призначеною комісією. Згідно документам, складеним у період ремонту, комісія перевіряє правильність зібрання обладнання.

Перед запуском старанно очищають площадку навколо обладнання. Перевіряють та готують до запуску системи змащення та охолодження.

На початку машину запускають у режимі холостого ходу без навантаження та на протязі деякого часу обкатують. При обкатуванні виконують спостереження за тиском та подачею мастила на усі поверхні, що труться і стежать, чи немає стуків та шумів в машині, контролюючи також температуру підшипників. Після обкатування установку компресорну зупиняють, виконують неповне розбирання і контролюють стан усіх деталей та вузлів. Після усунення виявлених при обкатуванні дефектів, компресорну установку запускають у робочий режим. Попередньо компресори проходять процедуру продування, а насоси – промивання всієї установки та комунікацій.

Зазвичай, тривалість пробного пробігу машини під навантаженням складає кілька годин. Після певного періоду безперебійної роботи у технологічній схемі підписується акт прийняття обладнання після ремонту.

2.2.2 Збирання компресора

Після ремонту вузлів компресора зібрання його виконують в порядку, зворотньому розбиранню. На першому етапі потрібно очистити усі деталі від забруднення, промити та висушити їх. Далі, тонким шаром мастила змастити робочі поверхні механізму руху.

Виконати монтаж підшипника шатуна після оброблення шийки вала. Прийнятною є рівномірна поверхня при наявності не менше 8 плям на кожному квадраті зі стороною 25 мм. Площа контакту повинна складати не менше 75 % від загальної площі вкладиша. Якщо вкладиш тонкостінний, оброблення шийки вала не проводиться. Якщо є дефекти або зношення, потрібно замінити вкладиші.

Загальні крейцкопфові основи компресорів типів 3П та 7П необхідно обробити за допомогою шабрування на паралельних площинах станини. Якість обробки перевіряється за допомогою фарбування. Поверхня башмака повинна мати рівномірне прилягання (6 плям у кожному квадраті розміром 25х25 мм) та займати не менше 75 % робочої площі.

Під час збирання сальника необхідно забезпечити достатній зазор між кільцями, вільний рух кілець у камерах та точне співпадіння мастильних отворів.

Під час збирання та установки поршнів потрібно повернути замки поршневих кілець на 120–180 градусів. Кільця мають вільно рухатися в канавках поршня й втоплюватись в них при легкому натисканні.

Для установки поршня на компресор необхідно нанести запобіжний чохол на різьблення штока. Це зроблено для запобігання пошкодженню або виробленню ущільнювального елементу сальника під час монтажу.

Під час складання циліндропоршневої групи важливо запобігти потраплянню бруду та чужорідних предметів у канавки поршня та на контактні поверхні поршня та циліндра.

Ущільнювальні кільця слід встановлювати в поршні, які були перед тим ретельно вимиті та очищені від забруднень за допомогою стисненого повітря.

Перед встановленням пластикових поршневих кілець із матеріалу зниженого тертя, які зберігалися у негерметичній упаковці, рекомендується кип'ятити їх у воді. Цей процес повинен тривати 10 хвилин на кожний міліметр товщини кілець.

Для полегшення збирання циліндропоршневої групи, нові ущільнювальні кільця з антифрикційного матеріалу допускається згинати у формі спіралі перед їх одяганням на поршень.

При монтажі поршня з ущільнювальними кільцями важливо враховувати, що замки кілець мають знаходитися поза областю клапанних вікон циліндра, оскільки в іншому випадку може виникнути ризик пошкодження полиць замка кільця. Розміщення замків кілець один відносно одного має бути під кутом 120–180°. Крім того, замки експандерів поинні збігатися з замками кілець.

Зняття та одягання кілець після довгого терміну роботи необхідно виконувати досить обережно, з невеликим розведенням кілець, так як кільця з часом набувають крихкості. У випадку встановлення робочих клапанів бажано звернути увагу на правильність встановлення усмоктувальних та нагнітальних клапанів. Прокладки паронітові, які використовують при монтажі, мають бути покриті графітом.

2.3 Конструкторські методи переведення компресора на роботу з обмеженим мащенням

При переході компресора на режим роботи з обмеженим мащенням, зазвичай обмежуються проведенням таких заходів, як заміна ущільнювальних кілець поршня та сальників, встановлення маслозбірників і відсіків для мастила, а також, в ідеальному випадку, підвищенням чистоти поверхні циліндра.

Недостатня ефективність реалізації часткового комплексу вказаних заходів означає, що вони не принесли очікуваних результатів у переведенні компресора на режим з обмеженим змащенням. Зрозуміло, що весь набір запропонованих

заходів варто проводити разом з капітальним ремонтом компресора для досягнення більш ефективного результату.

Проте варто відзначити, що деякі завдання в умовах цеху іноді складно виконати, особливо стосується збільшення ліхтарної частини та подовження штока. У цих випадках доводиться обмежуватися режимом обмеженого змащення, оскільки навіть при використанні масловідбивача та ефективних маслозбірних кілець важко гарантувати відсутність проникнення мастила зі штока в циліндр. Навіть якщо поршнева пара в основному працює в умовах, що нагадують сухе тертя, тобто граничне тертя, такі машини часто класифікуються як пристрої, які працюють у режимі обмеженого мащення.

Для переведення компресорів на режим обмеженого змащення в циліндрі, однією з умов є подовження ліхтарної частини та штока. Компресори стандартного виконання виготовляються з ліхтарем, довжина якого може бути меншою за хід поршня, або без ліхтарної частини зовсім. Якщо потрібно збільшити довжину ліхтарної частини, і обмеженням є установка додаткових деталей, таких як проставочні кільця або фланці, що з'єднують модифіковані кріпильні деталі з корпусом, ліхтарем або циліндром, то в більшості випадків це рішення не є достатньо ефективним. Часто потрібно розробляти та виготовляти нову ліхтарну частину, оскільки це єдиний спосіб вирішення проблеми збільшення довжини ліхтарної частини.

Якщо потрібно збільшити довжину ліхтарної частини шляхом розміщення її в одному виливку з корпусом або циліндром, виробництво спеціального виливка може бути дорогим та важкодоступним для виконання на заводі. Значно простіше вирішити цю проблему, якщо ліхтар в машині розроблений як окремий елемент. Такий підхід спрощує процес збільшення довжини ліхтарної частини та полегшує його виготовлення. В даному випадку на підприємстві виконують замовлення на новий ліхтар або використовують ліхтар від старої машини. У випадку збільшення ліхтарної частини можна обрати два рішення: з'єднання двох ліхтарів безпосередньо, якщо розмітка та розміри кріплень на приєднувальних площинах ліхтаря збігаються, або через проміжну деталь. При такому оформленні

збільшеної ліхтарної частини габарити машини трохи більші, а ніж раніше, але для невеликих машин у стаціонарних умовах це може бути прийнятним. Збільшення довжини ліхтарної частини завжди повинно супроводжуватися перевірочним розрахунком на міцність штока. У випадку примусового збільшення діаметра штока доводиться змінювати деякі деталі сальника та кріплення штока в крейцкопфі і поршні.

В невеликих вертикальних та кутових машинах подовження ліхтарної частини практично не впливає на монтажну обв'язку та комунікації компресора. Однак, у горизонтальних машин подовження ліхтарної частини вимагає перенесення опор циліндрів компресора. Це підтверджує, що, хоча робота з переведення компресора на режим обмеженого змащення може здаватися простою на перший погляд, в умовах діючого виробництва вона може бути виконана, але вимагатиме певних змін у системі та операціях монтажу.

3 Технологія відновлення та підвищення зносостійкості деталей вузла тертя

3.1 Розробка технологічного процесу виготовлення лабораторних зразків і поршневого ущільнення з матеріалу Ф4К20

Процес технологічного виробництва композиційного фторопластового матеріалу Ф4К20 передбачає наступні стадії:

- сушіння окремих компонентів композицій;
- змішування компонентів;
- сушіння композиції;
- пресування заготовок;
- сушіння заготовок;
- термообробка заготовок;
- обробка механічна заготовок;
- виконання експериментальних дослідів на зразках.

3.1.1 Приготування композиції матеріалу Ф4К20

Перша стадія полягає у висушуванні кожного компоненту композиції. Потім відбувається змішування в пристрої змішувач – дозуючий. Цей пристрій для змішування являє собою періодичної дії машину з нижнім приводом, що має циліндричну ємність з плоским днищем, всередині якої вертикально закріплений ніж. Відбувається регулювання температури змішування, а саме: не більше 20 °С. Змішування проходить на протязі 10-15 хв. З ціллю запобігання перегрівання композиції, змішування виконують циклами: 2-3 хвилини роботи змішувача, 10-15 хвилин зупинка для охолодження. Сам змішувач може мати рубашку охолодження.

Сушіння композиції здійснюють при температурі 150±10°С на протязі 4-8 годин товщиною не більше 25 мм. У випадку незадовільної сипучості, сушіння

виконують ще раз. Час між сушкою та пресуванням не має перевищувати 2 години. Для сушки композиції використовували пристрій марки ДПТМЗ. 023.000.

Даний пристрій оснащений блоком вимикання нагрівачів і відкривання заслінки у випадку:

а) відкривання дверей сушильної камери;

б) відсутності витяжної вентиляції;

в) досягнення температури в камері 170–180 ºС.

Змішування та розмелювання композиту виконували на МРП – 2. Коротка характеристика млинка МРП – 2.

Млинок – це основа 22, на якій розташовані: камера подрібнення 12 зі стійкою 19, пульт керування 21 та двигуна 6. Пасова передача розміщена в середині основи, натяг її виконується обігом ексцентрика 4. У камері подрібнення на валу 9 прикріплений ніж 8, який на двох підшипник виконує обертовий рух. Камера закривається кришкою 10. При обертанні ручки 11 проти годинникової стрілки, кришка забезпечує легкість відкривання камери подрібнення, а при обертанні за годинною стрілкою - забезпечує герметичність камери. В середині стійки за допомогою двох підшипників встановлений вал 18. Обертальний рух від двигуна до валу18 передається завдяки пасовій передачі, а від валу 18 до валу 9 передається завдяки муфті 15, що закріплена на валу гвинтом 7.

Включення млинка виконується провертанням ручки 20 реле часу. На пульті керування розташовані лампи індикації та запобіжники.

Технічна характеристика млинка МРП – 2: продуктивність, проб/год – не менше 10; час розмелювання однієї проби, хв. – 3; вага проби, г – 100.

3.1.2 Пресування лабораторних зразків і заготовок матеріалу Ф4К20

Пресування фторопластових композицій Ф4К20 відбувається на спеціальних гідравлічних пресах в прес-формах із сталі. Для того, щоб отримати точні розміри заготовок перед пресуванням проводять зважування (дозування

вагове). Дозування вагове виконують на настільних циферблатних вагах ВНЦ-2, точність зважування яких – 0, 01 кг.

Для отримання чистої поверхні деталей форму для пресування періодично через 5–10 пресувань протирають мякою тканиною, пропитаною етиловим спиртом. Вагу відпресованої деталі розраховують за формулою:

$$G = sh\rho, \tag{3.1}$$

де G – вага деталі, кг;

ρ – щільність деталі, рівна 2100 кг/м^3;

h – висота деталі, м;

s – площа поперечного перерізу деталі, м^2.

Виходячи з ваги відпресованої першої деталі, розраховується дійсна вага композиції на 1 деталь. Розрахунок дійсної дози проводиться за формулою:

$$G_д = \frac{G \cdot h}{h_T}, \tag{3.2}$$

де $G_д$ - дійсна вага дози, кг;

G – задана вага деталі, кг;

h – задана висота деталі, кг;

h_T – отримана висота деталі, м.

Доза легко засипається в форму для пресування. Пресування деталей виконується при граничному тиску 40–45 МПа. Зокрема, тиск пресування підраховують максимальним для даної площі деталі та конкретного зусилля повзуна преса, проте не вище 50 МПа. З ціллю більш повного витіснення повітря та недопуску розтріскування деталей та заготовок тиск підвищують і знижують плавно та рівномірно. Розрахунок тиску пресування знаходимо за формулою:

$$P_{ман} = \frac{P_{гр} \cdot S_{пр}}{S_{пл}} \tag{3.3}$$

де, $P_{ман}$ – манометричний тиск, МПа;

$P_{гр}$ – граничний тиск пресування, МПа;

$S_{пр}$ – площа пресування деталі, м^2;

$S_{пл}$ – площа пресу (поршня), м^2.

Термін пресування при тиску пресування має бути не менше однієї хвилини на 30 мм висоти деталі. Усі розрахунки вихідних даних на кожен типорозмір деталей вписуються в технологічну карту пресування. Технологічна карта містить наступні дані: назву виробу, деталі; розміри; марку композиції; площу пресування деталі; зусилля пресу; манометричний тиск; вагу композиції; термін витримки під тиском.

Після закінчення часу витримки, знімається тиск, форма для пресування розбирається, видаляється деталь, яка перевіряється на виявлення дефектів, після чого проводиться її маркування голкою після очищення. Перші пять деталей перевіряються за допомогою штангенциркуля на відповідність геометричним розмірам. Для кожної партії виробів складається маршрутний лист.

Дозволяється сушка деталей при температурі 150±10 ºС в сушильній шафі на протязі 4–20 годин з переносом виробів в твердій тарі у піч для термообробки, яка нагріта до 150 ºС. До речі, термін часу між операціями розвантаження з сушильної шафи та завантаженням у піч для термообробки не повинен перевищувати 30 хвилин.

3.1.3 Термообробка лабораторних зразків та заготовок матеріалу Ф4К20

Спікання, тобто термообробка виконується у вільному стані на спеціальних оправках або в затискачах у електропеча, в яких поддон виконує обертовий рух. Обов'язковою умовою при спіканні є циркуляцією повітря по об'єму печі. Щоб краще повітря циркулювало біля монтованих деталей, полички поддону печі проектуються перфорованими. Електропечі мають світильники, які освітлюють робочу камеру та оглядові вікна. Контроль за температурою повітря у печі виконується автоматичними електронними самозаписувальними потенціометрами марки КСП-4, границі вимірів яких від 0 до 600 ºС. Такий контроль температури фіксується в 8–12 місцях по об'єму печі. Дані

потенціометри фіксують покази разом з термопарами марки ТХК, кількість яких 8–12 штук. Потенціометри розташовані на панелях щитової.

Амперметр типу Э-30 з межами вимірювання від 0 до 70 А використовується для вимірювання сили струму, що подається на нагрівач електропечі моделі А-114. Амперметри розташовані на панелях у щитах першого та другого відділів пічних.

Для вимірювання розрідження в печі використовується тягонапорометр типу ТНМ-11 із межами вимірювання від -1,2 до +1,2 МПа, які розташовані теж на щитовій панелі.

В електропечі застосовується автоматичне блокування включення нагрівачів. У випадку відключення подачі вентиляції нагрівачі печі не працюють. У разі перевищення температури в печі понад 415 ºС, сигнальна лампочка, встановлена на панелі та біля входу в пічне відділення, спрацьовує для сигналізації. Для відведення з робочої камери продуктів розкладу фторопласту-4 використовується витяжна технологічна вентиляція.

Термообробка деталей виконується згідно такого режиму:

– сушка деталей при температурі 150±10 ºС на протязі 1 години на 2–5 мм товщини заготовки;

– нагрів від температури 150±10°С до 325±10 ºС плавно з швидкістю не більше 0,5 град/хв.;

– видержування при температурі 325±10 ºС на протязі 1 години на 3–5 мм товщини заготовки;

– нагрів від температури 325±10 ºС до 367±10 ºС плавно з швидкістю не вище 0,5 град/хв.;

– видержування при температурі 367±10 ºС на протязі 1 години на 2–3 мм товщини заготовки;

– охолодження від температури 367±10 ºС до 312±10 ºС плавно з швидкістю не вище 0,5 град/хв.;

– видержування при температурі 312±10 ºС на протязі 1 години на 3–5 мм товщини заготовки;

– охолодження від температури 312±10 ºС до 150±10 ºС плавно з швидкістю не вище 0,5 град/хв.;

– видержування при температурі 150±10 ºС на протязі 1 години на 2–5 мм товщини заготовки.

Після цього процес охолодження відбувається спільно з піччю при відключеному нагрівачі до досягнення кімнатної температури. Охолодження допускається виконувати і на повітрі від 150 ºС до кімнатної температури на рівних поверхнях протягом 4 годин.

Термін термообробки в основному залежить від геометричних розмірів деталей. Кінець термообробки Виконаний повністю режим термообробки вважається кінцем процесу. Видалення деталей з печі можливе лише при температурі, яка не перевищує 150 ºС.

Для отримання деталей з точним внутрішнім діаметром та для збільшення їх щільності і запобігання подальшого вирівнювання, заготовки встановлюють на спеціальні оправки або фіксують їх за допомогою зажимів струбцин. У цьому випадку, сушка та термообробка виконуються на оправках або в оправках, де застосовані зажими. Опісля термообробки при температурі від 20 до 70 °С деталі знімають з оправок.

Створення пробних екземплярів для проведення випробувань з антифрикційних характеристик.

Шихту композиційного матеріалу було висипано в форму для пресування. За допомогою лабораторного гідравлічного пресу, при кімнатній температурі, виконували процес пресування даного матеріалу тиском 40–50 МПа та утримували при цьому тиску протягом 2–3 хвилин. Наступним етапом було видалення деталі з форми та проведення процесу спікання у електричній печі.

Режими термообробки зразків для випробувань фрикційних розмірами 10 мм, циліндричної форми:

– швидкий нагрів зразків до температури 320±5 ºС, термін нагрівання 6–6,5 годин;

– термічна обробка при температурі 320±5 ºС терміном 1,5 години;

– нагрівання до температури 363±10 ºС, термін нагріву1 година;

– термічна обробка при температурі 363±10 ºС протягом 3 год.;

– охолодження до температури 312±10 ºС, термін зниження температури 1 година;

– термічна обробка при температурі 312±10 °С терміном 1,5 години;

– зниження температури зразків до температури 50 °С, за відключених нагрівальних елементів;

– вилучення готових зразків з термопечі.

Зразки антифрикційних композиційних матеріалів на основі фторопласту- 4 підготовлені до механічних випробувань.

4 Оцінка зносостійкості вузла тертя за схемою конус–площина

4.1 Лабораторні дослідження пар тертя з визначенням параметрів моделі зношування

4.1.1 Зразки і установка для дослідження зносостійкості матеріалів

Для відтворення початкового контуру, зниження сил удару при контакті та спрощення вимірювання зношування проводились випробування на зразках з антифрикційних матеріалів Ф4К20 та чавуну СЧ20 у вигляді циліндрів діаметром 10 мм та висотою 14 мм, які мали конусну форму з кутом нахилу 90º на кінці (рисунок 4.1, 4.2).

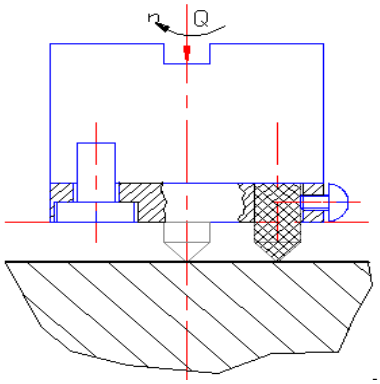


Рисунок 4.1 - Схема випробовувань (конус-площина)

Антифрикційний матеріал Ф4К20; нормальне навантаження N_i=70Н (на один зразок); контртіло чавун СЧ20; кількість зразків: 3 штуки, швидкість: V = 0.45 м/с; навантаження на ричаг: Q = 0,3 кг.

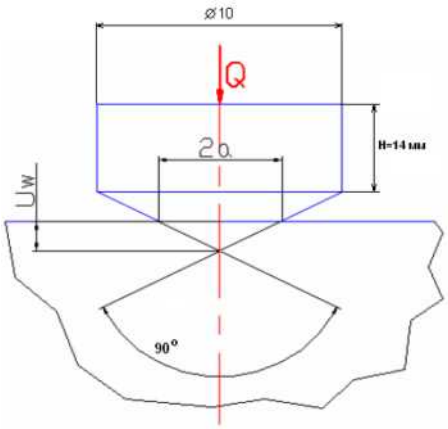


Рисунок 4.2 – Схема випробовувань з розмірами

Машина тертя ХТІ-72 призначена для визначення рівня зношування полімерних композитних матеріалів у парах з металевими компонентами. Конструкція та опис основних частин й агрегатів ХТІ-72 [6].

Машина має бабку шпинделя, у якій вмонтований шпиндельний вузол. Максимальний вертикальний хід шпинделя (ручного) складає 300 мм. Ззаду до нього прикріплений електродвигун. Колонка з'єднана зі столом за допомогою кронштейна та є нерухомо закріпленою.

Шпиндельний вузол розміщений у корпусі, при цьому шпиндель утримується в гільзі на кулькових підшипниках. Шпиндель отримує рух обертання від втулки та шківа через шліцеве з'єднання. Швидкість обертання шпинделя може налаштовуватися за допомогою шківа та пасової передачі в діапазоні від 500 до 2160 обертів на хвилину. Подача шпинделя здійснюється вручну шляхом обертання рукоятки за допомогою валика-шестерні та гільзи з рейкою. Максимальний хід шпинделя становить 100 мм.

Електрообладнання верстата спроектоване для живлення від мережі змінного трифазного струму напругою 380 В та частотою 50 Гц. Освітлення на верстаті працює від мережі змінного струму напругою 36 В. Пускова та захисна апаратура знаходяться на плиті верстата. Привід верстата складається з електродвигуна з розрахунковою швидкістю 1350 обертів за хвилину та потужністю 0,6 кВт, який прикріплений до бабки шпинделя за допомогою підмоторної плити. На валу електродвигуна розташований ступінчастий шків, який з'єднаний зі шківом шпинделя за допомогою клинового ременя завдовжки 1180 мм. Електрообладнання верстата обладнане плавкими запобіжниками для захисту від коротких замикань та перевантажень.

Основна робоча частина машини складається з хвостовика, який закріплений на кінці шпинделя та має запресовану кулю зі сталі ШХ-15 діаметром 12,7 мм. Цей хвостовик складається з трьох нижніх куль, які утворюють чотирикутну піраміду з кульковою конструкцією. Через цю конструкцію передається обертання й навантаження на робочу головку. На робочу головку прикріплена насадка з полімерними зразками.

Зразки циліндричної форми діаметром 10 мм розташовані відносно один одного на відстані 120 ± 10°. Випробування здійснюються на металевому контртілі з чавуну СЧ20. Контртіло закріплене на опорній втулці та забезпечене фіксацією на підп'ятнику, обладнаному стопорним пристроєм. Опорна втулка розташована на підставці. Температура контртіла вимірюється термопарою ХК на відстані 0,5мм від поверхні тертя.

Навантаження на шпиндель передається через важіль. Навантажувальна система калібрується за допомогою зразкового динамометра стиску.

За допомогою спідометра, який з'єднаний тросом з шпинделем, відбувається вимірювання шляху тертя. Зношення зразків можна побачити за допомогою мікроскопа МБП-2.

4.1.2 Підготовка зразків і контртіла для дослідження зносостійкості матерілів

Для експериментальних досліджень виготовляються 3 зразки з антифрикційного полімерного матеріалу циліндричної форми діаметром 10 ± 0,2 мм та висотою 14 ± 0,02 мм з конусом 90^0.

Контртіло виготовлене з чавуну СЧ-20. Робоча сторона контртіла шліфується абразивною шкурою та доводиться до R_a= 0,2 ±0,1 мм. При шліфуванні напрямок руху контртіла перпендикулярно штуцерам. Після закінчення шліфування, поверхню протирають мякою тканиною, пропитану спиртом.

Підготовлені зразки поміщають в гніздо насадки робочої головки. На протязі випробувань робоча головка повертається на контртіло, а потім зафіксовується гвинтами стопорними навантаженням 5 кілограм для закріплення зразків.

Перед проведенням досліджень важливо очистити машину та пульт керування сухою чистою ганчіркою. Також потрібно перевірити стан

заземлення обладнання та наявність змащення у вузлах тертя за допомогою зовнішнього огляду.

Готове до роботи контртіло розміщується на підп'ятнику, та в спеціальний отвір встановлюється термопара. З допомогою термопари вимірюється температура під час дослідженнь та фіксується на стрічці потенціометра КСП-2 або КСП-4.

Контртіло та зразки необхідно знежирити етиловим спиртом, а далі авіаційним бензином. При знежиренні застосовується м'яка не ворсиста тканина.

Зразки розміщують на контртілі з робочою головкою, спрямованою вниз. Головку та хвостовик шпинделя фіксують за допомогою міток, розташованих на них. Потім на верхню частину головки розміщають ковпачок з трьома кулями діаметром 12,7 мм та опускають хвостовик шпинделя. Центрування машини виконується поворотом підшипників.

4.1.3 Методика досліджень і обробки результатів

Дані для досліджень: навантаження нормальне в сумі на три зразки N_i = 210Н; навантаження на важіль Q = 0,3 кг; швидкість тертя V = 0,45 м/с; температура на поверхні контртіла 50 ± 5 °С.

Розміщуємо важіль масою 0,3 кг та вирівнюємо його горизонтально за допомогою рівнеміра. Потім піднімаємо навантаження, встановлюємо робочу головку зі зразками, та запускаємо установку, натиснувши кнопку включення, розташовану ліворуч на станині.

У журналі експерименту відмічаємо початкові покази спідометра ($A_Н$) та час пуску. Далі необхідно визначити кінцевий показник спідометра ($A_К$):

$A_К = A_Н + \Delta A$, де ΔA – шлях тертя по спідометру.

Шлях тертя розраховували за наступною формулою:

$$S = K \cdot \Delta A, \qquad (4.1)$$

$$\Delta A = A_к - A_н , \quad (4.2)$$

де К − коефіцієнт перерахунку;

$A_н$ − показник спідометра перед дослідження;

$A_к$ − показник спідометра після дослідження.

Коефіцієнт перерахунку:

$$K = \frac{2\pi R_{тр} n}{\Delta A_т} , \quad (4.3)$$

де R_{mp} – радіус площі тертя, мм;

$\Delta A_т$ − показники при тарируванні на 1 км показників шкали;

n − число обертів шпинделя.

Показник спідометра після дослідження:

$$A_K = A_H + \frac{S}{K} \quad (4.4)$$

Закінчується перший етап при показах спідометра Ак., Нажавши кнопку виключити, виключаємо машину, знімаємо вантаж. Далі необхідно підняти важіль та вийняти робочу головку. Охолодження виконуємо на повітрі до кімнатної температури. Потім протираємо зразки тканиною та вимірюємо діаметр плями зносу, застосовуючи мікроскоп МПБ-2. Далі необхідно очистити контртіло й зразки від жиру. Наступний другий етап експерименту виконуємо аналогічно першому.

Розроблена методика експериментальних дослідженнь спроможності полімерних композитних матеріалів витримувати зношування в умовах обмеженого мащення у поршневих ущільненнях компресорів. В методиці містяться розрахункові формули для визначення площі поверхні тертя як у циліндрі компресора, так і на лабораторній установці. Також у методиці включені розрахунки об'єму мастила, що використовується в зоні тертя на лабораторній установці, з врахуванням компресорів різного тиску: низького, середнього та високого.

Один із способів вирішення проблеми заощадження паливно-мастильних матеріалів та зменшення кількості мастила, яке потрапляє до кінцевого продукту, полягає в обмеженні витрат мастила під час тертя поверхонь, які знаходяться у контакті. Застосування мастила для змащення циліндрів допомагає зменшити тертя та знос елементів, що утворюють ущільнення в циліндро-поршневій групі компресора. Мастило, яке заповнює зазори між поверхнями тертя, сприяє поліпшенню ущільнення та ефективному відведенню тепла.

Необхідну кількість мастила, яку потрібно подати в циліндр компресора визначають за формулою [3]:

$$m_H = F \cdot g \tag{4.5}$$

де F – площа поверхні тертя ущільнюючих поршневих елементів по циліндру, м^2; q – максимально допустима кількість мастила у грамах на 1 м^2 поверхні, яка змащується.

Площу поверхні тертя визначаємо, застосовуючи формулу:

$$F = 2\pi D l \tau \tag{4.6}$$

де D – діаметр дзеркала циліндра, м;

1 – довжина поверхні циліндра, що знаходиться в контакті з поршневими елементами, м;

n – частота обертання валу компресора;

τ – термін часу, за який розраховують кількість мастила, с.

Для компресорів низького та середнього тиску рекомендується обирати максимально допустиму витрату мастила на 1 м² поверхні циліндра в межах від 0,002 до 0,0025 г/м² [3]. Зайве використання мастила не бажане через можливе утворення нагару на клапанах та в трубопроводах, а також можливе замаслювання клапанів та погіршення їхньої роботи, в окремих випадках це може негативно вплинути на технологічний процес, де використовується стиснутий газ.

Для обмеження витрати мастила ефективним рішенням є заміна металевих ущільнюючих елементів полімерними. У полімерних елементів, завдяки їх низьким значенням модуля пружності та теплопровідності, більша несуча площа порівняно з металевими елементами, а питоме навантаження на шар мастила нижче [3].

Виходячи з цього, доцільно провести дослідження стійкості до зносу антифрикційних фторполімерних матеріалів за умов граничних навантажень та обмеженого застосування мастила.

Знос об'ємний ΔV_i розраховується за діаметром плями зносу. Питому інтенсивність зношування отримуємо з формули:

$$I_j = \frac{\Delta V_i}{N_i \cdot S_i} \tag{4.7}$$

Площу поверхні тертя, при виконанні експериментів на лабораторній установці, визначали за формулою:

$$F = \frac{\pi D_k^2}{4} \cdot n \cdot \tau \tag{4.8}$$

де D_K – діаметр робочої поверхні контртіла, D_K = 0,06м.

Дослідження антифрикційних властивостей фторполімерних композиційних матеріалів виконували на відстані тертя S = 5,0 км. З використанням оптичного мікроскопу вимірювали діаметр плями зносу зразка di для різних відстаней тертя: Si = 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0 км.

При швидкості ковзання, що становить приблизно 0,1 м/с та більше (в умовах змащення), основна частина навантаження компенсується через гідродинамічні явища, що виникають у тонких шарах мастила [3]. Для оцінки цих явищ застосовують критерій Ланкастера (Sh, м2) [3]:

$$S_h = \frac{\eta V d^3}{N_i}, \tag{4.9}$$

де η – в'язкість мастила, Па·с;

V - швидкість ковзання, м/с;

d - початковий діаметр плями зносу, м;

N_i - нормальне навантаження, Н.

З ціллю зменшення гідродинамічного ефекту раціональним вибором є використання найменшої плями зносу та відповідний вибір навантаження, що відповідає твердості матеріалу (не більше 1/3 НВ). Згідно з попередніми дослідженнями, гідродинамічний ефект варіюється від (3,2 до 0,01)·10-12 м2 [3]. Це підтверджує, що умови ковзання перебувають у межах граничного режиму.

Отже, розроблена методика дослідження зносостійкості полімерних композитних матеріалів для поршневих ущільнень компресорів надає можливість визначити оптимальну витрату мастила. Це дозволяє створити найбільш сприятливі умови для функціонування полімерних матеріалів та ефективно використовувати мастильні ресурси.

Обробка результатів досліджень.

За результатами експериментів побудовані графічні залежності $a = f(S)$. Ці залежності апроксимуються степеневою функцією виду:

$$a = CS^{\beta}. \tag{4.10}$$

де a – половина ширини сліду тертя, мкм;

β – показник степеня;

C – параметр моделі.

Параметр моделі:

$$C = a_1 / S_1^{\beta}, \tag{4.11}$$

Показник степеня β знаходимо з формули:

$$\beta = \frac{\lg a_1 / a_5}{\lg S_1 / S_5}, \tag{4.12}$$

де a_1, a_5 – половина ширини сліду тертя при величинах шляху тертя S_1 і S_5 відповідно.

Згідно розрахунків визначаємо параметри моделі зношування m, k_w:

$$m = \frac{1-\beta}{2\beta}; \tag{4.13}$$

$$Kw = \frac{\beta c^{2m+1}}{\left(\frac{Q}{\pi}\right)^m \gamma}, \quad \gamma = tg\alpha \tag{4.14}$$

Методика порівняння результатів:

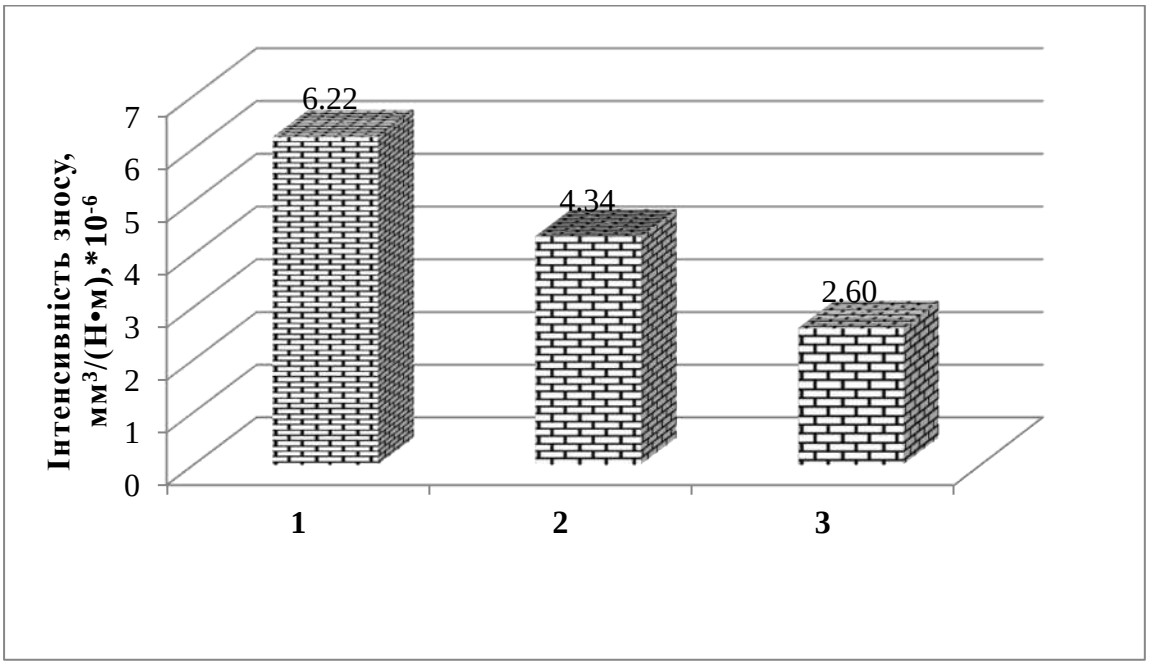
$$\sigma = 6\frac{кг}{см^2} = 0{,}06\frac{кг}{мм^2}$$

$$K = \frac{uw_1}{uw_5} = \frac{Kw_1(0.06)^{m_1}}{Kw_5(0.06)^{m_5}} \tag{4.15}$$

4.1.4 Дослідження зносостійкості пар тертя з визначенням параметрів моделі зношування

Результати дослідження зносостійкості композиційного матеріалу Ф4К20 в умовах обмеженого мащення, а також при відсутності мащення по контртілу чавун СЧ 20 для шляху тертя 5 кілометрів приведені на рисунку 4.3.

Інтенсивність зносу чавуну СЧ 20 за витрати мастила К-19 – 20% від номінальної при цих умовах тертя складає $1{,}21\cdot10^{-4}$. Отже, можна зробити висновок, що композиційний матеріал Ф4К20 за зносостійкістю в умовах обмеженого мащення переважає чавун СЧ-20 в 19,5 разів, при цьому витрата мастила – 20% від номінальної.



1 – композиційний матеріал Ф4К20, витрата мастила К-19 – 20% від номінальної; 2 – композиційний матеріал Ф4К20, витрата мастила К-19 – 5% від номінальної; 3 – композиційний матеріал Ф4К20, без подачі мастила в зону тертя.

Рисунок 4.3 – Гістограма інтенсивності зносу композиційного матеріалу Ф4К20 в умовах обмеженого мащення та при відсутності мащення

Досліджено, що зносостійкість композиційного матеріалу Ф4К20 зростає в 2,4 рази при зниженні витрати мастила К19 від 20% до 0. В той же час, за цих же умов для матеріалу чавун СЧ-20 має місце катастрофічний знос.

Для передбачення тривалості роботи сполучень та вирішення завдань, пов'язаних із стійкістю до зношування, використання математичних моделей зношування матеріалів з відомими числовими параметрами є обов'язковим.

Для постійних режимів досліджень виконували розрахунок значень таких параметрів моделі β, c, k_w та m.

Для композиційного матеріалу Ф4К20, витрата мастила К-19 – 20% від номінальної визначаємо параметри за формулами (4.11), (4.12):

$$\beta = \frac{Lg\frac{a_1}{a_2}}{Lg\frac{S_1}{S_2}} = \frac{Lg\frac{1.03}{2.08}}{Lg\frac{0.5}{5}} = \frac{0.305}{-1} = 0.3$$

$$C = \frac{a_1}{S_1^{\beta}} = \frac{1.03}{\left(0.5 \cdot 10^6\right)^{0.3}} = \frac{1.03}{51.24} = 0.02\frac{мм}{мм^{\beta}}$$

Визначення параметрів моделі m і K_w виконуємо за формулами (4.13) та (4.14):

$$m = \frac{1-\beta}{2\beta} = \frac{1-0.3}{0.6} = \frac{0.7}{0.6} = 1.167$$

$$Kw = \frac{\beta C^{2m+1}}{\left(\frac{Q}{\pi}\right)^m \gamma} = \frac{0.3 \cdot 0.02^{(2 \cdot 1.167+1)}}{\left(\frac{0.3}{\pi}\right)^{1.167} \cdot tg45} = \frac{0.000000649}{0.066} = 0.0000098\left(\frac{мм^2}{кг}\right)^m$$

Для композиційного матеріалу Ф4К20, витрата мастила К-19 – 5 % від номінальної за формулами (4.11), (4.12) визначаємо параметри:

$$\beta = \frac{Lg\frac{a_1}{a_2}}{Lg\frac{S_1}{S_2}} = \frac{Lg\frac{1.11}{1.8}}{Lg\frac{0.5}{5}} = \frac{-0.25}{-1} = 0.2$$

$$C = \frac{a_1}{S_1^{\beta}} = \frac{1.11}{\left(0.5 \cdot 10^6\right)^{0.2}} = \frac{1.11}{13.9} = 0.08\frac{мм}{мм^{\beta}}$$

Визначення параметрів моделі m і K_w розраховуємо з формул (4.13) та (4.14):

$$m = \frac{1-\beta}{2\beta} = \frac{1-0.2}{0.4} = \frac{0.8}{0.4} = 2$$

$$Kw = \frac{\beta C^{2m+1}}{\left(\frac{Q}{\pi}\right)^m \gamma} = \frac{0.2 \cdot 0.08^{(2 \cdot 2+1)}}{\left(\frac{0.3}{\pi}\right)^2 \cdot tg45} = \frac{0.00000069}{0.0304} = 0.0000227\left(\frac{мм^2}{кг}\right)^m$$

Для композиційного матеріалу Ф4К20, при витраті мастила К-19 – 0 % від номінальної за формулами (4.11), (4.12) розраховуємо параметри:

$$\beta = \frac{Lg\frac{a_1}{a_2}}{Lg\frac{S_1}{S_2}} = \frac{Lg\frac{1.28}{1.62}}{Lg\frac{0.5}{2}} = \frac{0.1024}{0.6020} = 0.17$$

$$C = \frac{a_1}{S_1^{\beta}} = \frac{1.28}{\left(0.5 \cdot 10^6\right)^{0.17}} = \frac{1.28}{98.2} = 0.13 \frac{мм}{мм^{\beta}}$$

Визначення параметрів моделі m та K_w отримуємо з формул (4.13) та (4.14):

$$m = \frac{1-\beta}{2\beta} = \frac{1-0.17}{0.34} = \frac{0.83}{0.34} = 2.44$$

$$Kw = \frac{\beta C^{2m+1}}{\left(\frac{Q}{\pi}\right)^m \gamma} = \frac{0.17 \cdot 0.13^{(2 \cdot 2.44+1)}}{\left(\frac{0.3}{\pi}\right)^{2.44} \cdot tg45} = \frac{0.0000011}{0.020} = 0.000055 \left(\frac{мм^2}{кг}\right)^m$$

Для матеріалу чавун СЧ 20, при витраті мастила К-19 – 20 % від номінальної за формулами (4.11), (4.12) визначаємо параметри:

$$\beta = \frac{Lg\frac{a_1}{a_2}}{Lg\frac{S_1}{S_2}} = \frac{Lg\frac{2.80}{3.23}}{Lg\frac{0.5}{1}} = \frac{0.062}{0.30} = 0.206$$

$$C = \frac{a_1}{S_1^{\beta}} = \frac{2.80}{\left(0.5 \cdot 10^6\right)^{0.206}} = \frac{2.80}{14,9} = 0.188$$

Визначення параметрів моделі m та K_w виконуємо за формулами (4.13) та (4.14):

$$m = \frac{1-\beta}{2\beta} = \frac{1-0.206}{0.412} = \frac{0.794}{0.412} = 1.98$$

$$Kw = \frac{\beta C^{2m+1}}{\left(\frac{Q}{\pi}\right)^m \gamma} = \frac{0.206 \cdot 0.18^{(2 \cdot 1.98+1)}}{\left(\frac{0.3}{\pi}\right)^{1.98} \cdot tg45} = \frac{0.000043}{0.0096} = 0.0044 \left(\frac{мм^2}{кг}\right)^m$$

Таблиця 4.1 – Результати випробувань та визначення параметрів моделі зношування

№	Матеріал	β	C $\frac{мм}{мм^\beta}$	K_W	m	k
1	Ф4К20 – чавун мастило К19, 20%	0,3	0,02	$9,8 \cdot 10^{-6}$	1,167	1
2	Ф4К20 – чавун мастилоК19, 5%	0,2	0,08	$2,3 \cdot 10^{-5}$	2,0	4,44
3	Ф4К20 – чавун мастило К19, 0%, без мастила	0,7	0,13	$5,5 \cdot 10^{-5}$	2,44	6,40
4	чавун СЧ20– чавун СЧ20 мастило К19, 20%	0,206	0,18	$4,4 \cdot 10^{-3}$	1,98	0,0219

Методика порівняння

$$\sigma = 6 \frac{кг}{см^2} = 0.06 \frac{кг}{мм^2}$$

$$K = \frac{K_{W1}}{K_{W5}} = \frac{K_{W1} \cdot (0.06)^{m_1}}{K_{W5} \cdot (0.06)^{m_2}}.$$

Порівняння матеріалів:

$$\left(1/2\right) \qquad K = \frac{U_{W1}}{U_{W2}} = \frac{K_{W1}(0.06)^{m_1}}{K_{W2}(0.06)^{m_2}} = \frac{9.8\cdot10^{-6}\cdot(0.06)^{1.167}}{2.3\cdot10^{-5}\cdot(0.06)^{2.0}} = \frac{0{,}3675603\ \cdot10^{-6}}{0.00828\ \cdot10^{-5}} = 4{,}44$$

$$\left(1/3\right) \qquad K = \frac{U_{W1}}{U_{W3}} = \frac{K_{W1}(0.06)^{m_1}}{K_{W3}(0.06)^{m_3}} = \frac{9.8\cdot10^{-6}\cdot(0.06)^{1.167}}{5.5\cdot10^{-5}\cdot(0.06)^{2.44}} = \frac{0{,}3675603\ \cdot10^{-6}}{0{,}005741848\ \cdot10^{-5}} = 6{,}40$$

$$\left(1/4\right) \qquad K = \frac{U_{W1}}{U_{W4}} = \frac{K_{W1}(0.06)^{m_1}}{K_{W4}(0.06)^{m_4}} = \frac{9.8\cdot10^{-6}\cdot(0.06)^{1.167}}{4.4\cdot10^{-3}\cdot(0.06)^{1.98}} = \frac{0{,}36756\ \cdot10^{-6}}{0.01675684\ \cdot10^{-3}} = 0{,}0219$$

Було встановлено, що композиційний матеріал Ф4К20 при витраті мастила К-19 – 20 % від номінальної досить суттєво переважає матеріал чавун СЧ-20. Слід відмітити, що при зменшенні витрати мастила К-19 від 20 % від номінальної до 0 % зносостійкість композиційного матеріалу Ф4К20 зростає.

Висновки

1. Для підвищення зносостійкості циліндро-поршневої групи компресора СО-243-1 запропоновано модернізувати конструкцію компресора з метою переведення його на роботу з обмеженим мащенням та замінити матеріал поршневих кілець чавун СЧ-20 на антифрикційний композиційний матеріал Ф4К20.

2. Результати виконаних досліджень на знос матеріалів чавун СЧ-20 та Ф4К20 в умовах обмеженого мащення показали, що при витраті компресорного мастила К19, що складає 20 % від номінальної за зносостійкістю матерал Ф4К20 в 19,5 разів переважає чавун СЧ-20. Встановлено, що зносостійкість матеріалу Ф4К20 при зниженні витрати мастила К19 від 20 % до 0 зростає в 2,4 рази, в той час як для матеріалу чавун СЧ-20 має місце при цьому катастрофічний знос.

3. Розроблена математична модель зношування матеріалів чавун СЧ-20 та Ф4К20 підтвердила суттєву перевагу композиційного матеріалу Ф4К20.

4. Розроблена технологія переведення компресора на роботу з обмеженим мащенням.

Список літератури

1. Технічний паспорт 01.15.0000.00-00 ПС компресорної установки СО-243 та СО 243-1. Вільнюське державне підприємство по виконанню будівельно-оздоблювальних робіт. Вільнюс, 1992. – 30 с.
2. Tony Giampaolo. Compressor Handbook: Principles and Practice / by River Publishers – 2023. – 428 p.
3. Heinz P. Bloch John J. Hoefner Reciprocating Compressors: Operation and Maintenance Gulf Professional Publishing, 1996 . – 419 p.
4. Свідерський В.П. Підвищення щільності і зносостійкості поршневих кілець автомобільних газонаповнювальних компресорних станцій. / В.П. Свідерський, Г.О. Сіренко, Л.М. Кириченко,. [і інш.]. – // Проблеми трибології. – 2004. – №4. – С. 156-167.
5. Сіренко Г.А. Антифрикционные карбопластики. / Г.А. Сиренко. – Киев. – Техника. – 1985. – 195 с.
6. Застосування синтетичних матеріалів: матеріали конференції. / Гол. редактор Р.І. Сілін. Кишинев.: Картя Молдовеняске. - 1975. - 199 с.
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. Айнбіндер С. Б. Вступ в теорію тертя полімерів / Айнбіндер С. Б., Туніна Є. Л. – Рига, Зинатне. – 216 с.
9. Сіренко Г. О. Зносостійкість композиційних матеріалів на основі термостійких полімерів в умовах граничних навантажень і обмеженого мащення / Г. О. Сіренко, В. П. Свідерський, С. М. Тараненко С. М. // Тертя та знос. – 1988. – т. 9, № 5,– С. 841–851.
10. 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.

11. Theberge I. Carbon fiber reinforced thermoplastics. / I. Theberge, B. Arkles, R. Robinson. // 29 th. Annu conf. World Wid Reinforsed Plastics, Woshington, - 1974 – p. 8-13.

12. Триботехничні властивості політетрафторетилену, модифікованого бінарним наповнювачем. / Петрова П.Н., Охлопкова А.А., Гоголєва О.В [і інш.]. // Тертя та знос. – 2005. – т.26. – № 6. – С. 652-656.

13. Свідерський В.П. Дослідження антифрикційних і механічних властивостей модифікованих карбопластиків. / В. П. Свідерський, Л.М. Кириченко, С.В. Шершун // Вісник ХНУ. Технічні науки. – 2009. – №2. – С.30-34.

14. Кузьменко А. Г. Методи розрахунків і випробувань на зношування та надійність: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів.– Хмельницький: ХНУ, 2002.–151 с.

Додатки