

# ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи  
магістра

Галузь знань 13 – Механічна інженерія  
Спеціальність 132 – Матеріалознавство  
Рівень вищої освіти – Другий магістерський  
Освітньо-професійна програма – Відновлення та технічний сервіс автомобілів

на тему: «*Підвищення зносостійкості поршневих кілець  
компресора кондиціонера автомобіля*»

Шифр: МРТАМ 23.18040.000. ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, група МТВА<sub>м</sub>-22-1 Шкільняк К.О. Шкільняк

Керівник  к.т.н., доц. В.П. Свідерський

До захисту допускаю:

Зав. кафедри ТАМ  О.В. Диха

7 12 2023\_р.

Хмельницький, 2023 р.

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

Галузь знань 13 – *Механічна інженерія*  
Спеціальність 132 – *Матеріалознавство*  
Рівень вищої освіти – *Другий магістерський*  
Освітньо-професійна програма – *Відновлення та технічний сервіс автомобілів*

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Зав.кафедрою ТАМ

проф., д.т.н. Диха О.В.

10.12. 2023 року

**ЗАВДАННЯ**  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Шкільняку Костянтину Олександровичу

1. Тема проекту: *«Підвищення зносостійкості поршневих кілець компресора кондиціонера автомобіля»*

керівник проекту: Свідерський Владислав Петрович, к.т.н., доц.

Затверджено наказом університету від 15 серпня 2023р. №28, (30)

2. Термін подання студентом проекту на кафедру: 10 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до проекту: *Матеріали практики; робочі креслення ущільнюючих елементів; нормативно – технологічна документація по розбиранню, дефектації, складанню і регулюванню вузла тертя; вимоги з охорони праці і безпеки роботи при виконанні ремонтних робіт*

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

1. *Аналіз відомих методів та даних по підвищенню зносостійкості поршневих кілець.*
2. *Розроблення та дослідження конструктивних схем вузла тертя та визначення умов його роботи,*
3. *Дослідження зносостійкості модифікованих фторопластових карбопластиків вузла тертя і проведення розрахунків з визначенням параметрів моделі зношування.*
4. *Розробка технологічного процесу виготовлення лабораторних зразків і поршневого ущільнення з модифікованих фторопластових карбопластиків.*

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) \_\_\_\_\_

Графічна частина роботи представлена у вигляді презентації на слайдах

## 6. Консультанти розділів роботи

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

6. Дата видачі завдання: 10.10 2023 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Термін виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Літературний огляд	30.09.2023	
2	Дослідницький розділ	25.10.2023	
3	Технологічний розділ	15.11.2023	
4	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки	22.11.2023	
5	Оформлення презентації магістерської роботи	1.12.2023	
6	Нормоконтроль магістерської роботи	5.12.2023	
7	Підписання розділів. Затвердження дати захисту	10.12.2023	
8			

Студент

Шкільняк Костянтин ШКІЛЬНЯК

Керівник роботи

  
Владислав СВИДЕРСЬКИЙ

## РЕФЕРАТ

На тему: «Підвищення зносостійкості поршневих кілець компресора кондиціонера автомобіля».

**Актуальність теми дослідження.** Автокондиціонер – зручний пристрій, що сьогодні доступний кожному власнику автомобіля. Але кожний додатковий пристрій схильний, як і будь-який механізм, до поломок і зношування. Це відноситься і до складного і дорогого вузла системи кондиціонування – компресора. Компресор кондиціонера називають «серцем» системи, настільки важлива його безперебійна робота для нормального функціонування кондиціонера. У той же час на компресор спричиняється і найбільше навантаження.

Оскільки ресурс поршневих кілець менший за ресурс всіх інших деталей поршневої групи, то необхідно підвищити їх ресурс за рахунок чого ми підвищимо ресурс всієї групи вцілому. З підвищенням ресурсу вузла зменшуються затрати на ремонт та обслуговування компресора, що досягається за допомогою технологічного підвищення зносостійкості – заміни матеріалу кільця чавун СЧ-18 на антифрикційний фторопластовий матеріал, модифікований комбінованими наповнювачами.

**Мета і завдання дослідження.** Мета роботи полягає в тому, щоб підвищити антифрикційні, фізико-механічні властивості та зносостійкість пари тертя кільце – гільза шляхом багаторівневої модифікації фторопластового карбопластика. Завдання дослідження: розроблення та дослідження конструктивних схем вузла тертя та визначення умов його роботи, дослідження антифрикційних властивостей модифікованих карбопластиків, розроблення технології виготовлення лабораторних зразків та поршневих кілець для компресора кондиціонера.

**Об'єкт і предмет дослідження.** Об'єктом дослідження є поршневі кільця компресора 2ФВ-4/4.5 кондиціонера автомобіля. Предметом дослідження є модифіковані фторопластові карбопластики.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Здійснено вибір і обґрунтування технологічного методу підвищення зносостійкості вузла тертя агрегату за рахунок заміни базового матеріалу на модифікований фторопластовий карбопластик. Встановлено, що з метою підвищення зносостійкості до складу композиційного матеріалу на основі фторопласту-4 і вуглецевого волокна доцільно вводити в якості третього компонента скловолокно, порошки закису міді або свинцю. Експериментальні результати з дослідження зносостійкості розроблених матеріалів знайшли підтвердження в результаті розрахунків з визначенням параметрів моделі зношування.

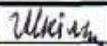


Розроблений технологічний процес виготовлення лабораторних зразків і заготовки кільця поршневого компресора 2ФВ-4/4.5.

**Структура й обсяг роботи.** Магістерська робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи становить 107 сторінок, 31 рисунок, 10 таблиць, 27 літературних джерел.

Перелік ключових слів: ТРАНСПОРТНА СИСТЕМА КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ, ПОРШНЕВИЙ КОМПРЕСОР, ПОРШНЕВЕ КІЛЬЦЕ, АНТИФРИКЦІЙНИЙ КАРБОПЛАСТИК, МОДИФІКАТОРИ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, КОЕФІЦІЄНТ ТЕРТЯ.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ АГРЕГАТУ ТА ВУЗЛІВ ТЕРТЯ.....	9
1.1 Конструкція вузла тертя.....	9
1.1.1 Загальний опис конструкції та роботи поршневого компресора 2ФВ-4/4.5.....	9
1.1.2 Призначення, загальна будова, основні функції поршневого компресора 2ФВ- 4/4.5.....	19
1.1.3 Обґрунтування вибору вузла тертя для підвищення зносостійкості.....	27
1.1.4 Конструктивні та технологічні особливості деталей пари тертя кільце-гільза поршневого компресора 2ФВ-4/4.5.....	28
1.1.5 Характеристика матеріалів пари тертя, хімічний склад, фізико-механічні властивості.....	31
1.1.6 Огляд відомих методів та даних по підвищенню зносостійкості поршневих кілець.....	32
1.2 Визначення умов роботи вузла тертя.....	42
1.2.1 Розробка розрахункової схеми.....	42
1.2.2 Розрахунок сил та тисків, що діють на деталі в контакті пари тертя.....	44
1.2.3 Розрахунок швидкостей ковзання та шляхів тертя.....	46
1.2.4 Аналіз умов мащення , вибір компресорного мастила .....	47
2 ТЕХНОЛОГІЯ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ ТА ПОТОЧНОГО РЕМОНТУ АГРЕГАТА ТА ВУЗЛА ТЕРТЯ.....	49
2.1 Технологія технічного сервісу (ТС) циліндропоршневої групи компресора (ЦПГ).....	49

<b>ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ</b>				
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата
Виконав		Шкільняк К.О.		10.12.23
Перевір.		Свідерський В.П.		10.12.23
Н.контр.		Бабак О.П.		11.12.23
Затвер.		Диха О.В.		7.12.23
Підвищення зносостійкості поршневих кілець компресора кондиціонера автомобіля				
		Літера	Аркуш	Аркушів
		н	5	107
ХНУ, група МТВАм-22-1				

2.1.1 Види відмов деталей пари тертя кільце-гільза поршневого компресора 2ФВ-4/4.5 та вузла в цілому .....	49
2.1.2 Діагностування: устаткування, операції.....	50
2.2 Технологія поточного ремонту ЦПГ компресора.....	50
2.2.1 Розбирання.....	50
2.2.2 Очищення та промивання.....	51
2.2.3 Дефектація деталей.....	52
2.2.4 Заміна деталей, складання.....	52
2.2.5 Регулювання, випробування.....	53
<b>3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ВУЗЛА ТЕРТЯ</b>	
<b>КІЛЬЦЕ-ГІЛЬЗА ПОРШНЕВОГО КОМПРЕСОРА 2ФВ-4/4.5.....</b>	<b>58</b>
3.1 Природа зносостійкості металів при контактному терті .....	58
3.2 Оцінка зносостійкості.....	60
3.3 Методи експериментального дослідження зносостійкості деталей.....	61
3.4 Оцінка зносостійкості вузла тертя, виконаного за різними технологіями.....	64
3.4.1 Лабораторні випробування пар тертя композиційних матеріалів на основі фторопласту-4, з визначенням параметрів моделі зношування, методика випробувань.....	65
3.4.2 Дослідження зносостійкості модифікованих композицій та базового Ф4ВВ20 за схемою сфера – площина.....	69
3.4.3 Методика обробки результатів.....	74
3.4.4 Результати випробувань та визначення параметрів моделі зношування.....	79
<b>4 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ</b>	
<b>ВИГОТОВЛЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ ЗРАЗКІВ І ЗАГОТОВКИ</b>	
<b>КІЛЬЦЯ ПОРШНЕВОГО КОМПРЕСОРА 2ФВ-4/4.5.....</b>	<b>81</b>
4.1 Загальний технологічний процес виробництва модифікованих фторопластових композиційних матеріалів.....	81

					<b>ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

4.1.1 Розрізання вуглецевої тканини “Текарм” на шматки за допомогою гільйотини .....	82
4.1.2 Грубе подрібнення вуглецевої тканини “Текарм” у дробарці....	83
4.1.3 Змішування і подрібнення порошку фторопласта-4 з наповнювачем вуглецевим волокном та іншими складовими в млинку “Ютон”.....	84
4.1.4 Сушка композиції та пресування заготовок антифрикційних карбопластиків.....	86
4.1.5 Термообробка заготовок.....	93
4.1.6 Механічна обробка заготовок.....	98
4.2 Розробка технологічного процесу виготовлення заготовки кільця поршневого компресора 2ФВ-4/4.5.....	100
ВИСНОВКИ.....	101
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	102
ДОДАТКИ.....	107

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

## ВСТУП

В наш час доступний кожному власнику автомобіля досить зручний пристрій автокондиціонер. Проте цей додатковий пристрій схильний, як любий механізм, до зношування та поломки. Аналогічно це відноситься також до вузла системи кондиціонування – компресора [1].

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

В транспорті для кондиціонування повітря використовують поршневі компресори трьох видів: дво-, шести- та п'ятициліндрові. Працюють вони через пасовий привід від колінчастого валу двигуна агрегату. Призначення компресора для створення тиску, який потрібен для конденсації холодагента. До контакту циліндр – поршень висувають дві суперечливі вимоги. Перша вимога: для забезпечення рухливості між ними повинен бути зазор. Друга вимога: зазору не повинно бути для запобігання витоків газу із порожнини нагнітання. Конструктивно цю суперечку вирішують застосуванням поршневих кілець. Вони є проміжними деталями між поршнем та циліндром. Поршневі кільця на ряду забезпечення ущільнення спряження поршня з циліндром, зберігають при цьому їх рухливість. Відбувається це в результаті щільного прилягання кілець до поверхні циліндру, малому зазору між кільцями та стінками канавок поршня, а також лабіринтній дії набору кілець. Так як ресурс поршневих кілець значно менший за ресурс усіх других деталей поршневої групи, то відповідно необхідно підвищити їх ресурс, а це в свою чергу підвищить ресурс усієї групи. При підвищенні ресурсу даного вузла значно зменшуються затрати на ремонтні роботи та обслуговування компресора. Підвищення ресурсу даного вузла можливо досягти за допомогою технологічного підвищення зносостійкості методом заміни матеріалу кільця чавун СЧ-18 на модифікований фторопластовий карбопластик з застосуванням принципу багаторівневого модифікування з використанням комбінованих наповнювачів.

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ АГРЕГАТУ ТА ВУЗЛА ТЕРТЯ

## 1.1 Конструкція вузла тертя

### 1.1.1 Загальний опис конструкції та роботи поршневого компресора 2ФВ-4/4.5

Кондиціонування повітря транспорту має в своїй основі таку ж холодильну систему, як і установки кондиціонування повітря для підприємств та житлових приміщень. Головна різниця між транспортними та іншими системами кондиціонування повітря полягає у методі комбінування різних вузлів, у методі приводу компресора, у швидкій температурній зміні в салоні автомобіля, а також у системі заслінок для регулювання потоку повітря у транспорті.

Опалювання в автомобілях здійснюється аналогічно, як при використанні казана, що нагріває воду. У транспортних засобах гаряча вода відбирається від радіатора та подається через батарею опалювальну, що обдувається повітрям.

В автомобільних кондиціонерах використовують заслінки при подачі повітря у необхідному напрямку. Дані заслінки застосовуються також для регулювання кількості повітря, яке подається через батарею, а також для обводу її при регулюванні температури. У різних транспортних засобах по-різному розташовані ці заслінки, по-різному регулюється їх робота.

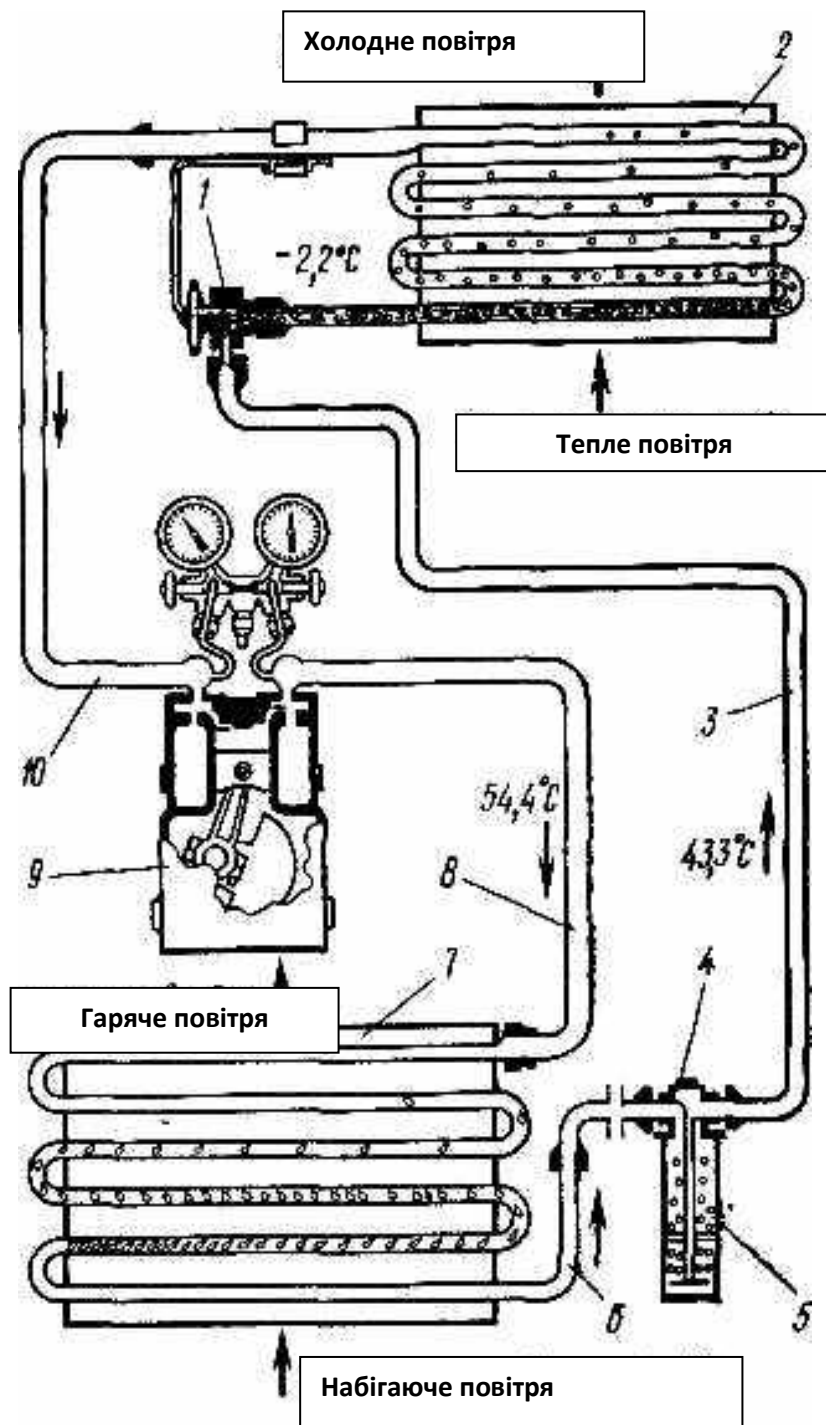
Система кондиціонування повітря транспорту функціонує аналогічно будь-якій іншій системі кондиціонування повітря. Вона має призначення для відбору тепла та вологи зсередини транспортного засобу з наступною передачею зовнішньому повітрю, крім того для очищення повітря.

Варіанти теплопередачі такі ж, як і в системах інших. Система холодильна розділена на сторони низького та високого тиску (рисунок 1.1).

Усі вузли у системі повітряного стиснення розміщені у наступному порядку: нагнітаючий компресор на стороні нагнітання, нагнітальний вентиль,

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конденсатор, ресивер-осушувач, регулюючий вентиль на стороні впускання та сполучні шланги до всіх цих вузлів.



1 — вентиль терморегулюючий; 2 — випарник; 3, 6 — трубопровід рідинний; 4 — скло оглядове; 5 — ресивер-осушувач; 7 — конденсатор; 8 — трубопровід нагнітальний високого тиску; 9 — компресор; 10 — трубопровід всмоктуючий

Рисунок 1.1 – Холодильна система автомобіля

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Вузли, що входять у бік низького тиску, включають регулюючий вентиль (сторона випуску), випарник, всмоктуючий компресор (сторона всмоктування) та всмоктуючий вентиль, разом зі сполучними шлангами.

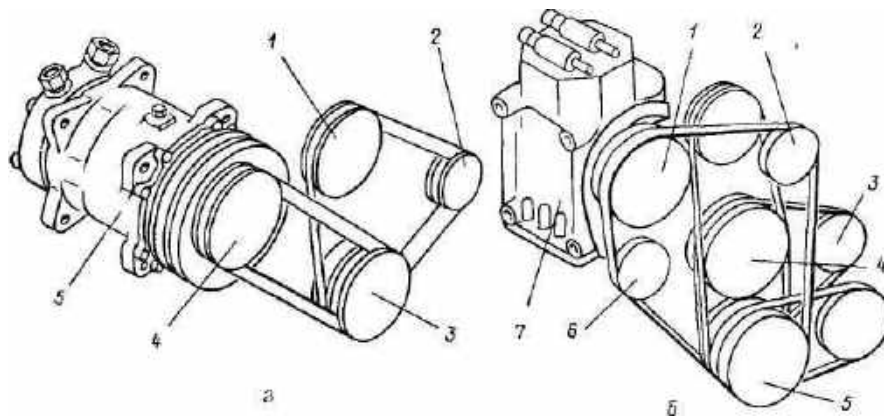
Холодильна система, яка використовується у системах кондиціонування повітря для транспортних систем, включає в себе наступні вузли: компресор, електромагнітна муфта, конденсатор, ресивер-осушувач, регулюючий вентиль, випарник, всмоктуючий вентиль та запобіжний клапан високого тиску. Холодаген, який використовують в автомобільних системах кондиціонування повітря, є R12. У більшості випадків випарник та регулюючий вентиль встановлюються всередині автомобіля, тоді як інші вузли розташовуються під капотом.

Транспортні агрегати для кондиціонування повітря використовують поршневі компресори у трьох різних варіантах: двохциліндрові, шестициліндрові та п'ятициліндрові, які приводяться в рух пасивно через колінчастий вал двигуна (див. рисунок 1.2). Компресори призначені для створення необхідного тиску для конденсації холодагента, а також для забезпечення циркуляції холодагента в системі та створення низького тиску для його кипіння у випарнику.

Використовувані поршневі компресори належать до сальникового типу, що означає, що у них є сальник на валу, призначений для запобігання витоку холодагента та мастила по поверхні вала, який прокладається через корпус компресора. Оскільки цей сальник потребує мастила для запобігання витоку, він періодично обслуговується, щоб забезпечити змочування поверхні сальника мастилом.

Встановлюють два вентиля на компресорі: нагнітальний та всмоктуючий. Деякі вентиля оснащені зворотними клапанами, які дозволяють регулювати тиск, коли до вентиля підключений шланг, подібно до того, як це відбувається зі стержнем вентиля в автомобільних шинах.

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



а — привід компресора фірми «Санке»: 1 — шків вентилятора, 2 — варіатор, 3 — шків приводу, 4 — муфта компресора, 5 — компресор;

б — привід двоциліндрового компресора: 1 — муфта компресора, 2 — натяжний шків, 3 — варіатор, 4 — шків вентилятора, 5 — шків приводу, 6 — натяжний шків, 7 — компресор

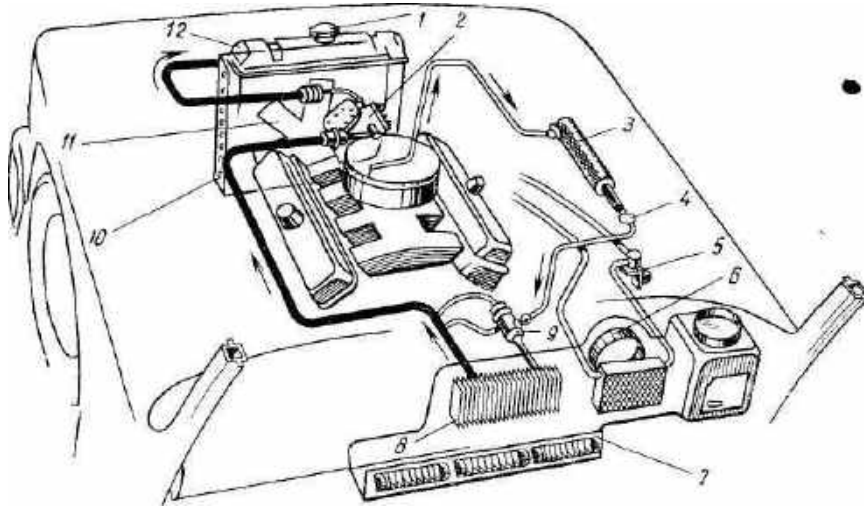
Рисунок 1.2 – Привід компресора

Інколи виробники застосовують стержньовий клапан. Спосіб найлегше визначити призначення вентилів полягає в спостереженні за напрямом трубопроводів холодильного агента: нагнітальний трубопровід веде до конденсатора, а всмоктуючий трубопровід – до випарника.

Призначений конденсатор для прийому гарячої пари холодагента високого тиску, охолодження пари до температури конденсації з наступним перетворення його в рідину. Тепло завжди передається від теплої речовини до холодної. Повітря, проходячи через змійовик конденсатор, відбирає при цьому тепло. Конденсатор у транспортній системі кондиціонування повітря зазвичай встановлюється перед радіатором і зовні має подібну конструкцію до нього (див. рисунок 1.3).

Подається повітря через конденсатор двома методами: всмоктується через конденсатор вентилятором радіатора, або подається потоком набігаючим через конденсатор в процесі руху автомобіля.

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12



1 — кришка радіатора, 2 — компресор; 3 — ресивер-осушувач, 4 — оглядове скло; 5 — замочний вентиль гарячої води; 6 — вентилятор; 7 — блок, який вмонтовується в пасажирському салоні; 8 — випарник; 9 — регулюючий вентиль; 10 — конденсатор; 11 — вентилятор; 12 — радіатор

Рисунок 1.3 – Система кондиціонування повітря транспорту

Підвищуючи тиск пару холодоагента, компресор нагнітає його в конденсатор при температурі, яка вища температури навколишнього середовища. У випадку, якщо конденсатор брудний, вентилятор не працює. Якщо конденсатор змонтований у невіддаленому місці, то він буде погано функціонувати. В такому випадку знижується коефіцієнт корисної дії (ККД) системи.

Установки кондиціонування повітря автомобілів більш схильні до витоків холодоагента. Це пов'язано з використанням сальникового компресора та з високим рівнем вібрації. При роботі утворюються невеликі витіки, тому періодично необхідно здійснювати дозарядку системи холодоагентом. Окрім того, заповнення випарника холодоагентом буде коливатися в зв'язку зі зміною теплового навантаження, ефективності конденсатора та звичайно частоти обертання компресорного валу. Для компенсації цих змінних параметрів у транспортних системах кондиціонування повітря часто використовується невеликий ресивер. При встановленні ресивера до системи потрібно додатково дозаправити від 450 до 680 грамів холодоагента.

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

При виготовленні в ресивер поміщають осушуючу речовину, це може бути сілікагель або цеоліт. Єдиним місцем в холодильній системі, де поглинаються волога та кислота є ресивер. У випадку коли осушувач досягає точки насичення (абсорбував всю кількість вологи), що може утримуватись, волога та кислота будуть поступати в схему циркуляції холодоагента. Замерзання регулюючого вентиля та пошкодження компресора відбуваються в результаті наявності вологи. Якщо регулюючий вентиль замерзає, це призводить до припинення потоку холодоагента і зменшення холодопродуктивності системи. В такому випадку при ремонті системи ресивер-осушувач потрібно замінювати.

В результаті ремонту холодильної системи можливе потрапляння у неї бруду. А при попаданні в систему вологи та повітря в ній проходить розпад холодоагента, викликаний гідролізом, тому усередині системи відмічається корозія. Результат корозії – попадання в систему твердих частинок, які пізніше блокують потік холодоагента крізь регулюючий вентиль. З метою уловлювання цих частинок в ресивер-осушувач поміщають фільтруючі ґратки. У випадку великої кількості сторонніх частинок, що знижують інтенсивність потоку холодоагента, в значній мірі погіршується інтенсивність охолодження повітря в салоні транспортного засобу.

Ресивер-осушувач має оглядове скло, використовуючи його, механік з обслуговування може з'ясувати наступне: якщо видно сильний потік холодоагента, це указує на те, що в системі є достатня кількість холодоагента (манометр вказує надмірну кількість холодоагента); стійкий потік бульбашок або піна вказують недостатню зарядку системи холодоагентом; якщо оглядове скло замаслене, значить повна відсутність холодоагента в системі; бульбашки, що зрідка з'являються, вказують на те, що в системі є брак холодоагента або ресивер-осушувач насичений та волога виділяється в систему; затьмарене оглядове скло показує, що осушуюча речовина розпадається та циркулює в системі.

Регулятор в транспортних системах кондиціонування повітря є регулюючий вентиль. У клапані регулятора знижується тиск холодоагента до низького рівня (рисунок 1.3). Найнижчу температуру при виході з регулюючого

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вентиля і на вході у випарник має рідкий холодагент. Регулюючий клапан працює за допомогою термочутливого балона, який закріплений на трубі на виході з випарника. Залежно від температури на виході з випарника, змінюється тиск наповнювача в балоні, що призводить до відкриття або закриття клапана. Цей регулюючий клапан контролює подачу холодагента у випарник, швидко знижуючи тиск холодагента.

Випарник – це компонент системи, де відбувається поглинання тепла з салону автомобіля. У системах кондиціонування повітря в транспортних засобах використовуються випарники з ребристою поверхнею, із застосуванням примусової циркуляції повітря. Поглинаючи тепло, у випарнику холодагент кипить при низькому тиску. Тепло подається до випарника завдяки потоку повітря, який надсилається вентилятором. Цей потік повітря необхідний для перетворення рідкого холодагента в газовий стан. Кількість тепла, яке передається від повітря до холодагента, залежить від різниці температур між повітрям і холодагентом. Чим більше ця різниця, тим більше тепла передається. Високе теплове навантаження сприяє інтенсивному переносу тепла від повітря до холодагента. У випадку, коли вентилятор включений на повну потужність, подається максимальний об'єм повітря через випарник, що приводить до швидкого кипіння холодагента. Так, при зниженні частоти обертання вентилятора об'єм повітря, що подається також зменшується.

Але при незначному об'ємі подачі повітря знаходиться у контакті з випарником довший час, при цьому збільшується передача тепла до холодагента і в салон автомобіля нагнітається холодніше повітря.

Для ККД агрегату важлива циркуляція повітря, що проходить через випарник, а також зміна агрегатного стану холодагента у випарнику. Рідкий холодагент, що подається у випарник з використанням регулюючого клапана, перетворюється у пару під час відбирання тепла з повітря. Для забезпечення максимальної ефективності роботи агрегату випарник повинен містити певну кількість рідини. Затоплення випарника відбувається при надмірній подачі холодагента у випарник регулюючим клапаном. Коли таке відбувається, деяка

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

частина рідкого холодоагента поступає з випарника у всмоктуючий трубопровід, а потім в компресор. В даному випадку компресору буде нанесено серйозне пошкодження. Окрім того, повітря не буде достатньо охолоджуватися в салоні транспортного засобу.

При подачі у випарник малої кількості холодоагента не заповнюється весь змішувач випарника. В результаті цього не відбувається теплопередача по всій довжині випарника, тому знижується продуктивність.

Пристрій, який призначений для регулювання потоку холодоагента від випарника до компресора, називають дросельним вентилем. Даний пристрій розташований між випарником та всмоктуючим вентилем компресора.

Електричне реле, яке послідовно з'єднане з електромагнітною муфтою керує компресором. Коли компресор буде працювати при відсутності необхідності в кондиціонуванні повітря, він може бути пошкодженим.

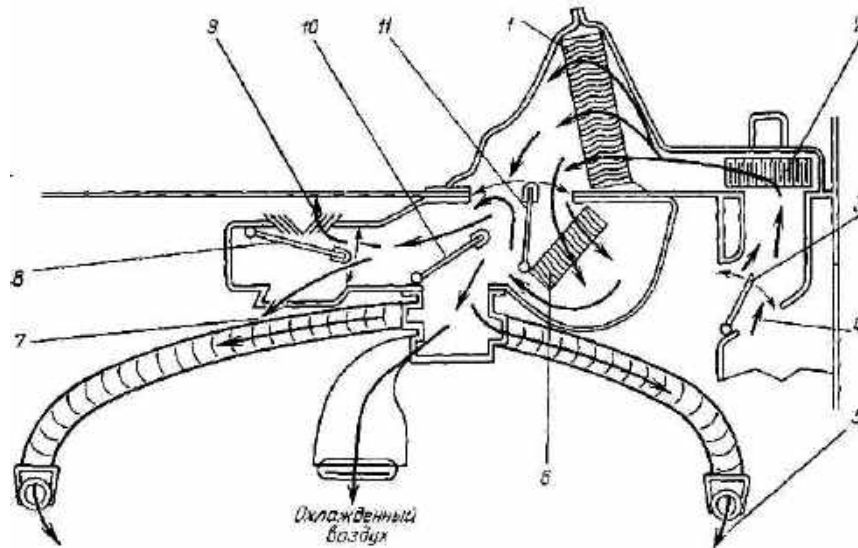
Термореле температури навколишнього середовища призначено для відключення компресора в умовах дуже низької температури навколишнього середовища.

Біля 0 °C контакти термореле розмикаються. Проте деякі виробники можуть виконати іншу настройку. Коли термореле активується, воно замикає електричний ланцюг до муфти компресора, і компресор починає працювати. При температурі, що опускається нижче встановленого рівня, термореле роз'єднує електричний ланцюг до муфти компресора, вимикаючи його.

В останні роки підвищилися вимоги до комфортних умов в легкових транспортних засобах. Дані вимоги привели розробників до удосконалення систем кондиціонування повітря. Деякі розробники об'єднали функції регулювання систем нагріву та охолодження в одному приладі.

В останніх розробках систем кондиціонування застосовується принцип повторного нагріву. У такій системі повітря проходить через випарник для охолодження та осушення, а далі подається через нагрівальну батарею та надходить в систему розподілу повітря (рисунок 1.4).

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16



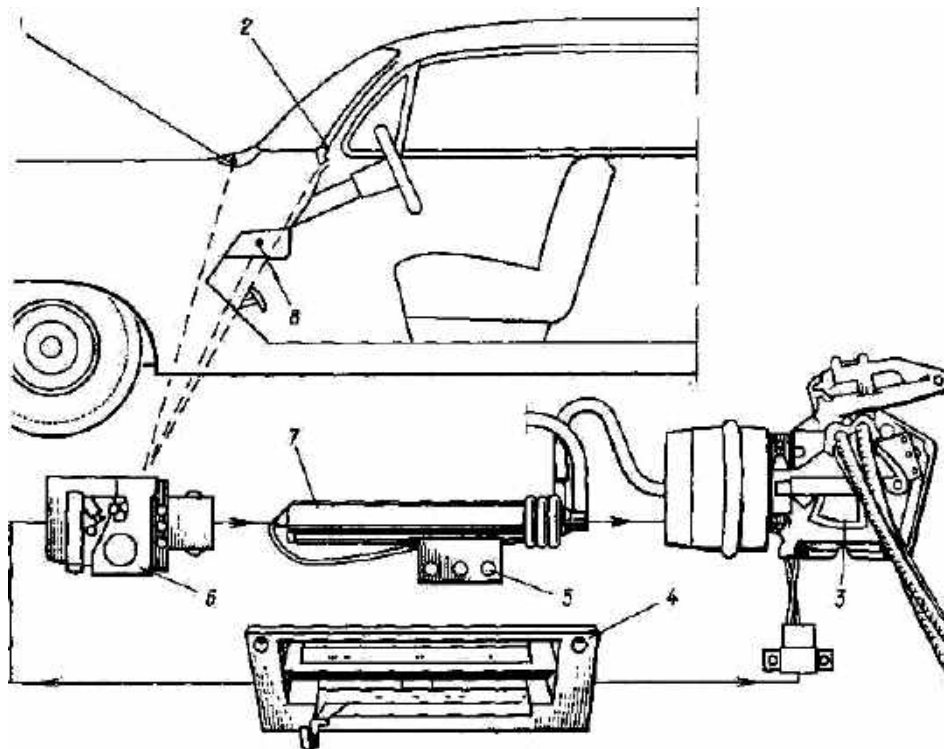
1 — випарник; 2 — вентилятор; 3 — заслінка на шляху потоку повітря; 4 — зовнішнє повітря; 5 — рециркулююче повітря; 6 — нагрівальна батарея; 7 — вихід з нагрівача; 8 — заслінка дефростера; 9 — вихід з дефростера; 10 — заслінка для регулювання виходу охолодженого повітря; 11 — заслінка з терморегулюванням

Рисунок 1.4 – Типова схема циркуляції кондиціонованого повітря у транспортному засобі

Для керування процесами підігріву і охолодження призначена система автоматичного контролю температури з метою досягнення заданої температури в салоні автомобіля (рисунок 1.5). Для вибору температури застосовується шкала. Система настроєна за шкалою для підтримки температури в салоні транспортного засобу в діапазоні від 18,3 до 29,4 °С. Після встановлення необхідної температурної настройки, система автоматично функціонує незалежно від погодних умов.

Індивідуальні системи регулювання відрізняються за конструкцією, але всі вони складаються з таких чотирьох основних компонентів: чутливого елемента, панелі управління, датчика та силового сервоприводу.

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

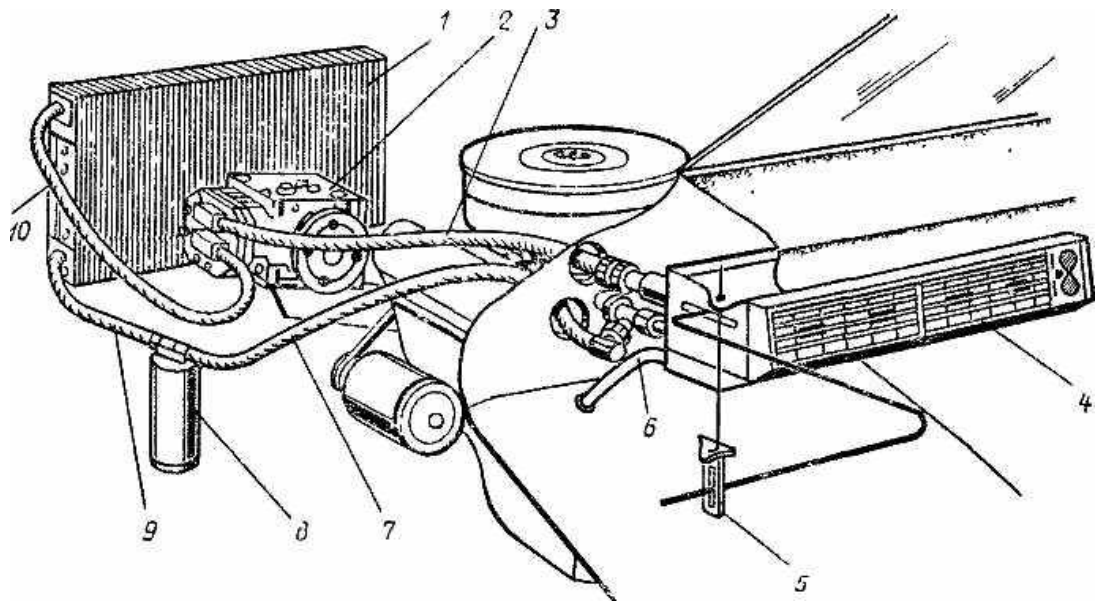


1 — датчик температури навколишнього середовища; 2 — чутливий елемент в пасажирському салоні; 3 — регулятор силового сервопривода (випускних отворів верхніх або нижніх, частоти обертання вентилятора, температури); 4 — ручний селектор температури; 5 — регулююча головка; 6 — підсилювач; 7 — електровакуумний датчик; 8 — чутливий елемент

Рисунок 1.5 – Типова система автоматичного регулювання температури в салоні транспортного засобу

Кондиціонер складається з таких основних компонентів: компресора, який приводиться в рух від двигуна автомобіля за допомогою пасового приводу; конденсатора, який встановлюється між радіатором та повітророзподільними ґратками; ресивера-осушувача, розташованого на стійці крила автомобіля для видалення вологи з системи; випарника, розташованого під панеллю приладового щитка для охолодження повітря в салоні. Всі трубопроводи повинні бути заглушені, щоб запобігти попаданню бруду та вологи в систему. Усі з'єднання повинні бути герметичні. На рисунку 1.6 приведена схема трубопроводів холодоагента кондиціонера, які розташовані під приладовим щитком.

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18



1 — конденсатор; 2 — компресор; 3 — всмоктуючий шланг (від випарника до компресора); 4 — випарник; 5 — монтажні кронштейни випарника; 6 — спусковий шланг, 7 — рідинний шланг (від ресивера-осушувача до регулюючого вентиля); 8 — ресивер-осушувач; 9 — рідинний шланг (від конденсатора до ресивера-осушувача); 10 — нагнітальний шланг (від компресора до конденсатора)

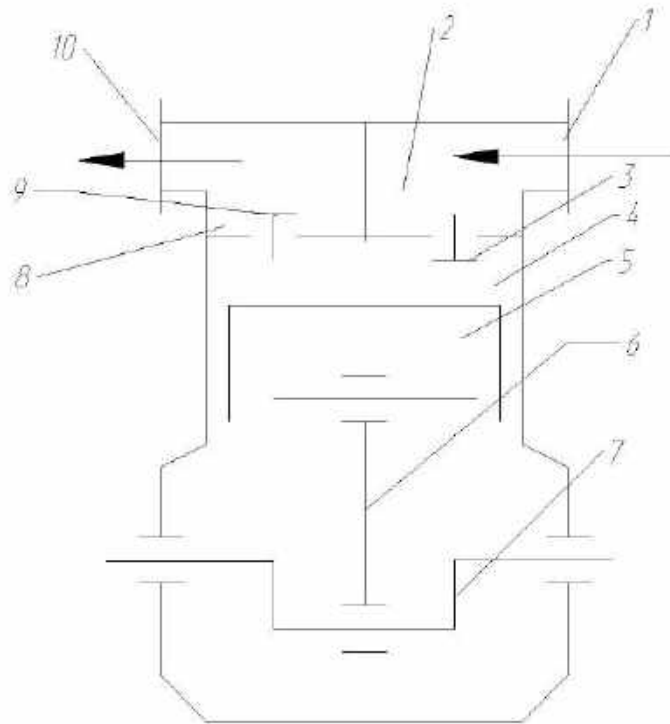
Рисунок 1.6 – Типове розташування кондиціонера за приладовим щитком автомобіля

### 1.1.2 Призначення, загальна будова, основні функції поршневого компресора 2ФВ- 4/4.5

Компресори – це пристрої, призначені для створення направленого потоку газу під певним тиском. Компресорні установки є досить поширеними і використовуються у багатьох галузях, зокрема в холодильних системах, пневматичних пристроях та контрольно-вимірювальній апаратурі. На рисунку 1.7 зображена схема компресора простої дії. В циліндрі 4 розташований поршень 5, який, під дією шатуна 6 та колінчастого вала 7 здійснює зворотно-поступальний рух. На кришці циліндра розташовано всмоктуючий 3 та нагнітальний 9 клапани. Вони з'єднують камеру циліндра з камерами всмоктування 2, що знаходиться у

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

всмоктуючому патрубку, і нагнітання 8, що розташовані в нагнітальному патрубку.



1, 10 – всмоктувальний і нагнітальний патрубки, відповідно; 2, 8 – камери всмоктування та нагнітання, відповідно; 3,9 – всмоктуючий та нагнітальні клапани, відповідно; 4 – циліндр; 5 – поршень; 6 – шатун; 7 – колінчастий вал

Рисунок 1.7 – Схема поршневого компресора з однією робочою камерою та поршнем

При переміщенні поршня вниз тиск між циліндром та поршнем буде менший, ніж тиск у всмоктуючому патрубку. А при відкриванні всмоктуючого клапана газ попаде в циліндр. При досягненні крайнього нижнього положення тиск зрівноважується в циліндрі та всмоктуючому патрубку. Під дією пружини клапан притискається до сідла та відповідно перекриває отвір.

При переміщенні поршня вверх проходить стиснення газу. Коли тиск газу стає вищим, ніж у нагнітальному патрубку, нагнітальний клапан відчиняється і газ викидається з циліндра. Такий процес буде проходити поки поршень не займає

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

верхню мертву точку (ВМТ), далі нагнітальний клапан закривається і процеси повторюються.

Процеси всмоктування і нагнітання, що здійснюються за один оберт колінчастого вала, складають повний цикл роботи компресора.

В компресор входить: електродвигун або привід, нагнітаюча установка, ємність для стислого газу, сполучні шланги та труби.

В компресорних установках електродвигуни можуть бути постійного і змінного струму. Змінного струму двигуни можуть бути синхронні і асинхронні. В свою чергу асинхронні двигуни поділяються на два види: з короткозамкнутим ротором і з фазним ротором.

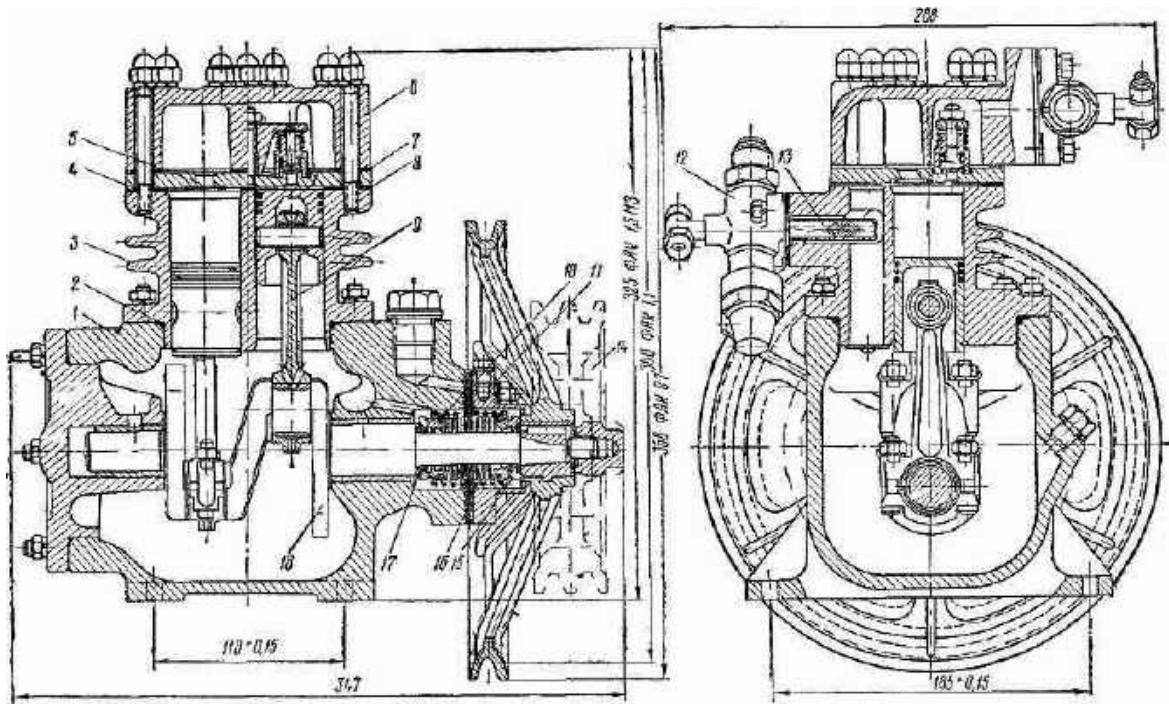
Електроприводи лінійні можуть бути електромагнітні, індукційні і магнітоелектричні. При відсутності кривошипно-шатунного механізму та відповідних втрат на тертя вони ефективні навіть при низькому коефіцієнту корисної дії. Ці приводи застосовують часто при невеликих поршневих зусиллях та при малому ходу поршня.

Компресор 2ФВ-4/4.5 (рисунок 1.8) – одноступінчатий, поршневий, вертикальний, непрямоточний, двоциліндровий. Працює даний компресор на фреоні-12. При заміні маховика холодопродуктивність компресора досягається при збільшенні кількості обертів від 450 до 950 в хвилину. Базовим є компресор холодопродуктивністю 700 ст. ккал/год., швидкістю обертання вала 450 об/хв., заводський шифр КБУ1-00.

Шифри "КБУ2-00" і "КБУ3-0С" вказують на холодопродуктивність компресорів. Виробники максимально уніфікують компресори різної холодопродуктивності. Вони різняться лише маховиками та пружинами зовнішнього сальфонного сальника, так як мають різні робочі зусилля.

Приведена залежність холодопродуктивності  $Q_0$ , потужності споживаної двигуна  $N_e$ , питомої холодопродуктивності  $Ke$  компресора 2ФВ-4/4,5 від  $t_0$  на рисунку 1.9.

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



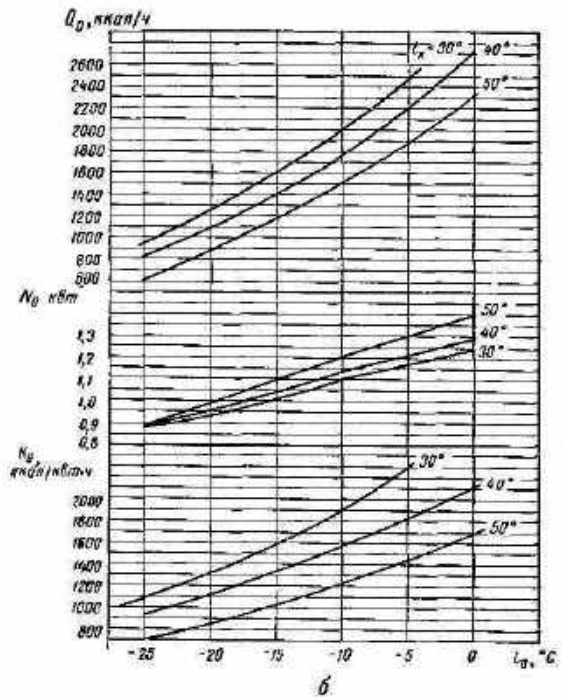
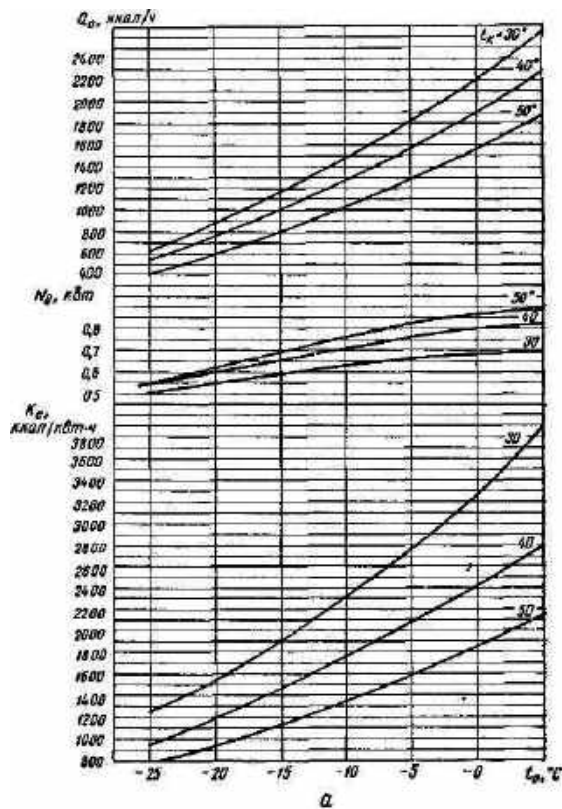
1 — картер, 2 — прокладка; 3 — блок циліндрів; 4 — клапанна група; 5 — всмоктуючий клапан; 6 — кришка; 7 — прокладка; 8 — прокладка клапанної дошки; 9 — шатунно-поршнева група; 10 — сальфонний сальник; 11 — кришка сальника; 12 — всмоктуючий вентиль; 13 — фільтр; 14 — маховик; 15 — кільце; 16 — прокладка;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

Рисунок 1.8 – Схема компресора 2ФВ-4/4,5

Компресор – це чавунний картер, на якому встановлено чавунний блок двох циліндрів. На блоці зовні розташовані ребра охолодження та фланцевий прилив, який слугує для приєднання всмоктуючого вентиля. До блоку вверху кріпиться клапанна дошка, а також головка блоку зі фланцевим приливом, який слугує для приєднання нагнітального вентиля. До фланцевих торців картера приєднана кришка сальника та задня опора колінчастого валу.

Склад кривошипно-шатунної групи компресора наступний: сталевий двохопорний колінчастий вал, алюмінієві шатуни з роз'ємними нижніми головками. Колінчастий вал опирається на бронзові втулки, які запресовані в картері. Вилиті поршні з алюмінієвого сплаву. Поршень має три компресійні поршневі кільця.

									Арк.
									22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ				



*a* — при 670 об/хв.; *б* — при 950 об/хв.

Рисунок 1.9 – Графіки залежностей  $Q_0$ ,  $N_e$  и  $K_c$  компресора 2ФВ-4/4.5 від  $t_0$

Технічні характеристики компресора 2ФВ-4/4,5 наведені в таблиці 1.1.

В кінці колінчастого валу розташований маховик, який обертається від електродвигуна завдяки пасовій передачу у вигляді клину. Сам колінчастий вал ущільнений двома сальфонними сальниками: внутрішнім та зовнішнім.

У клапанній дошці розташовані вбудовані клапани: деякі з них мають форму букви "У" і функціонують автономно за допомогою пружини, тоді як інші є п'ятачковими та обладнані нагнітаючими пружинами. (рисунок 1.8).

Прокладками зі фреоностійкої спеціальної гуми марки 3825 ТУ МХП-233-54Р забезпечується роз'ємних з'єднань компресора герметичність.

Картер компресора з метою змащення заповнюють холодильним фреоновим мастилом марки ХФ-12-18 (ГОСТ 5546-66). Мащення компресора – барботажне. З ціллю мінімізування зносу деталі шатунно-поршневої групи, що зазнають тертя, розбиті на групи згідно розмірів та мають відповідне маркування.

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Аналогічно також розбивають на групи палець, отвори під палець шатуна та поршня.

Таблиця 1.1– Технічні характеристики компресора 2ФВ-4/4,5

Показники	Значення
Холодопродуктивність, ст. ккал/год.	700
Число циліндрів	2
Діаметр циліндра, мм	40
Хід поршня, мм	45
Швидкість обертання, об/хв.	450
Об'єм, який описується поршнями, м <sup>3</sup> /год	3,05
Діаметр маховика (зовнішній), мм	268
Габарити, мм	347x288x368
Суха вага, кг	28,6
Зарядка мастилом, кг	1,05

У таблиці 1.2 наведені розміри та зазори пар тертя компресора.

Шатуни та пальці до 12 мм діаметром розбивають на три групи : I, II і III. У випадку монтажу необхідно комплектувати шатуни та пальці лише однієї групи. Поршні розбивають до 12 мм діаметром на чотири групи: А, Б, В і Г. При монтажу необхідно комплектувати пальці та поршні наступним чином: пальці I групи з поршнями групи А або Б, пальці II групи з поршнями групи Б або В, пальці III групи з поршнями групи В або Г.

Розмірні групи шатуна, пальця та поршня компресора 2ФВ-4/4.5 наведені в таблиці 1.3.

Встановлені на компресорі двоходові голчасті фланцеві вентилі. Вентилів цих два, шпінделі їх переміщуються вздовж корпусу та ущільнені сальниками, які виготовлені з гумових кілець. Гумовими прокладками та колпачковими гайками закриті вентилі.

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Таблиця 1.2 – Розміри та зазори пар тертя компресора 2ФВ-4/4,5

Пари тертя компресора 2ФВ-4/4,5 ( діаметри в мм)	Число груп селекції	Зазори (+), натяг (-), мм
Вал 30 $D_{+0,008}^{+0,030}$ – корпус 30А $^{+0,023}$		+0,31 +0,053
Вал 25 $D_{+0,008}^{+0,030}$ – опора 25 $^{+0,023}$		+0,31 +0,053
Вал 25 $D_{+0,008}^{+0,030}$ – корпус 25Д $^{+0,023}$		+0,31 +0,053
Палець 12В $_{-0,12}$ –шатун 12С $^{+0,019}$		+0,009 +0,023
Палець 12В $_{-0,12}$ –поршень 12 $_{-0,024}^{-0,008}$		-0,004 +0,012

Передбачені трійники у вентилів для приєднання трубок регулятора тиску та манометрів. При обертанні шпинделя в напрямку годинникової стрілки, повністю блокується доступ фреону в лінію, але відкривається прохід до трійника. Коли шпиндель в середньому положенні фреон поступає і до трійника і в лінію. При обертанні шпинделя в напрямку, протилежному годинниковій стрілці, повністю закривається доступ до трійника, але залишається відкритим прохід до лінії.

Робота компресора працює наступним чином. Коли поршень рухається від верхньої мертвої точки вниз, тиск пари в циліндрі знижується та стає вище, ніж в трубопроводі всмоктуючому. Під впливом тискової різниці пластинка всмоктуючого клапана опускається і вкладається в виріз блоку циліндрів, відкриваючи шлях для парів фреону в циліндр.

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Таблиця 1.3 – Розміри циліндропоршневої групи компресора

Деталі компресора 2ФВ-4/4,5	Номер групи селекції	Розміри, мм	Місце позначення номера групи селекції
Шатун	I	12,014 – 12,019	Прилив нижньої головки шатуна
	II	12,006 – 12,013	
	III	12,000 – 12,005	
Палець	I	12,000 – 11,996	Торець пальця
	II	11,994 – 11,992	
	III	11,991 – 11,988	
Поршень	A	11,992 – 11,988	Дно поршня
	B	11,988 – 11,984	
	B	11,984 – 11,980	
	Г	11,980 – 11,976	

Пари фреону, які засмоктуються компресором, подаються в головку блоку через всмоктуючий клапан. Після проходження через сітчастий фільтр пари піднімаються і входять через отвір в клапанній дошці до всмоктуючого простору головки блоку. Звідти, через відкриваючийся всмоктуючий клапан, вони направляються в циліндр.

Пари, всмоктувані, подаються в циліндр до того моменту, поки тиск у циліндрі не перевищить тиск у всмоктуючому трубопроводі. За цей період поршень проходить нижню мертву точку та піднімається не в значній мірі. Закривається всмоктуючий клапан. При подальшому руху поршня вгору відбувається стиснення пари, яке буде триває до того часу, коли тиск в циліндрі не буде вищий тиску в конденсаторі. Під впливом надлишкового тиску відкривається нагнітальний клапан, і поршень виштовхує пари фреону в нагнітальну лінію через нагнітальний клапан.

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

### 1.1.3 Обґрунтування вибору вузла тертя для підвищення зносостійкості

Досить уважного нагляду за технічним станом потребують компресорні установки. А особливу уваги необхідно приділяти компресорам, котрі працюють недовгий час після поточного, капітального ремонту, або часткової модернізації. Існують технологічні вимоги та рекомендації, в яких вказується періодичність перевірки зносу кілець, а також їх контроль в процесі припрацювання. При проходженні 300 або 500 годин їхньої роботи необхідно перевіряти величини та рівномірність зносу деталей компресора. Так, односторонній і підвищений знос кілець у поршневому двигуні можуть свідчити про різні проблеми та дефекти в співвісності штока та циліндра, а також в інших системах двигуна. Величину зносу визначають за зазорами між стінкою циліндра та кільцями, використовуючи набір щупів. Можлива оцінка зносу кілець за втратою їхньої маси, проте посилаючись на складність вимірювання маси деталей при експлуатації оцінку зносу виконують за зміною радіальної товщини кілець. Знос буде допустимим, якщо не буде перевищувати від 20 до 30 відсотків радіальну товщину кільця. В технічних умовах по ремонту для кожного автомобіля вказаний допустимий знос поршневих кілець у мм на кожну із сторін. Граничний знос встановлюють, враховуючи необхідність забезпечення мінімального зазору між поршнем та циліндром протягом певного періоду роботи компресора. У випадку, якщо така робота не виконується, то як результат – непридатні до роботи кільця.

Таким чином, призначення поршневих кілець полягає у створенні тиску та транспортуванні фреону по трубопроводам компресора конкретного кондиціонера, а також запобіганню переміщенню фреону з порожнин стискування. Ущільнюючий ефект кільця полягає у притисканні його до поверхні гільзи. Поршневі кільця вважають найвідповідальнішими ущільнюючими елементами компресорів різного призначення. Дефекти у роботі поршневих кілець впливають на надійність та тривалість роботи компресора автомобільного кондиціонера [3].

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 1.1.4 Конструктивні та технологічні особливості деталей пари тертя кільце-гільза поршневого компресора 2ФВ-4/4.5

У верхній частині блок-картер монтуються гільзи, що вважають циліндром компресора, у якому відбувається стиснення газу. Конструкція гільзи суцільна, вона має ряд технологічних та експлуатаційних переваг: малі габарити гільзи та проста конструкція дають можливість отримати відцентровим способом виливок, при цьому менші витрати металу та висока якість виливка; перетворення частини блока, що труться, а саме циліндрів, у самостійну деталь у вигляді гільзи, дозволяє виготовити єдину деталь замість двох окремих корпусних деталей, а саме, блока циліндрів і картера. Це сприяє зменшенню споживання металу, підвищенню точності взаємного розташування поверхонь блок-картера і, отже, покращенню експлуатаційних характеристик компресора; знижує практично вартість ремонту у випадку пошкодження дзеркала циліндра, при цьому замінюють гільзи, а не досить дорогі блоки циліндрів.

Стінка гільзи при роботі компресора сприймає значний тиск, тертя та деформації під дією температури, тому гільзи мають бути міцні, а поверхні, які піддаються тертю повинні протидіяти температурним деформаціям та мати достатню високу зносостійкість і твердість.

Конструкція гільз має таку особливість: великі діаметри та довжини і відповідно малі товщини стінок (рисунок 1.10). Тому їх відносять до класу деталей втулок. Внутрішня поверхня, тобто дзеркало циліндра є основною робочою поверхнею циліндра. В процесі роботи компресора при зношуванні поршневих кілець діаметр дзеркала збільшується в порівнянні з початковим діаметром, окрім того видозмінюється правильна геометрична форма.

Дві вимоги відносять до контакту поршень – циліндр, які є суперечливими: для рухливості цих поверхонь між ними має бути зазор; зазору не повинно бути для запобігання витоку газу з порожнини нагнітання.

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

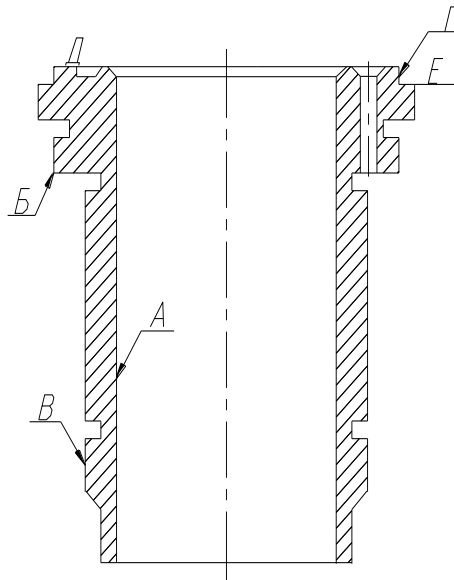


Рисунок 1.10 – Гільза циліндра

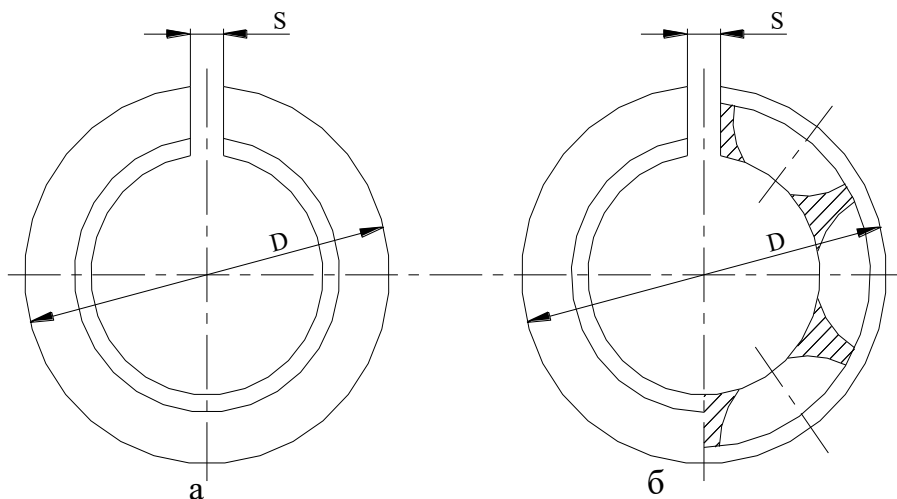
Це протиріччя у конструкції вирішується за допомогою введення поршневих кілець, які функціонують як проміжні деталі між поршнем та циліндром. Поршневі кільця забезпечують герметичність сполучення поршня з циліндром, при цьому зберігаючи можливість руху поршня.

Це досягається завдяки тісному приляганню кілець до внутрішньої поверхні циліндра, невеликим зазорам між кільцями та стінками канавок поршня, а також лабіринтній дії набору кілець зазвичай Декілька кілець одягають на один поршень.

За призначенням поршневі кільця поділяються на ущільнюючі, тобто компресійні ( рисунок 1.11, а) та маслоз'ємні (рисунок 1.11, б). Типи, а також основні параметри та розміри кілець регламентовані ГОСТ 9515–81 «Кільця поршневі металеві поршневих компресорів».

Проріз (зазор) у поршковому кільці називають замком. Діаметр зовнішнього кільця  $D_c$  у вільному стані перевищує діаметр дзеркала циліндра  $D_c$ , тому для введення кілець в циліндр необхідно їх стиснути. Забезпечується ущільнюючий ефект безпосередньо зусиллям притиснення кілець до дзеркала циліндра.

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29



а – ущільнюоче (компресійне); б – маслоз’ємне

Рисунок 1.11 – Кільця поршневі

Ущільнюючі кільця не повністю закривають канали, щоб запобігти витоку газу з порожнини нагнітання. Витоки стають можливими через незавершене співпадання форм між замками, зазорами між дзеркалом циліндра та поверхнею кільця, а також зазорами між кільцями та стінками канавок на поршні. Проте, в будь-якому випадку витоки цими каналами будуть значно менші тих, які були б у випадку відсутності поршневих кілець.

Окрім того, приймають заходи для зменшення цих витоків. Так, ширину замка роблять мінімальною, щоб уникнути зіткнення кінців кільця при його тепловому розширенні. Коли комплектують компресор кільця збирають таким чином, щоб замки сусідніх кілець не були розташовані в одну лінію, вони повинні бути зміщені на  $180^\circ$ . Початкові зазори між дзеркалом циліндра та поршневими ущільненнями повинні бути настільки малими, наскільки дозволяє точність обробки спряжених поверхонь. У майбутньому, під час перших етапів обкатки компресора, зазори зникають через припрацювання кілець до дзеркала циліндра. В робочому стані поршневі кільця мають однакову форму циліндра та відрізняються конструкцією замків. Замки бувають прямі та косі, з розрізом під кутом  $45^\circ$  з лівим або правим нахилом. Залежно від їх діаметра, кільця можна

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

поділити на чотири технологічні групи з різними параметрами шорсткості торцевих поверхонь (ГОСТ 2789 – 73), наведеними у таблиці 1.4.

При виготовленні компресорів на заводах поршневі кільця з косим замком застосовують для поршнів діаметром до 200 мм. Однак у останній період часу, за аналогією з кільцями для автотракторних двигунів, замки в кільцях компресорів стали виготовляти прямими, а не косими. Замок буде технологічніший, проте різниця у витоку газу незначна.

Таблиця 1.4 – Шорсткості торцевих поверхонь поршневих кілець

Діаметр поршневого кільця, мм	Середнє арифметичне відхилення профілю, $R_a$ , мкм
до 200	< 0,63
від 200 до 500	< 1,00
від 500 до 900	< 1,25
більше 900 мм	< 2,50

### 1.1.5 Характеристика матеріалів пари тертя, хімічний склад, фізико-механічні властивості

Матеріал:

- гільзи: сірий чавун СЧ – 24 твердістю НВ 180-241;
- поршневих кілець: СЧ – 18.

Однією з основних особливостей мікроструктури сірого чавуна, яка визначає його фізико-хімічні та службові властивості, є присутність

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пластинчатого графіту. Мікроструктура сірого чавуну і, відповідно, його міцність, твердість та інші властивості, головним чином, залежать від хімічного складу. Вуглець та кремній здійснюють найбільший вплив на структуру. Відповідно чим вищий їх вміст, тим буде більше графіту в даній структурі та крупніші його включення, а також більше фериту та менше дисперсного перліту.

В сумі вплив C і Si на структуру визначають ступенем насичення:

$$S_c = (\%C + 1,3\%Si) / 4,23 \quad (1.1)$$

де  $S_c$  – співвідношення вуглецевого еквіваленту (% C + 1,3 % Si) до вмісту вуглецю в чавуні рівноцінного складу (4,23 % C).

Головними фізико-механічними властивостями є:

- густина  $\gamma = 7,1 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ ;
- теплоємність  $C = 480 \text{ Дж/К}$ ;
- коефіцієнт теплопровідності  $\lambda = 54 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$  (за 293 К);
- коефіцієнт лінійного термічного розширення  $\alpha = 12,5 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ ;
- мінімальне значення границі міцності  $\sigma_b = 20 \text{ МПа}$ ;
- твердість  $HB = 225 \text{ МПа}$ .

Мікроструктура робочої поверхні гільзи характеризується мілкопластичною перлітною основою з однорідно розподіленими графітовими включеннями. Присутність перліту значно знижує знос поверхонь, які труться одна об одну.

Мікроструктура робочої поверхні гільзи є мілкопластичною перлітною основою з рівномірними графітовими включеннями. Наявність перліту значно зменшує знос поверхонь, що труться.

Поршневі кільця характеризуються високими механічними властивостями, відмінною пружністю і стійкістю до зношування.

### 1.1.6 Огляд відомих методів досліджень по підвищенню зносостійкості поршневих кілець

Для поліпшення твердості, теплопровідності, стійкості до зношування, зменшення деформації під навантаженням та коефіцієнта лінійного термічного

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розширення фторопласту-4, в нього додають різні наповнювачі, які витримують температуру його переробки (370 °С). [2,3].

Композиції, які містять фторопласт-4 у складі, переважно використовуються як антифрикційні матеріали для виготовлення різних деталей, таких як підшипники, поршневі кільця у компресорах, прокладки та ущільнення в екстремальних умовах експлуатації, діафрагми для вентилів, сальникові кільця та інші вироби, які застосовуються в машинобудуванні, хімічній промисловості і інших сферах.

Композиції фторопласту-4, що містять кокс, штучний графіт, дисульфід молібдену, нітрид бору або бронзу, відрізняються найвищою зносостійкістю. Вибір конкретних наповнювачів та їхньої кількості залежить від призначення кінцевого виробу.

Найбільш поширеною є композиція фторопласту-4 з вмістом коксу і порошкоподібної бронзи, яка покращує теплопровідність та механічні властивості фторопласту-4. Додавання 15–25 відсотків наповнювача в фторопласт-4 підвищує твердість композицій в 1,5–1,8 рази, але при більшому вмісті наповнювача твердість композицій зменшується.

Композиції на основі фторопласту-4 знаходять застосування як матеріали для виготовлення підшипників, кілець, прокладок, деталей, клапанів та інших виробів в галузях промисловості, де необхідна теплостійкість та хімічна стійкість [4].

В наш час застосовують наступні неорганічні наповнювачі:

- скловолокно (С);
- порошок кокс (К);
- мілкодисперсний графіт (Г);
- дисульфід молібдену (М);
- порошок нітриду бору (НБ) або кобальту синього (КС);
- оксид алюмінію обезвожений (АІ);
- мілкодисперсні порошки міді, бронзи та нікелю і ін.

Заготовки на основі фторопласту-4 виготовляють з різноманітними наповнювачами [5,6].

Композити на основі фторопласту-4.

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Композит Ф-4К15ВВ5 є новий матеріал, який наповнений комбінованим вуглецевим наповнювачем на відміну від Ф-4К20. У випадку заміни частини коксу подрібненим вуглецевим волокном будемо мати значне підвищення стійкості до деформації при навантаженнях (вище 1,5–1,8 разів в порівнянні з Ф-4К20). Маючи низький коефіцієнт тертя, матеріал Ф-4К15УВ5 характеризується високою хімічною стійкістю, відсутністю накопичення статичної електрики. Тому його використовують в різних середовищах без застосування мастила.

Матеріал Ф-4К20 порівнюючи з фторопластом-4 має в 600 разів більшу зносостійкість, крім того на 30 відсотків вищу міцність при 10 %-ній деформації стиснення (в діапазоні температур від -60 до +250 °С).

Матеріал Ф-4К20 є вельми універсальним і рекомендується для виробництва як ущільнювачів для рухомих з'єднань, так і антифрикційних виробів.

Поршневі кільця компресорів, виготовлені з матеріалу Ф-4К20, дозволяють перейти на режим роботи компресорів без необхідності змащення циліндрів, що запобігає забрудненню промислових газів мастилом.

Використання матеріалу Ф-4К20 для виробництва манжет ущільнювачів обмежено через його обмежену еластичність.

Матеріал Ф-4К20 підходить для застосування в умовах високого вакууму у середовищі сухого повітря, вуглеводневих газів, рідких вуглеводнів та розчинників.

Матеріал Ф-4К20 може бути використаний в контакті з анодованими алюмінієвими сплавами, титановими сплавами, а також нержавіючими сталями.

Матеріал Ф-4С15 відзначається покращеною зносостійкістю, зокрема, після введення скловолокна, зносостійкість збільшується більш ніж в 250 разів, і опір повзучості зростає в 1.5 рази. При цьому хімічні властивості залишаються майже незмінними, і електричні характеристики зазнають маленьких змін.

У порівнянні з матеріалом Ф-4К20, матеріал Ф-4С15 відзначається більшою еластичністю.

Матеріал Ф-4С15 підходить для виробництва ущільнень. Матеріал Ф-4С15 використовується як антифрикційний матеріал у випадках, коли інші наповнені матеріали стають непридатними через хімічну нестійкість наповнювача.

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Даний матеріал є стійкий до агресивних середовищ, він дуже добре проявляє себе у середовищі агресивних сухих газів. Але наявність конденсату приводить до підвищеного зносу. В такому випадку введення в склад 5 %  $\text{MoS}_2$  (композиція Ф-4С15М5) значно підвищує зносостійкість у вологому середовищі.

Матеріал Ф-4С15 знаходить використання в контакті з анодованими алюмінієвими сплавами (типу АКІ-1), а також з титановими сплавами (типу ОТ-4) та нержавіючими сталями за температур від  $-60$  до  $+250$  °С.

Матеріал Ф-4КС2 є антифрикційною композицією, яка є самозмащувальною і має в основі фторопласт-4. Головні властивості цього матеріалу майже не відрізняються від властивостей ненаповненого фторопласту-4. Легуючі добавки синього кобальту у фторпласт-4 застосовують для збільшення зносостійкості. Матеріал Ф-4КС2 виявився більш стійким до зношування, ніж фторопласт-4, в 100–200 разів.

Використовують матеріал Ф-4КС2 в основному для виготовлення антифрикційних рухомих деталей, які працюють разом з гумами, бронзою, алюмінієвими сплавами за температури від мінус 250 до плюс 250 °С в агресивному середовищі. Ці матеріали характеризуються високою еластичністю та підвищеною швидкістю припрацювання.

Композиційний матеріал Ф-4К15ВВ5 є матеріалом нового покоління, який на відміну від Ф-4К20 наповнений вуглецевим наповнювачем. Заміна частини коксу подрібненим вуглецевим волокном призводить до вагомого підвищення міцності при навантаженні, яке є вище в 1,5–1,8 разів у порівнянні з Ф-4К20.

Запровадження структурно-активних наповнювачів у склад політетрафторетилену (ПТФЕ) призводить до значних змін у фізико-механічних характеристиках та підвищення зносостійкості композитних матеріалів, що базуються на цьому полімері. Унікальні характеристики полімерів, які містять фтор, позиціонували їх як одні з провідних полімерних матеріалів. Виробництво та використання полімерів, що містять фтор, і виробів на їх основі постійно зростають в зв'язку з ростом потреби у цих матеріалах в самих різних галузях промисловості. Досить широке застосування ПТФЕ в машинобудуванні обумовлене передусім

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

двома унікальними властивостями: низьким коефіцієнтом тертя та відсутністю прилипання інших матеріалів до поверхні виробів з ПТФЕ. Особливу цінність мають для цієї області наступні властивості ПТФЕ: висока теплостійкість, застосування при криогенних температурах, а також хімічна стійкість у більшості агресивних середовищ за температури від мінус 269 до плюс 260 °С і, крім цього, довговічність. Але, є і недоліки, що стосуються застосування цього фторполімеру [7,8]. Перший недолік – висока повзучість. Другий недолік – низька зносостійкість, при малому коефіцієнті тертя інтенсивність зносу буде неприпустимо високою. Ці дві відмінні властивості призводять до потреби у частому обслуговуванні та ремонті ущільнювальних і опорно-направляючих елементів вузлів тертя, де використовується цей полімер.

Ученими був розроблений фізичний спосіб модифікування, який усуває зазначені недоліки та який полягає у створенні композиційних матеріалів методом введення в ПТФЕ дрібнодисперсних наповнювачів, таких як графіт, оксиди металів, вуглецеве волокно, кокс, наноалмази, нанопорошки та ін. Підвищення зносостійкості та тривалості служби металополімерних вузлів тертя в першу чергу залежить від триботехнічних фізико-механічних характеристик композитних матеріалів, що базуються на ПТФЕ. Запровадження структурно-активних наповнювачів у склад ПТФЕ покращує його механічні характеристики, зменшує зсідання під час формування композиту та сприяє зниженню вартості полімерних матеріалів, такий значний вплив зумовлений структурно-фазовими перетвореннями, які призводять до формування модифікованих структур. Ці перетворення супроводжуються істотною зміною фізико-механічних характеристик та підвищенням зносостійкості композиційних матеріалів на основі ПТФЕ. У загальному розумінні, наповнення ПТФЕ може бути розглянуто як фізико-хімічну модифікацію матриці, яка, за допомогою структурування полімеру на різних рівнях організації, дозволяє отримати композицію з необхідною архітектурою та властивостями. При цьому важливий вибір самого наповнювача, оскільки він має значний вплив на результати модифікації та властивості кінцевого матеріалу [9,10]. Використання як наповнювача твердих речовин в ультрадисперсному стані є досить

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перспективним методом модифікації полімерів. В даному випадку наповнювачі мають рівномірно розподілятися в об'ємі композиції, а також мати виражену чітку межу розділу з полімерною безперервною фазою у вигляді матриці ПТФЕ. Дійсно, розміри та форми частинок наповнювача мають істотний вплив на властивості ПТФЕ. Однією з основних вимог до наповнювача для ПТФЕ є його здатність витримувати нагрівання до температури 370 °С, при якій відбувається спікання виробів з ПТФЕ. Це дуже важливо, оскільки процес спікання включає нагрівання ПТФЕ до високих температур для отримання необхідних властивостей. Так, форма та розмір наповнювача можуть суттєво впливати на розподіл наповнювача в матеріалі і, таким чином, на фізичні властивості та зносостійкість даного матеріалу. Окрім цього, до наповнювачів для ПТФЕ також пред'являють наступні вимоги:

- утворювати систему заданої однорідності, тобто можливість змішуватися з полімером;
- при зберіганні, експлуатації ПТФЕ, а також при процесах переробки зберігати стабільність властивостей;
- доступність та низька вартість наповнювачів для ПТФЕ.

Волокна, азбест, свинець, бронза, кварц, дисульфід молібдену та графіт - це типові матеріали, які використовують як наповнювачі. Для створення фторопластових композицій також можна використовувати такі наповнювачі, як оксид цирконію, коксова мука, каолін, андезит, нітрид бору, біла сажа, діоксид титану, оксид алюмінію, тальк, фторид кальцію, бентоніт, сульфат барію, скляна мука та інші. Вміст наповнювача різний і залежить від його природи. Тому дуже важливо правильно вибрати кількість та вид наповнювача. Матеріал із низьким об'ємним вмістом наповнювачів від 3 до 10 відсотків, дозволяє досягти високої міцності при розтягуванні та відносному подовженні, а також має хорошу стійкість до багаторазового вигину і містить мінімальну кількість пор близько частинок наповнювача. Такі матеріали мають меншу зносостійкість, хоча і значно більшу, ніж ненаповнений ПТФЕ. Їх використовують при виготовленні манжет з ущільнюючої тонкою стінкою. Так, при середньому об'ємному вмісті наповнювачів, яке становить від 10 до 20 відсотків, можна отримати матеріали, які підходять для застосувань з

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

невисокими навантаженнями і невеликими швидкостями ковзання механізмів, які працюють безперервно. Ці матеріали володіють високою зносостійкістю і можуть швидко припрацьовуватися, що робить їх ідеальними для довготривалих застосувань, де потрібна стійкість до зносу при низьких навантаженнях і обмежених швидкостях руху. Такі матеріали часто використовуються для ущільнень гідравлічних циліндрів в системах підсилювача рульового управління та гальмівних систем автомобілів. При високому об'ємному вмісті наповнювачів, яке становить від 20 до 35 відсотків, можна досягти найвищої зносостійкості та стійкості до деформації під навантаженням. Це надзвичайно важливо для роботи з найважчими навантаженнями та високими швидкостями ковзання в умовах безперервної експлуатації. Такі матеріали знайшли своє використання в підшипниках, поршневих кільцях та ущільненнях, що працюють довгий час без зупинок, при збереженні низьких допусків на розміри антифрикційних деталей. Призначення і головні властивості найбільш поширених наповнювачів:

— найбільш інертний наповнювач - вугілля-кокс. Даний порошок має мати розміри частинок від 20 до 50 мкм, а насипна маса повинна бути не менше  $0,5 \text{ г/см}^3$ . ПТФЕ з додаванням 20 відсотків коксу в порівнянні з ненаповненим політерафторетиленом має в 600 разів більшу зносостійкість, а також на третину більшу жорсткість. Цей матеріал рекомендується для виготовлення ущільнень рухомих з'єднань та деталей вузлів тертя. Він також підходить для використання в умовах високого вакууму, в середовищі вуглеводневих газів, сухого повітря, рідких вуглеводнів та розчинників. Такий матеріал є відмінним вибором для деталей і ущільнень, які мають працювати в умовах, де важлива стійкість до різних агресивних середовищ;

– скловолокно є ефективним наповнювачем, може входити до складу багатьох наповнених ПТФЕ в деякій кількості з іншими наповнювачами. Знайшло застосування волокно діаметром 5–7 мкм, або товстіше діаметром 10–12 мкм. Випускається волокно відрізками довжиною 15 діаметрів. Використання коротких волокон довжиною 1–2 діаметри або скляного пилу приводить до збільшення його зносу та значного падіння відносного подовження наповненого матеріалу.

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Композиційні матеріали, які наповнені лише скловолокном, випускають двох видів: 15 та 25 відсотків скловолокна. ПТФЕ з додаванням 15 відсотків скловолокна застосовують при виготовленні вузлів різних конструкцій, що працюють при ударних навантаженнях. Введення скловолокна збільшує зносостійкість матеріалу в 250 разів та в 1,5 рази збільшує опір повзучості. Крім того, такий матеріал стійкий до більш агресивних середовищ, а також зарекомендував себе в середовищі сухих агресивних газів;

– графіт в якості наповнювача може використовуватись як самостійно, так і як добавка до основного наповнювачу. Додають частіше всього до скловолокна, інколи до коксу в кількості до 5 відсотків. У тому випадку, коли вологість повністю відсутня, графіт не може функціонувати на принципі тертя, тому він використовується як наповнювач для матеріалів, які працюють у середовищі з вологими газами, і не підходить для використання у вакуумі або в сухих газах. Композиція, склад якої становить 80% графіту та 20% ПТФЕ, відзначається високою твердістю та міцністю при стисканні, має низький коефіцієнт розширення, характерний для графіту. Однак відносно великий вміст ПТФЕ призводить до високої крихкості матеріалу. Така композиція придатна для роботи в рідких середовищах, таких як морська та прісна вода, нафтопродукти, антифриз, спирт та водні розчини хімічних продуктів. Композиційний матеріал з наповненням графітом є корозійностійким, це дає можливість застосовувати його при досить специфічних умовах, а саме: для виготовлення поршневих кілець компресора, що працюють при терті без мащення;

– дисульфід молібдену знайшов застосування лише як вторинний наповнювач до скловолокна, коксу в незначній кількості ( 2-5%). Така добавка знижує знос композиції та дає можливість використовувати її в роботі при відсутності вологи, а також в сухих газах та глибокому вакуумі. Важливо відзначити, що коефіцієнт тертя у дисульфиду молібдену не менший, ніж у ПТФЕ. Збільшення стійкості до зношування композицій з дисульфідом молібдену може пояснюватися тим, що дисульфід молібдену приймає участь у формуванні плівки ПТФЕ, яка наноситься на контртіло, зміцнюючи його. Ця взаємодія в кінцевому підсумку призводить до

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зменшення зносу. Композиційний матеріал з додаванням 15відсотків коксу та 5 дисульфиду молібдену буде мати зносостійкість у 1000 разів вище ПТФЕ без наповнювачів, а також буде мати більш низький коефіцієнт тертя. Даний матеріал використовують у вузлах тертя в умовах вологих газів, також при наявності конденсату. Рівність статичного та динамічного коефіцієнтів тертя сприяє плавному і рівномірному рухові рухливих вузлів устаткування;

– бронза в якості наповнювача рекомендована до використання як самостійно, так і з іншим наповнювачем. ПТФЕ, яке містить наповнювач у вигляді бронзи, відзначається більш високою стійкістю до зношування при сухому терті. Однак важливо враховувати, що ця стійкість дуже сильно залежить від температури. Бронза є відмінним матеріалом для роботи у воді, і композиції, які містять бронзу, часто використовуються для виготовлення гідравлічних ущільнень;

– вуглецеві волокна, як наповнювачі володіють низьким коефіцієнтом тертя, проте високою теплостійкістю та міцністю. Окрім того, ці волокна володіють хімічною інертністю, тепло- та електро- провідністю. Введення активованих волокон до ПТФЕ позитивно впливає на його властивості. При додаванні 5% вуглецевого волокна до полімерної композиції зносостійкість збільшується в 40 разів порівняно з вихідним ПТФЕ, а підвищення вмісту волокон до 10% призводить до підвищення зносостійкості у 100 разів. Композиції з додаванням наповнювача вуглецевого волокна застосовуються для виготовлення деталей швидкісних літаків, космічних літальних апаратів, спортивного обладнання, хімічного устаткування, а також в галузях суднобудування та автомобілебудування [11,12] ;

– оксид цирконію  $ZrO_2$  має поєднанням різнорідних властивостей, а саме: високу міцністю, термостійкість, зносостійкість, стійкістю до хімічних препаратів. Окрім того, характерна стабільність до випромінювання, у тому числі також до нейтронного потоку. Це визначає його широке застосування в різних галузях промисловості та дає можливість очікувати серйозних покращень властивостей матеріалів на його основі, у випадку переходу до наноструктурного стану. Зменшення розмірів частинок вихідного порошку в області оксидної кераміки, мікро до нанометрів не лише підвищує густину та покращує механічні характеристики

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

керамічних матеріалів, але також суттєво альтерує їх фізичні властивості. Це обумовлено переходом від макро і мікро до нанометрового діапазону твердих тіл (менше 100 нм), що значно модифікує властивості речовин [13-14];

– фулерен C60 у вигляді нанопорошку є одним з ефективних модифікаторів фторопластової композиції. Після графіту та алмазу є третьою формою чистого вуглецю. Молекулу фулерена C60 можна уявити як сферичний многогранник, що складається з 20 шестикутників та 12 п'ятикутників, з атомами вуглецю, розташованими в кожній з його 60 вершин. Молекула фулерена вуглецю C60 представляє собою утворення, в центрі якого розташована молекула розміром приблизно 1 нанометр, а навколо неї структурована та упорядкована вода, яка поширюється в різні напрямки на відстань від 20 до 80 нанометрів [15-20].

Використання сірого чавуну СЧ 18 для виготовлення кілець у контакті "кільце-гільза" поршневого компресора є неефективним і може призводити до швидкого зношення гільзи. Для підвищення терміну експлуатації даного контакту важливо буде замінити СЧ 18 на модифікований матеріал Ф4ВВ20, який має більшу зносостійкість і характеризується значно кращими властивостями [21,22].

Умови обмеженого мащення приводять до швидкого зношення пари тертя, де чавунне кільце та робоча поверхня циліндра використовуються. Для підвищення зносостійкості пари тертя запропоновано замінити матеріал поршневого кільця, яке зазвичай виготовляють із чавуну СЧ-18, на композиційний матеріал Ф4ВВ20. Стендові випробування проводили за таких умов:

- частота обертання двигуна:  $n = 1500$  об/хв;
- діаметр шківів на валу двигуна:  $d = 30$  мм;
- діаметр веденого шківів:  $D = 80$  мм;
- хід каретки, розрахований за один оберт веденого шківів:  $l = 18$  мм;
- сила придавлювання кільця:  $Q = 3$  кг;
- час проведення досліджень  $\tau$  (у годинах).

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Отримані результати показали, що ущільнення з композиційного матеріалу Ф4ВВ20 за зносостійкістю на 51 відсоток переважають ущільнення з матеріалу чавун СЧ-18 [3].

Мета роботи полягає в тому, щоб дослідити умови роботи пари поршневе кільце-циліндр компресора 2ФВ-4/4,5, розробити методику та виконати лабораторні дослідження антифрикційних властивостей композиційних фторопластових матеріалів модифікованих комбінованими наповнювачами.

Для досягнення поставленої мети вирішувалось наступне завдання:

– виконати експериментальні дослідження антифрикційних властивостей композиційних фторопластових матеріалів модифікованих вуглецевим волокном а також порошками закису міді або свинцю з метою підвищення зносостійкості карпопластику Ф4ВВ20.

Виходячи з цього доцільно дослідити вплив застосування принципу багаторівневого модифікування з використанням комбінованих наповнювачів [20-22].

Таким чином, проаналізовані підходи до підвищення зносостійкості фторполімерних матеріалів дозволяють суттєво розширити область їх застосування, в першу чергу, в умовах тертя без мащення при дії динамічних навантажень та підвищених температур для ущільнень поршневих компресорів.

## 1.2 Визначення умов роботи вузла тертя

### 1.2.1 Розробка розрахункової схеми

Вводимо такі позначення розмірів:

радіус контактної поверхні поршня –  $R_1$  ;

радіус робочої внутрішньої контактної поверхні гільзи –  $R_2$ ;

радіус зовнішньої поверхні кільця –  $R_3$ ;

радіальний зазор у контакті –  $\Delta = R_2 - R_1$ ;

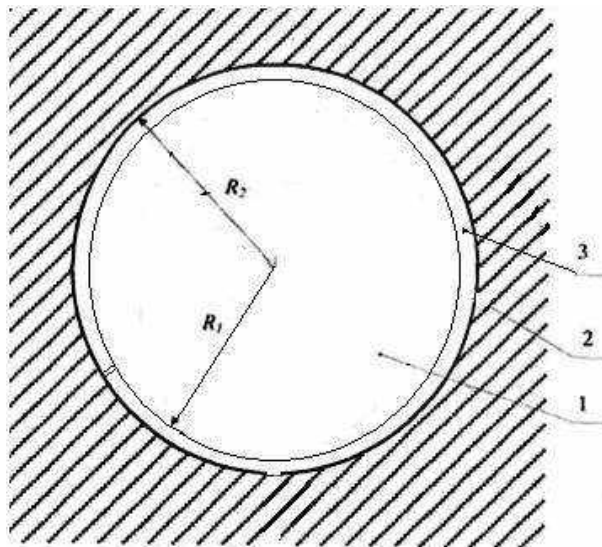
контактні радіальні переміщення точок підшипника –  $U(\varphi_0)$  ;

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

максимальні контактні тиски –  $\sigma_0$ ;

модуль пружності та коефіцієнт Пуассона матеріалу гільзи –  $E_1, \mu_1$ ;

модуль пружності та коефіцієнт Пуассона матеріалу кільця –  $E_2, \mu_2$ .



1 – поршень; 2 – гільза; 3 – компресійне кільце;

Рисунок 1.12 – Розрахункова схема вузла

Дані необхідні для проведення розрахунку [23]:

- зазор у контакті визначається рухомою посадкою  $\frac{H7}{h7}$  до якої для даного кільця встановлено максимальний зазор  $\Delta = 0.002$  мм;
- зовнішній радіус кільця компресора  $R_3 = 20$  мм;
- товщина кільця  $b = 3$  мм;
- висота кільця  $h = 3$  мм;
- діаметр поршня  $d = 39$  мм.

Для контактних матеріалів механічні характеристики:

- для матеріалу гільзи (СЧ – 24)

$$E_1 = 2.1 \times 10^4 \text{ кг/мм}^2; \quad \mu_1 = 0.3;$$

- для матеріалу втулки (Ф4ВВ20)

$$E_2 = 0.12 \text{ кг/мм}^2; \quad \mu_2 = 0.34.$$

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

### 1.2.2 Розрахунок сил та тисків, що діють на деталі в контактї пари тертя

У вузлі діють сили, які залежать від тиску газу та тиску пружності кільцеь.

Це можна представити формулою:

$$\sigma = \sigma_r + \sigma_{II} \quad (1.2)$$

де  $\sigma_0$  – тиск газу на дане поршневе кільце

$$\sigma_r = B(\sigma_0 - 0,1) \quad (1.3)$$

$B$  – коефіцієнт, що показує долю тиску газів на конкретне кільце:

для першого  $B=0,8$ ; для другого  $B=0,2$ ;

$\sigma_0$  – тиск над поршнем,  $\sigma_0 = 3,5 \text{ атм} = 0,35 \text{ МПа}$

$\sigma_{II}$  – тиск пружності кільцеь.

$$\sigma_{r1} = 0,8(0,35 - 0,1) = 0,2 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{r2} = 0,2(0,35 - 0,1) = 0,05 \text{ МПа}$$

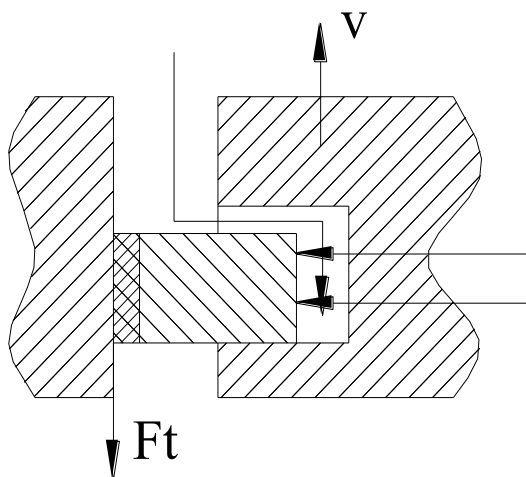


Рисунок 1.13 - Сили, що діють на деталі в контактї пари тертя

У випадку, якщо кільце представляти, як кривий брус, що розташований в одній площині, а навантаження пропорційно розподілене по всій довжині, то:

$$\sigma_r = \frac{3,9}{m} E \frac{1 - \frac{1}{b} \cdot \frac{f}{(D/b - 1)^2}}{3\pi} \cdot 10^{-3} \quad (1.4)$$

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

де  $m$  – коефіцієнт, який залежить від методу встановлення кільця,  $m=1,5$ ;

$E$  – модуль пружності матеріалу, для чавуна становить  $E = 1,4 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ ;

$f = a_0 - a$  – деформація кільця;

$a_0, a$  – зазор в замку, відповідно у вільному та робочому стані;

$b$  – радіальна товщина кільця;

$D$  – діаметр кільця зовнішній,  $D=40$  мм.

Тоді будемо мати наступні значення величин:

$$b = \left( \frac{1}{25} \dots \frac{1}{30} \right) D = \left( \frac{1}{25} \dots \frac{1}{30} \right) 40 = 1,84 \dots 1,53 \approx 1,7 \text{ мм} ;$$

$$a_0 = (0,3 \dots 0,4) b = 0,35 \cdot 1,7 = 0,595 \text{ мм} ;$$

$$a = (0,003 \dots 0,006) D = 0,0045 \cdot 40 = 0,207 \text{ мм} ;$$

$$f = 0,595 - 0,207 = 0,388 \text{ мм} .$$

З врахуванням цих значень розраховуємо:

$$\sigma_{II} = \frac{3,9}{1,5} \cdot 1,4 \cdot 10^5 \frac{1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{0,37}{3 \cdot 3,14} \cdot \frac{1,67}{1,7}}{\left( \frac{46}{1,7} - 1 \right)^2} \cdot 10^{-2} = 3,64 \cdot 10^5 \cdot \frac{1 - 0,106 \cdot 0,288}{679,06} \cdot 10^{-3} =$$
$$= 3,64 \cdot 10^5 \cdot 0,0014 \cdot 10^{-3} = 0,52 \text{ МПа} .$$

В результаті будемо мати тиск, що діє в контакті:

$$\text{для I кільця } \sigma_I = 0,2 + 0,52 = 0,72 \text{ МПа} ;$$

$$\text{для II кільця } \underline{\sigma_{II} = 0,05 + 0,52 = 0,57 \text{ МПа}}$$

Також можемо визначити силу, з якою кільця давлять на циліндр:

$$Q = \sigma F \tag{1.5}$$

де  $F$  – площа контакту  $F = \pi D h$  ;

$h$  – товщина кільця  $h=2$  мм;

$$\text{Площа контакту: } F = \pi \cdot 46 \cdot 2 = 288,88 \text{ мм}^2$$

Далі, враховуючи, що  $1 \text{ МПа} = 0,1 \text{ кгс/мм}^2$  визначаємо силу тиску на циліндр:

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

$$Q_I = 0,072 \cdot 288,88 = 20,799 \text{ кгс} ;$$

$$Q_{II} = 0,057 \cdot 288,88 = 16,466 \text{ кгс} ;$$

Крім сили дії кільця на циліндр, діє також сила тертя:

$$F_T = Q \cdot f \quad (1.6)$$

$f$  – коефіцієнт тертя,  $f=0,2$

$$F_{TI} = 20,799 \cdot 0,2 = 4,16 ;$$

$$F_{TII} = 16,466 \cdot 0,2 = 3,293 \text{ кгс} .$$

### 1.2.3 Розрахунок швидкостей ковзання та шляхів тертя

Велика швидкість ковзання кільця по циліндру є важливим фактором, оскільки зі збільшенням швидкості руху може відбуватися збільшення зносу металу внаслідок підвищення температури на поверхні контакту. Швидкість ковзання визначаємо за формулою:

$$V_0 = \frac{\pi R n}{30} \quad (1.7)$$

де  $R$  – радіус кривошипа,  $R=19,5 \text{ мм}$ ;

$n$  – частота обертання колінчастого валу,  $n = 600 \text{ хв}^{-1}$ ;

$$V_0 = \frac{3,14 \cdot 19,5 \cdot 600}{30} = 1224,6 \text{ мм/с}$$

Шлях тертя визначають для оцінки розміру або масштабу зносу по всій поверхні контакту. Для кілець шлях тертя - це відстань між нижньою та верхньою мертвими точками ходу поршня  $S_K = L_{II} = 0,15 \text{ м} = 150 \text{ мм}$ .

Для циліндра шлях тертя є загальна товщина кілець, що становить:

$$S_{II} = 2h = 2 \cdot 2 = 4 \text{ мм} .$$

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Отже, визначені параметри, що впливають на процес зношування та дозволяють визначити його інтенсивність та величину.

#### 1.2.4 Аналіз умов мащення, вибір компресорного мастила

При стискуванні газу компресорні мастила мають за завдання забезпечити нормальну роботу деталей, які труться, навіть в умовах окислювального середовища, при наявності пилу та окислів металів.

Під час стискування газу виникають проблеми, пов'язані з фізико-хімічними процесами взаємодії мастила та газу. Газ може розчинятися в мастилі, що призводить до зменшення в'язкості мастила та може сприяти руйнуванню мастильної плівки в певних умовах. Між газом і мастилом може відбуватися хімічна взаємодія, яка стає інтенсивнішою через каталітичну взаємодію з частинками заліза, що утворюються при зносі.

Щоб зменшити вплив цих проблем, важливо використовувати спеціальні мастила, які розроблені для роботи в умовах стискування газу та мають властивості, що дозволяють їм ефективно захищати деталі від окислення, розчинення газу та хімічної взаємодії.

Характеристики компресорних мастил наведені в таблиці 1.5.

Для циліндро-поршневої групи коли вибираємо мастильний матеріал необхідно враховувати особливо тиск та температуру газу, який нагнітається, частоту обертання колінчатого валу та особливості конструкції компресора. В першу чергу в залежності від вище вказаних факторів необхідно звертати увагу на в'язкість мастила, а також схильність до утворення нагару при конкретних умовах та термоокисну стабільність.

Вважають, що мастило має володіти мінімальною в'язкістю, при якій в конкретних умовах зберігається міцна мастильна плівка, яка розташована між контактуючими поверхнями. Коли в'язкість мастила висока, це приводить до переходу енергії та сприяє відкладенню нагару.

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Таблиця 1.5 – Характеристики компресорних мастил

Група якості	Марки Мастил по уніфікованому асортименту	Кінематична вязкість, при 100 <sup>0</sup> С, 10 <sup>-6</sup> м <sup>2</sup> /с	Марки товарних і дослідних зразків	Кількість нагаро-відкладень при випробуваннях	Час до само-запалювання, хв
1	К-100	10-12,5	М-10В <sub>2</sub> , М-10Г <sub>2</sub> К	35	360 при 220 <sup>0</sup> С
	К-150	14-16,5	МТ-16п		
	К-220	18-22	К-19,КС-19, МС-20, КЧ-20, М-20Бп		
2	К-460	26-30	П-28,К-28	5	360 при 230 <sup>0</sup> С
	К2-100	10-12,5	К-12, К3-10		
	К2-150	14-16,5	ИГП-91		
	К2-220	18-22	-		
3	К2-320	23-25	К2-24	2	360 при 240 <sup>0</sup> С
	К3-100	10-12,5	К3-12		
	К3-150	14-16,5	АМБ-17		
	К3-220	18-22	М-20А		

Мастила з низькою в'язкістю легше випаровуються та, при розчиненні, утворюють дрібні краплі, які потім відкидає газовий потік з гарячої зони.

При виборі компресорного мастила важливо враховувати його температурний спалах. Тому для змащування рекомендується використовувати мастила з високою в'язкістю, а саме:  $(18-30) \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  за температури 100 °С.

## 2 ТЕХНОЛОГІЯ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ ТА ПОТОЧНОГО РЕМОНТУ АГРЕГАТА ТА ВУЗЛА ТЕРТЯ

### 2.1 Технологія технічного сервісу (ТС) циліндропоршневої групи компресора

#### 2.1.1 Види відмов деталей пари тертя кільце-гільза поршневого компресора 2ФВ-4/4.5 та вузла в цілому

Можливі дефекти в парі тертя кільце-гільза поршневого компресора і взагалі у вузлі в цілому представлені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Неполадки деталей пари тертя кільце-гільза поршневого компресора та методи їх усунення

Причина неполадок	Метод усунення неполадок
Зношення поршневих кілець. Характерне поступове на протязі значного терміну підвищення інтенсивності зношування.	Замінити кільця.
Заїдання поршня та поршневих кілець.	Збільшити подачу мастила на змащення циліндра, перевірити роботу системи охолодження. Якщо стукіт не припиняється, необхідно розібрати компресор та почистити поверхні, що труться.
Задівання поршня об кришку циліндра.	Встановити товстішу прокладку між кришкою та блоком циліндра.
Знос втулки циліндра	Замінити втулку або розточити її на інший діаметр та встановити новий поршень
Перекошування поршня	Розібрати компресор, перевірити правильність установки колінчатого валу та торцевих поверхонь вкладишів головки шатуна. Виявлені дефекти ліквідувати.
Ослаблення поршневої гайки	Терміново зупинити компресор. Закріпити гайку.
Згинання поршневого штока або шатуна.	Терміново зупинити компресор. Замінити дефектні деталі.
Зношення поршневого пальця.	Замінити палець.

## 2.1.2 Діагностування: устаткування, операції

Процес виявлення дефектів циліндра можливо виконувати різними методами. Спочатку візуально оглядають гільзи циліндра, проводять контроль його основних розмірів і обов'язково контроль діаметру дзеркала.

Діаметр поверхні дзеркала гільзи циліндра можна виміряти за допомогою мікрометричної головки на штихмасі або нутроміром, який обладнаний індикатором з ціною поділки не більше 0,01 мм. Діаметр внутрішній гільзи циліндра рекомендовано вимірювати у двох взаємно перпендикулярних напрямках, крім цього, конкретно у кожному з п'яти контрольних перерізів. Нутромір попередньо налаштовують за допомогою еталону, індикаторну стрілку встановлюють в положення "нуль". Різниця між двома вимірюваннями індикатора в одному перерізі вказує на похибку форми поверхні в цьому конкретному перерізі, яку називають "овальністю". У той час як різниця показів індикаторів в різних перерізах по висоті гільзи вказує на похибку форми в поздовжньому перерізі гільзи. Основну увагу необхідно звертати на наявність тріщин на дзеркалі гільзи. Гільзи, які мають тріщини на своїй внутрішній поверхні (дзеркалі гільзи), повинні бути відсіянні або вибраковані.

## 2.2 Технологія поточного ремонту циліндропоршневої групи (ЦПГ) компресора

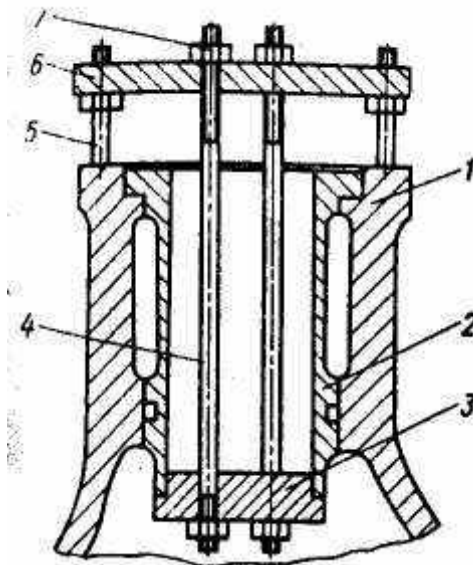
### 2.2.1 Розбирання

Випресовування гільзи виконують за допомогою спеціального пристрою, який представлено на рисунку 2.1.

Фланець 3, розташований знизу, захоплює торець гільзи 2. Фланець 6, розташований зверху, настромлений на шпильки 5. Під час затягування гайок 7 зусилля передається через шпильки 4 на нижній фланець та торець гільзи. Відстань між верхнім фланцем 6 та корпусом 1 повинна бути достатньою, щоб забезпечити

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повне витягнення гільзи із посадкових кілець корпуса.



1 – корпус пристосування; 2 – торець гільзи; 3 – нижній фланець; 4 – шпилька;  
5 – шпилька; 6 – верхній фланець; 7 – гайка

Рис. 2.1 - Пристосування для випресовування гільзи

### 2.2.2 Очищення та промивання

Поверхні, які потребують відновлення, а також місця з тріщинами, обробляють металевими щітками, абразивною шкіркою або за допомогою ручних шліфувальних машин до отримання металевого блиску. Необхідно видалити різні забруднення, оксиди, а також сліди корозії. Посадкові поверхні, зазвичай, обробляють лише абразивною шкіркою, з метою не допустити змін розмірів цих поверхонь. З тріщин видаляють усі пошкоджені частини металу. Охолоджуючі поверхні очищують від вапняного накипу та слідів корозії за допомогою механічних та хімічних засобів. Карбонатний накип можна видалити, використовуючи 10%-ий розчин соляної кислоти з додаванням 0,5% інгібітору ПБ-5 (або 0,5% уротропіну). Гільзу тримають в очищувальній рідині до моменту закінчення виходу газу. Після видалення накипу та слідів корозії, гільзу слід ретельно промити водою під тиском, а потім обробити розчином пасиватора. Сульфідні та силікатні накипи очищають 10-12%-им розчином каустичної соди при температурі 60-80 °С. Гільза перебуває у

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

рідині 10-20 годин, а потім розчин зливають. Очищену гільзу від шламу промивають під тиском водою.

### 2.2.3 Дефектація деталей

Дефекти гільз циліндрів, які можливі при експлуатації компресора, наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Дефекти та причини дефектів гільз циліндрів компресора

№ п/п	Дефект гільзи циліндра	Причини дефекту
1	Зміна діаметрального розміру дзеркала гільзи циліндра	Зношення поршневих кілець; наявність в циліндрі абразивних частинок; перекося поршня відносно осі циліндра; недостатній зазор в контактній гільзі циліндра – поршень; зацімлення поршня кільцями; відсутність або недостатність змащувального матеріалу; низька якість змащувального матеріалу.
2	Зміна форми дзеркала гільзи циліндра	
3	Риски, подряпини, задири на дзеркалі гільзи циліндра	
4	Тріщини дзеркала гільзи циліндра	Дефекти відливки; дія внутрішніх напружень; непередбачувані збільшення тиску в циліндрі.
5	Зміна форми ущільнюючих поверхонь	Дія внутрішніх напружень; дуже сильна або нерівномірна затяжка ущільнюючих стиків.
6	Тріщини та поломки фланців	Неконтрольоване збільшення тиску в циліндрі; надмірна затяжка гайок кріплення; неправильне збирання; пошкодження випадкові; дія напружень внутрішніх.
7	Тріщини в стінках порожнин циліндра	
8	Пошкодження різьби	

### 2.2.4 Заміна деталей, складання

Перед встановленням гільзи, необхідно ретельно очистити посадкові поверхні циліндра і гільзи за допомогою хлопчатобумажних серветок, і потім нанести

мастило, наприклад, ХА-23. Гільзу вставляють в циліндр до того моменту, коли її борт повністю входить в посадковий поясок і вона стає на упорі. Запресовку виконують вручну за допомогою текстолітових оправок або з використанням ручного пресу. Заборонено використовувати металеві ударні інструменти для уникнення деформації гільз, посадкових поверхонь циліндрів та утворення задирів на дзеркалах гільз. Після встановлення гільз слід візуально перевірити правильність та якість їх установки, а також переконатися у відсутності подряпин та інших механічних пошкоджень на деталях.

### 2.2.5 Регулювання, випробування

Після ремонту циліндра перший етап контролю передбачає ретельний візуальний огляд, з особливою увагою до поверхонь, які були піддані технологічним впливам. Проводять перевірку основних посадкових та приєднувальних розмірів циліндра, а також визначають щільність циліндра під час спеціальної перевірки. Відремонтовані та перевірені циліндри поступають на ділянку складання.

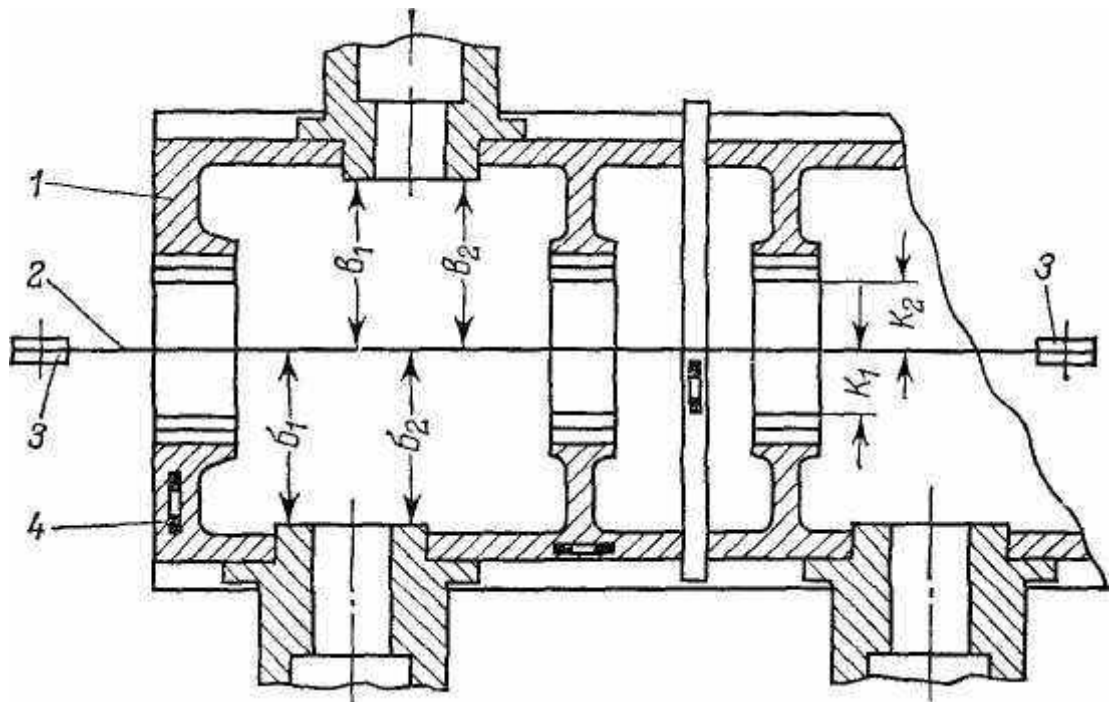
Контроль правильного положення картера під час затягування болтів виконується за допомогою струни, яку встановлюють та центрують уздовж осі колінчастого валу (рисунок 2.2). Одночасно проводиться контроль горизонтальності за допомогою рівня.

Під час розцентрування важливо, щоб відстані К1 і К2 від місця до струни були рівні. При правильній установці відстані від торця напрямних б1 повинні дорівнювати б2, а відстані в1 повинні дорівнювати в2. При контролюванні положення уздовж осі валу, рівень встановлюють на поверхню розточування рами під вкладишами корінних підшипників. Перпендикулярно до осі валу рівень встановлюють на напрямну. Для попереднього вивірення положення рами другого ряду відносно рами першого ряду застосовують рівень, який розміщують на контрольній лінійці. Ця лінійка опирається на нижню поверхню розточувань рам під вкладишами корінних підшипників. У випадку, якщо діаметри розточувань у рам відрізняються, для компенсації різниці розмірів під лінійку необхідно підкласти

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підкладки потрібної товщини, які калібруються.

Відхилення по рівню відміток рам по висоті не повинна бути більшою 0,1 мм на 1000 мм.



1 – рама; 2 – струна, 3 – ролики; 4 – рівень

Рис. 2.2 - Схема установки центрувальної струни в камері компресора

Після встановлення рам по рівню необхідно провести перевірку по струнах. Для цієї перевірки застосовують сталевий калібрувальний дріт діаметром 0,35—0,50 мм. Струна, яка монтується по осі валу, має назву поперечна; струни, які монтуються по осі крейцкопфних напрямних, мають назву повздовжніх. Струни, які натягнуті вздовж і поперечно компресора, не повинні стикатися між собою. В залежності від діаметру струни вибирають вантажі, котрі закріплюють на їх кінцях:

діаметр струни, мм	0,35	0,40	0,45	0,50;
маса вантажу, кг	9,45	12,34	15,62	19,29;
маса 1 м струни, г	0,75	1,00	1,26	1,54.

Для всіх запланованих точок виміру відстаней від струни до рами повинні бути наперед визначені значення прогину струни. Ці значення обчислюються як добуток трьох факторів: маси одного метра струни (г) на відстань від однієї точки підвісу до місця виміру (м) на відстань від іншої точки підвісу до місця виміру (м), і

						Арк.
					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

цей результат ділиться на загальну масу завішаних на струні вантажів (кг).

Прогин струни можна визначити також по номограмі, приведеній на рисунку 2.3. При центруванні, значення прогину віднімають від результату вимірювання, здійсненого зверху, та додають до значення вимірювання, проведеного знизу.

Опори для центраторів поперечних струн повинні розташовуватися на відстані не більше 500 мм від торців розточувань підшипників. Опору для центратора подовжньої струни слід встановлювати на відстані не більше 500 мм від торця картера рами, а другу опору слід встановлювати на відстані, яка забезпечує зручність установки циліндра.

Центрування струн по осях компресора виконують за допомогою мікрометричного штихмаса, який має надставку для забезпечення стійкості вимірювального інструменту вздовж струни. Вимірювання виконують застосовуючи електроакустичний метод (рисунку 2.4). Відстань до струни вважається вимірною правильно, якщо при зменшенні довжини штихмаса на 0,01 мм контакт із струною переривається, що супроводжується лункінням у навушниках і замиканням ланцюга. Натягнуту поперечну струну центрують шляхом розміщення її по розточуванню під корінним підшипником. Струну разом з роликком центратора переміщують таким чином, щоб вона співпадала з віссю корінного валу.

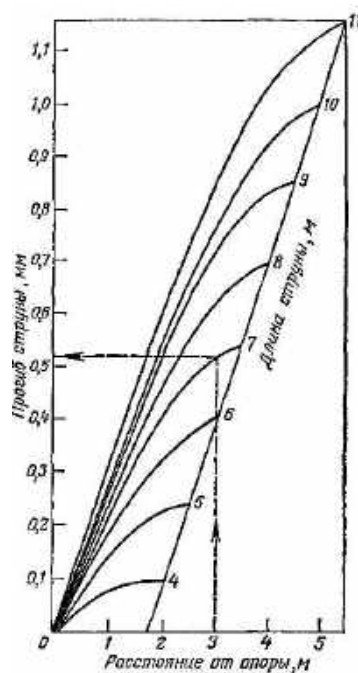
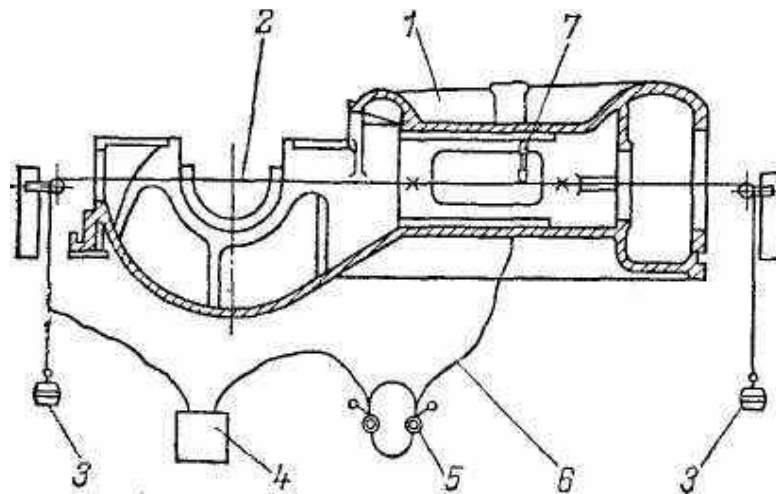


Рис. 2.3 - Графіки прогинів струни

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55



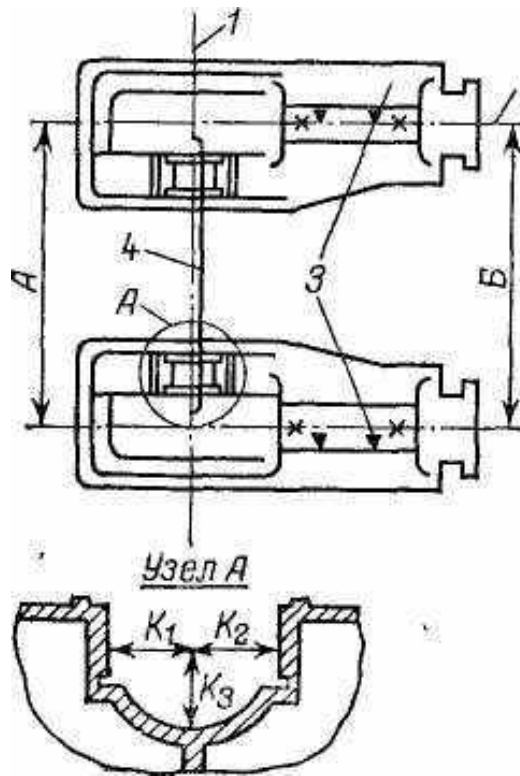
1 – рама компресора; 2 – струна; 3 – натяжні вантажі; 4 – акумулятор; 5 – навушники; 7 – штихмас мікрометричний; 5 – дроти

Рис. 2.4 - Схема електроакустичної перевірки центровки компресора

Вимірювання відстаней між струною та стінками розточувань для підшипників виконують за допомогою штихмасу в двох місцях на кожному розточуванні, які розташовані по його краях (рисунок 2.5). В кожному перетині по горизонталі  $K_1$  та  $K_2$  потилежні відстані мають бути рівні. Також в кожному перетині має дотримуватися стабільно рівність відстані  $K_3$  по вертикалі від струни до нижньої поверхні. Розбіжності між відповідними відстанями по перетинах повинні залишатися в межах 0,01 мм.

Після центрування струн на базовій рамі другу раму рухають до того моменту, коли відстані  $K_1$ ,  $K_2$  і  $K_3$  на відповідних перетинах будуть однаковими, і відхилення не перевищують 0,01 мм. Для кожної рами відхилення розмірів повинні бути в однаковому напрямку відносно струни. Після перевірки другої рами в поперечному напрямку і рівню необхідно перевірити положення рам по подовжніх осях компресора. Кожну подовжню струну центрують, використовуючи напрямки крейцкопфа, на двох перетинах. При вимірах в вертикальному напрямку штихмас спирається на напрямки крейцкопфа, а при вимірах в горизонтальному напрямку - на спеціальні приливи, які виготовлені разом із напрямками.

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56



1 – поперечна струна; 2 – поздовжня струна; 3 – рівні; 4 – контрольна лінійка

Рис. 2.5 - Схема перевірки положення осей рам по струнам та рівню

Місця вимірювань повинні бути відзначені таким чином, щоб забезпечити сталу похибку вимірювань. Різниця в значеннях штихмаса в горизонтальному та вертикальному напрямках не повинна перевищувати 0,01 мм, враховуючи прогин струни.

При позитивній перевірці рам рівномірно затягують болти.

Рами компресора будуть остаточно вивіреніми, якщо їх положення відносно струни залишається незмінним під час затягування болтів. Покази рівня не мають змінюватися більше, ніж на 0,1 мм на кожних 1000 мм довжини. У всіх випадках перевірки горизонтальності рівень необхідно встановлювати в двох положеннях з поворотом на 180 градусів з ціллю дослідження несправностей рівня та дефектів обробки поверхні. Опорна поверхня рам компресора, а це станина картера повинна щільно прилягати до пристроїв та пристосувань для вивірювання. Щільність прилягання перевіряють щупом.

						ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			57

### 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ВУЗЛА ТЕРТЯ КІЛЬЦЕ-ГІЛЬЗА ПОРШНЕВОГО КОМПРЕСОРА 2ФВ-4/4.5

#### 3.1 Природа зносостійкості металів при контактному терті

Досить велика кількість деталей автомобільного транспорту стає непридатною для використання в зв'язку зі стиранням та зношуванням, а також руйнуванням від втоми під дією навантажень та несприятливої дії навколишнього середовища. У зв'язку з цим, проблема створення раціональних, ефективних та економічних методів зміцнення поверхневого шару металу на робочій частині деталей стає дедалі актуальнішою. Аналіз відмов та несправностей сучасних машин і механізмів підтверджує, що міцність поверхневого шару деталей визначає основний фактор надійності їх функціонування. Приблизно 80 відсотків всіх випадків відмов машин виникає через пошкодження поверхні та спричинене зносом їх тертьових з'єднань.

Недостатня зносостійкість і надійність рухомих сполучень відмовлень у великій мірі обумовлюють величезні витрати, що приходяться на капітальний і поточний ремонт машин. У ряді галузей вартість ремонтів і запасних частин у 5...12 разів перевищує первісну вартість машини. Терміни морального старіння більшості експлуатованих машин у кілька разів перевищують їхній час служби, обумовлений передчасним фізичним зношуванням.

Впровадження досягнень трибології та триботехніки може призвести до зменшення витрат на виробництво та ремонт машин на рівні 25 відсотків річного бюджету країни [4].

Взаємне тертя деталей завжди приводить до зношення, в результаті чого механічна система приходиться у стан непридатності. На думку автора [5], серед трьох факторів – старіння, руйнування і зношування, які призводять до втрати корисних властивостей предметів, зношування є найбільш небезпечним. Втрати, пов'язані зі зносом, приводять до непоправних пошкоджень, які вимагають величезних фінансових витрат для відновлення.

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Знос сполучених зчленувань – один з істотних каналів витоку матеріальних і енергетичних ресурсів, тому розробка ефективних методів боротьби з ним останнім часом приділяється величезна увага.

Проблема зі зносом деталей транспортних засобів як небажаним явищем існує вже давно, що підтверджує велика кількість наукових робіт у цьому напрямку. Проте, останнім часом особливо гостро стало питання про збільшення терміну служби машин. Це викликано значними навантаженнями на деталі, високими швидкостями взаємного руху окремих компонентів машин, специфічними умовами експлуатації, використанням нових матеріалів та меншими припустимими межами для зносу.

Великий інтерес до досліджень механізму зношування пов'язаний не лише з потребою зменшення втрат, спричинених тертям, але й з розробкою ефективних методів прогнозування тривалості роботи з'єднань, а також забезпеченням їхньої надійності. Механічні та фізичні властивості фрикційного контакту, а також зміни, які відбуваються в контакті під час тертя, відіграють важливу роль у розумінні механізму зношування [6].

Дослідження процесів зношування та різних видів пошкоджуваності робочих поверхонь деталей машин під час їхньої експлуатації, а також вивчення природи цих явищ в лабораторних умовах, дозволили систематизувати їх і розробити обґрунтовану класифікацію видів зношування та пошкодження. Дана класифікація обґрунтовує ведучі та супутні види поверхневого руйнування деталей та вузлів. Кожна працююча деталь або з'єднання деталей має конкретний вид зношування або пошкодження, що визначає надійність під час експлуатації та може супроводжуватися супутніми видами пошкодження поверхні, які мають менший вплив на функціонування з'єднання [6].

### 3.2 Оцінка зносостійкості матеріалів

Основною метою будь-якого наукового дослідження є розкриття природи та механізму явищ, які вивчаються в об'єктах дослідження, визначення їх кількісних

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

параметрів і можливість контролювати ці процеси таким чином, щоб мати змогу використовувати або виправляти ці явища в практичних застосуваннях.

Закони процесу зношування спостерігаються на трьох рівнях масштабу: великому, середньому та мікроскопічному. Визначенням для створення та використання специфічних методів дослідження процесів зношування є загальний закон та категоризація видів зношування та ушкоджень деталей та вузлів у машинах, які перебувають в експлуатації.

Відомі три групи методів визначення зносу пошкодженням [4]:

а) розбирання не потрібне – оцінка зношування в залежності від зміни технічних параметрів вузлів тертя обладнання: спектральний та хімічний аналіз мащення;

б) потребує розбирання – зважування, мікрометричне вимірювання зносу та профілографування;

в) потребує спеціальної підготовки ділянок тертя на початок роботи – метод радіоактивних індикаторів, диференціальний метод радіоактивних індикаторів, метод штучних баз.

Різноманітність іспитових машин для оцінки зносу металів може бути пояснена популярністю емпіричного підходу у дослідженнях тертя та зносу [4,26].

Аналіз якісних змін поверхневих шарів металів в результаті нормального зношування та явищ пошкодження проводять на різних масштабних рівнях.

Для оцінки стану поверхонь, складу та властивостей плівок вторинних структур, які впливають на нормальний процес зношування, використовують методи, такі як електроннографічний аналіз, електронна мікроскопія, включаючи методи реплікації та на просвіт, а також метод вимірювання електрохімічного потенціалу. Субмікрорельєф, що визначає геометричний стан поверхні, оцінюється на основі електронних фотографій, отриманих при збільшенні не менше, ніж в десять тисяч разів. На жаль, на сьогоднішній день не існує приладів для оцінки механічних властивостей вторинних структур з товщиною, приблизно, в декілька сотень ангстремів.

У випадку, коли проходить пошкодження поверхонь тертя масштаб явищ

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

значно збільшений. Зміну геометричних параметрів поверхні, структури та властивостей поверхневих шарів спостерігають на макро- та мікроскопічному рівнях. Для дослідження їхніх геометричних параметрів частіше всього використовують метод профілографування [4].

Для вивчення структури часто використовують металографічний та рентгенівський аналізи. За допомогою методу мікротвердості досліджують механічні властивості [4].

Вибір конкретного методу виміру зносу визначається рядом факторів, таких як ціль дослідження, потрібна точність виміру, можливість вимірювати невеликі зношення, потрібний для виміру час, можливість вимірювати знос в умовах роботи без розбирання, якщо це можливо без зупинки обладнання, а також затратами часу та ресурсів, необхідними для підготовки, виконання та обробки результатів вимірювань.

При виконанні досліджень не використовувались інтегральні методи виміру, оскільки вони не забезпечують заданої точності. Тому нами був застосований диференціальний мікрометричний метод вимірювання зносу пар тертя. Паралельно реєструвався момент сил тертя.

### 3.3 Методи експериментального дослідження зносостійкості деталей

Відомі варіанти формул, зазвичай, не відображають реальних умов взаємодії матеріалу з абразивними частками, оскільки при вирішенні даної математичної задачі не враховуються усі фактори. При однаковій твердості, різних розмірах та формі структурних складових зносостійкість досить часто може бути неоднаковою. Серйозний вплив на інтенсивність руйнування деталей вузлів тертя мають показники динаміки навантаження, властивості абразивної маси, а також режими роботи обладнання та інші фактори. Для врахування цих показників у формулу вводять множину емпіричних коефіцієнтів, значення яких можна визначити лише експериментальним методом. Окрім того, цим же методом можна одночасно визначити інтенсивність зношування, не виконуючи додаткову аналітичну роботу.

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тому працівники наукових закладів віддають перевагу експериментальному моделюванню дії абразиву на контактну поверхню металу.

Для правильного вибору схеми експерименту вивчають методи випробувань на абразивне зношування. Метод, при якому досліджується взаємодія металу із прикріпленими частками абразиву, є найбільш поширеним. Як абразивний матеріал можуть бути круги. Проте дослідження показують, що використання такого методу надійних результатів не дає. М.А. Бабичев досліджував зношування при терті зразків по самозаточуваних кругах і встановив, що самозаточування круга в процесі взаємодії з різними металами проходить по різному. Отже, спосіб дослідження зношування при терті по абразивних кругах не рекомендований для систематичних випробувань.

З ціллю точності експерименту використовують абразивну шкірку, а не круги. Робіном ще в 1910 році були проведені експерименти по зношуванню металів при терті по шкірці. Зразок діаметром 15 мм циліндричної форми придавлювався до диска вантажем. Для кожного експерименту використовували одну шкірку. Дослідний зразок рухався по одному шляху до 200 м, що давало велику похибку вимірювань – до 15 відсотків.

Методика досліджень матеріалів з використанням абразивної шкірки була суттєво удосконалена завдяки Тонну. В його експериментах одночасно з обертанням диску виконувалась радіальна подача зразка, в результаті цього шлях тертя розташовувався по спіралі. Учені Веллінгер та Уетц дослідили при зворотно-поступальному русі зношування зразків металів по шкірці. Абразивною шкіркою натягнутий стіл відзначався низькою швидкістю поперечного переміщення. Методи досліджень Тонна, Веллінгера та Уетца мають важливу перевагу перед методом Робіна, оскільки при переміщенні зразка по так званій новій доріжці похибка експерименту різко зменшується. Проте ці вчені не використали всі можливості. Запропонований М.М. Хрущовим метод досліджень на трибометрі Х4-Б є більш вдалим. Метод дослідження, який він розробив для лабораторних експериментів з абразивним зношуванням, дозволяє враховувати вплив різних факторів та відтворювати процес зношування в чистому вигляді з можливістю

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

точного повторення. Під час обертання диску з натягнутою шкіркою циліндричний зразок діаметром 2 мм та довжиною 15–20 мм виконує радіальне переміщення, яке становить 1 мм за один повний оберт диску. Шлях, який зразок прокладає по поверхні диску, має форму спіралі Архімеда. Отже, тертя металевого зразка відбувається майже на необробленій поверхні при низькій площі контакту, невеликій швидкості ковзання та інтенсивному зношуванні, що виключає вплив навколишнього середовища. Для оцінки впливу якості шкірки на результати зношування в тих самих умовах проводили експерименти зі зразком з еталонного матеріалу. У цих дослідах використовували електрокорундове полотно, частинки абразиву якого мають високу твердість, значення твердості якого HV 2290.

Таким чином, вплив твердості абразивних часток у цьому випадку виключено.

Ученим Б.І. Костецьким була запропонована машина тертя КЕ-3 для дослідження зношування методом нанесення гвинтових подряпин на зразок циліндричної форми діаметром 20 мм та довжиною 100 мм. Метод дряпання плоских зразків у вигляді індентора, який має форму конуса і виготовлений з алмазу або твердого сплаву ВК6, використовувався і іншими вченими. Однак важливо враховувати, що наведені методи не можуть точно відтворити умови абразивного зношування робочих елементів, тому їх можна використовувати лише для орієнтовної оцінки стійкості металів до зношування. У практиці експлуатації машинних деталей, зношування внаслідок взаємодії з закріпленими абразивними частками трапляється рідко, тому ми розглянемо методи дослідження металів при їх взаємодії з напівзакріпленими та вільними абразивними частками.

Спосіб Брінелля імітує процес зношування, який відбувається при втиранні абразивних часток у поверхню металу. Зношування в цьому випадку оцінюють по розміру лунки. Основним недоліком цього методу є непостійність поверхні тертя, оскільки вона поступово збільшується протягом експерименту, що призводить до зміни тиску на диск та збільшення кількості абразивних зерен, які взаємодіють з поверхнею.

М.А. Бабичев провів порівнювальні дослідження за методом Брінелля на

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

машині тертя Х4-Б та виявив, що в першому випадку точність експерименту значно нижча. Вайс описав методику дослідження, яка використовується для визначення зношування при терті зразка по чавунному диску, на поверхню якого неперервно подаються частки карборунду та вода. В цьому експерименті поруч із досліджуваним зразком диск вміщує також еталон. Аналіз результатів досліджень, які провели М.М. Хрущов і М.А. Бабичев, показав, що загальні закономірності зношування в цьому випадку аналогічні тим, які були виявлені при випробуваннях на машині тертя Х4-Б. Проте, точність експериментів у даному випадку виявилася нижчою. Для створення умов, в яких функціонують вузли тертя, вони оснащуються спеціальними пристроями для подачі мастил, розчинів, газів та інших робочих речовин.

Компресійні поршневі кільця відносяться до герметизуючих елементів, які знаходять застосування в різних типах обладнання, таких як двигуни, компресори та інші. Пара циліндрів та поршневих кілець грає важливу роль у забезпеченні працездатності компресорів. Особливо складні умови роботи настають, коли поршневі компресійні кільця взаємодіють під впливом одночасних динамічних навантажень і хімічної взаємодії з газами, як це відбувається в компресорах. Хоча ця конфігурація відноситься до 4-ї групи спряжень, де початковий контакт тіл відбувається вздовж поверхні, незначна товщина кільця в порівнянні зі стежкою поршня призводить до нерівномірного зношування гільзи циліндра через зміни у робочих умовах в кожному конкретному положенні поршня. У більшості випадків цю нерівномірність зношування по товщині кільця можна ігнорувати. Найвища ступінь зношування спостерігається в області, де працює перше компресійне кільце.

### 3.4 Оцінка зносостійкості вузла тертя, виконаного за різними технологіями

3.4.1 Лабораторні випробування пар тертя композиційних матеріалів на основі фторопласт-4, з визначенням параметрів моделі зношування, методика випробувань

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Установка для антифрикційних досліджень.

Опис установки.

Трибометр ХТІ-72 призначений для антифрикційних випробувань пар тертя.

Види досліджень – тертя та знос.

Трибометр ХТІ-72 містить наступні складові: установки для досліджень, пульт керування та пристроїв для з'єднання. Для випробування різних пар зразків трибометр оснащений змінними пристосуваннями.

Пульт керування.

На пульті керування розміщено вузли управління, вимірювання та сигналізації.

Інші вузли розміщені на панелях. Органи керування та пристрої відображення інформації розташовані на передній панелі пульта управління. Зверху цієї передньої панелі встановлено спідометр для вимірювання швидкості обертання шпинделя.

Позаду панелі пульта керування розміщена рукоятка пакетного вимикача, призначена для подачі напруги на обладнання.

Привід.

Привід виконаний у корпусі з чавуну зі спеціальною кришкою та ущільнюючою прокладкою. На верхньому кінці валу розташований шків, який прикріплений гвинтами та шайбою. Інший кінець валу має конусну форму та призначений для закріплення шпинделя, на якому розташоване пристосування для тестування зразків.

Панель.

На панелі знаходиться спідометр, який вимірює швидкість обертання шпинделя, кнопки керування напрямком руху та кнопка ввімкнення та вимкнення.

Вибір способу дослідження на знос.

Для збільшення стійкості до зношування у вузлі тертя використовується технологічний підхід, який передбачає вибір та використання стійких до зношування матеріалів і методів їх покращення. Серед найбільш ефективних

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

засобів для підвищення стійкості до зношування виділяють полімерні і порошкові композити. До цих матеріалів відноситься Ф4ВВ20 та модифіковані матеріали на його основі [4].

Виходячи з цього, нами рекомендовано заміну матеріалу кільця. Для демонстрації можливості заміни матеріалу, виконуємо випробування на трибометрі ХТІ-72 за схемою сфера - площина (рисунок 3.1).

Характеристика матеріалу: антифрикційний карбопластик, модифікований скловолокном, або порошками свинцю та закису міді.

Режим змінних граничних питомих навантажень при постійному нормальному навантаженні. Використовували зразки висотою  $10 \pm 0,1$  мм та діаметром такого ж розміру з кінцевою сферою радіусу 6,35 мм. Виконували контактування сферою по площині металевого контртіла діаметром  $60 \pm 0,15$  мм та такого ж розміру висотою. Контртіло металеве виготовлено зі сталі 45 (НВ  $4,5 \pm 0,18$  ГПа) та піддано обробці до середнього початкового арифметичного відхилення профілю поверхні  $Ra = 0,2 \pm 0,03$  мкм.

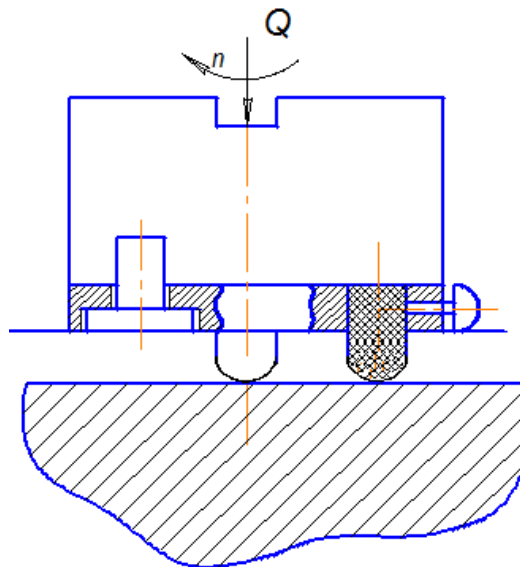


Рисунок 3.1 – Схема випробувань на трибометрі ХТІ-72

Проведення досліджень.

Перед виконанням випробувань відбувається ознайомлення з правилами техніки безпеки. Наступний етап включає в себе підготовку обладнання до роботи.

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Ми перевіряємо всі з'єднання вузлів і стан пасів на предмет наявності тріщин, і у разі виявлення пошкоджень, здійснюємо їх заміну.

Після перевірки обладнання необхідно підготувати контртіло. Контртіло виготовлене з Сталі 45 має вигляд циліндра, який необхідно охолодити водою (рисунок 3.2). На горизонтальній поверхні проводимо шліфування робочої частини контртіла у одному напрямку, щоб отримати рівномірну дзеркальну поверхню без вибоїн. Потім контртіло встановлюємо на стіл трибометра ХТІ-72 та горизонтально закріплюємо.

Закріплене контртіло необхідно якісно обезжирити розчинником. Після підготовки контртіла, беремо верхній затискач зі зразками та розпускаємо гвинти, що їх кріплять. Потім ми встановлюємо затискач в шток трибометра та опускаємо шток до тих пір, поки зразки не спираються на контртіло. Після цього завантажуюмо важіль трибометра та закріплюємо зразки гвинтами. Далі робимо позначки на затискачі зі зразками та на штоку трибометра, щоб мати змогу повертати затискач в початкове положення після кожного вимірювання.

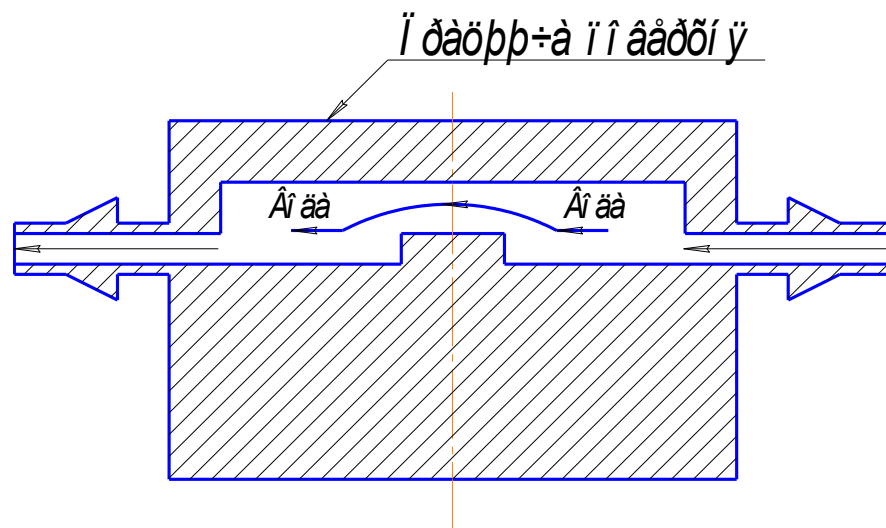


Рисунок 3.2 – Контртіло

Після активації системи охолодження контртіла, ми запускаємо установку та вимірюємо шлях тертя  $S_1$ . Як тільки індикатор покаже значення шляху тертя  $S_1$ , вимикаємо установку, знімаємо затискач із зразків, розміщуємо їх на мікроскопному

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

столі та визначаємо площу контакту. Виконуємо три виміри у різних точках по черзі на кожному зразку та відмічаємо зразки. Отримані данні реєструються в журналі для реєстрації, а затискач зі зразками необхідно встановити у початкове положення та увімкнути установку. Після вимірювання шляху  $S_2$ , вимикаємо установку та виконуємо всі вищезазначені кроки. Всі ці дії повторюються до того моменту, доки виміри площі контакту не показують нам інший режим, який вказує на ступінь зносу.

Уточнюючи послідовність дій, спочатку ми складаємо графік, на якому відображена залежність розміру площі контакту від шляху тертя.

За результатами даного експерименту можна підрахувати інтенсивність об'ємного зношування для шляху тертя:

$$I_1 = \frac{\Delta V_{1i}}{N_i \cdot \Delta S_1} \quad (3.1)$$

$$I_2 = \frac{\Delta V_{2i}}{N_i \cdot \Delta S_2} \quad (3.2)$$

де  $\Delta V_{1i}$  – зміна об'єму і-зразка на інтервалі шляху тертя  $\Delta S_1$  (залежність зношування від шляху тертя нелінійна);  $\Delta V_{2i}$  – зміна об'єму і-зразка на інтервалі шляху тертя  $\Delta S_2$  (залежність зношування від шляху тертя лінійна).

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

Для досліджень антифрикційних властивостей композиційних фторопластових матеріалів модифікованих комбінованим наповнювачем, а саме: вуглецевим волокном (ВВ) з тканини «Текарм» та скловолокном ВМП і вуглецевим волокном (ВВ) з тканини ТГН-2М та скловолокном ВМП випробування виконували на шляху тертя для фторопластових матеріалів позицій 1–3 і 6–8:  $\Delta S_1 = 20$  км і  $\Delta S_2 = 20$  км, а для матеріалів позицій 4,5,9:  $\Delta S_1 = 2$  км і  $\Delta S_2 = 4$  км. Результати наведені для шляху тертя  $\Delta S_2$  (рисунки 3.3 і 3.4).

Для досліджень антифрикційних властивостей композиційних фторопластових матеріалів, модифікованих комбінованими наповнювачами: ВВ з тканини «Текарм»

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

і порошку свинцю, а також ВВ з тканини «Текарм» і порошку закису міді результати наведені для шляху тертя  $\Delta S_2 = 40$  км (рисунки 3.5–3.7).

Загальний шлях тертя  $S$ , (м) визначали за формулою:

$$S = 4 \cdot n \cdot t \quad (3.3)$$

де  $n$  – кількість обертів за хвилину, об/хв;  $t$  – тривалість випробування, хв.

Коефіцієнт тертя розраховували за наступною формулою:

$$\mu = \frac{F_{\text{mp}}}{N} = \frac{L \cdot f}{R_{\text{mp}} \cdot N} \quad (3.4)$$

де  $F_{\text{mp}}$  – сила тертя, Н;  $N$  – нормальне навантаження, Н;

$R_{\text{mp}}$  – радіус тертя, мм;  $f$  – зусилля, що згинає тензобалку, Н;

$L$  – плече моменту тертя  $M_L = f L$ , [мм·Н].

### 3.4.2 Дослідження антифрикційних властивостей модифікованих композицій та базового Ф4ВВ20 за схемою сфера – площина

У якості наповнювача використовували вуглецеві волокна з тканини марки «Текарм» (ТУ 48–20–17–77) та тканини ТГН-2м (ГОСТ 28005-88), отриманих на основі гідратцелюлозної тканини. Щоб подрібнити волокна та змішати композиції, використовували млинок - дробарку «Ютон» з подовими ножами з частотою обертання 7000 об/хв. Довжина волокон після подрібнення в середньому складала 50–200 мкм. Властивості волокон, отриманих з вуглецевих тканин наведені в таблиці 3.1.

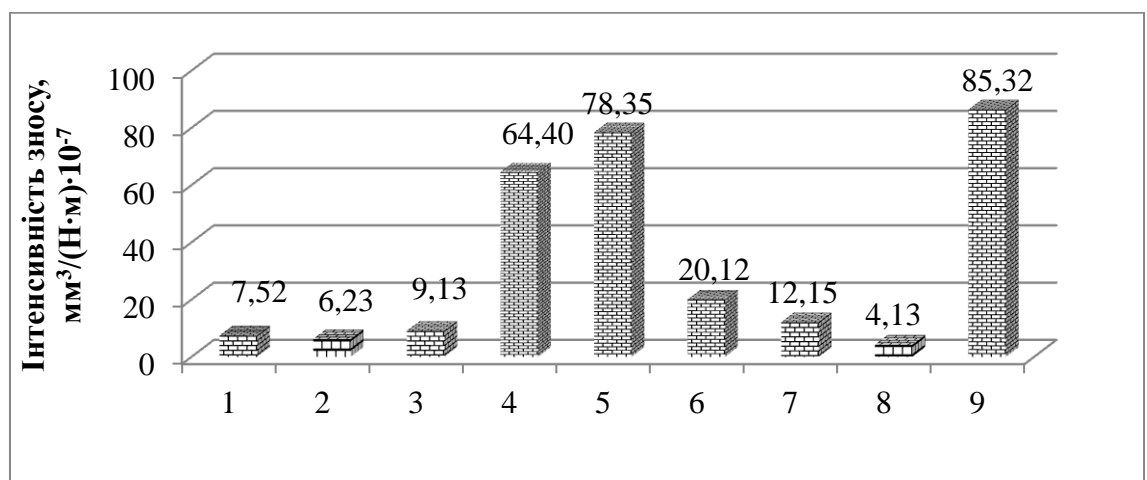
Таблиця 3.1 – Властивості вуглецевих волокон, отриманих з тканин Текарм і ТГН-2м

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

В склад композиції також вводили скловолокно ВМП з міцністю при розтягуванні 4,61 ГПа та модулем пружності 93,3 ГПа, а також дрібнодисперсні порошки закису міді та свинцю.

Для підвищення стійкості до зносу композитного полімерного матеріалу на основі політетрафторетилену (ПТФЕ) була використана модифікація з допомогою комбінованих наповнювачів. Ці наповнювачі включають вуглецеве з скловолокном, або вуглецеве волокно спільно з порошком свинцю або закисом міді.

Результати досліджень зносостійкості композиційних полімерних матеріалів на основі політетрафторетилену модифікованих комбінованими наповнювачами: вуглецевими і скловолокном представлені на рисунку 3.3.



1 – Ф4ВВ20; 2 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (19 мас. %) + скловолокно ВМП (1 мас. %); 3 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (18 мас. %) + скловолокно ВМП (2 мас. %); 4 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (15 мас. %) + скловолокно ВМП (5 мас. %); 5 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (10 мас. %) + скловолокно ВМП (10 мас. %); 6 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини ТГН-2М (19 мас. %) + скловолокно ВМП (1 мас. %); 7 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини ТГН-2М (18 мас. %) + скловолокно ВМП (2 мас. %); 8 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини ТГН-2М (15 мас. %) + скловолокно ВМП (5 мас. %); 9 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини ТГН-2М (10 мас. %) + скловолокно ВМП (10 мас. %)

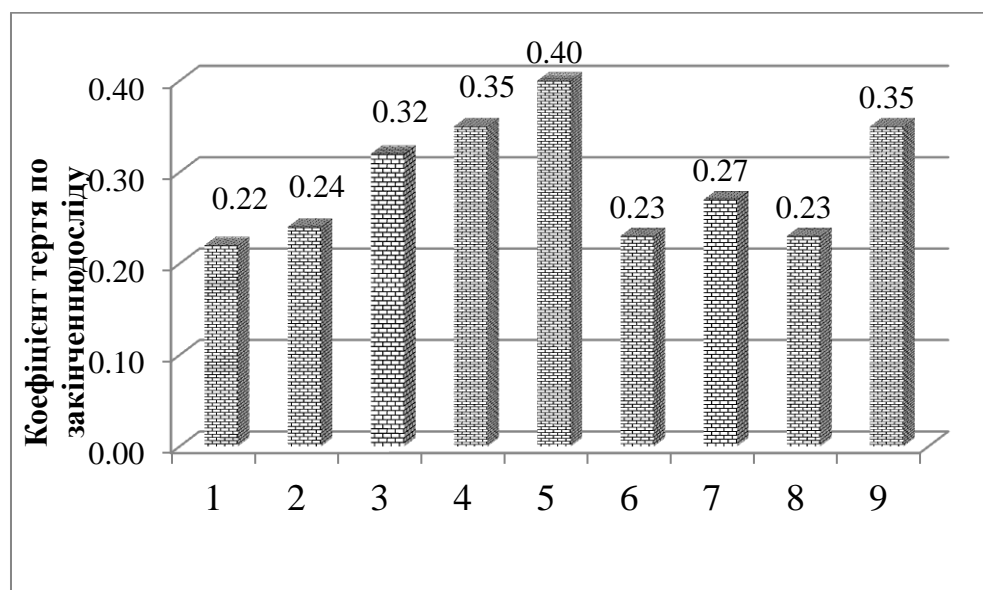
Рисунок 3.3 – Гістограма інтенсивності зносу антифрикційних фторопластових матеріалів, модифікованих вуглецевими волокнами та скловолокном

При розробці антифрикційних композиційних матеріалів на основі

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

фторопластів треба вибирати такі системи полімер-наповнювачів, які б на поверхні металів при терті формували проміжні плівки за одним з механізмів: з наповнювача або з полімеру [18].

Використання другого механізму сприяє підвищенню стійкості тертя в парах матеріалів, і для збільшення прилипання проміжної плівки до металу необхідно мати в композиті легкий абразив, який сприяє формуванню активної ювенільної поверхні, яка добре розподіляється у матриці. Системою, яка ілюструє цей підхід, може бути система, що складається з фторопласту, дисульфід молібдену та графіту. Під час тертя цієї системи в сухому газі або вакуумі дисульфід молібдену діє як тверде мастило, графіт виступає у ролі абразиву.



1 – Ф4ВВ20; 2 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (19 мас. %) + скловолокно ВМП (1 мас. %); 3 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (18 мас. %) + скловолокно ВМП (2 мас. %); 4 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (15 мас. %) + скловолокно ВМП (5 мас. %); 5 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (10 мас. %) + скловолокно ВМП (10 мас. %); 6 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини ТГН-2М (19 мас. %) + скловолокно ВМП (1 мас. %); 7 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини ТГН-2М (18 мас. %) + скловолокно ВМП (2 мас. %); 8 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини ТГН-2М (15 мас. %) + скловолокно ВМП (5 мас. %); 9 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини ТГН-2М (10 мас. %) + скловолокно ВМП (10 мас. %)

Рисунок 3.4 – Гістограма коефіцієнта тертя по закінченню дослідів фторопластових матеріалів, модифікованих вуглецевими і скловолокнами

У умовах, коли тертя відбувається в киснемістких середовищах або вологих газах, графіт виконує функції твердого мастила, а оксиди молібдену, утворені в результаті окислення дисульфиду молібдену, сприяють ювенільному обробленню металевої поверхні. Перша фаза утворення проміжної плівки реалізується у фторопластових композитах з вуглецевим волокном. Додавши до складу таких карбопластиків легкий абразив, можна також реалізувати другий механізм утворення проміжної плівки. Саме для цієї мети було включено до складу композиційного матеріалу на основі фторопласту-4 та вуглецевого волокна легкий абразив, роль якого виконує скловолокно. Дослідження показали, що оптимальний вміст скловолокна ВМП в композиті на основі фторопласту-4, модифікованого 19 мас. % ВВ з тканини «Текарм» складає 1 мас. %, а в композиті на основі фторопласту-4, модифікованого 15 мас. % ВВ з тканини ТГН-2М – 5 мас. %.

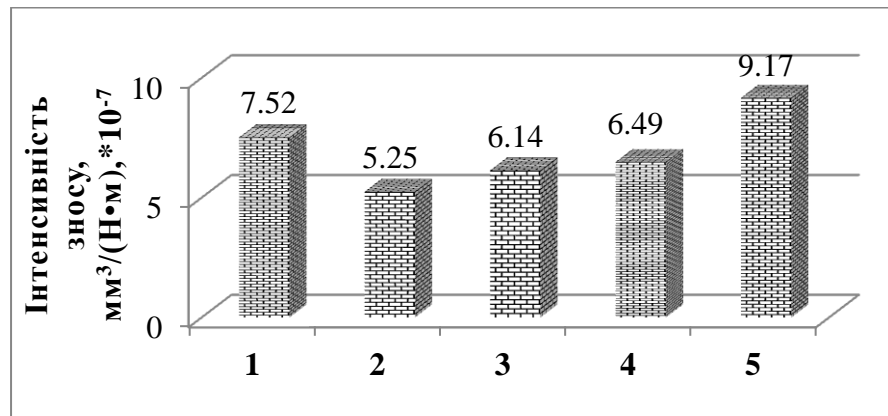
Доречно відмітити, що в композитах на основі фторопласту-4 і вуглецевих волокон при збільшенні вмісту скловолокна інтенсивність зносу та коефіцієнт тертя в значній мірі зростають (рисунки 3.3, 3.4).

Проведені дослідження антифрикційних властивостей композиційних матеріалів на основі фторопласту-4, модифікованих наповнювачами комбінованими: ВВ з тканини «Текарм» та порошку свинцю, а також ВВ з тканини «Текарм» та порошку закису міді для шляху тертя  $\Delta S_2 = 40$  км. Результати даних досліджень наведені на рисунках 3.5 та 3.6.

При виконанні цих досліджень встановлено, що композиційний матеріал на основі фторопласту-4, ВВ з тканини «Текарм» та закису міді має значно вищу зносостійкість ніж матеріал на основі фторопласту-4, ВВ з тканини «Текарм» та свинцю [24].

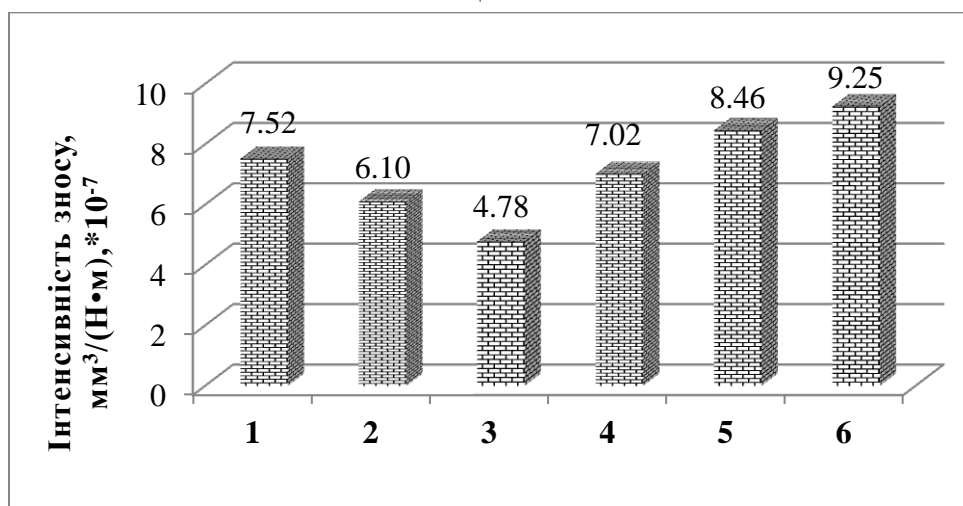
Найкращі антифрикційні властивості мають фторопластові композиційні матеріали, які модифіковані 15 мас. % ВВ з тканини «Текарм» та 15 мас. % закису міді, а також 25 мас. % ВВ з тканини «Текарм» та 5 мас. % свинцю.

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1 – Ф4ВВ20; 2 – Фторопласт-4 (70 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (25 мас. %) + порошок свинцю (5 мас. %); 3 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (15 мас. %) + порошок свинцю (5 мас. %); 4 – Фторопласт-4 (70 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (15 мас. %) + порошок свинцю (15 мас. %); 5 – Фторопласт-4 (70 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (20 мас. %) + порошок свинцю (10 мас. %)

Рисунок 3.5 – Гістограма інтенсивності зносу антифрикційних фторопластових матеріалів, модифікованих вуглецевим волокном (ВВ) та порошком свинцю



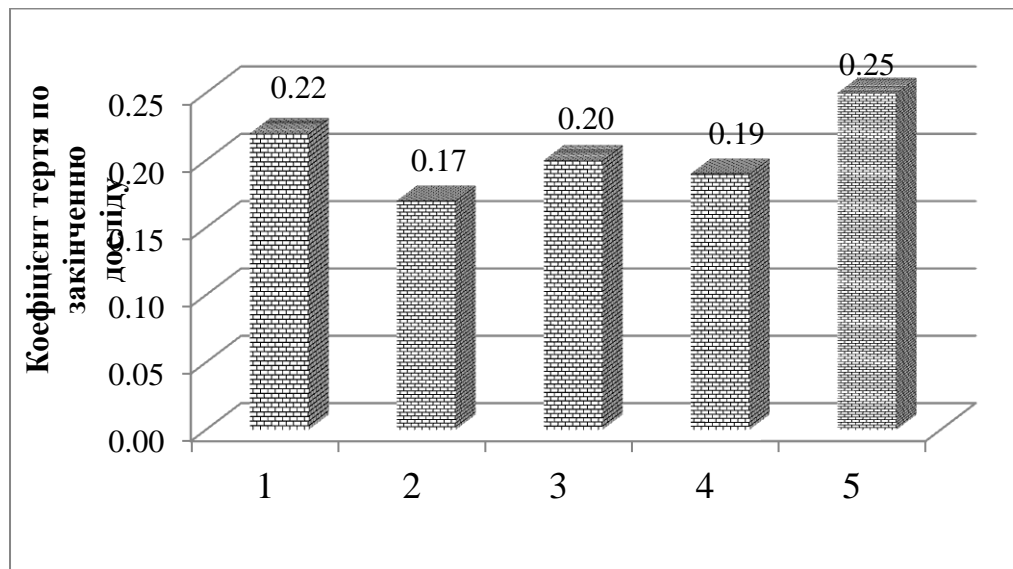
1 – Ф4ВВ20; 2 – Фторопласт-4 (65 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (20 мас. %) + порошок закису міді (15 мас. %); 3 – Фторопласт-4 (70 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (15 мас. %) + порошок закису міді (15 мас. %); 4 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (10 мас. %) + порошок закису міді (10 мас. %); 5 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (15 мас. %) + порошок закису міді (5 мас. %); 6 – Фторопласт-4 (80 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (10 мас. %) + порошок закису міді (10 мас. %)

Рисунок 3.6 – Гістограма інтенсивності зносу антифрикційних фторопластових матеріалів, модифікованих вуглецевим волокном та порошком закису міді

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Слід зауважити, що для карбопластиків, які модифіковані оптимальними кількостями закису міді або свинцю, характерні не лише високі показники зносостійкості, але також трохи нижчі коефіцієнти тертя (рисунок 3.7).

Результати повторних досліджень показали, що дисперсії відтворюваності антифрикційних характеристик (інтенсивності зносу –  $S_f^2 = 8,6 \cdot 10^{-14}$  та коефіцієнта тертя –  $S_\mu^2 = 0,002$ ) композиційного матеріалу на основі фторопласту-4, 15 мас. % ВВ з тканини «Текарм» і 15 мас. % закису міді свідчать про високу точність проведених експериментальних досліджень.



1 – Ф4ВВ20; 2 – Фторопласт-4 (70 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (25 мас. %) + порошок свинцю (5 мас. %); 3 – Фторопласт-4 (70 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (20 мас. %) + порошок свинцю (10 мас. %); 4 – Фторопласт-4 (70 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (15 мас. %) + порошок закису міді (15 мас. %); 5 – Фторопласт-4 (65 мас. %) + ВВ з тканини «Текарм» (20 мас. %) + порошок закису міді (15 мас.)

Рисунок 3.7 – Гістограма коефіцієнта тертя по закінченню досліджу фторопластових матеріалів, модифікованих вуглецевим волокном та порошками свинцю або закису міді

### 3.4.3 Методика обробки результатів

Виділяють наступні етапи послідовності досліджень та визначення параметрів  $k_w, t$  [25]:

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– в рамках випробувань на знос проводяться тести зразків, які мають контактні площини, що піддаються зносу, і періодично або безперервно вимірюються розміри  $a$  і  $b$  цих контактних площин;

– складаються таблиці і графіки, що відображають залежність розмірів площадки контакту від шляху тертя  $S$ :

$$a = f(S). \quad (3.5)$$

Для апроксимації цих залежностей застосовують степеневу функцію виду:

$$a = CS^\beta. \quad (3.6)$$

де  $a$  – пів ширини сліду тертя, мкм;

$\beta$  – показник степеню;

$C$  – параметр моделі зношування.

Таким чином:

$$C = a_1 / S_1^\beta, \quad (3.7)$$

Показник степеню  $\beta$  можна визначити за формулою:

$$\beta = \frac{\lg a_1 / a_2}{\lg S_1 / S_2} \quad (3.8)$$

де  $a_1, a_2$  – пів ширини сліду тертя за величин шляху тертя  $S_1$  і  $S_2$  відповідно.

Використовуючи попередні розрахунки, визначаємо параметри моделі зношування  $m, k_w$ :

$$m = \frac{1 - 2\beta}{2\beta}, \quad (3.9)$$

$$k_w = \frac{C^{2m+2}}{(2m+2)R(Q/\pi)^m}, \quad (3.10)$$

де  $R$  – радіус кульки, мм;

$Q$  – навантаження на зразок, кг.

Визначення величини зносу  $U_w$ , мкм площадки контакту розраховуємо за формулою:

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\frac{dU_w}{ds} = k_w \sigma_0^m, \quad (3.11)$$

де  $\sigma_0$  – контактний питомий тиск, кг/мм<sup>2</sup>;

$$\sigma_0 = \frac{Q}{\pi \cdot a^2}, \quad (3.12)$$

Використовуючи параметри зношування та тиск в контакті тертя розраховуємо знос зразка:

$$U_w = k_w \cdot \sigma_0^m \cdot S \quad (3.13)$$

Задача формується шляхом використання трьох взаємозв'язків: необхідної умови контакту; умови збереження рівноваги сфери та законів або моделей, що описують зношення сфери.

Необхідна умова в контакті потребує рівноваги  $u_w(S)$  а також геометричної функції узгодження переміщень  $u(S)$ .

На рисунках 3.3–3.7 представлено візуалізацію результатів досліджень стійкості до зношування різних матеріалів, таких як Ф4ВВ20, а також антифрикційних карбопластиків, які були модифіковані скловолокном, порошками свинцю або оксидом міді.

Для стабільних режимів експериментів здійснювали обчислення значень параметрів моделі  $k_w$  та  $m$ .

Для матеріалу Ф4ВВ20:

Коефіцієнт  $\beta$  обчислюємо за формулою:

$$\beta = \frac{\lg \frac{a_1}{a_2}}{\lg \frac{S_1}{S_2}} = \frac{\lg \frac{1,76}{2,335}}{\lg \frac{3000000}{20000000}} = -0,123 / -0,824 = 0,149$$

Параметр  $c$  отримуємо з формули:

$$c = \frac{a_1}{S_1^\beta} = \frac{1,76}{3000000^{0,149}} = 0,191 \left( \frac{\text{мм}}{\text{мм}^\beta} \right)$$

Визначення параметрів моделі зносу  $k_w$ ,  $m$ :

Параметр  $m$  визначаємо за формулою:

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$m = \frac{1 - 2\beta}{2\beta} = \frac{1 - 2 \cdot 0,149}{2 \cdot 0,149} = 2,336$$

тоді параметр  $k_w$  буде:

$$k_w = \frac{C^{2m+2}}{(2m+2)R(Q/\pi)^m}, \quad k_w = 6,158 \times 10^{-6}$$

Контактний тиск визначаємо за формулою:

$$\sigma_0 = \frac{Q}{\pi \cdot a^2}, \quad \sigma_0 = 0,053 \text{ кг/мм}^2$$

Далі виконуємо розрахунок зносу зразка:

$$U_w = k_w \cdot \sigma_0^m \cdot S \quad U_w = 0,148.$$

Для фторопластового композиційного матеріалу, який модифікований 25% мас. вуглецевого волокна (ВВ) та 5% мас. порошку свинцю.

Обчислюємо коефіцієнт  $\beta$  за допомогою формули:

$$\beta = \frac{\lg \frac{a_1}{a_2}}{\lg \frac{S_1}{S_2}} = \frac{\lg \frac{1,615}{2,13}}{\lg \frac{3000000}{20000000}} = \frac{-0,121}{-0,824} = 0,146.$$

Параметр  $c$  підраховуємо по формулі:

$$c = \frac{a_1}{S_1^\beta} = \frac{1,615}{3000000^{0,146}} = 0,183 \left( \frac{\text{мм}}{\text{мм}^\beta} \right)$$

Визначення параметрів моделі зносу  $k_w, m$ :

Параметр  $m$  отримуємо з формули:

$$m = \frac{1 - 2\beta}{2\beta} = \frac{1 - 2 \cdot 0,146}{2 \cdot 0,146} = 2,425.$$

Параметр  $k_w$  отримуємо з формули:

$$k_w = \frac{C^{2m+2}}{(2m+2)R(Q/\pi)^m}, \quad k_w = 3,706 \times 10^{-6}.$$

Контактний тиск підраховуємо за допомогою формули:

$$\sigma_0 = \frac{Q}{\pi \cdot a^2}, \quad \sigma_0 = 0,064 \text{ кг/мм}^2$$

Розрахунок зносу зразка:

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

$$U_w = k_w \cdot \sigma_0^m \cdot S$$

$$U_w = 0,108$$

Для фторопластового композиційного матеріалу наповненого вуглецевим волокном з тканини «Текарм» 19 мас. % та скловолокном 1 мас. %.

Обчислюємо коефіцієнт  $\beta$  за формулою:

$$\beta = \frac{\lg \frac{a_1}{a_2}}{\lg \frac{S_1}{S_2}} = \frac{\lg \frac{1,605}{2,2}}{\lg \frac{3000000}{20000000}} = -0,134 / -0,824 = 0,166.$$

Розрахунок параметру  $c$ :

$$c = \frac{a_1}{S_1^\beta} = \frac{1,605}{3000000^{0,166}} = 0,135 \left( \frac{\text{мм}}{\text{мм}^\beta} \right)$$

Визначення параметрів моделі зносу  $k_w, m$ :

Розрахунок параметру  $m$ :

$$m = \frac{1 - 2\beta}{2\beta} = \frac{1 - 2 \cdot 0,166}{2 \cdot 0,166} = 2,012.$$

Розрахунок параметру  $k_w$ :

$$k_w = \frac{C^{2m+2}}{(2m+2)R(Q/\pi)^m}, \quad k_w = 1,673 \times 10^{-6}.$$

Контактний тиск буде мати значення:

$$\sigma_0 = \frac{Q}{\pi \cdot a^2}, \quad \sigma_0 = 0,059 \text{ кг/мм}^2.$$

Розрахунок зносу зразка:

$$U_w = k_w \cdot \sigma_0^m \cdot S$$

$$U_w = 0,12$$

Для фторопластового композиційного матеріалу модифікованого 15 мас. % вуглецевого волокна з тканини «Текарм» та 15 мас. % порошку закиси міді.

Розраховуємо коефіцієнт  $\beta$  за формулою:

$$\beta = \frac{\lg \frac{a_1}{a_2}}{\lg \frac{S_1}{S_2}} = \frac{\lg \frac{1,73}{2,03}}{\lg \frac{3000000}{20000000}} = -0,069 / -0,824 = 0,084.$$

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

Параметр  $c$  розраховуємо за формулою:

$$c = \frac{a_1}{S_1^\beta} = \frac{1,73}{3000000^{0,084}} = 0,494 \left( \frac{\text{мм}}{\text{мм}^\beta} \right)$$

Визначення параметрів моделі зносу  $k_w, m$ :

Параметр  $m$  визначаємо за формулою:

$$m = \frac{1 - 2\beta}{2\beta} = \frac{1 - 2 \cdot 0,084}{2 \cdot 0,084} = 4,952.$$

Параметр  $k_w$  визначаємо за формулою:

$$k_w = \frac{C^{2m+2}}{(2m+2)R(Q/\pi)^m}, \quad k_w = 0,0011.$$

Розраховуємо контактний тиск:

$$\sigma_0 = \frac{Q}{\pi \cdot a^2}, \quad \sigma_0 = 0,0718 \text{ кг/мм}^2.$$

Розраховуємо знос зразка:

$$U_w = k_w \cdot \sigma_0^m \cdot S \quad U_w = 0,06$$

#### 3.4.4 Результати випробувань та визначення параметрів моделі зношування

Необхідно в першу чергу визначити залежності зносу між досліджуваними матеріалами.

Між матеріалом Ф4ВВ20 та фторопластовим композиційним матеріалом модифікованим 25 мас. % вуглецевого волокна з тканини «Текарм» та 5 мас. % порошку свинцю:

$$\frac{U_{w_2}}{U_{w_1}} = \frac{0,108}{0,148} = 0,73.$$

Між матеріалом Ф4ВВ20 та фторопластовим композиційним матеріалом модифікованим вуглецевим волокном з тканини «Текарм» 19 мас. % і скловолокном 1 мас. %:

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

$$\frac{U_{w_2}}{U_{w_3}} = \frac{0,12}{0,148} = 0,81.$$

Між матеріалом Ф4ВВ20 та фторопластовим композиційним матеріалом модифікованим 15 мас. % вуглецевого волокна з тканини «Текарм» та 15 мас. % закису міді:

$$\frac{U_{w_3}}{U_{w_1}} = \frac{0,06}{0,148} = 0,41.$$

Результати експерименту, що включали вивчення стійкості розроблених матеріалів до зношування, були підтверджені розрахунками, які враховували параметри моделі зношування представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати випробувань та визначення параметрів моделі зношування антифрикційних композиційних матеріалів

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

Порівнювання зносу композиційних матеріалів:

$$\left(\frac{1}{2}\right) \quad K = \frac{U_{W1}}{U_{W2}} = \frac{K_{W1}(0.06)^{m_1}}{K_{W2}(0.06)^{m_2}} = 0.73$$

$$\left(\frac{1}{3}\right) \quad K = \frac{U_{W1}}{U_{W3}} = \frac{K_{W1}(0.06)^{m_1}}{K_{W3}(0.06)^{m_3}} = 0.81$$

$$\left(\frac{1}{4}\right) \quad K = \frac{U_{W1}}{U_{W4}} = \frac{K_{W1}(0.06)^{m_1}}{K_{W4}(0.06)^{m_4}} = 0.41$$

Досліджено, що зносостійкість фторопластового композиційного матеріалу модифікованого 15 мас. % ВВ з тканини «Текарм» та 15 мас. % закису міді на 59 відсотків переважає матеріал Ф4ВВ20, а зносостійкість композиційного матеріалу наповненого 25 мас. % ВВ з тканини «Текарм» та 5 мас. % порошку свинцю переважає цей матеріал на 27,0 відсотків.

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

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

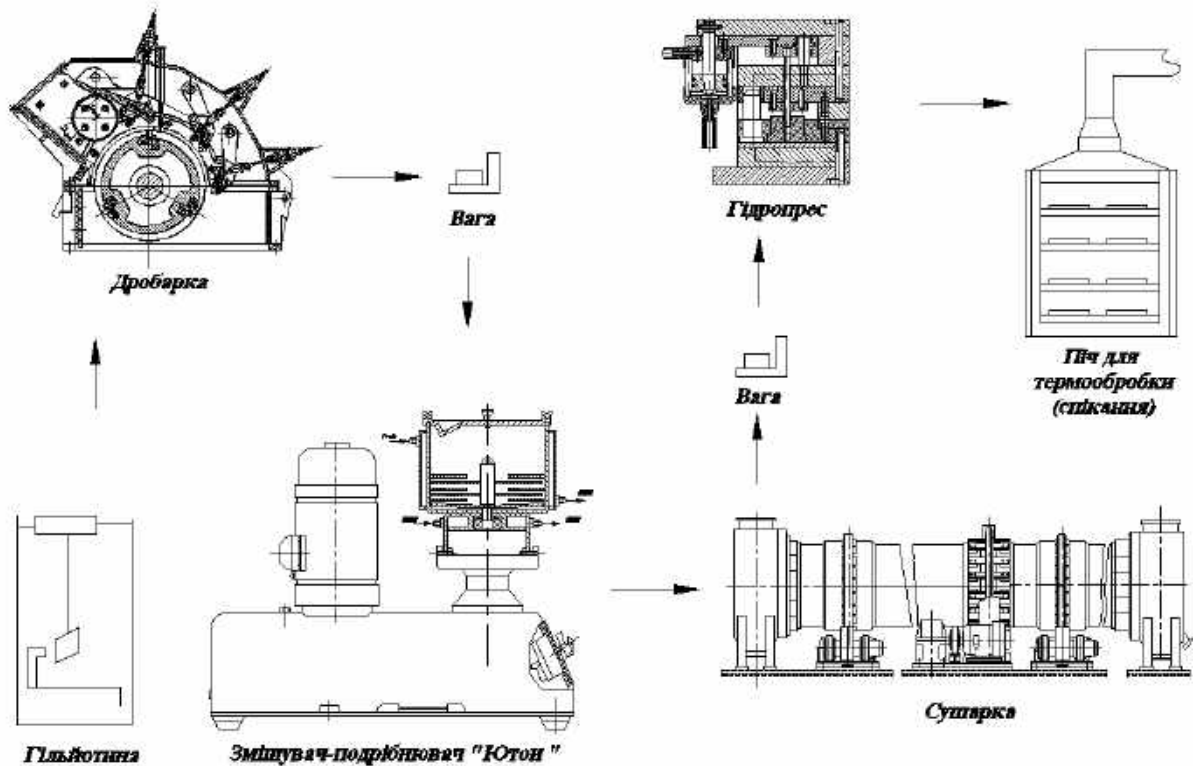
## 4 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ ЗРАЗКІВ І ЗАГОТОВКИ КІЛЬЦЯ ПОРШНЕВОГО КОМПРЕСОРА 2ФВ-4/4.5

### 4.1 Загальний технологічний процес виробництва модифікованих фторопластових композиційних матеріалів

Виготовлення заготовок модифікованих фторопластових композиційних матеріалів Ф4ВВ20 містить таку послідовність операцій, зображених на рисунку 4.1:

- розрізання на куски вуглецевої тканини “Текарм” гільйотиною – 1;
- грубе подрібнення даної тканини у дробарці – 2;
- зважування окремих компонентів, вага 3;
- подрібнення та змішування порошку фторопласта-4 з різними необхідними наповнювачами в млинку “Ютон” – 4;
- висушування композиції в сушильній камері –5;
- розрихлення та зважування композиції, вага 6;
- пресування заготовок гідропресом – 7;
- дозування композиційного матеріалу для пресування;
- завантаження дозованого композиційного матеріалу в прес-форму;
- опускання повзуна преса та пресування виробу;
- витримування заготовки під заданим тиском;
- зняття тиску та вилучення виробу із прес-форми;
- термообробка заготовок в електричній печі при заданих режимах– 8;
- механічна обробка заготовок;
- виконання дослідів на експериментальних зразках;
- контроль якості деталей.

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82



1 – гільйотина; 2 – дробарка; 3 – вага; 4 – змішувач-подрібнювач “Ютон”; 5 – сушарка; 6 – вага; 7 – гідропрес; 8 – піч для термообробки

Рис. 4.1 – Технологічна схема отримання заготовки кільця поршневого компресора 2ФВ-4/4.5

#### 4.1.1 Розрізання вуглецевої тканини “Текарм” на шматки за допомогою гільйотини

Вуглецеву тканину, призначену для виробництва композиційного матеріалу, поділяють на шматки, використовуючи гільйотину, схему дії якої представлено на рисунку 4.2.

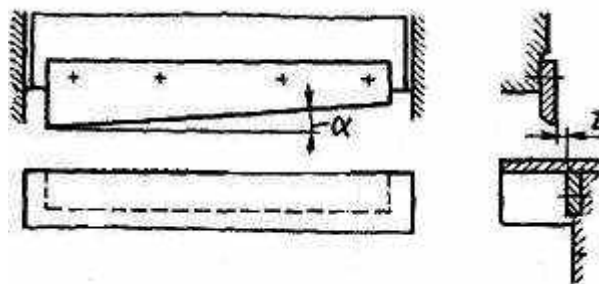


Рисунок 4.2 – Схема роботи гільйотинних ножиць

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

Різальні кромки ножів гільйотинних ножиць нахилені один до одного під кутом від 1 до 5 градусів. Зазор між цими різальними кромками становить від 3 до 5 відсотків від товщини тканини.

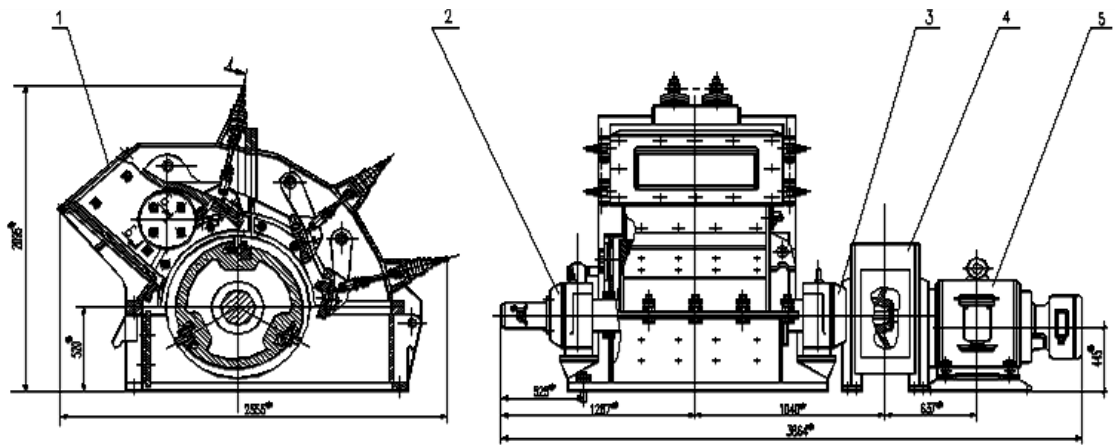
#### 4.1.2 Грубе подрібнення вуглецевої тканини “Текарм” у дробарці

Дробарка має подрібнювач, який складається із корпусу, приводу, камери помелу та пульта управління. Корпус виготовлений із алюмінієвого сплаву і призначений для монтажу на ньому всіх складових та деталей для подрібнення. Корпус подрібнювача встановлений на чотири гумові ніжки.

Електродвигун приводу закріплений болтами на спеціальному ексцентриковому обертаючому пристрої. Привод включає також муфту, яка розташована на валу двигуна, редуктора та муфту для передачі крутного моменту на дробарку (рисунок 4.3).

Подрібнення компонентів композиції на дробарці виконується наступним чином. Зважена на технічній вазі композиція завантажується в камеру помелу. Потім необхідно закрити кришку. Повертаючи маховик на кришці, стискається гумове кільце-герметизатор до корпусу камери. Камеру помелу встановлюють на колонку приводу, при цьому важливо, щоб квадрат валу збігся з муфтою приводу, а також щоб штифти нижнього циліндра вставилися в розрізи колонки приводу. Далі камеру помелу повертають до того моменту, коли вона буде опиратися на штифти в горизонтальних розрізах. Ручкою реле часу встановлюємо потрібний час помелу. Загальний час помелу 10–12 хв. Щоб запобігти перегріву заготовки, після 12 хвилин роботи млина необхідна пауза для охолодження на протязі 10 хвилин. Після помелу готову суміш зсипають в закриту ємність для зберігання.

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1 – дробарка; 2, 3 – муфти; 4 – редуктор; 5 – електродвигун

Рис. 4.3 – Дробарка

#### 4.1.3 Змішування і подрібнення порошку фторопласта-4 з наповнювачем вуглецевим волокном та іншими складовими в млинку “Ютон”

Для збільшення продуктивності виробництва антифрикційних карбопластикових композицій було створено та виготовлено млинок “Ютон” зі змінними та нерухомими лезами в робочій камері. Застосування такого млинка підвищує продуктивність приготування композиційних матеріалів у 20 разів у порівнянні з млинком МРП-1 [26]. Отримані дослідження показали, що використання високопродуктивного млинка “Ютон” не призводить до значної зміни стійкості до зношування антифрикційного карбопластика Ф4ВВ20.

Змішувач-подрібнювач “Ютон” складається з корпусу; приводу; камери помелу і пульта управління. Корпус виконаний з алюмінієвого сплаву та призначений для кріплення на ньому всіх вузлів та деталей подрібнення. Корпус опирається на чотири гумові ніжки.

Система приводу містить електродвигун, який закріплений болтами на спеціальному ексцентриковому обертаючому пристрої, шків, що розміщений на валу двигуна, та клиновий пас.

Ексцентриковий обертаючий механізм призначений для регулювання натягу приводного пасу і містить поворотний диск, розташований у визначеному

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

положенні.

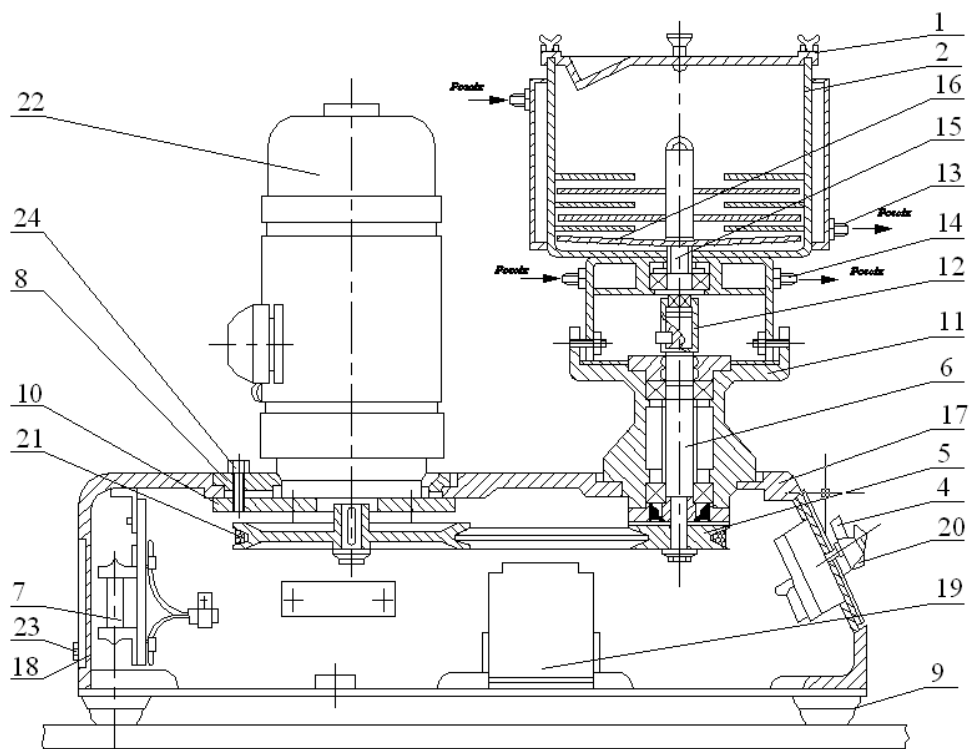
Вал приводу розміщений на двох кулькових підшипниках, які встановлені в корпусі. Сполучна муфта кріпиться на валу за допомогою гвинта.

Камера подрібнення складається з двох циліндрів, дно яких з'єднані між собою гвинтами. Вищий циліндр виступає як робоча камера подрібнення, а нижній циліндр є опорним. Даний млинок зображений на рисунку 4.4, на корпусі 17 якого розміщені: камера помелу 2 із стояком 7, пульта управління 20 та двигуна 22. В корпусі розташована пасова передача, яка регулюється шляхом обертання ексцентрика 5. В камері помелу млинка закріплені ножі 16 на валу 15, що обертається на двох підшипниках, що встановлені в корпусі 2 камери помелу. Камера помелу закривається кришкою 1. При обертанні ручки 12 кришки проти годинникової стрілки відбувається відкриття камери помелу, а при обертанні за годинниковою стрілкою – герметичне закриття камери. Після виконання подрібнення, млин необхідно очистити від залишків композиції шляхом механічного очищення. На двох підшипниках в середині стійки розташований вал 6. Передача від двигуна до валу 6 здійснюється завдяки пасу, а від вала 6 до вала 15 завдяки муфті 12, котра закріплена на валу гвинтом. Млинок приводиться в дію поворотом ручки 4 реле часу. На пульті управління розташовані лампи індикації та запобіжники.

Подрібнення та змішування порошку фторопласта-4 з модифікатором вуглецевим волокном та іншими складовими в млинку “Ютон” виконується слідуючим чином. Виконуємо зважування на технічній вазі складових композиції та засипаємо в камеру помелу.

Закриваємо кришку. При обертанні маховика на кришці, виконується притискання гумового кільця-герметизатора до корпусу камери. Далі встановлюємо камеру помелу на колонку приводу таким чином, щоб квадрат валу зчепився з муфтою приводу, а у розрізи колонки приводу ввійшли штифти нижнього циліндра. Потім камеру помелу повертають до упору штифтів у горизонтальних розрізах. Потрібний час помелу виставляється при повороті ручки реле часу, переводячи ручку перемикачання у робоче положення. Рекомендований час помелу 10–12 хвилин.

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86



1 – Кришка камери помелу; 2 – Камера помелу; 4 – Ручка реле часу; 5 – Шків ведучий; 6 – Вал барабану; 7 – Стояк; 8 – Планка; 9 – Ніжка корпусу; 10 – Плита; 11 – Корпус барабану; 12 - Муфта; 13, 14 – Штуцери; 15 – Вал; 16 – Ніж; 17 – Корпус; 18 - Вікно; 19 – Кришка; 20 – Пульт управління; 21 – Пас; 22 – Електродвигун; 23, 24 - гвинти

Рисунок 4.4 – Схема млинка “Ютон”

З ціллю запобігання перегріву втулки, необхідно робити паузи для охолодження впродовж 10 хвилин. Заготовлену суміш композиції зсипають в закриту ємність для подальшого зберігання.

#### 4.1.4 Сушка композиції та пресування заготовок антифрикційних карбопластиків

Здійснюють сушку композиції при температурі  $150 \pm 10$  °C на протязі 4–8 годин. У випадку, коли незадовільна сипучість, сушку виконують ще раз. Термін часу між сушкою та пресуванням не повинен перевищувати 2 години.

Заготовки з фторопласту-4 зазвичай формують за допомогою гідравлічних

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

пресів, іноді використовують пневматичні преси. В залежності від розміру заготовки, включаючи її площу та висоту, гідравлічні преси можуть мати різні рівні зусиль пресування, які варіюються в діапазоні від 0,63 до 6,3 МН.

Виділяють основні характеристики пресів: зусилля пресування, що спричиняється пресом; максимальний роз'єм; хід виштовхувача та плунжера; необхідність забезпечення регулювання швидкості ходу, а також тиску пресування.

Зусилля пресування  $F$  розраховується за формулою:

$$F = P \cdot S, \quad (4.1)$$

де  $P$  – тиск пресування, МПа;  $S$  – найбільша площа пресування,  $\text{см}^2$ .

Розрахунок манометричного тиску  $p_m$  робочої рідини в гідроциліндрі преса виконуємо за формулою:

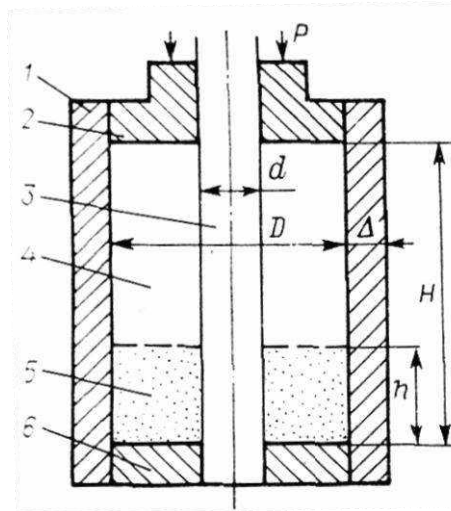
$$p_m = \frac{F \cdot \eta}{S_n}, \quad (4.2)$$

де  $S_n$  – площа плунжера,  $\text{см}^2$ ;  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії (ккд) преса, який враховує втрати тиску в системі гідроциліндра.

Для отримання якісних заготовок без тріщин важливо забезпечити плавний рух пресуючого плунжера і виштовхувача, уникнувши поштовхів і ривків. З цією метою перед встановленням прес-форми та початком процесу пресування проводяться ручні налаштування та регулювання преса. Стабільність якості пресованих заготовок досягається за допомогою автоматичної системи управління процесом пресування на пресі. Ця система містить наступні кроки: плавне збільшення тиску до максимального значення, яке визначається технологічним регламентом, утримання заготовки при цьому тиску, відпуск тиску і видалення спресованої заготовки за допомогою виштовхувача. Засипаємо порошок фторопласту-4 з модифікаторами в форму для пресування вручну.

Прес-форма складається з матриці, верхнього та нижнього пуансонів у найпростішому вигляді (рисунок 4.5).

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88



1 – матриця; 2, 6 – верхній та нижній пуансони, 3 – дорн; 4 – засипка порошку;  
5 – спресована таблетка

Рисунок 4.5 – Схема компресійного пресування

Для виробництва заготовок типу втулки, прес-форма зазвичай має центральний стержень. Деталі прес-форми виготовляються з різних конструкційних та інструментальних марок сталей, таких як 45, 40Х, 2Х13, 3Х13, У8, У10, які піддаються подальшій термообробці, включаючи гартування та нормалізацію, що призводить до досягнення твердості HRC в діапазоні 46–52. Чистота поверхні деталей прес-форми є важливою для зменшення втрати тиску через тертя під час процесу пресування. З цією метою поверхні деталей піддають поліруванню до досягнення значень шорсткості в діапазоні 0,16–0,32 мікрметра. Точно виготовлені деталі допомагають забезпечити ефективне видалення повітря з порошку та уникнути утворення облою під час процесу пресування. По конструкції прес-форми поділяються на знімні та стаціонарні. Знімні прес-форми зазвичай призначені для виготовлення виробів невеликих розмірів та невеликої серійності, оскільки їх можна легко змінювати для виробництва різних виробів. Для виготовлення великогабаритних заготовок, які вимагають більшої потужності та стійкості, зазвичай використовують стаціонарні прес-форми з системою виштовхування. При великій серійності дрібних виробів зазвичай використовують стаціонарні багатогніздні прес-форми. Ці прес-форми мають кілька гнізд або отворів, де можна

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

пресувати декілька виробів одночасно. Таблетки висотою більше 100 мм, які мають рівнощільну форму, можуть бути виготовлені за допомогою прес-форм з так званою "плаваючою матрицею". Ця конструкція дозволяє здійснити двостороннє пресування на звичайних одноходових пресах, не залежно від висоти заготовки.

Технологія та режими пресування заготовок композитів.

Процес пресування включає такі етапи: підготовка преса та прес-форми, завантаження порошку композиції у прес-форму, попереднє стиснення, утримання при максимальному тиску, зняття тиску та вилучення виробу із прес-форми. На нижній плиті преса монтується та фіксується прес-форма, нижній пуансон прес-форми розміщується на виштовхувачі преса, тоді як верхній пуансон прикріплюється до верхньої плити преса. Для уникнення відхилень та пошкоджень прес-форми важливо правильно вирівнювати матрицю та стрижень прес-форми відносно пуансонів. При значному та довгому використанні прес-форми відбувається накопичення мастила на поверхні верхньої плити, яке, безумовно, може потрапити в порошок композиції, коли його засипають у прес-форму та привести до браку вихідного продукту. Щоб уникнути цього неприємного моменту при пресуванні, мастило необхідно періодично видаляти з плити преса. Перед тим, як засипати фторопластову композицію, деталі прес-форми, що будуть в контакті з порошком, обробляють розчинником (бензином, ацетоном), а потім протирають тканиною, змоченою в спирті, до сухого стану.

Необхідні розміри виробу залежать від наважки порошку  $G$ , яку можна визначити за формулою:

$$G = V \cdot \rho, \quad (4.3)$$

де  $V$  – об'єм виробу,  $\text{см}^3$ ;  $\rho$  – щільність заготовки,  $\text{г/см}^3$ .

Зважування наважки виконують на технічних вагах. Для спрощення процесу наповнення прес-форми порошком використовують воронки, виготовлені з нержавіючої сталі або алюмінієвих сплавів.

При засипанні порошку в прес-форму необхідно обов'язково його розрівнювання за площею пресування, так як одержання якісної, рівнощільної

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

таблетки без викривлення, без тріщин досягається при ретельному розподілі порошку композиції в порожнині прес-форми. Під час пресування виробів, таких як пластини, диски, порошком композиції наповнюють прес-форму за допомогою совка та вирівнюють за допомогою лінійки. При створенні таблеток у формі втулок, щоб запобігти утворенню нерівностей, для розрівнювання порошку використовуються тонкі металеві стрижні діаметром до 4 мм. У деяких випадках, коли створюють великогабаритні таблетки, однорідне розподілення порошку композиції в просторі може бути досягнуто шляхом використання вібрації на стенді з частотою коливань 50 Гц. Отримання рівномірного заповнення прес-форми часто значно полегшується застосуванням агломерованих або вільносіпучих видів фторопластів.

Виділяють три стадії пресування таблетки: підняття тиску; витримка при максимальному регламентованому тиску та зняття тиску.

При підвищенні тиску спостерігається ущільнення порошку за рахунок видалення повітря. Для більш повного видалення повітря з композиції потрібно плавне підвищення тиску, а швидкість пресування на даній стадії не повинна перевищувати спочатку процесу 50 та в кінці – 5 мм/хв. Під час пресування великогабаритних таблеток, швидкість підвищення тиску, зазвичай, має бути меншою, ніж швидкість пресування дрібних деталей. Ця швидкість становить від 20 мм/хв на початку процесу до 3 мм/хв в кінці для забезпечення належного контролю та запобігання можливим дефектам під час формування великогабаритних таблеток.

При досягненні максимального регламентованого манометричного тиску пресування виконується витримка таблетки при цьому тиску, а це забезпечує передачу тиску по усій заготовці. При витримці заготовки за максимального тиску відбувається зміна структури частинок композиційного матеріалу та заповнення порожнеч між частинками. Максимальний тиск під час процесу пресування суттєво впливає на характеристики майбутнього виробу, особливо на його електричну міцність та фізико-механічні властивості. При цьому варто врахувати, що максимальний тиск пресування матеріалу має бути оптимальним та не перевищувати допустимого тиску для конкретного композиту. Підвищений тиск

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

може призвести до перенапруг на межах частинок порошку, що може призвести до утворення дрібних мікротріщин у виробі.

В результаті практики пресування було встановлено, що оптимальний час утримання заготовок при максимальному тиску становить приблизно 1 хвилину на кожний кілограм маси виробу. Для великогабаритних заготовок цей час витримки може бути скорочено до 0,5 хвилини. Акумуляована напруга стиснення під час витримки заготовки під тиском може призвести до її розтріскування. Тому після завершення витримки заготовок, тиск пресування слід поступово знімати протягом 10–20 секунд для дрібних заготовок та до 5–10 хвилин для великогабаритних таблеток. Коли знімається повністю тиск в системі, заготовка збільшується по висоті на 2–3 відсотки за рахунок відновлення в ній пружних напруг стиснення.

Заключною операцією буде витяг заготовки з прес-форми. Виштовхування проводиться за один безперервний та досить плавний хід виштовхувача, обов'язково виключаючи ривки та зупинки в процесі руху. При пресуванні заготовка зазнає радіальних напружень, які не зникають після зняття тиску пресування. Такі радіальні напруження приводять до незначного збільшення заготовки по діаметру - до 1–2 відсотків, тому люба зупинка у процесі виштовхування заготовки приводить до непередбачуваного розширенню матеріалу, це приводить до тріщин по колу, які проявлять себе негативно під час спікання заготовки. Щоб виключити утворення тріщин, заготовки з центральним отвором необхідно вилучати разом з дорном. Рекомендована швидкість вилучення заготовки – від 10 до 20 мм/с. У витягнутої з прес-форми заготовки ще досить тривалий період залишаються залишкові напруги стиску. Ці залишкові напруження можуть привести до тріщин заготовки, якщо її розмістити в піч для спікання зразу ж після пресування. Щоб уникнути небажаних тріщин, спресовану заготовку бажано витримати при кімнатній температурі на протязі 5–15 годин в залежності від маси заготовки.

Компресійний спосіб пресування досить широко застосовується при виготовленні заготовок простих форм у вигляді плит, втулок, стрижнів, дисків, що будуть використовуватись для виготовлення з них деталей механічною обробкою.

Пресування заготовок складної форми (до прикладу: з різною висотою

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

окремих частин, або втулки з уступами, або склянки з суцільним або наскрізним дном) включає поділ наважок композицій по площинах, нормальних відносно напрямку пресування, або застосування одночасно декількох пресуючих пуансонів. Для цього розраховують вагу порцій композиції кожної наважки. Далі засипають першу наважку, вирівнюючи шари порошку та вставляють один з пуансонів. Після цього завантажують наступну наважку композиції, аналогічно вирівнюючи шар та вводять наступний пуансон. Прес-форму розміщують на пресі та оба пуансони одночасно пресують. Даний метод вимагає застосування лише складних прес-форм та деяких ручних операцій, що приводить до зниження продуктивності пресування.

Такий підхід до виготовлення виробів із гладкою поверхнею, де фторопластова композиція стикається з еластичним пористим поліуретаном, може бути корисним. Розділова металева прокладка товщиною 0,5–1,5 мм може допомогти уникнути змішування або злипання цих матеріалів під час формування виробів. Використовують даний метод для виготовлення виробів з металевими знаками, такими як шпильки, гайки, гвинти, шурупи. Розміщений під металевим знаком еластичний пористий поліуретан під час пресування дозволяє йому переміщатися на необхідну глибину, при цьому висота поліуретану має відповідати глибині, на яку буде опускатися знак. Одержана таким методом заготовка має найменше відхилення від заданих розмірів до  $\pm 0,5$  мм.

Теоретичні передумови та практичні рекомендації, розроблені в процесі тривалого використання методу компресійного пресування виробів, лягли в основу всіх наступних методів отримання таблеток із порошкових фторопластових композицій.

#### 4.1.5 Термообробка заготовок

Кінцевим етапом виробництва напівфабрикатів, заготовок та виробів із фторопласта – 4 та композиції на його основі є термічна обробка [27]. В більшості випадків термообробка заготовок, витягнутих із прес-форм, відбувається в термічних печах. Сам процес спікання включає нагрів виробу поступово вище

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

температури плавлення кристалів за температурки 342 °С, а потім подальшого охолодження в печі до 90–120 °С. Параметри термічної обробки, такі як тривалість, максимальна верхня температура, швидкість нагріву та охолодження, змінюються в залежності від марки використовуваного матеріалу та розміру виробу.

В процесі термообробки послідовно у заготовці відбуваються наступні процеси, які викликають зміну її об'єму:

- термічне розширення композиту, яке проходить практично на протязі усього циклу нагрівання до  $365 \pm 5$  °С;
- перехід кристалічної фази композиту на основі фторопласта-4 в аморфну, що проходить при зростанні об'єму на 25 відсотків при температурі вище 327 °С; перехід відбувається з появою прозорості заготовки;
- термічна релаксація високоеластичних напружень, одержаних в процесі пресування до температури 342 °С;
- сплавлення частинок композиту в суцільний моноліт, відбувається з видаленням пустот між частинками та подальшим сплавлення їх між собою, що приводить до зменшення об'єму заготовки.

Основним механізмом, який лежить в основі об'єднання частинок полімера під час термічної обробки, є механізм дифузійної сегрегації, і для його виконання потрібен певний часовий проміжок. На етапі переходу полімера з кристалічної фази в аморфну, а це плавлення кристалів за температури 342 °С, відбувається злипання частинок. Зате при вказаній температурі рухливість молекул ще недостатня для початку дифузії сегментів, і, тоді потрібно збільшити температуру на 30-40 °С вище температури плавлення кристалів, щоб розпочати дифузію сегментів.

Отже, для здійснення процесу злипання частинок потрібен певний часовий інтервал, який вимагає тримати полімер при максимальних температурах, забезпечуючи найвищу рухливість сегментів в макромолекулах. З чим більшою масою заготовки ми маємо справу, тим довше має бути часовий інтервал.

Для фторопластів з меншими розмірами частинок можна застосовувати менший час витримки і знижувати максимальну температуру у порівнянні з фторопластами, що містять більші частинки.

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У процесі спікання деталей на етапі сплавлення частинок полімеру враховуються хімічні, фізико-механічні та електричні властивості кінцевого виробу, тому спікання є критичною стадією технологічного процесу виготовлення заготовки. Після витримання заготовки при максимальній температурі під час її охолодження формується надмолекулярна структура полімера, яка також має значний вплив на властивості кінцевого виробу. В процесі охолодження заготовки при температурі нижче 327 °С у полімері відбувається утворення кристалітів. При температурі 310 °С досягається максимальна швидкість кристалізації композиту. При такій температурі хаотично розташовані полімерні ланцюги отримують зовсім нову та упорядковану організацію. Степінь упорядкування макромолекул при цьому буде залежати від охолодження заготовки. Повільне охолодження або витримка при температурах кристалізації допомагає досягнути максимальної ступені кристалічності заготовки. З іншого боку, швидке охолодження призводить до більш аморфної структури полімера. Степінь кристалічності може мінятися від 45 до 85 відсотків в залежності від режимів охолодження.

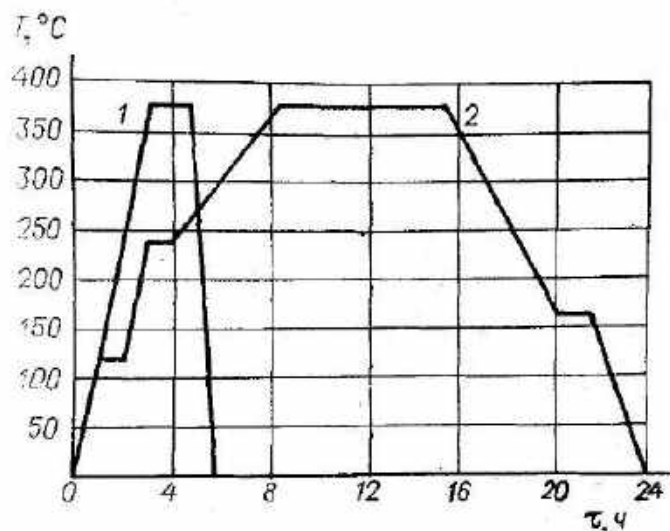
З метою компенсування низької теплопровідності фторопластів, швидкості охолодження повинні бути належним чином зменшені, зазвичай в межах від 8 до 15 °С на годину. Це досить важливо для великого розміру заготовок, оскільки перевищення цих швидкостей в інтервалі температур до 288 °С викликає термічні напруження в структурі полімера. Швидкість охолодження підвищити до 50 °С на годину можна лише після того, як температура у середніх шарах заготовки буде нижчою температури кристалізації, а це –288 °С (рисунок 4.6).

В залежності від методу підведення теплоти печі для термообробки поділяють на три типи: електropечі опору, індукційні та газові.

Для спікання фторопластових заготовок використовують електropічі типу А-114 з можливістю завантаження до 250 кілограмів.

Час термообробки залежить від геометричних розмірів заготовок. Кінець завершення термообробки визначається конкретним режимом термообробки.

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1 – тонкостінні вироби, 2 – товстостінні вироби

Рисунок 4.6 – Типові криві процесу термообробки заготовок

Печі для термообробки фторопластових заготовок мають ряд характерних особливостей:

- корпус печі зсередини, под та кришка виготовляються з нержавіючої сталі, оскільки в процесі термообробки полімера можливе виділення агресивних газових продуктів деструкції, що викликають корозію чорних металів;
- по всьому об'єму печі точність підтримки та регулювання температури повинна бути не менше  $\pm 5$  °C, і це досягається за допомогою встановлених вентиляторів, які змішують повітря всередині печі;
- под печі, на який розташовують заготовки для спікання, має бути перфорованим та виконувати обертовий рух для одержання однакових температурних умов по всьому об'єму печі для спікання кожної заготовки;
- теплоізоляція печі здійснюється керамічними блоками або скловолокном для зменшення втрат теплоти в повітря цеху;
- зверху дверей печі встановлюються відсмоктувачі, які автоматично вмикаються при відкриванні дверей;
- для забезпечення зазначеного режиму термообробки, піч обладнана системою автоматичного регулювання температури;
- при досягненні температури в печі 400 °C піч відмикається, включаються

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		96

вентилятори, світлова та звукова сигналізації.

Термообробку заготовок виконували за наступним режимом:

- сушіння заготовок за температури  $150\pm 5^{\circ}\text{C}$  на протязі 1 години на 2–5 мм товщини заготовки;
- нагрівання від температури  $150\pm 5^{\circ}\text{C}$  до  $325\pm 5^{\circ}\text{C}$  зі швидкістю не більше 0,5 град/хв.;
- витримка при  $325\pm 5^{\circ}\text{C}$  протягом 1 години на 3–5 мм товщини заготовки;
- нагрівання від  $325\pm 5^{\circ}\text{C}$  до  $367\pm 5^{\circ}\text{C}$  зі швидкістю не вище 0,5 град/хв. ;
- витримка при  $367\pm 5^{\circ}\text{C}$  протягом 1 години на 2–3 мм товщини заготовки;
- охолодження від  $367\pm 5^{\circ}\text{C}$  до  $312\pm 10^{\circ}\text{C}$  зі швидкістю не вище 0,5 град/хв.;
- витримка при  $312\pm 5^{\circ}\text{C}$  протягом 1 години на 3–5 мм товщини заготовки;
- охолодження від  $312\pm 5^{\circ}\text{C}$  до  $50\pm 5^{\circ}\text{C}$  зі швидкістю не вище 0,5 град/хв. (не вище 30 град/год.);
- витримка при  $150\pm 5^{\circ}\text{C}$  протягом 1 години на 2–5 мм товщини заготовки.

Зниження температури заготовок відбувається разом з пичю при відключеному нагрівачі до кімнатної температури не менше чотирьох годин.

Після термообробки вийняття заготовок із печі можливе за температури не більше  $150^{\circ}\text{C}$ .

Для отримання заготовок точного розміру внутрішнього діаметра, а також для підвищення щільності та запобігання операції рихтування, заготовки встановлюють на оправки або на оправки зі спеціальними затискачами за допомогою струбцин. Сушка та термообробка проводиться на оправках або у оправках з струбцинами. Лише при температурі  $20\text{--}70^{\circ}\text{C}$  заготовки знімають з оправок.

Для виконання досліджень на зносостійкість необхідно підготувати зразки. Це виконується таким чином:

- шихту композиту засипають в прес-форму;
- пресують заготовки за допомогою гідравлічного пресу при кімнатній температурі, підтримуючи тиск пресування 40–50 МПа на протязі 2–3 хв.;
- виймають заготовку з прес-форми та виконують спікання в електричній печі.

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						97
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Термообробку зразків циліндричної форми діаметром 10 мм для фрикційних випробувань проводили за наступними режимами:

- нагрів заготовок до температури  $320 \pm 5^\circ\text{C}$  зі швидкістю 1–5 град/хв, тривалість такої операції 6–6,5 год;
- термообробка при температурі  $320 \pm 5^\circ\text{C}$  на протязі 1,5 год;
- нагрів до температури  $365 \pm 5^\circ\text{C}$  зі швидкістю 1,5–2 град/хв, тривалість операції 1 год;
- термообробка при  $365 \pm 5^\circ\text{C}$  на протязі 1 год;
- охолодження до температури  $312 \pm 5^\circ\text{C}$  зі швидкістю 1,5 град/хв, тривалість операції 1 год;
- термообробка при  $312 \pm 5^\circ\text{C}$  на протязі 1,5 год;
- охолодження заготовок при відключених нагрівальних елементах до температури  $50^\circ\text{C}$ ;
- вийняття готових зразків з електричної печі.

Підготовка заготовок композиційних антифрикційних матеріалів на основі фторопласту-4 до механічних випробувань.

#### 4.1.6 Механічна обробка заготовок

Більш як половину виробів із фторопласту-4 виготовляють у вигляді заготовок, які потім обробляють механічними методами для одержання готових деталей. Фторопласт-4 легко піддається механічній обробці на універсальних металорізальних верстатах, таких як токарні, фрезерні, свердлильні, стругальні та вирубні преси.

Порівняно з обробкою металів, обробка фторопласту-4 має ряд особливостей, які обумовлені його фізико-механічними властивостями. Ці особливості визначають технологічні параметри обробки та форму різального інструменту:

- досить низька теплопровідність фторопласту-4, на два значення нижче у порівнянні з конструкційних сталей;
- високий коефіцієнт лінійного розширення, який у десять разів перевищує

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		98

цей показник конструкційних сталей;

- можливість переходу однієї кристалічної структури у іншу за температури 19,6 °С та зв'язана з таким переходом зміна об'єму деталі на 1,5 відсотка ;
- під час різання у деталях виникають пружні та пластичні деформації, що значно вищі, ніж у сталей;
- поверхнева твердість значно нижча, ніж у сталей.

Низька теплопровідність матеріалу має найбільший вплив на режими механічної обробки, оскільки вона ускладнює розсіювання тепла в об'ємі полімеру і може спричинити нагрівання як інструменту, так і оброблюваного виробу. Високий коефіцієнт лінійного розширення матеріалу в даному випадку призводить до зміни лінійних розмірів оброблюваного виробу та негативно впливає на його точність виготовлення. Підвищення температури матеріалу понад 250 °С призводить до термічної деструкції полімеру, що може призвести до виділення токсичних продуктів. Практика підтвердила, що швидкості різання не повинна перевищувати 150 м/хв. При збільшенні швидкостей різання рекомендується використовувати охолодження для оброблюваної деталі та систему відсмоктування для видалення продуктів деструкції. Під час токарної обробки зазвичай встановлюють подачу різця в діапазоні від 0,01 до 2,5 мм·хв<sup>-1</sup>. В звичайних умовах при дотриманні цих режимів різання точність механічної обробки може бути на рівні ± 0,02 мм. При обробці на високоточному обладнанні, можна досягти ще вищої точності, наприклад, ± 0,01 мм. Проте у випадку виготовлення особливо точних деталей важливо враховувати, що при температурі 19,6 °С під час переходу фторопласту-4 з триклинної кристалічної модифікації в гексагональну спостерігається збільшення об'єму полімеру на 1,5 відсотки.

Саме тому, процеси обробки, вимірювання та складання деталей рекомендується проводити при температурах вище 20 °С і, якщо це можливо, при одних і тих же температурах. Це допомагає уникнути небажаних змін у розмірах і формі деталей через термічний вплив на фторопласт-4.

У виробництві особливо точних деталей із мінімальними допусками на обробку для зняття внутрішніх напружень у матеріалі часто застосовують

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						99
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

термообробку. Частіше всього заготовку спочатку нагрівають до температури вище робочої температури обробки, приблизно до 200 °С, але нижче температури плавлення кристалітів, яка становить 327 °С. При цій температурі заготовку витримують на протязі 1 години на кожні 25 мм товщини, а потім повільно охолоджують до кімнатної температури. Далі виконується чорнова обробка заготовки з припуском до 0,4 мм на діаметр необхідної для чистової обробки. Потім виконують повторну термообробку заготовки при таких же умовах, як і під час першої термообробки. Для кінцевої чистової обробки заготовки швидкості різання мають бути не вище 100-120 м/хв., а швидкість подачі - до 0,05-0,08 мм/об. Усі виміри готової деталі потрібно проводити при кімнатній температурі, тобто вище 20 °С, для того, щоб розміри відповідали заданим. Для підвищення точності результатів вимірювань необхідно уникати застосування вимірювальних приладів, які створюють підвищений тиск на деталь. ак, якщо недосвідчений контролер користується мікрометром, то це може призвести до зниження показань на 0,08-0,12 мм нижче фактичних значень через підвищений тиск на деталь. Щоб уникнути таких помилок, іноді вимірювання проводять за допомогою оптичних методів.

На ряду з традиційними методами механічної обробки фторопласту-4, останнім часом був розроблений спосіб виготовлення різних профільних виробів, який полягає у нарізуванні – точінні циліндричних заготовок при допомозі фасонних різців. Основна відмінність цього методу від традиційного полягає в тому, що у цьому випадку готовим виробом є утворена під час точіння стружка, форма та розміри якої визначаються відповідно профілем та розмірами різця. Для цього методу не потрібне спеціальне обладнання, він може бути виконаний на універсальних токарних верстатах з використанням поздовжньої подачі та з вклинюванням в заготовку на глибину, яка відповідає товщині виготовленого необхідного виробу. При цьому методі досягають швидкостей різання в діапазоні 100–150 метрів на хвилину. Поєднанням цього методу одержання профільних виробів з методами зварювання можна створювати нерозрізні вироби, які складаються з різних деталей та з'єднані за допомогою зварювання.

Метод точіння забезпечує значно вищу продуктивність порівняно з

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		100

виготовленням профільних виробів за допомогою екструзії.

#### 4.2 Розробка технологічного процесу виготовлення заготовки кільця поршневого компресора 2ФВ-4/4.5

При розробці схеми технологічного процесу для виготовлення заготовки кільця поршневого компресора 2ФВ-4/4.5, послідовність операцій встановлюється з урахуванням особливостей відновлюваної деталі. (табл. 4.1)

Таблиця 4.1 – Схема технологічного процесу виготовлення заготовки кільця поршневого компресора 2ФВ-4/4.5

Оп. 10	Операція	Розрізання вуглецевої тканини “Текарм” на куски за допомогою гільйотини
	Прилади	Гільйотина
Оп. 20	Операція	Грубе подрібнення вуглецевої тканини “Текарм” у дробарці
	Прилади	Дробарка
ОП. 30	Операція	Зважування компонентів
	Прилади	Вага
Оп. 40	Операція	Змішування та подрібнення порошку фторопласта-4 з наповнювачем вуглецевим волокном в млинку “Ютон”
	Прилади	Млин “Ютон”
Оп. 50	Операція	Сушка композиції
	Прилади	Сушильна камера СШОЛ-2М
Оп. 60	Операція	Розрихлення та зважування композиції
	Прилади	Вага
Оп. 70	Операція	Сушка, пресування заготовок
	Прилади	Піч СШОЛ-2М
	Прилади	Гідропрес
Оп. 80	Операція	Термообробка заготовок
	Прилади	Піч СШОЛ-2М
Оп. 90	Операція	Проведення експериментальних дослідів на зразках
	Прилади	Дослідницька машина Р10
Оп. 100	Операція	Контроль готової продукції
	Прилади	Стіл контролера
Оп.110	Операція	Механічна обробка заготовок
	Прилади	Токарний та фрезерувальний верстати

## ВИСНОВКИ

– Визначені конструктивні та технологічні особливості умови роботи вузла тертя “кільце-гільза” поршневого компресора 2ФВ-4/4.5. Проведені розрахунки навантажень, які діють на спряжені деталі пари тертя, швидкостей ковзання та шляхів тертя.

– Здійснено вибір та обґрунтування технологічного методу підвищення зносостійкості вузла тертя агрегату за рахунок заміни базового матеріалу на модифікований фторопластовий карбопластик.

– З метою покращення антифрикційних властивостей до складу композиційного матеріалу на основі фторопласту-4 і вуглецевого волокна доцільно вводити в якості третього компонента скловолокно, або порошок закису міді, або свинцю.

– Встановлено, що за зносостійкістю композит на основі фторопласту-4, модифікованого 19 мас. % ВВ з тканини «Текарм» і 1 мас. % скловолокна переважає матеріал Ф4ВВ20 на 20 %, а композит на основі фторопласту-4, модифікованого 15 мас. % ВВ з тканини ТГН-2М і 5 мас. % скловолокна переважає матеріал Ф4ВВ20 на 47 %.

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

– Експериментальні результати дослідження зносостійкості розроблених матеріалів знайшли підтвердження розрахунками з визначенням параметрів моделі зношування.

– Розроблені технологічні процеси виготовлення зразків модифікованих фторопластових композиційних карбопластиків і заготовки кільця поршневого компресора 2ФВ-4/4.5.

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		102

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Устройство кондиционера [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://genstar.ua/poleznye-stati/ustrojstvo-avtokondiczionera>
2. Sina Ebnesajjad. Fluoroplastics Volume 1: Non-Melt Processible Fluoropolymers / Sina Ebnesajjad. –The Definitive User's Guide and Data Book. – Second Edition . – 2015. – 698 p.
3. Свідерський В. П. Підвищення зносостійкості поршневого ущільнення компресора 2ФВ-4/4.5 кондиционера GMS / В. П. Свідерський, Л. П. Мельничук, Д. І. Клак // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2012. – № 1. – С. 15-18.
4. Dykha A., Svidersky V., Danilenko I., Bilichenko V., Kukurdz yak Yu., Kirichenko L. et. al. (2020). Design and study of nanomodified composite fluoropolimer materials for tribotechnical purposes / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5(12-107), pp. 38-48, doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.205779>
5. Intermatrix synthesis: easy technique permitting preparation of polymer-stabilized nanoparticles with desired composition and structure / P. Ruiz, J. Macanás, M. Muñoz, D. N. Muraviev // Nanoscale Research Letters. – 2011. – № 6. – P. 1 – 6.
6. Sina Ebnesajjad. Fluoropolymer Applications in the Chemical Processing Industries The Definitive User's Guide and Handbook A volume in Plastics Design Library / Sina Ebnesajjad and Pradip R. Khaladkar. – 2017. – 436 p.
7. Utracki L. A. Polymer Blends Handbook / L. A. Utracki, C. Wilkie. – Springer : Netherlands, 2014. – 237 p.
8. Physicochemical principles of polymer composite materials technology based on polytetrafluoroethylene / K. V. Berladir, O. A. Budnik, K. A. Dyadyura, V. A. Svidersky, Ya. O. Kravchenko // High Temperature Material Processes. – 2016. – № 20 (2). – P. 157–184.
9. Підвищення фізико-механічних та експлуатаційних властивостей триботехнічних ПТФЕ-композитів методами механічної активації / О. А. Будник, Х.

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		103

В. Берладір, А. Ф. Будник, [та ін.] // Проблеми тертя та зношування. – 2014. – № 4 (65). – С. 130 – 135.

10. Константинова Т. Е. Получение нанодисперсных порошков диоксида циркония. От новации к инновации / Т. Е. Константинова, И. А. Даниленко, В. В Токий., [и др.] // Наука та інновації. – 2005. – т. 1. - № 3. – с.76-87.

11. Yan Y. Preparation and mechanical properties of PTFE/nano-EG composites reinforced with nanoparticles / Y. Yan, Z. Jia, Y. Yang // Procedia Environmental Sciences. – 2011. – Vol 10. – P. 929 – 935.

12. Структурированные нанообъекты политетрафторэтиленовых композитов / А. Ф. Будник, П. В. Руденко, К. В. Берладир, [та ін.] // Журнал нано- та електронної фізики. – 2015. – Т. 7, № 2. – С. 02022-1 – 02022-9.

13. Пат. № 81966 Україна, МПК (2006) : C01G 25/00, C04B 35/48, F26B 3/32, F26B 5/04. Процес одержання порошків оксидів / Т. Є. Константинова, М. П. Пилипенко, В. І. Алексеєнко, І. А. Даніленко; заявник і патентовласник Донецький фізико-технічний інститут ім. О.О. Галкіна НАН України. – № 200601880; заявл. 21.02.2006, опубл. 25.02.2008, Бюл. № 10. – 24 с.

14. Довгий С.О. Лауреати Нобелівської премії. 1901–2001; Енциклопедичний довідник / С.О. Довгий, В.М. Литвин, В.Б. Солоіденко. – К.: Укр. видавничий центр, 2001. – 768 с.

15. Трефилов В.И. Фуллерены – основа материалов будущего / В.И. Трефилов. – Киев: Изд-во АДЕФ – Украина, 2001. – 148 с.

16. Lim I-Im. S., Pan Yi., Mott D. et al. Assembly of gold nanoparticles mediated by multifunctional fullerenes // Langmuir. – 2007. – V. 23. – P. 10715-10724.

17. Satoh M., Takayanagi I. Pharmacological Studies on Fullerene (C60), a Novel Carbon Allotrope and its Derivatives // J. Pharmacol. Sci. – 2006. – V. 100. – P. 513 – 518.

18. Наукові основи розробки полімерних композиційних матеріалів триботехнічного призначення на основі политетрафторетилену : 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.

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		104

19. Polymers containing fullerene or carbon nanotube structures / C. Wang [a.o.] // Prog. Polym. Sci. – 2004. – V. 29. – P. 1079–1141.

20. Sviderskiy, V. P., Konstantinova, T. E., Glazunova, V. A., Kirichenko, L. M., Vodjanij, V. I., Zaharchuk, J. O. (2014) Investigation of mechanical and friction properties of polytetrafluoroethylene carboplastics modified by nanopowder zirconium dioxide. Problems of Tribology, 2, 103-110. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ptl\\_2014\\_2\\_18](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ptl_2014_2_18)

21. Пат. № 116043 Україна, МПК (2006): С10М 107/00. Антифрикційна композиція «Флубон-15ППМ» / В. П. Свідерський, Л. М. Кириченко; заявник і патентовласник Хмельницький нац. університет. - № u201610269; заявл. 10.10.2016; опубл. 10.05.2017, Бюл. № 9. – 12 с.

22. Патент № 146243, Україна, МПК (2006.01): С10М 107/18, С10М 107/28. Спосіб створення антифрикційного фторопластового матеріалу / О. В. Диха, В. П. Свідерський, Т. Є. Константинова, Л. М. Кириченко, І. А. Даніленко; заявники і патентовласники Хмельницький нац. університет і Донецький фізико-технічний інститут ім. О. О. Галкіна НАН України. - № u202005011; заявл. 03.08.2020 р., опубл. 3.02.2021, бюл. № 5. – 10 с.

23. Підвищення щільності і зносостійкості поршневих кілець автомобільних газонаповнювальних компресорних станцій. / В.П. Свідерський, Г.О. Сіренко, Л.М. Кириченко [та ін.] // Проблеми трибології. – 2004. – №4. – С. 156-167.

24. Свідерський В. П. Підвищення зносостійкості поршневих кілець компресора кондиціонера автомобіля / В. П. Свідерський, В. С. Яремчук, К.О. Шкільняк // Сучасні досягнення в науці та освіті : зб. пр. XVIII Міжнар. наук. конф., 13–20 вересня 2023 р., м. Нетанія (Ізраїль). Хмельницький : ХНУ, 2023. – С. 165–170

25. Кузьменко А.Г. Методи розрахунків і випробувань на зношування та надійність: Навч. посібн / А.Г. Кузьменко. – Хмельницький: ТУП, 2002.– 151 с.

26. Свідерський В.П. Вплив технології виготовлення і природи матриці на механічні характеристики і зносостійкість антифрикційних карбопластиків / В.П. Свідерський, В.В. Ковтун, Л.М. Кириченко // Вісник Технологічного університету Поділля. Ч. 1 Технічні науки. – 2000. – №4. – С. 93–95.

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		105

27. Технологічне забезпечення довговічності технічних трибосистем :  
монографія / О. В. Диха, В. П. Свідерський, О. С. Дробот, Н. С. Машовець. –  
Хмельницький : ХНУ, 2021. – 178 с.

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
						106
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ДОДАТКИ

### Публікації.

1. Підвищення зносостійкості поршневих кілець компресора кондиціонера автомобіля / В. П. Свідерський, В. С. Яремчук, К.О. Шкільняк // Сучасні досягнення в науці та освіті : зб. пр. XVIII Міжнар. наук. конф., 13–20 вересня 2023 р., м. Нетанія (Ізраїль). Хмельницький : ХНУ, 2023. – С. 165–170

2. Software of design processes of reducing gear / Rudyk Oleksandr, Geivandov Stepan, Ivashko Yaroslav, Shkilnyak K. // Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні. ITMM'2023: тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції (Дніпро, 22 березня 2023 р.). Міністерство освіти і науки України, Український державний університет науки і технологій, Дніпропетровський національний університет імені О. Гончара, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» та ін. – Дніпро: УДУНТ, 2023. – С. 241–243

					ДРМТВАТАМ 23.18040.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		107