

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ, ТРАНСПОРТУ ТА АРХІТЕКТУРИ

Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти Магістра
Бакалавра (Магістра)

**ПОКРАЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ БЕНЗИНОВИХ ДВИГУНІВ
МОДИФІКУВАННЯМ ВНУТРІШНЬОЇ ПОВЕРХНІ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ**

Назва теми

Галузь знань 13 Механічна інженерія
Шифр і назва галузі знань

Спеціальність 132 Матеріалознавство
Шифр і назва спеціальності

Освітня програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів
Назва

Шифр КРМ МТВА 25 24450. 000 ПЗ

Виконав студент(ка) 2-го курсу
група МТВАм 24-1
Шифр


Підпис

Юрій СИДОРЕНКО
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник к.т.н. доцент
Науковий ступінь, вчене звання


Підпис

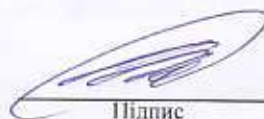
Ольга ДРОБОТ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер доцент кафедри ТАМ
Посада


Підпис

Олег БАБАК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
Завідувач кафедри ТАМ
Назва


Підпис

Олександр ДИХА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Дата 10 12 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Напрямок підготовки (спеціальність) 132 «Матеріалознавство»

Освітньо-професійна програма «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафе ТАМ

проф., д.т.н. Диха О.В.

13 жовтня 2025 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Сидоренка Юрія Миколайовича

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи «Покращення працездатності бензинових двигунів модифікуванням внутрішньої поверхні гільз циліндрів».

Керівник роботи Дробот Ольга Савівна, к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом університету від 25 серпня 2025 р. № 65 (Д28)

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 4 грудня 2025 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Матеріали практики; робочі креслення досліджуваних деталей; нормативно – технологічна документація по розбиранню, дефектації, складанню і регулюванню вузла тертя; вимоги з охорони праці і безпеки роботи при виконанні ремонтних робіт; техніко – економічні показники роботи підприємства.

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

1 Дослідження видів пошкодження робочих поверхонь гільз циліндрів;

2 Технологія нарізання канавок на поверхню гільзи;

3 Технологія мідніння отриманих канавок на поверхні гільзи

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

Графічна частина роботи представлена у вигляді презентації на слайдах

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

7. Дата видачі завдання_ ----

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи
1	<i>Літературний огляд</i>	<i>30.09.2025</i>
2	<i>Технологічний розділ</i>	<i>25.10. 2025</i>
3	<i>Дослідницький розділ</i>	<i>15.11. 2025</i>
4	<i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки</i>	<i>22.11. 2025</i>
5	<i>Оформлення презентації кваліфікаційної роботи</i>	<i>1.12. 2025</i>
6	<i>Нормоконтроль кваліфікаційної роботи</i>	<i>5.12. 2025</i>
7	<i>Підписання розділів. Затвердження дати захисту</i>	<i>5.12. 2025</i>

Студент


Підпис

Юрій Сидоренко
ІМ'Я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник роботи


Підпис

Ольга Дробот
ІМ'Я, ПРІЗВИЩЕ

Реферат

Тема роботи : «**Покращення працездатності бензинових двигунів модифікуванням внутрішньої поверхні гільз циліндрів**».

Вміст пояснювальної записки – 73 сторінки, кількість рисунків - 43, таблиць - 6, додатків 20, кількість джерел згідно із переліком посилань - 11.

Двигун внутрішнього згоряння є джерелом механічної енергії, яка забезпечує рух автомобіля, тому характеристики двигуна безпосередньо впливають на експлуатаційні властивості автомобіля.

Механічний ККД двигунів в межах 0,75...0,85. Це свідчить про те, що від 15 – до 25% потужності двигуна витрачається на подолання механічних втрат, переважно втрат на подолання тертя. Покращити експлуатаційні показники двигуна можна за двома шляхами:

Перший – удосконалення системи управління двигуном ;
Другий - удосконалення параметрів механізмів та їх вузлів

Актуальність роботи Циліндро - поршнева група (ЦПГ) є одним з основних елементів двигуна. Деталі ЦПГ – гільза циліндрів, поршневі кільця, поршень є найбільш навантаженими деталями двигуна. Причинами високих механічних втрат є недосконалість конструкції і технології виготовлення деталей циліндро - поршневої групи (ЦПГ) і кривошипно-шатунного механізму (КШМ) та неякісні мастильні матеріали

Удосконалення конструктивних і фізико – механічних властивостей деталей ЦПГ є актуальним, оскільки це один із напрямків підвищення ефективності автомобільних двигунів.

Умови роботи гільзи циліндрів досить жорсткі : високі температури та високі тиски, значні теплові навантаження, недостатнє надходження мастильних матеріалів, вплив абразивного та газового середовища, що викликає схоплювання та руйнування поверхневих шарів внаслідок окрихчення матеріалу, накопичення мікротріщин утоми. Для покращення властивостей поверхні деталей ЦПГ використовують різні методи, які одночасно підвищують ресурс роботи деталей ЦПГ та впливають на показники роботи двигуна. Для дослідження вибрано перспективний спосіб покращення роботи ЦПГ модифікацією робочої поверхні тертя гільзи циліндрів методом металізації. Створення в тілі гільзи вставок певної траєкторії геометричних розмірів.

Мета та задачі досліджень: розробити технологію металізації гільзи циліндрів вставками міді.

В процесі досліджень розраховано розмір, та кількість канавок, які мають бути заповнені міддю. Для виконання процесу металізації міддю робочої поверхні гільзи циліндрів виконано такі операції: нарізання чотирьох синусоїдальних і двох еліптичних канавок ; наплавлення міді, зачистка після наплавлення внутрішньої поверхні, шліфування і хонінгування. Для досягнення найбільшої зносостійкості вставки мають бути розміщені таким чином, щоб вони знаходились в зоні максимального зносу, але не в зоні високих температур та не впливати на міцність стінок гільзи циліндрів. Кут підйому еліптичних канавок має знаходитись в межах 15...20 градусів до вертикальної площини перерізу гільзи циліндрів. Встановлено, що товщина нанесеного шару металу вставки має сягати 2...3 мкм. Кількість синусоїдальних та еліптичних канавок на внутрішній робочій поверхні тертя гільзи має бути 6. При роботі двигуна мідь переноситься із вставок на поверхню тертя гільзи. Максимальна площа покриття металізованою міддю внутрішньої робочої поверхні сягає 17, 75% та 17, 81% . Зразки з мідними вставками, мають у 2, 7 рази менший знос та на 48...83% меншу інтенсивність зношування. Після металізації робочої поверхні міддю лінійний знос гільзи циліндрів зменшився на 68,2%.

Перелік ключових слів: ТЕРТЯ, ЗНОШУВАННЯ, МЕТАЛІЗАЦІЯ, ВТУЛКА, ЛІНІЙНИЙ ЗНОС, АРГОНОДУГОВЕ НАПЛАВЛЕННЯ, МІЦНІСТЬ, ВИБІРКОВИЙ ПЕРЕНОС, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. Призначення та умови роботи гільзи циліндрів. Стан проблеми.	
1.1 Конструкція, види та умови роботи гільзи циліндрів. - - - - -	9
РОЗДІЛ 2. Огляд літературних джерел. Постановка задачі досліджень. ...	13
2. 1. Основні вимоги до параметрів якості поверхневого шару матеріалів елементів двигуна внутрішнього згорання.....	13
2.2. Аналіз режимів тертя циліндропоршневої групи ДВЗ.....	13
2.3. Сучасні способи зниження тертя та зносу деталей автомобіля.....	18
2.4. Матеріали для виготовлення гільз циліндрів.....	20
2.5. Способи зміцнення деталей двигуна	21
2.5.1. Вакуумно-конденсаційно осаджені покриття.....	22
2.5.2. Метод вибухового розпилення	22
2.5.3. Термічне випаровування (фізико –парове осадження).....	23
2.5.4 . Хіміко-парове осадження.	23
2.5.5. Метод газотермічного напилення (ГТН).....	23
2.5.6. Хіміко – термічна обробка.....	25
2.5.7. Мікродугове оксидування.....	25
2.5.8. Газотермічне напилення.	26
2.5.9. Наплавлення.....	26
2.5.10. Хімічні способи.	26

<i>КРМ МТВА 25 24450. 000 ПЗ</i>				
Зм	Арк	№ Докум.	Підпис	Дата
Виконав		Сидоренко	<i>[Signature]</i>	
Перевір.		Дробот	<i>[Signature]</i>	
Н.контр.		Бабак	<i>[Signature]</i>	
Затвер.		Диха	<i>[Signature]</i>	
Покращення працездатності бензинових двигунів модифікуванням внутрішньої поверхні гільз циліндрів				
		Літера	Аркш	Аркшів
		4	75	
ХНУ МТВАМ-24-1				

- 2.5.11. Електрохімічне осадження металів.....
- 2.6. Способи покращення працездатності бензинових двигунів.....
- 2.6.1. Напрямки підвищення працездатності двигунів внутрішнього згорання.
- 2.6.2. Фінішна антифрикційна обробка.....
- 2.6.3. Використання присадок.....
- 2.6.4. Анодно-механічне хонінгування (АМХ).....
- 2.6.5. Електрохімічні методи підвищення зносостійкості.....
- 2.6.6. Поверхнєве пластичне деформування (ППД).....
- 2.6.7. Гартування поверхневого шару струмом високої частоти (СВЧ).
- 2.6.8. Лазерне зміцнення.....
- 2.6.9. Металізація поверхні.....
- 2.7. Актуальність проблеми. Задачі досліджень

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

- 3.1. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....
- 3.1.1. Методика металізації робочої поверхні гільз циліндрів.....
- 3.1.2. Методика визначення зварюваності міді і чавуну методом кольорової дефектоскопії.....
- 3.1.3. Методика визначення зносу гільзи циліндрів методом мікрометражу.....
- 3.1.4. Методика визначення зносу гільзи циліндрів ваговим методом.....
- 3.1.5. Методика досліджень гільзи циліндрів на міцність.....
- 3.16. Методика визначення елементного складу поверхні тертя типової і металізованої гільз циліндрів.....
- 3.17. Методика дослідження зносу робочої поверхні зразків на машині тертя СМТ-1.....
- 3.18. Методика прискорених лабораторних випробувань гільз циліндрів на зносостійкість.....

- 3.2. Теоретичне обґрунтування запропонованих методів зміцнення гільзи циліндрів.....
- 3.3 Обґрунтування покращення експлуатаційних показників автомобілів металізацією гільз циліндрів
- 3.4. Теоретичне обґрунтування використання кольорових металів для зниження зносу деталей ЦПГ.....
- 3.5. Теоретичне обґрунтування зменшення зносу при використанні вставок з кольорового металу.....
- 3.6. Обґрунтування геометричних параметрів канавок, які нарізають для металізації гільзи циліндрів.....
- 3.7. Модифікація гільзи поршневої.....

Розділ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

- 4.1. Результати дослідження якості покриття робочих поверхонь гільз циліндрів міддю.....
- 4.2. Результати визначення площі вкритою міддю робочої поверхні типової і металізованої гільзи циліндрів приладом БАРС - 3.....
- 4.3. Результати визначення зварюваності міді і чавуну методом кольорової дефектоскопії.....
- 4.4. Результати визначення зносу гільзи циліндрів ваговим методом і методом мікрометражу.....
- 4.5. Результати досліджень гільзи циліндрів на міцність.....

Висновки.

Вступ

Автомобільний двигун являє собою систему, яка складається з окремих механізмів таких, як кривошипно - шатунний, газорозподільний, та систем подачі палива, запалювання, охолодження, мащення тощо.

Механізми і системи з'єднані один з одним і при роботі утворюють одне ціле. Двигун є джерелом механічної енергії, яка забезпечує рух автомобіля, тому характеристики двигуна безпосередньо впливають на експлуатаційні властивості автомобіля. В свою чергу вони залежать від характеру робочого процесу і показників двигуна.

Двигуни працюють за різними режимами навантаження, при різних змінних швидкостях, саме ці режими визначають паливно-енергетичні показники двигуна. Механічний ККД двигунів в межах 0,75...0,85. Це свідчить про те, що від 15 – до 25% потужності двигуна витрачається на подолання механічних втрат, переважно втрат на подолання тертя. Циліндро - поршнева група (ЦПГ) є одним з основних елементів двигуна. Деталі ЦПГ – гільза циліндрів, поршневі кільця, поршень є найбільш навантаженими деталями двигуна.

Причинами високих механічних втрат є недосконалість конструкції і технології виготовлення деталей циліндро - поршневої групи і кривошипно-шатунного механізму (КШМ) та неякісні мастильні матеріали.

Удосконалення конструктивних і фізико – механічних властивостей деталей ЦПГ є актуальним, оскільки це один із напрямків підвищення ефективності автомобільних деталей при одночасному зниженні вартості робіт по забезпеченню тривалої експлуатації. Широко використовують такі методи покращення властивостей поверхні деталей ЦПГ, які забезпечують не тільки підвищений ресурс їх роботи, але й впливають на показники роботи ДВЗ [1].

РОЗДІЛ 1. Призначення та умови роботи гільзи циліндрів. Стан проблеми.

1.1 Конструкція, види та умови роботи гільзи циліндрів.

Гільза циліндра – металева втулка, розміщується всередині блоку циліндрів двигуна внутрішнього згоряння, вона створює поверхню по якій рухається

поршень, забезпечує герметичність та дозволяє поршню вільно рухатися всередині циліндра. Гільза призначена для забезпечення надійного ущільнення там, де контактують гільзи з блоками і головками циліндрів, а також для зменшення втрат при терті поршня по циліндричній поверхні, вона забезпечує необхідну геометрію циліндра. Основне призначення гільз – підвищення міцності блоку циліндрів, зменшення його зносу, кращий відвід тепла до охолоджуючої рідини та можливість ремонту окремих циліндрів без заміни всього блоку.

Під час експлуатації гільзи зазнають зносу, деформацій, в них можуть з'явитись тріщини. Ці дефекти сприяють втраті компресії, підвищеним витратам мастила та перегріву двигуна. Гільзи циліндрів є невід'ємним елементом поршневої групи. Вона створює гладку, циліндричну поверхню, по якій рухається поршень. Ця поверхня повинна бути максимально міцною та зносостійкою, щоб забезпечити тривалу роботу двигуна. Гільзи циліндрів допомагають розподіляти тепло, відводячи його від поршня до охолоджуючої рідини.

Гільзи циліндра підвищують міцність блоку циліндрів, зменшують тертя між поршнем і циліндром, сприяють відведенню тепла та можливості ремонту окремих циліндрів без заміни всього блоку. Працюючи за таких важких умов гільзи циліндрів зношуються, деформуються і навіть зазнають руйнування, що призводить до втрати компресії, підвищеної витрати масла та перегріву двигуна. Крім того, заміна гільз є досить трудомістким і дорогим процесом [2].

Гільза циліндрів встановлюється в середині блоку циліндрів двигуна внутрішнього згоряння. Гільза циліндрів забезпечує нормальну роботу двигуна, саме по внутрішній поверхні гільзи рухається поршень. Гільза захищає блок циліндрів від зносу, зберігає необхідну геометрію циліндра, сприяє відводу тепла від поршня.

Розроблено декілька типів гільз, які відрізняються за способом виготовлення, матеріалом і способом установки. Кожен тип гільз має свої переваги і недоліки, а вибір того чи іншого типу залежить від конкретної конструкції двигуна.

Гільза циліндрів – це тонкостінна циліндрична деталь з товщиною стінки від 1 до 3 мм, яка призначена для створення умов легкого переміщення поршня. Якщо зовнішня поверхня гільзи циліндрів не контактує з охолоджувальною водою, то така гільза називається сухою, якщо контактує – таку гільзу називають мокрою. Гільзи поділяють на мокрі і сухі. Перевагою використання сухої гільзи циліндра є краща жорсткість корпусу, відсутність проблеми з ущільненням охолоджувальної води; недоліком є те, що стан розсіювання тепла гільзи циліндра не такий хороший, як волога гільза циліндра, збільшення поверхні обробки, висока вартість, складне розбирання. Перевагою є жорсткість корпусу, мала міжосьова відстань циліндрів, легкість, проста технологія обробки. Сухі гільзи не контактують безпосередньо з охолоджуючою рідиною, але захищають поршень від зносу та забруднень. Недолік сухої гільзи циліндрів полягає в тому, що блок циліндрів, у якому вона встановлена, складно виготовити, крім того вона не забезпечує якісну теплопередачу та рівномірний розподіл температури, внаслідок чого розсіювання тепла не є досить ефективним.

Мокра гільза циліндрів має товщину стінки циліндра 5-9 мм, зовнішня стінка якої безпосередньо контактує з охолоджувальною водою. Стінка гільзи циліндра має бути достатньо міцною, щоб витримувати тиск згорання.

Гільзи циліндрів з повітряним охолодженням (з ребрами). Гільзи з повітряним охолодженням спеціально розроблені для двигунів з повітряним охолодженням. Гільзи з повітряним охолодженням найчастіше використовуються в автомобілях. Вони працюють так само, як і сухі гільзи циліндрів, але охолоджуючим середовищем у цьому випадку є повітря. Розсіювання тепла гільз з повітряним охолодженням здійснюється в режимі примусової конвекції за допомогою його ребер, які сформовані на його поверхні. Як правило, матеріал, з якого виготовляють гільзи має високу теплопровідність. Перевага гільз циліндрів з повітряним охолодженням / ребрами полягає в тому, що вона стійка до корозії та має дуже ефективне розсіювання тепла. Недолік гільзи циліндрів з повітряним охолодженням полягає в тому, що вони розроблені для підтримки двигуна з повітряним охолодженням і, отже, не може бути встановлений у механізмах на основі охолоджуючої рідини. Гільзи циліндрів з повітряним охолодженням

виготовляють за допомогою спеціального «процесу формування оболонки», яка має дрібнозернисту структуру, що формується під час виготовлення методом лиття (рис.1).



Рисунок 1 – Типи гільз циліндрів

Умови роботи сухої гільзи досить жорсткі – високі температури та високі тиски. Гільза циліндрів працює в умовах значних теплових навантажень, недостатньому надходженню мастильних матеріалів, піддається впливу абразивного та газового середовища, яке викликає захоплення та руйнування поверхневих шарів внаслідок окрихчення матеріалу, накопичення мікротріщин втоми. Для надійної та тривалої роботи за описаних умов гільзи циліндрів повинні мати високі показники статичної та утомної міцності; кавітаційну та термоциклічну стійкість, низький коефіцієнт тертя, високу зносостійкість та стійкість до корозії. Знос гільзи призводить до зносу та руйнування її поверхні та зміни розмірів і геометричних спряжених деталей, може сприяти витоку компресії та порушує оптимальне стиснення паливно - повітряної суміші.

Підвищення довговічності пар тертя є однією з важливіших задач сучасного машинобудування. Важливу роль при цьому відіграють розробка та впровадження технологій поверхневого зміцнення сталевих матеріалів, які забезпечували б високі трибологічні показники сучасних

відповідальних деталей, які працюють в жорстких умовах зносу. Потреба в розробці і дослідженні нових технологій поверхневого зміцнення деталей автомобілів зумовлена значним ростом кількості використаних автомобілів та швидким розвитком ремонтного виробництва.

РОЗДІЛ 2. Огляд літературних джерел. Постановка задачі досліджень.

Виробники сучасних автомобілів особливу увагу приділяють технологіям підвищення якості деталей за рахунок покращення таких властивостей як: зносостійкість, антифрикційність, корозійна стійкість та характеристики міцності. Ці чотири характеристики є основними факторами, які скорочують строк служби більшості металевих виробів у вузлах та агрегатах автомобілів [3].

2. 1. Основні вимоги до параметрів якості поверхневого шару матеріалів елементів двигуна внутрішнього згорання.

Працездатність автомобільної техніки в значній мірі залежить від надійності роботи двигуна. В автомобільному транспорті переважно використовують двигуни внутрішнього згорання, які працюють на рідкому (дизельні, бензинові) та газоподібному паливі. Саме такі двигуни на сьогоднішній день потребують усунення трибологічних проблем, які виникають під час їх експлуатації. Системи сучасних ДВЗ відрізняються складністю, наявністю пар тертя, а процеси, які відбуваються в них характеризуються значним фізико-механічним впливом на матеріали, з яких виготовлені деталі ДВЗ. Незважаючи на постійне удосконалення конструкції двигунів, розробка нових матеріалів не встигає за вимогами що до підвищення економічності і підвищення швидкостей та навантажень, яким піддаються сучасні двигуни.

Отже, підвищення ресурсу роботи ДВЗ та зменшення втрат на тертя за рахунок розробки і впровадження нових технологій поверхневого зміцнення є для транспортного машинобудування досить актуальною задачею.

2.2. Аналіз режимів тертя циліндропоршневої групи ДВЗ

Циліндро-поршневу групу вважають основним джерелом втрат на тертя в двигуні. Умови роботи циліндропоршневої групи ДВЗ відрізняються неоднаковістю режимів змащування в різних зонах тертя, різними температурними умовами, реверсивністю ковзання, асиметричністю циклу навантаження і суттєво впливають на триботехнічні характеристики. Такі спряження працюють ще й під дією абразивного та газового середовища, яке сприяє руйнуванню роздільних плівок, виникненню мікросхоплювання з різною інтенсивністю руйнування поверхневого шару. Таким явищам сприяють незворотні процеси втоми та окрихчування, які постійно відбуваються в поверхневих шарах матеріалів і пошкодження твердими часточками, що попадають в зону тертя із масляного та повітряного трактів двигуна. Найбільший вплив на інтенсивне протікання зношування внаслідок мікросхоплювання має абразивна дія твердих часточок і температура в зоні фрикційного контакту. Важливо, що знос багатьох матеріалів при реверсивному ковзанні у 1,5 – 2 рази вищий, ніж при однонаправленому терті. При збільшенні частоти реверсування значно погіршується зносостійкість. При реверсивному терті відбувається більш інтенсивний вплив поверхнево-активного середовища та підвищення пластифікуючого ефекту у порівнянні з однонаправленим ковзанням. Найбільш несприятливі умови тертя в циліндрі ДВЗ виникають при реверсуванні в зонах мінімальних швидкостей руху поршня і особливо біля камери згоряння, де температура поверхонь тертя циліндра і кілець сягає 350°C, а максимальний тиск 6 – 16 МПа. Крім того, мінімальна товщина масляної плівки, яка розріджується робочою сумішшю, вигорає під час спалаху і видувається із - під верхніх кілець в момент такту стискування. Масляна плівка зникає або втрачає змащувальну здатність. Біля мертвих точок завжди спостерігається майже повне її руйнування, а в області підвищених швидкостей поршня несуча здатність плівки підвищується і може сягати величини, яка характерна для режиму тертя з напіврідким змащуванням. Величини коефіцієнта

тертя і динаміка його зміни для трибо спряжень гільза циліндра – кільце в значній мірі залежить від типу кільця і режиму змащування під час тертя навіть при наявності трибо технічних плівок, які екранують поверхню. Сила тертя, що виникає під час руху поршневих кілець по дзеркалу циліндрової втулки суттєво залежить від нормального тиску, швидкості і властивостей поверхневих шарів. Вона сягає максимуму в момент зміни напрямку руху поршня. Коефіцієнт тертя змінюється від 0,02 до 0,2. Під час роботи спряження по всій його довжині відбувається взаємне перенесення металу спряжених деталей. Під час тертя спостерігається перенесення субмікроскопічних об'ємів хрому з поверхні хромованих кілець на дзеркало чавунної циліндрової втулки. В місцях прориву захисних роздільних плівок відбувається адгезійна взаємодія і пошкодження поверхонь тертя, внаслідок чого має місце також і перенос металу циліндрової втулки на хромоване поршневе кільце. Відбувається взаємний перенос мікроб'ємів металу з однієї поверхні на іншу. Особливий характер взаємодії поршневого кільця з дзеркалом циліндрової втулки здійснює значний вплив на механізм і інтенсивність зношування цих деталей. Обернено-поступальне тертя викликає постійну зміну зон стискання та розтягу, напрямку деформації та збільшення сили тертя. При одно напрямленому терті в поверхневих шарах діють залишкові напруження розтягу, які переходять на деякій глибині у напруження стискання. При реверсивному терті в поверхневих шарах утворюється зона, практично без внутрішніх напружень, з пониженою мікротвердістю. Це сприяє інтенсивному знеміцненню та значному зниженню зносостійкості поверхневого шару при реверсивному терті [4].

Роль пластичної деформації для розвитку процесів руйнування поверхневих шарів циліндра, поршня і кілець надзвичайно велика. Пластична деформація при режимах тертя, яка виникає в циліндрі двигуна, сприяє розвитку процесів адгезійної взаємодії, схоплювання та утоми.

Виникнення металевих зв'язків починається від активних комплексів чи центрів, які відіграють роль радикалів в ланцюговій реакції сполуки. Природа активних центрів різна і залежить від умов, за яких відбувається контактування. Роль активних центрів можуть грати випадкові спів падання кристалічних

зв'язків, дислокацій, вакансій, дислокованих атомів. Значний вплив на адгезійні процеси має тепло, яке вивільняється при русі і виході дислокації на поверхню тертя. При підвищенні температури зростає роль термічної активації і полегшується схоплювання.

Таким чином, розвитку процесів схоплювання в циліндропоршневій групі сприяють такі фактори: термічна активація структурних процесів; підвищення температури до рівня руйнування масляних і адсорбційних плівок; температурні спалахи на активних центрах; можливе виникнення струмів високої густини на локальних ділянках і утворення «гарячих точок» в місцях контактування мікронерівностей; механічне руйнування захисних плівок від високих контактних навантажень, а також продуктів зносу та абразивних часточок, які попадають в зону тертя.

Серед складних процесів руйнування поверхневих шарів деталей ДВЗ, основну роль відіграють адгезійні, утомні та абразивні пошкодження. Ці види руйнування взаємозв'язані між собою і в залежності від температурних, силових режимів, якості мастила, властивостей матеріалів деталей і поверхневих шарів, мають різну інтенсивність.

Наявність на поверхнях тертя циліндрів і кілець характерних пошкоджень у вигляді когезійних виривів мікробемів, рисок, які мають сліди зсуву металу, надривів, свідчить про ведучу роль адгезійних механізмів руйнування. Нормальний режим зношування (мікроадгезія) характеризується розмірами вогнищ пошкодження до 10 мкм і шорсткістю на рівні $R_a=0,01-0,08$ мкм. Збільшення розмірів пошкоджень більше за 10 мкм і шорсткості R_a більше 10 мкм свідчить про посилення адгезійної взаємодії і переходу до мікрозадирок. Подальший розвиток якого переростає в катастрофічну форму – макрозаїдання спряжених поверхонь вузла. Інтенсивність цього процесу залежить від властивостей матеріалу та якості пасивуючих плівок, які розділяють поверхні тертя, тобто від рівня сумісності матеріалів елементів трибоспряження. Механізм такого зношування залежить від зміни властивостей поверхневих шарів під дією пружно – пластичної деформації та дії середовища в циліндрі двигуна. Утомне руйнування поверхонь починається в місцях скупчення

дислокацій, вакансій, утворення пустот, раковин, великих структурних складових (карбідів, нітридів, силікатів тощо). Залежно від властивостей матеріалів пари тертя, якості мастила, на дзеркалі хромованих і азотованих втулок циліндрів, які мають високий опір пластичному деформуванню, схоплюванню, окисленню та абразивному зносу, спостерігається повільний розвиток утомних явищ і тріщини утворюються тільки під тонким поверхневим шаром товщиною не більше 2- 3 мм. Шкідливим фактор впливу на зношування є абразивні часточки, які попадають із зовні та утворюються внаслідок зношування деталей двигуна, процесів коксування масла та з твердих продуктів згоряння палива (попіл). Проявляється на дзеркалі циліндра в зонах реверсування перших ущільнювальних масло знімних кілець, товщина масляної плівки мінімальна і виникають найбільші дотичні напруження . Абразиви активують адгезійну взаємодію поверхонь знімаючи захисні плівки та створюючи контактуючі нерівності з осередками мікросхоплювання в місцях критичних питомих тисків. Збільшення розмірів і кількості абразивних часточок в зоні контакту поверхонь сприяє значному збільшенню інтенсивності зношування і підвищенню схильності до утворення задирок. Основним джерелом надходження абразивних часточок є забруднене повітря, яке надходить через впускний, а також масляний вузол двигуна. Абразив провокує значне зношування. Виявлені умови роботи, механізми зношування і пошкоджень під час експлуатації, дозволяють стверджувати, що деталі циліндро - поршневої групи працюють при нестационарних теплових, силових швидкісних режимах тертя, які супроводжуються масляним голодуванням та впливу абразивних і газових середовищ, які сприяють руйнуванню пасивуючих плівок та виникнення мікросхоплювання з різним ступенем руйнування, утомного пошкодження та мікрорізання.

2.3. Сучасні способи зниження тертя та зносу деталей автомобіля.

Найбільші втрати на тертя в двигуні спостерігаються в циліндро - поршневій групі. Проведення досліджень в цих ділянках є дуже важким завданням, внаслідок того, що треба враховувати значну кількість змінних факторів до прикладу, швидкості поршня, потужності, відношення

діаметра циліндра до ходу поршня, маси, особливостей конструкції деталей і технології їх виготовлення тощо. Отримані дані можуть змінюватись в межах 30 – 70 % до загальних механічних втрат. В таблиці 2.1 наведені статистичні дані фірми «Мерседес» по розподілу енергії і втрат на тертя в автомобільному дизелі, який має механічний К.К.Д на рівні 79 % [5].

Дані показують, що зниження втрат на тертя на 10% сприяє зменшенню питомих витрат палива на 2,6 %, а повне усунення тертя поршня покращить на 5% паливну економічність двигуна. В таблиці 2.1 показано витрати енергії при роботі двигуна.

Таблиця 2.1. Типовий розподіл енергії від згоряння палива і втрат на тертя в дизельних двигунах .

Баланс енергії при повному навантаженні		Структура витрат на тертя	
Теплові втрати	15%	Поршні	20%
Корисна робота	38%	Кільця	20%
Втрати на тертя	10%	Підшипники	15%
Вихлоп	37%	Допоміжні механізми	45%
Корисна енергія	100%	Сума втрат	100%

Знос циліндро-поршневої групи двигуна залежить від відношення ходу поршня до діаметра циліндра. Найбільший знос гільзи циліндра проявляється у верхній мертвій точці, тобто на рівні першого поршневого кільця, де поршень знаходиться при нульовій чи близько до нульової швидкості. Мінімальне зношування - в середині ходу поршня, де його швидкість найбільша.

Збільшення ходу поршня, максимального тиску в циліндрі і середнього ефективного тиску є факторами, які незадовільно впливають на строк служби поршневих кілець та гільз циліндрів.

Результати експлуатації новітніх малообертових двигунів серії UE фірми Mitsubishi Heavy Industries Ltd. Показали, що довговічність названих деталей можна не тільки зберегти, але й значно підвищити.

Для збільшення строку служби деталей циліндро-поршневої групи новітніх потужних і економічних двигунів ця фірма використала конструкторсько-технологічні заходи:

- використання твердого хромового покриття, нанесеного на робочі поверхні поршневих кілець, що покращило зносостійкість при високих питомих тисках на контакт і підвищило опір низькотемпературній корозії;
- хромування поршневих канавок, що зменшило їх знос та підвищило строк служби кілець збереженням оптимального їх руху в канавках;
- змінено розміщення охолоджуючих каналів, внаслідок чого оптимізована температура на внутрішній поверхні гільзи циліндра і усунуло корозійне зношування.
- змащування поршневих кілець і гільзи циліндра покращено застосуванням схеми дозованої подачі масла через отвори в гільзі на відстані приблизно 20% ходу поршня від верхньої мертвої точки.

Впровадження цих заходів дозволило покращити показники ресурсу роботи двигунів і продовжити дослідження за такими напрямками:

- зміцнення лазерним променем гільз циліндрів, яке сприяє підвищенню зносостійкості на 50%;
- розробка поршневих кілець з підвищеною зносостійкістю з одночасним використанням хромованих кілець.

2.4. Матеріали для виготовлення гільз циліндрів

Гільза циліндра працює в складних умовах, де переважають стискаючі напруження. Матеріал повинен мати високу твердість, зносостійкість, теплопровідність, низький коефіцієнт тертя та протистояти корозії. За таких

умов досить ефективно можуть працювати деталі виготовлені з сірого чавуну, який належить до матеріалів класу середньої міцності з показниками межі міцності $\sigma_B = 650 - 1300$ МПа.

Підвищені показники міцності, утомної міцності досягаються легуванням сірих чавунів нікелем, хромом, молібденом, титаном тощо. Для підвищення абразивної зносостійкості рекомендовано хіміко - термічну обробку: нітроцементацию або нанесення керамічно – нікелевого покриття.

Рекомендовано також сплави на основі алюмінію з групи сплавів середньої міцності з показниками межі міцності $\sigma_B = 200 - 400$ МПа.

Матеріалом для гільз з повітряним охолодженням слугує чавун (СЧ 20) .

Жорсткі умови роботи гільз циліндра вимагають матеріалів з високими показниками міцності, жорсткості та жаростійкості. Для виготовлення гільзи сухого типу вибирають сірий чавун з керамічно – нікелевим покриттям [6].

Гільзи циліндрів мокрого типу виготовляють з того самого матеріалу, що й гільзи циліндрів сухого типу. Мокрі гільзи безпосередньо взаємодіють з охолоджуючою рідиною двигуна, захищаючи поршень. Внаслідок чого умови експлуатації таких гільз менш жорсткі. Для виготовлення гільз двигуна переважно використовують низьколегований сірий чавун, який містить нікель, хром, молібден, ванадій. Такі чавуни зберігають характеристики сірих звичайних чавунів, але мають підвищену міцність, твердість, корозійну стійкість.

Склад чавунів, які використовують для виготовлення гільз циліндрів: вуглецю – 2,5 -3,5 %, марганцю – 0,1 -1,2%, фосфору – 1,5%, сірки - 0,02 -0,15%, кремнію – 0,8 – 4,5%, нікелю -0,7 - 2%, хрому – 0,2 - 0,7 %, молібдену 0,3 - 0,6%, міді - 0,2 – 0,6%.

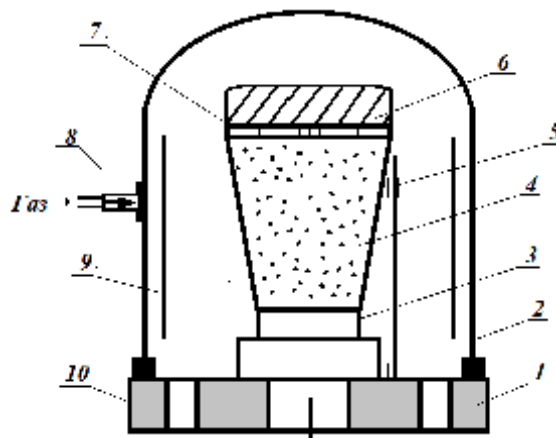
Міцність таких чавунів вища ніж у звичайних, вони відрізняються надзвичайно високою твердістю, що дозволяє використовувати їх для деталей, що працюють при підвищених температурах. Такі чавуни завдяки легуючим елементам мають більш високу теплопровідність, ніж сірий чавун, високі антифрикційні властивості та менш схильні до утворення усадочних дефектів у виливках.

2.5. Методи зміцнення деталей двигуна

Дослідження з нанесення на робочі поверхні деталей двигуна різних покриттів з метою покращення експлуатаційних показників двигуна і автомобіля беруть початок ще з кінця минулого століття і розвиваються нині. Основна мета нанесення покриття – це зменшення зносу поверхонь тертя, скорочення часу припрацювання спряжень та захист від корозії. Наносити покриття на деталі двигуна можна різними способами, головне - забезпечення високих фізико - механічних властивостей, зносостійкості, корозійної стійкості та високого зчеплення з основою.

2.5. 1. Вакуумно-конденсаційно осаджені покриття

Вакуумно-конденсаційні покриття формуються з струменя часточок , які знаходяться в атомарному, молекулярному чи іонізованому стані при малому тиску (рис.1.6). Струмінь часточок отримують розпилюванням матеріалу з допомогою різних енергетичних джерел. Методи розпилення матеріалу : термічне випаровування, іонне , вибухове.



відкачування

Рисунок 2.1 – Схема процесу вакуумного конденсаційного осадження:

1 – базова плита; 2 – камера; 3 – матеріал для випаровування та розпилення; 4 – струм часточок; 5 – заслонка; 6 – виріб, що обробляється; 7 – покриття; 8 –

накопичувач робочого газу; 9 – екран; 10 – комунікаційний отвір

2.5.2. Метод вибухового розпилення

Використовують при локальній взаємодії поверхні матеріалу з енергетичним імпульсом, внаслідок чого на мікроділянках створюються умови для швидкісного випаровування твердого матеріалу.

Іонне розпилення метод, при якому матеріал, який розпиляють, піддають бомбардуванню прискореним струмом додатньо заряджених часточок. Матеріал, який розпиляють, є катодом.

2.5.3. Термічне випаровування (фізико –парове осадження)

Полягає в нагріванні до температури випаровування вихідних матеріалів, а також випаровуванні та конденсації пари на поверхні твердого тіла у вигляді тонких плівок та покриттів. Таким методом отримують ефективні теплозахисні покриття . Нажаль такі покриття мають недоліки : низька продуктивність процесу, дороге та складне обладнання, низька адгезія, невисокі показники енергетичних коефіцієнтів розпилення та випаровування .

2.5.4 . Хіміко-парове осадження.

Основа процесу – нанесення покриття на заздалегідь нагріту поверхню деталі сполуками металів, які знаходяться в газоподібному стані. Осадження відбувається в спеціальній камері при низькому тиску з використанням хімічних реакцій відновлення і піролізу при температурах 500..1500oC, що забезпечує оптимальне протікання процесу. Покриття формується послідовним нашаруванням осадженого матеріалу. Недоліком є потреба в нагріванні поверхні деталі, що негативно впливає на фізико-механічні властивості матеріалу.

2.5.5. Метод газотермічного напилення (ГТН)

характеризується формуванням покриття з спрямованого струменя дрібних розплавлених чи пластифікованих часточок з розміром 10...200 мкм .

Структура матеріалу формується під час удару нагрітих часточок по поверхні

деталі. Часточки деформуються і закріплюються на підшарку та між собою, утворюючи покриття. Метод дозволяє отримати покриття з заданою твердістю, зносостійкістю, жароміцністю, антифрикційністю та корозійною стійкістю.

Залежно від джерела теплоти розрізняють такі методи напилення:

Металізація – процес нанесення покриттів товщиною в десяті долі міліметра шляхом електродугового чи високочастотного нагрівання металу.

Електродугова металізація - процес напилення з високою продуктивністю. Суть методу – нанесення покриття розпиленням повітрям витратних струмопровідних дротів, між якими виникає дуговий розряд. Струмінь стиснутого повітря переносить від електродів часточки розплавленого металу на оброблювану поверхню (рис. 2.2).

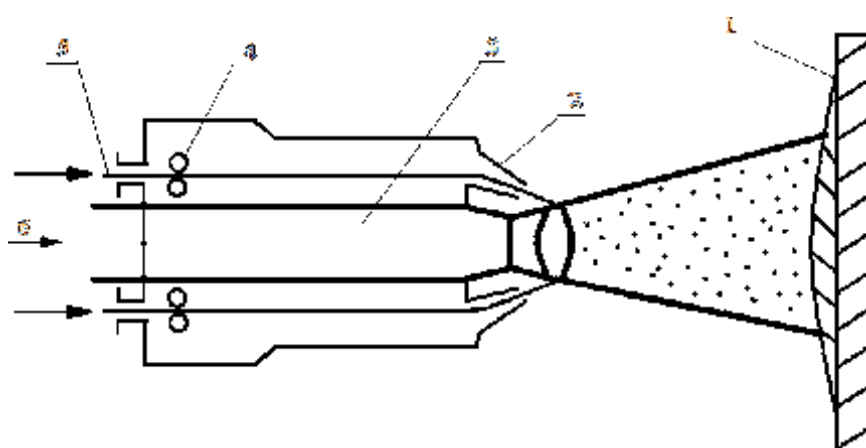


Рисунок 2.2 - Схема електродугового розпилення: 1 – оброблювана поверхня; 2 – напрямні; 3 – повітряне сопло; 4 – подаючі ролики; 5 – дріт; 6 – стиснуте повітря

Недоліками цього способу є можливість перегріву оброблюваного металу при малих швидкостях подачі розплавленого дроту, що викликає окислення та деформацію поверхні виробу, вигоряння легуючих елементів [7].

Газополуменеве напилення – джерелом теплової енергії є полум'я, що утворюється при згорянні суміші кисню та газу (водню, пропану, ацетилену). Процес базується на надходженні матеріалу покриття через отвір бункера в горільці, розганяється струменем газу – носія під дією

струмені стиснутого повітря і при виході із сопла під дією полум'я нагрівається (рис. 2.3)

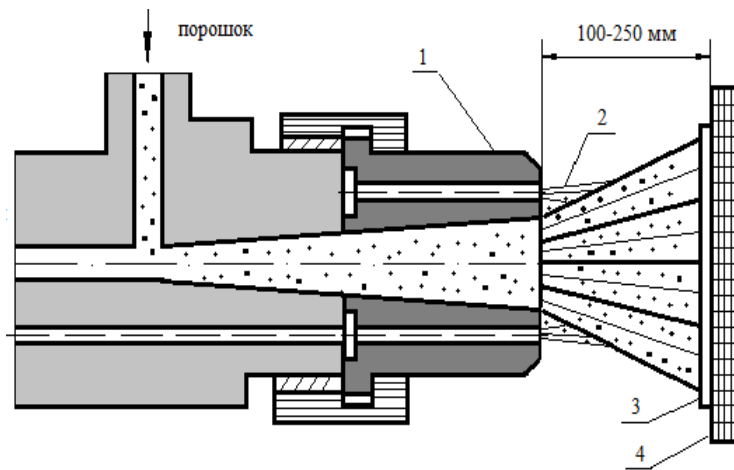


Рисунок 2.3 – Газополуменеве наплення порошкового матеріалу:

1 – сопло; 2 – полум'я; 3 – покриття; 4 - підшарок

Недоліки методу: низька ефективність процесу, особливо при використанні порошкових матеріалів; наявність в струмені активних газів, які контактують з металевими деталями; низька ефективність процесу; низька якість покриття.

Плазмові покриття мають високу щільність і добре зчеплення з основою. До недоліків можна віднести – невисоку продуктивність процесу і високу вартість обладнання.

2.5.6. Хіміко – термічна обробка

Хіміко – термічну обробку гільз з сірого чавуну проводять з метою підвищення його корозійної стійкості та теплостійкості. Поширеними видами хіміко - термічної обробки чавунів є азотування та низькотемпературна нітроцементация. Висока зносостійкість забезпечується утворенням нітридних та карбонітридних включень в присутності включень фосфідної евтектики.

2.5.7. Мікродугове оксидування.

Одним з ефективних методів покращення експлуатаційних показників автомобілів є металізація гільз циліндрів вставками міді і мікродугове оксидування (МДО) днищ поршнів. Під час металізації на поверхні тертя деталей при роботі спряження «поршневе кільце – гільза циліндрів» наноситься незначний за товщиною шар м'яких металів, який має антифрикційні властивості.

Мікродугове оксидування застосовують як спосіб підвищення зносостійкості поршнів (спідниці), а оксидування – для головок. Мета обробки – скорочення часу припрацювання.

2.5.8. Газотермічне напилення.

Метод газотермічного напилення (ГТН) полягає в тому, що покриття формується із направленою струменем дрібних розплавлених чи пластифікованих часточок із середнім розміром 10... 200 мкм. Структура матеріалу формується під час удару нагрітих часточок об поверхню основи (підложки). Деформуючись та закріплюючись часточки накопичуються і накладаються одна на одну, утворюючи шарувате покриття з заданою твердістю, зносостійкістю, жаростійкістю, антифрикційністю та корозійною стійкістю. Дифузійний метод нанесення покриття полягає в нагріванні та витримці в хімічно активних середовищах, які містять потрібний елемент або у вигляді плівки нанесеної на поверхню деталі. Дифузійні методи отримання покриттів дозволяють насичувати

поверхні металевих виробів неметалами (C, N, S) та металами (Al, Zn, Ti та іншими). До недоліками цього методу є значна тривалість та висока вартість .

2.5.9. Наплавлення

Технологічний процес нанесення шару розплавленого металу на оплавлену поверхню деталі чи виробу. Наплавлений метал після охолодження міцно з'єднується з основним металом, утворюючи покриття. Наплавлення є високопродуктивним процесом, який не вимагає складного обладнання, не обмежує розміри виробів, які піддаються ремонту. Недоліками є зміна властивостей наплавленого покриття внаслідок переходу в нього елементів основного метала і виникнення деформацій в наплавлених деталях внаслідок значного термічного впливу [8].

2.5.10. Хімічні способи.

Основою цих способів є процеси створення на поверхні виробу тонкої плівки внаслідок проведення біля поверхні хімічної реакції з виділенням одного чи декількох елементів (металів чи неметалів), їх адсорбція, дифузія і осадження на поверхні. Вихідними матеріалами в технології хімічного осадження можуть бути суміші газів, водні розчини солей металів. Матеріал покриття формується внаслідок реакцій різного типу – обміну, окиснення, відновлення. Хімічні покриття використовують для підвищення зносостійкості, корозійної стійкості, діелектричних та декоративних характеристик . Основним недоліком цих покриттів є їх недостатня міцність зчеплення з основним металом. Покращують ці характеристики проведенням низькотемпературного відпалу для формування перехідного дифузійного шару.

2.5.11. Електрохімічне осадження металів

належить до найдавніших способів підвищення якості поверхні деталі. Покриття, отримані електрохімічним осадженням досить широко використовують завдяки можливості вибору різних матеріалів покриття та високій технологічності процесу. Електрохімічні покриття формуються на поверхні деталі внаслідок осадження елементів у вигляді іонів із електроліту при взаємодії з електричним струмом.

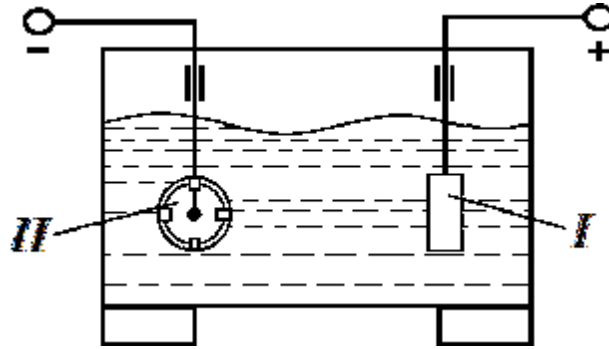


Рисунок 2. 4- Схема нанесення електролітичних покриттів : 1 - матеріал покриття (анод); 11 – деталь (катод).

У водний розчин солі метала занурюють пластину із того ж металу (анод) і деталь, на яку потрібно нанести покриття (катод). При пропусканні електричного струму відбувається процес електролізу: пластина розчиняється і на поверхні деталі формується покриття.

Більш новим способом є спосіб анодної обробки металів – мікродугове окисдування (МДО) (рис. 2.5).

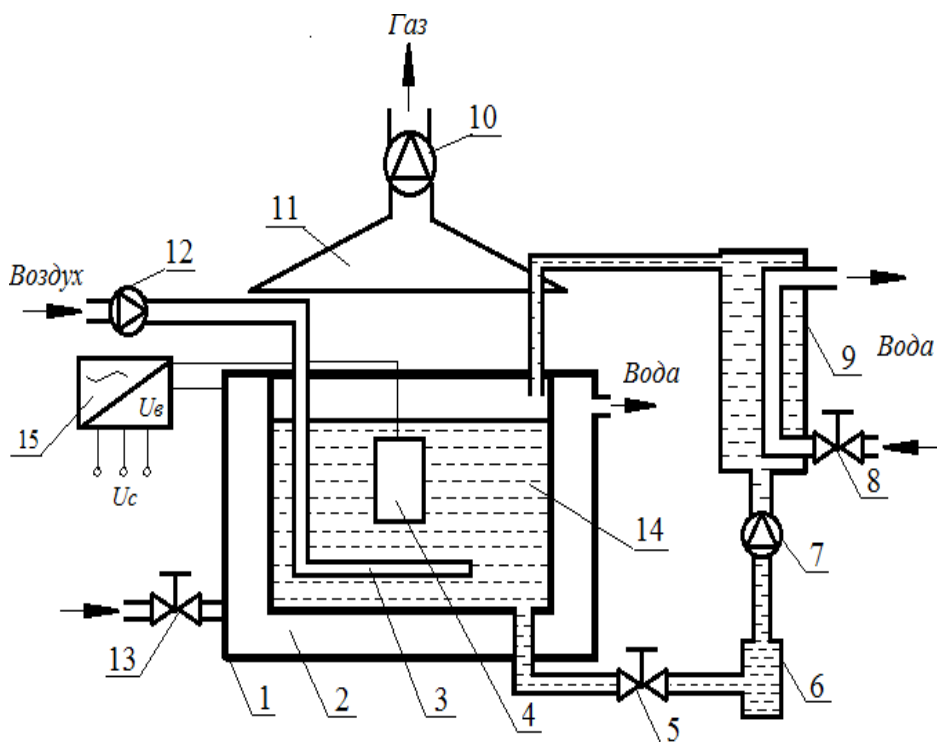


Рисунок 2. 5 – Схема процесу МДО : 1 – ванна електроживлення; 2 – система водоохолодження; 3 – пристрій подачі повітря; 4 – деталь; 5 , 8 , 13 – крани; 6 – фільтр; 7 – насос; 10 вентилятор; витяжний зонт; 12 повітряний компресор; 14 – електроліт; 15 – джерело живлення.

МДО – анодування металів і сплавів здійснюється у водних розчинах при пропусканні змінного струму між електродами або створення змінної напруги між ними. Електрична потужність має бути достатньою для здійснення видимих мікродугових розрядів, які начебто рухаються по поверхні робочого електроду.

2.6. Методи покращення працездатності бензинових двигунів

2.6.1. Напрямки підвищення працездатності двигунів внутрішнього згоряння

Забезпечення зносостійкості деталей машин є проблемою, від вирішення якої залежить довговічність та надійність вузлів, систем і агрегатів. Вивчення явищ, які відбуваються в шарах контактуючих тіл, в поєднанні з фізико – хімічними процесами , які супроводжують процес тертя дозволяють вибрати найбільш раціональний спосіб зміцнення для підвищення характеристик спряжених пар.

Сучасними є такі напрямки підвищення зносостійкості робочої поверхні тертя - гільз циліндрів двигунів (табл.1).

Таблиця 2. 2. Способи підвищення зносостійкості робочої поверхні тертя гільз циліндрів.

Способи обробки		
Механічна обробка, обробка тиском	Термічна і хіміко термічна обробка	Присадки
Фінішна антифрикційна обробка	Гартування	Мідьвмісні присадки до мастил

Анодно-механічне хонінгування	Лазерне гартування	Вибіркове перенесення
Поверхнєве пластичне деформування	Металізація	

Усі перераховані способи не можуть бути реалізовані для всіх типів деталей та вузлів тертя. Так, процес вибіркового перенесення реалізується під час тертя сталі по мідним сплавам певного складу (латуні та бронзи) і в середовищі певного складу (гліцерин, спиртогліцеринові середовища) [9].

Під час тертя в присутності відновлюваного середовища відбувається анодне вибіркє розчинення легуючих елементів бронзи. Атоми легуючих елементів відводяться в середовище між поверхнями тертя, внаслідок чого поверхневий шар бронзи збагачується міддю. Наявність відновлювального середовища не дозволяє міді окислюватись, що забезпечує їй високу активність. Завдяки високій активності мідь схоплюється з сталєвою поверхнею, покриваючи її тонким поверхневим шаром. В мідному шарі утворюється значна кількість вакансій, які утворюють пори, що заповнюються гліцерином. На сталевій поверхні товщиною 1...2 мкм формується сервовитна плівка, яка має низьку міцність на зсув і високі адсорбуючі властивості до розчинених елементів пари тертя і елементів деструкції мастильного матеріалу. Сервовитна плівка має високу теплопровідність, що забезпечує відвід тепла, яке виділяється під час тертя в глиб поверхні і тим самим забезпечує зниження температури в трибовузлі. Незважаючи на ефективність вибіркє перенесення не можна реалізувати для будь яких вузлів тертя. Він працює лише для деталей, виготовлених із певних матеріалів і при наявності в контакті тертя відновлюючого середовища, а також у вузькому інтервалі змін діючих на спряження швидкісних, температурних та силових факторів.

2.6.2. Фінішна антифрикційна обробка.

Підвищення зносостійкості можна досягти підвищенням якості (чистоти) заключної (фінішної) технологічної обробки спряжених поверхонь деталей. Суть

фінішної антифрикційної обробки (ФАБО) полягає в формуванні на поверхні тертя тонкого шару кольорового сплаву (міді, латуні, бронзи). Формування плівки базується на методі переносу кольорового металу при підвищеному терті. Технологічний процес формування кольорового шару здійснюють після знежирення поверхні, яку покривають і обробки її гліцерином чи гліцириною сумішшю (дві частини гліцерину і одна частина 10 % – го розчину соляної кислоти). При терті нанесений розчин сприяє розпушуванню сталевій поверхні, поверхні мідного сплаву пластифікується, в результаті відбувається захоплення міді із сталлю. Утворений мідний чи латунний шар має товщину 1-2 мкм. Перевагами цього методу перед іншими фінішними (чистовими) операціями є простота технологічного процесу, а також відсутність потреби в дорогому і складному технологічному обладнанні. Сформовані на поверхні кольорові шари надають сталевим і чавунним поверхням високих антифрикційних і антизадирних властивостей. Використання цього методу для покращення поверхнею циліндрів двигунів внутрішнього згорання дозволяє знизити час на припрацювання у 2...3 рази, а зносостійкість гільз циліндрів підвищилась у 1,6...1,75 рази .

2.6.3. Використання присадок

Під час обкатки двигунів і під час їх експлуатації використовують різного роду присадки. Присадки за сутністю фізико-хімічного впливу поділяються на наступні групи.

- *Присадки з використанням ПАВ* . Присутні в складі присадок поверхнево-активні речовини утворюють на поверхнях тертя деталей адгезійну високоміцну плівку , яка дозволяє зменшити коефіцієнт тертя та знос деталей при режимах значних навантажень.

При високих температурах ефективність ПАВ в трибовузлі знижується, що може сприяти появі задирок [10].

- *Інактивні присадки*. Дія цих присадок базується на вирівнюванні мікрогеометрії поверхні заповненням впадин. При цьому змінюється

мікрогеометрія поверхневого шару деталі, а структура поверхні не змінюється. Під час експлуатації внаслідок низької розчинності присадки в мастильному матеріалі, вона змивається з поверхні, що оголює виступи і сприяє їх зносу [2].

- *Хімічно активні присадки* (активатори).

Внаслідок високої хімічної активності ці присадки сприяють утворенню на робочих поверхнях хімічно – зміненого поверхневого шару. Утворений шар відіграє роль прошарку між поверхнями тертя. Він володіє високою несучою здатністю, попереджає контакт металу і підвищує опір виникненню задирок та схоплювання металу. Формування хімічно зміненого шару залежить від температури і навантажень в трибо вузлі і часто сприяє посиленню корозійно-механічного зношування поверхонь деталей. Такі присадки досить токсичні.

- *Металоплакуючі присадки* дозволяють реалізовувати ефект вибіркового переносу (ВП). Це речовини на основі високоактивних сполук іонів металів (міді, заліза). Реалізований ефект функціонує від декількох тижнів до року.

Частково такі присадки дозволяють зменшити відхилення макрогеометричних параметрів деталей. Проте при їх спрацюванні відбувається прогресуючий знос поверхонь. Складність процесу приготування цих присадок та дорогі компоненти обмежують їх широке використання . Присадка, яка містить дрібнодисперсний порошок міді та цинку (0,1...0,25 % мас.) на основі олеїнової кислоти (0,75...0,9 % мас) дозволяє під час тертя заповнювати мікронерівності поверхні металу мідною плівкою, яка забезпечує зниження коефіцієнта тертя та зниження задирок і схоплювання поверхонь. Присадка для покращення припрацювання містить латунний ультра дисперсний порошок. Уведення цієї присадки в моторне масло дозволяє знизити механічні втрати і знос деталей циліндропоршневої групи на 15...20 % у порівнянні з роботою без присадки.

2.6.4. Анодно-механічне хонінгування (АМХ)

Є досить поширеним способом підвищення зносостійкості гільз циліндрів. Суть методу у використанні під час обробки хонінгувальних брусків, виготовлених із міді, латуні, сталі чавуну. Результатом є не тільки зміна поверхневого шару металу в процесі електрохімічного та електроерозійного впливу, але й формування антифрикційного шару.

2.6.5. Електрохімічні методи підвищення зносостійкості.

До електрохімічних методів підвищення зносостійкості відносять метод обробки поверхні деталі в розчині електроліту електричними розрядами. Під час обробки в місцях дії електричного розряду виникають ділянки локального нагрівання. В залежності від потужності розряду, тривалості обробки, властивостей електроліту температура нагрівання буде різною. Тепло проникає вглиб, утворюючи сферичні високотемпературні зони. При досягненні в цих високотемпературних зонах температури плавлення металу і вище відбувається його часткове випаровування. В місцях випаровування утворюються лунки, шар під лункою змінює свою структуру. В ділянках, де температура досягла критичних температур гартування, утворюється «білий» шар, який має високу твердість та стійкість до дії електрохімічних процесів. За відповідних технологічних режимів увесь поверхневий шар деталі набувають структури «білого» шару. Використання цього методу дозволяє підвищити зносостійкість поверхонь тертя. Основний недолік «білого шару» є його нерівномірна товщина, досить висока пористість та тріщини. Проте було встановлено, що зносостійкість деталей з білим шаром підвищується на 20..22%.

2.6.6. Поверхнєве пластичне деформування (ППД).

Метод заснований на використанні пластичних властивостей оброблюваного матеріалу. Утворений поверхневий шар на поверхні деталі забезпечує високу зносостійкість в умовах напівсухого та граничного тертя. Технологічний процес здійснюють розкатуванням поверхні деталі кульками чи

роликами з високою твердістю. Під час розкочування відбувається вирівнювання поверхні від слідів попередньої операції (згладжування мікронерівностей, наклеп тріщин та впадин). Результатом такої обробки є підвищення мікротвердості на 18...27% поверхневого шару товщиною від 0,05..5 мкм, підвищення утомної міцності на 40...100% , зносо- та корозійної стійкості відповідно у 1,1...1,8 рази та у 2,1..2,6 рази . Ця операція є завершальною в технологічному циклі при виготовленні нових та під час ремонту зношених деталей. Використання цього методу дозволяє більше ніж на 50% зменшити час припрацювання нових і відремонтованих деталей, а знос при цьому зменшується на 66%. Головним недоліком цього методу є мала товщина зміцненого шару, який є недостатнім для забезпечення довговічності роботи відновлених гільз циліндрів . До недоліків методу пластичного деформування можна віднести можливість виникнення деформацій, які приводять до зміни геометричних розмірів деталі і утворення в зміцненому шарі тріщин. Має місце нерівномірна мікротвердість отриманого шару.

2.6.7. Гартування поверхневого шару струмом високої частоти (СВЧ).

Цей метод є досить поширеним для підвищення зносостійкості гільз циліндрів. Суть методу – перетворення перлітної структури сірого чавуну в чавун з мартенситною структурою на глибину 0,5 ..2,5 мм, твердість зміцненого шару 38...48 HRC. Питомий знос гільз після такої обробки 0,5...2,0 мкм/1000 км. Перевагою цього методу є достатня глибина зміцненого шару, що дозволяє проводити ремонт гільз, перешліфовуючи їх під відповідний розмір. Цей метод є технологічно доволі складним, порушення одного з режимів процесу викликає утворення дефекту та вибраковку гільз .

2.6.8. Лазерне зміцнення.

Підвищення зносостійкості гільзи циліндрів нанесенням лазерним променем на робочій поверхні сітки з рівномірно нанесених доріжок шириною 0,5 мм. Формується зміцнений поверхневий шар глибиною 05 ...1,0 мм. Метод дозволяє в 1,3...1,6 рази підвищити зносостійкість робочих поверхонь гільз.

Обробка лазерним променем супроводжується високими температурами в місцях нанесення доріжок, вигоранням графіту, підвищенням шорсткості поверхні. Ці процеси погіршують роботу спряження «поршневе кільце – поверхня гільзи циліндрів». Лазерні генератори є дорогими установками і не можуть бути швидко окуплені в ремонтному виробництві.

2.6.9. Металізація поверхні.

Суть способу – формування на поверхні гільзи різних вставок, шарів, вкраплень із іншого матеріалу, що має фізико - механічні властивості (наприклад, пластичність), відмінну від властивостей основного матеріалу. [6, 8].

Зниження зносу в цьому випадку полягає в наступному. Під час експлуатації гільзи з уведеним в робочу поверхню іншим металом відбувається зміна її внутрішніх геометричних розмірів, які викликані зносом основного матеріалу (чавуну гільзи) і більш пластичного кольорового металу (наприклад, міді, латуні). Мідь і її сплави мають високу пластичність. Попадаючи в зону контакту (тертя, кольоровий метал, а також продукти зносу починають взаємодіяти з мікронерівностями поверхонь тертя. Внаслідок високої пластичності і активності вони намащуються на контактні ділянки поверхонь. Утворюється плівка високопластичного металу, яка характеризується низьким коефіцієнтом зсуву і тертя. Процес формування плівки являє собою перенос пластичного металу по поверхні, який відбувається без руйнування матеріалу внаслідок високої пластичності, заповненням впадин, та нерівностей поверхні основного металу

Спосіб металізації відрізняється від вже розглянутих відсутністю потреби у відновленні об'єму присадок чи порошкових матеріалів, а також тим, що ефективність роботи спряження можна закладати на нових деталях чи під час ремонту і працювати вони можуть протягом усього строку експлуатації. На основі результатів робіт встановлено, що кращим (з мідь, бронза, цинк та їх сплави) матеріалом для уведення в робочу поверхню поперечних вставок гільз є мідь.

Використання конструкторських змін та нових матеріалів не значно впливають на покращення роботи сучасних двигунів внаслідок значних теплових і механічних втрат в самому двигуні. Механічний К.К.Д. двигунів при нормальних режимах роботи не перевищує 0,75. Отже, внутрішні втрати в двигуні сягають 25% від потужності двигуна. В складі цих втрат механічні втрати в спряжених деталях циліндро-поршневої групи сягають 40 – 63%. Тому доцільним для підвищення ефективності роботи двигунів внутрішнього згорання зменшувати втрати в циліндро-поршневій групі.

2.7. Актуальність проблеми. Задачі досліджень

Проведений літературний і патентний огляд наукової інформації показав, що недостатньо повно досліджено вплив металізації робочих поверхонь гільз циліндрів на експлуатаційні показники автомобіля, оснащеного бензиновим двигуном. Тому наукове обґрунтування, розробка, апробація і використання в двигунах автомобілів металізованих гільз циліндрів, що дозволяє покращити експлуатаційні показники автомобілів, є **актуальною** науковою і практично значущою задачею.

Мета досліджень – покращення експлуатаційних показників автомобілів нанесенням покриттів на деталі циліндро – поршневої групи бензинових двигунів.

Об'єкт досліджень. Процеси формування металізованих покриттів на робочих поверхнях деталей циліндро - поршневої групи бензинового ДВЗ, процес роботи двигунів і автомобілів з експериментальними ЦПГ.

Предмет досліджень. Параметри металізованого покриття на робочих поверхнях гільзи циліндрів, а також експлуатаційні показники двигунів і автомобілів з експериментальними ЦПГ.

Задачі досліджень:

1. Зробити аналіз методів нанесення покриття на поверхню гільз циліндрів ДВЗ, вибрати кращі для підвищення потужності та покращення паливно-економічних і екологічних показників автомобілів.
2. Розробити технологічні режими і параметри металізованих покриттів. Виготовити комплекти експериментальної циліндропоршневої групи з металізованими міддю гільзами циліндрів.
3. Дослідити двигуни з штатними і експериментальними ЦПГ в стендових умовах випробувань.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.

Експериментальна частина виконана за стандартними методиками з використанням основних положень теорії трибологічних процесів пар тертя, теорії двигунів внутрішнього згоряння, методів математичної статистики, а також порівняльними результатами теоретичних і експериментальних досліджень двигунів і автомобілів, які оснащені штатними та експериментальними ЦПГ.

3.1.1. Методика металізації робочої поверхні гільз циліндрів.

Для виконання процесу металізації міддю робочої поверхні гільзи циліндрів необхідно виконати наступні операції: нарізання чотирьох синусоїдальних і двох еліптичних канавок ; наплавлення міді, зачистка після наплавлення внутрішньої поверхні, шліфування і хонінгування.

Нарізання синусоїдальних і еліптичних канавок виконували на токарному оброблювальному центрі (рис.3.1) з системою ЧПУ



а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.1 – Нарізання синусоїдальних і еліптичних канавок: а) загальний вигляд токарного оброблювального центра *DMC серії T модель DL6T MH*; б)-трюхкулачковий патрон; в) різець *ВК8*; г) гільза циліндрів з нарізаними синусоїдальними і еліптичними канавками.

Точність установки гільз циліндрів в оброблювальний центр здійснювалась з точністю 0,03...0,05 мм. У вертикальній та горизонтальній площинах. Обробка проведена з використанням мастильно - охолоджувальної рідини «СОЖ Універсал», різцем, оснащеним твердосплавною пластиною із твердого сплаву *ВК8*. Необхідний переріз синусоїдальних і еліптичних канавок забезпечується спеціальним заточуванням різця.

Режими нарізання визначаються з урахуванням твердості оброблюваного матеріалу, матеріалу і типу різця, властивостей мастильно-охолоджувальної рідини.

Перед наплавленням міддю внутрішню поверхню гільзи циліндрів зачищали, знежирювали та підігрівали до 300...400 °С.

Для попередження жолоблення гільзи циліндрів наплавлення виконували в шахматному порядку з періодичним підігріванням її до 300...400°C. Електрод в площині стику знаходився під кутом 60...80°. Режими наплавлення : сила струму 85...95 А, напруга дуги – 55 -65 В, тиск газу – 0,04...0,05 МПа. Заповнення синусоїдальних і еліптичних канавок міддю здійснювали ручним аргонодуговим наплавленням (рис. 3.2 б) з використанням мідного дроту марки М1 , діаметром 0,8...1,0 мм.



а)



б)

Рисунок 3.2. – Технологія наплавлення метаталізованої гільзи циліндрів: а) загальний вигляд електропечі «Накал»; б) наплавлення міддю М1.

Наплавлення здійснювали аргонно-дуговим пальником АРГ- 250 в середовищі аргону вищого сорту.

Зачистку внутрішньої поверхні гільзи циліндрів виконували на токарно-гвинторізному верстаті 16К20 (рис.3.3 а). Для зачистки використовували різець з твердоспавною пластинкою. Під час зачистки для видалення шлаку та напливів металу різець підводили на мінімальну відстань до дзеркала циліндра, але без дотику до поверхні.



а)



б)

Рисунок 3.3 – Технологія попередньої обробки металізованої гільзи циліндрів: а) зачищення поверхні; б) шліфування.

Шліфування проводили на шліфувальному верстаті. Під час обробки гільзу закріплювали в трьохкулачковому патроні. Точність установки гільзи циліндрів у вертикальній і горизонтальній площинах і биття не перевищували 0,03...0,05 мм.

Хонінгування виконували на хонінгувальному верстаті Г833 (рис.3.4, а). Гільзу закріплювали на хонінгувальному верстаті в нерухомому люнеті.



а)



б)

Рисунок 3.4. – Технологія кінцевої обробки металізованої гільзи циліндрів: а) – процес хонінгування; б – металізована гільза циліндрів.

Чорнове і чистове хонінгування виконували алмазними брусками АС6М1 (чорнове хонінгування) і АСМ20М1 (чистове хонінгування) з вмістом діамантів в бруську 3,5 карата.

3.1.2. Методика визначення зварюваності міді і чавуну методом кольорової дефектоскопії.

Для визначення зварюваності міді і чавуну проведена кольорова дефектоскопія поверхні металізованої гільзи циліндрів, яка базується на капілярному проникненню індикаторних рідин по сліпим та наскрізним капілярам матеріалу, що досліджують, з наступним візуальним оглядом і фіксацією індикаторних слідів. Цей метод дозволяє контролювати об'єкти будь-якої конфігурації і розмірів,



а)



б)



в)

виготовлених з чорних та кольорових металів та їх сплавів. Використано цільовий набір матеріалів (рис. 3.5).

Рисунок 3.5. – Цільовий набір реактивів: а) індикаторний пенетрант DR- 55; б) очисник DR- 60; в) проявник D 100.

Технологія проведення кольорової дефектоскопії

Підготовка зразка до контролю:

1. Очистка поверхні від забруднень, видалення заусенців, знежирення етиловим спиртом, мийка дистилірованою водою, сушка поверхні.
2. Обробка поверхні дефектоскопічними матеріалами – нанесення індикаторногопенетранта DR- 55, сушка поверхні протягом 5 хвилин, обробка поверхні очисником DR- 60 для видалення індикаторного пенетранта і сушка

поверхні протягом 5 хвилин, нанесення проявника D 10, сушка поверхні протягом 5 хвилин.

3. Виявлення дефектів (огляд поверхні і реєстрація індикаторного сліду) розшифровка результатів контролю.

Зварюваність вважають якісною, якщо на поверхні не виявлено індикаторних слідів малинового кольору, що свідчить про відсутність в місцях наплавлення пор, непроварів, підрізів, тріщин, шлакових включень.

3.1.3. Методика визначення зносу гільзи циліндра методом мікрометражу

Мікрометраж гільзи виконували згідно ГОСТ14846-81. Інструмент для мікрометражу показано на рис. 3.6.



a)



б)



в)



г)

Рисунок 3.7 – Інструменти для мікрометражу гільз циліндрів:

а) - загальний вигляд; б) – підбір змінної вставки; в)– вимірювання внутрішнього діаметра гільзи; г) – маркування гільз циліндрів.

Відповідність розмірних груп циліндрів технічним умовам :

1. Внутрішня поверхня гільзи циліндрів не повинна мати ризок, задирок, тріщин, сколів.
2. Овальність та конусність допускається до 0,06 мм.
3. При гідравлічних випробуваннях гільзи циліндрів під тиском 4 атм. протягом 2 хв. течії води і пітніння стінок гільзи циліндрів не допускається .
4. Биття посадочних поясків відносно внутрішньої поверхні не має перевищувати 0,1 мм.

Гільзи циліндрів замінюють чи ремонтують, якщо знос внутрішньої робочої поверхні перевищує 0,2 мм по діаметру.

Вимірювання внутрішнього діаметра гільзи циліндрів здійснювали за допомогою індикаторного нутроміра в такій послідовності.

1. На внутрішній поверхні гільзи циліндрів маркером позначають площину, яка паралельна осі колінчастого валу. Виймають гільзи циліндрів з блоку, м'яко протирають дзеркало гільз циліндрів.
2. На зовнішній стороні гільзи з допомогою лінійки і крейди помічають перерізи, в яких зроблені заміри.
3. Гільзу циліндрі вимірювали у трьох перерізах у двох взаємно-перпендикулярних площинах. Вимірювання починали з верхнього краю гільзи циліндрів на відстані 5...15 мм. (рис. 3.8)

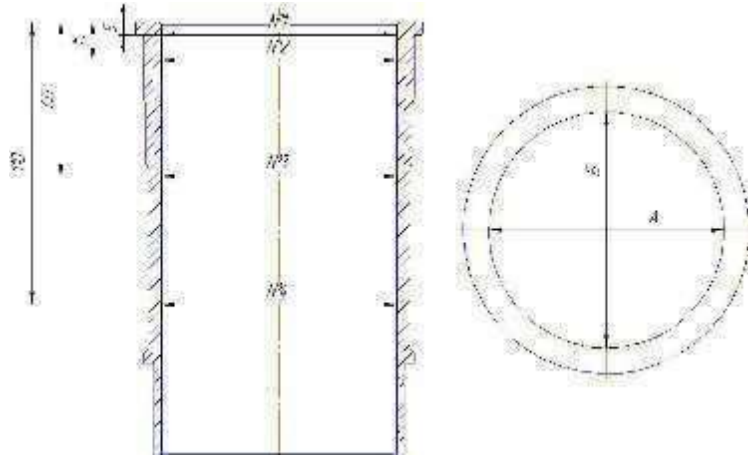


Рисунок 3.8 – Схема вимірювання гільзи циліндрів: А і В взаємно-перпендикулярні площини вимірювань; 1 – не зношений переріз циліндра; 2,3,4 вимірювання верхнього, середнього та нижнього перерізу циліндра.

3.1.4. Методика визначення зносу гільзи циліндрів ваговим методом

Знос типових і металізованих гільз циліндрів визначали ваговим методом.

Суть методу полягає у визначенні ваги гільз циліндрів до і після стендових випробувань.

Зважування типових і металізованих гільз циліндрів здійснювали з точністю $0,1 \times 10^{-3}$ (рис. 3.9). Перед зважуванням гільзи циліндрів промивають автомобільним бензині Аи-92, після чого їх висушували у витяжній шафі.



Рисунок 3.9 – Ваги

Середній знос визначали за трьома зважуваннями кожної гільзи циліндрів, після чого результати записували у таблицю.

Середню вагу розраховували за формулою:

$$G_{\text{ср.}} = (G_1 + G_2 + G_3) / 3 \quad (3.2)$$

де $G_1 + G_2 + G_3$ - вага гільзи при триразовому зважуванні мг.

3.1.5. Методика досліджень гільзи циліндрів на міцність

Вплив синусоїдальних і еліптичних канавок, заповнених міддю, на міцність гільзи циліндрів визначали по зміні геометричних розмірів гільзи під час гідравлічних випробувань. Дослідження проведені на спеціалізованому стенді НП – 150. Загальний вигляд стенду і металізованої гільзи під час випробувань показані на рис. 3.10. Стенд ПН-150 призначений для випробувань на герметичність циліндричних об'єктів. На рис. 4.13 показана схем, яка складається із таких вузлів: 1 – манометр; 2 – металізована гільза; 3 шаровий кран; 4 – насос НП-150.

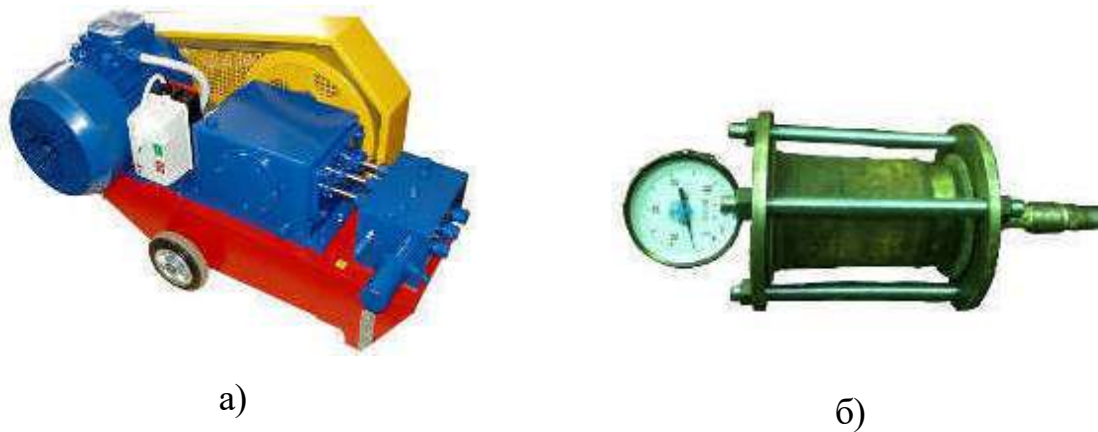


Рисунок 3. 10 – Гідравлічні випробування: а) стенд НП-150; б) гільза під мінімальним навантаженням

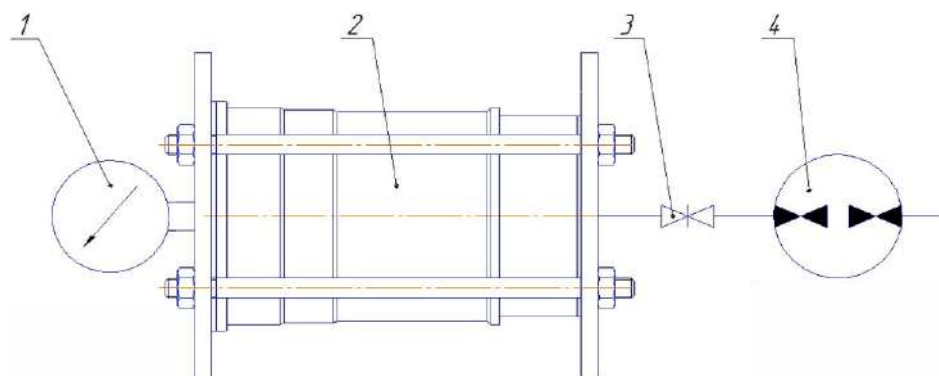


Рисунок 3.11– Схема перевірки металізованої гільзи на міцність.

В гідростатичному режимі в гільзу нагнітали тиск 1,5 МПа і витримували 10 хв. , температура води 20°C, під час випробувань максимальний тиск 3,5 МПа., витримка під максимальним тиском тривала 3 с., після чого тиск зменшували до 0,5 МПа. Кількість нагнітань -100 раз.

3.16. Методика визначення елементного складу поверхні тертя типової і металізованої гільз циліндрів.

Для підтвердження процесу переносу міді із зони канавок на робочу поверхню гільзи циліндрів і формування мідного шару між канавками проведені лабораторні дослідження оцінки поверхні тертя за її елементним складом відповідно до рекомендацій по експлуатації рентгено-флуоресцентним аналізатором X-MET 5100 (183) (Рис. 3.12), прилад призначений для проведення оперативного хімічного аналізу сталей та сплавів кольорових металів.



а)



б)



в)

Рисунок 3.12 - Загальний вигляд: а) фрезерного верстата; б) – зразки металізованої гільзи циліндрів; в) – прилад X-MET 5100

Заміри кожного зразка проводили п'ять разів, час одного заміру -3 с, отримані середні арифметичні значення прилад виводив на монітор, отримані дані зведені в таблиці.

3.17. Методика дослідження зносу робочої поверхні зразків на машині тертя СМТ- 1

Дослідження трибологічних характеристик металізованих міддю гільз проводили на машині тертя 2070 СМТ -1 (рис. 3.13) по схемі «ролик - колодка» (рис.3.14).



Рисунок 3.13 – Машина тертя 2070 – СМТ-1

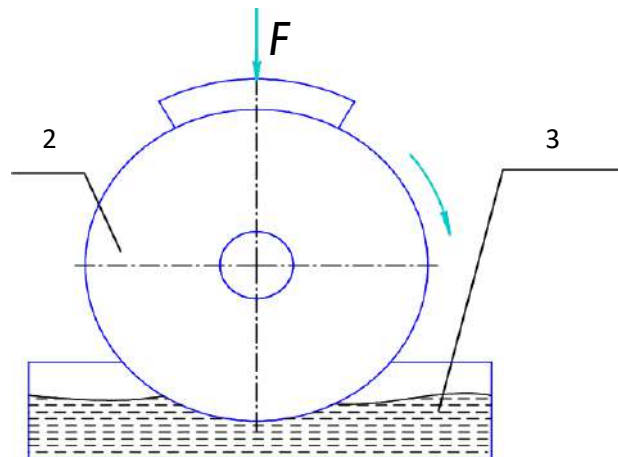


Рисунок 3.14. – Схема вузла тертя ; 1 – колодка; 2 – ролик; 3 масляна ванна

Дослідження проведені для таких матеріалів: ролики - чавун СЧ20, колодки – сталь 40Х і сталь 40Х з нанесеними на поверхню канавками глибиною 2,0 мм овального перерізу під різними кутами до ширини зразка, заповненими міддю (рис. 3.15; 3.16).



Рисунок 3.15 – Загальний вигляд ролика і колодок



Рисунок 3.16 – Зразки колодок із вставками з міді

Колодки виготовлені із кільця діаметром – зовнішнім 70 мм, внутрішнім 50 мм, ширина 10 мм. Ролики мали розміри: зовнішній діаметр – 50 мм, внутрішній – 16 мм, ширина 12 мм, твердість по Бринеллю НВ 240 (відповідає твердості гільз). Змащування вузла тертя здійснювали моторним маслом.

3.18. Методика прискорених лабораторних випробувань гільз циліндрів на зносостійкість

Дослідження антифрикційних і протизносних властивостей гільз циліндрів із вставками міді проводили на установці, яка дозволяла здійснювати обернено- поступальний рух поршня (рис. 3.17)

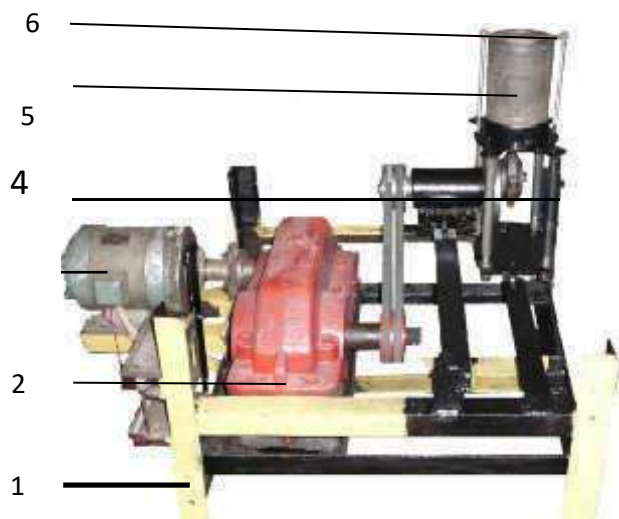


Рисунок 3.17 – Установка для прискорених трибологічних випробувань : 1 – металева рама ; 2 – редуктор; 3 – електродвигун; 4 – кривошипно-шатунний механізм; 5 – гільза циліндрів; 6 - поршень

Теоретичні дослідження проведені згідно стандартних методик. Дослідження ґрунтуються на методі порівняння двигунів і автомобілів, оснащених ЦПГ в штатному та експериментальному виконанні. Обробка експериментальних даних виконана з використанням прикладних програм Statistica 6.1, Microsoft Excel,

Math-Type.

3.2. Теоретичне обґрунтування запропонованих методів зміцнення гільзи циліндрів

Підвищення потужності і зниження питомих витрат палива можливе без зміни конструкції , зменшенням механічних втрат в спряженнях двигуна.

Для вирішення цієї проблеми потрібно зменшити коефіцієнт тертя в цьому спряженні. Вирішення питання здійснюють нанесенням на робочі поверхні деталей антифрикційних матеріалів, враховуючи закони триботехніки, найбільш ефективним буде нанесення антифрикційного покриття на більшу площу тертя.

Найбільшою площею є робоча поверхня гільзи циліндрів. Проблема вирішується формуванням на робочій поверхні гільзи покриттів, які володіють високими антифрикційними властивостями. Враховуючи умови роботи деталей ЦПГ і властивості матеріалів, антифрикційне покриття повинне мати властивості близькі до деталей. Запропонована модель взаємного впливу на підвищення зносостійкості деталей ЦПГ окисдуванням днищ поршнів та металізації робочої поверхні гільз циліндрів.

3.3. Обґрунтування покращення експлуатаційних показників автомобілів металізацією гільз циліндрів

Теоретичні аспекти взаємодії поверхонь тертя при зовнішньому терті.

Взаємодія поверхонь деталей при терті супроводжується контактом виступів нерівностей поверхонь, які утворюють плями контакту. В контакті беруть участь не тільки виступи нерівностей, але й матеріали, які прилягають до контактних виступів. Контакт виступів супроводжується деформацією матеріалу, з якого виготовлені поверхні тертя.

Зміна поверхневих шарів пари тертя відбувається під дією значних деформацій, які виникають і розвиваються в поверхневому шарі деталей. Ці зміни відбуваються внаслідок фізичної та хімічної взаємодії деталей що піддаються тертю. Процеси супроводжуються окисленням поверхневих шарів, дифузійним насиченням їх елементами із зони контакту (та оточуючого середовища) та зниженням адсорбційної міцності. Таким чином у процесі тертя беруть участь поверхні із зміненим матеріалом у порівнянні з матеріалом, з якого вони виготовлені. В зоні тертя в момент контакту ділянок поверхонь тертя і деформацією матеріалу відбувається молекулярно - механічна взаємодія поверхонь.

Під час контакту поверхонь при терті відбувається заглиблення більш жорсткого елемента однієї з поверхонь в більш м'який елемент другої поверхні (контртіло).

Під час заглиблення більш жорсткий елемент, рухаючись в тангенційному напрямку до площини тертя, деформує матеріал контакту, зсуваючи його в тому ж напрямку (напрямку руху). Внаслідок цього попереду метала, який деформується, формується валик напівсферичної форми.

Причиною виникнення зносу є порушення умов пластичного переміщення твердим матеріалом більш м'якого матеріалу однієї з поверхонь. При збільшенні навантаження глибина занурення мікронерівностей твердої поверхні збільшується, що сприяє переходу від пружної до пластичної деформації і потім до мікрорізання поверхні.

Для зниження зносу поверхонь тертя потрібно створити умови для зниження міцності тонкого контактуючого поверхневого шару. Зниження міцності можна досягти за таких умов :

- адсорбційними чи хемосорбційними змінами тонкого поверхневого шару, що сприяє зниженню його міцності на зсув;
- уведенням в контакт поверхонь тертя тонкого шару речовин з опором на зсув меншим, ніж матеріал пар тертя (мастило, чи метал з мінімальним опором на зсув).

Для забезпечення тривалого ефекту потрібно, щоб мінімальне значення міцності на зсув зберігалось в широкому діапазоні температур та тисків.

Найбільш перспективним методом є уведення в контакт кольорових металів. Під час тертя плівка кольорового металу вступає у адгезійну взаємодію з основним матеріалом і покриває його тонким шаром, захищаючи нижчі шари основного матеріалу від схоплювання. Цей процес називають металізацією. Для металізації поверхонь використовують такі матеріали як латунь, мідь, олово та їх сплави, які володіють міцністю на зсув набагато меншою, ніж сталь та чавун.

3.4. Теоретичне обґрунтування використання кольорових металів для зниження зносу деталей ЦПП

В трибоконтаті відбуваються такі процеси. Під дією прикладеного навантаження окремі нерівності поверхонь тертя стискаються, навантаження, яке діє через них передається на основу поверхні деталі. При збільшенні навантаження відбувається зближення поверхонь, яке супроводжується збільшенням плям контактів окремих нерівностей. Одночасно відбувається збільшення площі зминання вершин нерівностей. Все це сприяє зміні фактичної площі контакту поверхонь тертя.

Площа контакту залежить від навантаження, що прикладене до поверхонь тертя, їх геометричних та механічних параметрів., тобто від

розміру нерівностей (чистоти поверхні) , їх розміщення та модуля пружності матеріалу. Це дозволяє зробити наступні висновки: зниження зносу буде тим більшим, чим більшою буде площа контакту.

На практиці реалізацію цього положення здійснюють підвищенням чистоти обробки поверхонь тертя, що значно здорожує вартість деталей машин.

Більш доступним рішенням зменшення зносу пар тертя є уведення в зону контакту поверхонь тертя кольорових металів, проведення металізації. Покриття поверхонь тертя металами з низьким опором зсуву дозволяє під час їх взаємного контакту рівномірно розподілитися по поверхні тертя, заповнити всі нерівності. Це забезпечить вирівнювання всієї поверхні, що призведе до зменшення кількості виступів, що збільшить контактну площу поверхні.

Наявність в місці контакту металу з низьким опором зсуву забезпечить реалізацію додатного градієнту механічних властивостей, що зменшить можливість переходу зовнішнього тертя у внутрішнє. Коефіцієнт тертя при адгезії залежить від відношення міцності адгезійних зв'язків в тангенційному напрямку до властивостей матеріалу поверхонь тертя – модуля пружності і геометричним параметрам поверхні. Тому вибір матеріалу для металізації поверхонь тертя потрібно вибирати за значеннями мінімального значення тангенційної міцності і максимального значення модуля пружності.

Модуль пружності міді $E = 12,3 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$ для бронзи $E = 10,8 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$, латуні $E = 9,8 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$. Ефект переносу металу з однієї поверхні на іншу базується на різниці поверхневих енергій металів. Метали з найменшою величиною поверхневої енергії намагаються знайти контакт (намаститися) з металом, який має більшу поверхневу енергію. Однак реалізація ефекту намащування може бути реалізована за умови високих пластичних властивостей метала з меншою поверхневою енергією (табл.3.1).

Таблиц.3.1 Поверхнева енергія металів

МЕТАЛ	Сталь	Латунь	Cu	Al	Sn	Pb
Поверхнева енергія, ерг/мм ²	3000	2600	2200	1800	1200	900

З таблиці 3.1 видно, що найменша поверхнева енергія у свинцю, проте його не доцільно використовувати в циліндрах двигунів через низьку температуру плавлення та токсичність. Олово також має низьку температуру плавлення. Алюміній при підвищених температурах втрачає пластичність. Отже, для металізації поверхонь гільз найбільше підходить мідь, яка має низьку поверхневу енергію і не втрачає пластичність в умовах перепаду температур.

3.5. Теоретичне обґрунтування зменшення зносу при використанні вставок з кольорового металу.

Методи металізації, які використовують останнім часом є трудомісткими та дорого вартісними. Для використання в ремонтному виробництві потрібні більш прості методи металізації поверхонь деталей. Метод уведення в поверхні пар тертя вставок з металу з пониженою поверхневою енергією. Реалізація переносу металу з вставок на поверхню тертя забезпечується певними геометричними параметрами вставок (кутом нахилу до напрямної переміщення поверхонь, глибини та ширини вставок). Для забезпечення зниження зносу поверхонь тертя методом вставок потрібно визначити необхідний об'єм введеного металу, кут нахилу вставок до напрямку вектору переміщення поверхонь тертя. Кількість металу у вставках (вагове чи у відсотках) можна визначити, враховуючи розрахункові значення зносу. Визначення кута нахилу вставок потребує створення адекватної моделі процесу контакту поверхонь тертя з металом вставки.

Величина зносу визначається за декількома показниками: ваговий знос I_g , питомий лінійний I_h , енергетичний I_w .

Для визначення тривалості і періодичності виникнення відмов вузлів тертя і спряжень зручно для оцінки стану елементів тертя використовувати показники лінійної інтенсивності зношування. Лінійна інтенсивність зношування – відношення зношеного об'єму матеріалу до довжини шляху.

$$I_h = V / LS_n \quad (3.3)$$

Величина лінійного зносу визначається відносною глибиною вдавлювання h елементів однієї поверхні в іншу кількістю циклів, співвідношенням контактних площин фактичної S_f до номінальної S_n . Таким чином визначення величини зносу поверхонь можна визначити через фізико-механічні властивості поверхонь та зовнішні характеристики параметрів процесу тертя (швидкості відносного переміщення, навантаження, температури у вузлі).

3.6. Обґрунтування геометричних параметрів канавок, які нарізають для металізації гільзи циліндрів

Для реалізації процесу металізації робочої поверхні гільзи циліндрів в тілі деталі мають бути виготовлені вставки, нанесені шари чи канавки і пази з матеріалу з іншими фізико-механічними властивостями, необхідно в площині, яка перпендикулярна напрямку руху і площині тертя деталей (рис.3.3)

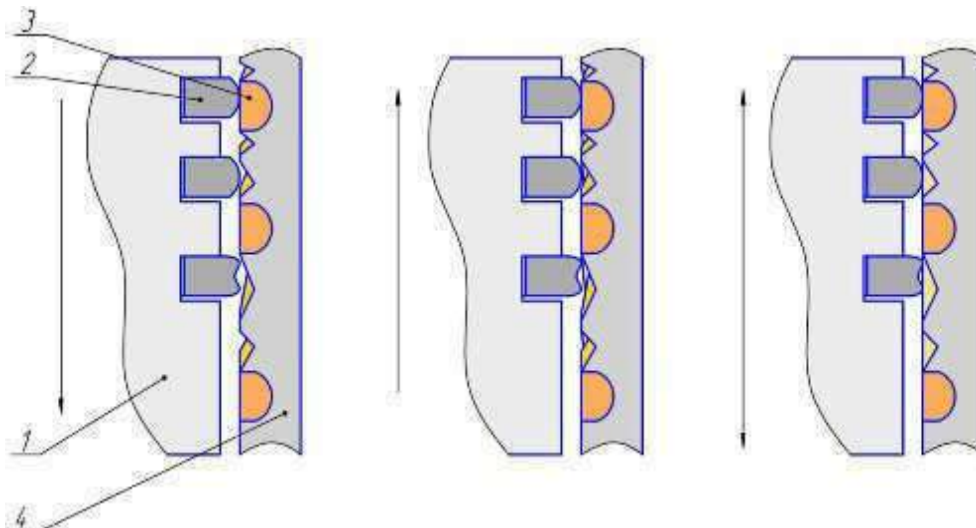


Рисунок 3.3 – Схема формування плівки кольорового металу на поверхні гільзи циліндрів: 1 – поршень; 2 – поршневе кільце; 3 – канавки; 4 – гільза циліндрів

Для досягнення найбільшої зносостійкості вставки мають бути розміщені таким чином, щоб вони знаходились в зоні максимального зносу, але не в зоні високих температур та не впливали на міцність стінок гільзи циліндрів. Кут підйому еліптичних канавок має знаходитись в межах 15...20 градусів до вертикальної площини перерізу гільзи циліндрів. Така конструкція дозволяє реалізувати наступний процес. Під час роботи ДВЗ поршневі кільця, переміщуючись по внутрішній робочій поверхні гільзи циліндрів під час пластичного деформування видаляють частину металу вставки з канавок і «намащують» його на робочу внутрішню поверхню гільзи циліндрів. Процес нанесення здійснюється неперервно під час усіх тактів роботи двигуна. Відокремлення металу вставок відбувається лише до моменту утворення на робочій поверхні шару певної товщини. Утворення такого шару сприяє зниженню коефіцієнту тертя робочих поверхонь поршневих кілець і гільз циліндрів, і процес нанесення шару зупиняється. При зменшенні товщини нанесеного шару кольорового металу на поверхні гільзи циліндрів коефіцієнт тертя збільшується, відповідно поновиться процес відокремлення металу із вставок. Шар металу вставки під час роботи природнім шляхом видаляється з маслом, тому його потрібно поповнювати. Це буде відбуватися за рахунок вставок у тілі гільзи. Таким чином відновлення шару на робочій поверхні буде здійснюватись під час всього терміну експлуатації двигуна. Дослідженнями [128, 210, 285] встановлено, що товщина нанесеного шару металу вставки сягає 2...3 мкм. Для забезпечення вибіркового переносу міді на поверхню тертя гільзи циліндрів створюють в місцях найбільшого зносу зустрічні замкнуті сінусоїдальні канавки, а в середній частині гільзи циліндрів – зустрічні еліптичні канавки. кільце не повинна перевищувати. Для забезпечення режиму зовнішнього тертя, який характеризується мінімальним заглибленням контактуючої поверхні, приймаємо ширину мідної вставки 2 мм. Ширину канавки вибираємо 1,5 мм,

глибину канавки – 1, 5 мм.

Об'єм металу у вставках буде визначатись з умов, що глибина заглиблення поршневих товщину покриття внутрішньої поверхні гільзи циліндрів металом вставки (міді) і з урахуванням висоти нерівностей поверхні гільзи циліндрів. Товщина шару кольорового металу має бути не менше 3 мкм, тоді :

$$V_m = \pi (r^2 - r_l^2) L_p \quad (3.4)$$

r - внутрішній радіус гільзи циліндрів, мм; r_l – внутрішній радіус покриття гільзи циліндрів металом, мм.

Для визначення геометричних параметрів і кількості вставок на внутрішній робочій поверхні гільзи циліндрів потрібно визначити об'єм кольорового металу (міді), яке буде зніматись з однієї вставки поршневим кільцем за один прохід:

$$V_c = hS_g \quad (3.5)$$

В реальних умовах експлуатації циліндропоршневої групи товщина металу, що знімає поршневими кільцями із вставки буде зменшуватись при кожному їх ході внаслідок нанесення міді на поверхню тертя і вирівнювання висоти виступу вставки над поверхнею гільзи, появі зносу шару кольорового металу на поверхні тертя гільзи. При виникненні різниці висот шару металу і вставки внаслідок зносу шару металу процес зняття металу поновиться. Повторюваний цикл забезпечить нанесення шару металу на робочу поверхню гільзи і забезпечить мінімальне тертя.

Проведені розрахунки показали, що кількість синусоїдальних та еліптичних канавок на внутрішній робочій поверхні тертя гільзи має бути 6.

Співвідношення площ синусоїдальних і еліптичних вставок до робочої поверхні тертя гільзи циліндрів:

$$\Delta = S_B \cdot N_0 \cdot 100\% / \pi \cdot D \cdot L \quad (3.6)$$

Для забезпечення утворення шару металу товщиною в 2...3 мкм на внутрішній робочій поверхні тертя гільзи циліндрів і забезпечення зменшення зносу, площа вставок має бути не меншою за 8,3% від загальної площі поверхні тертя.

Після металізації робочої поверхні міддю лінійний знос гільзи циліндрів зменшиться на 68,2%.

Отримані геометричні параметри синусоїдальних і еліптичних вставок дозволи визначити теоретичний знос типової і металізованої гільзи циліндрів. Розрахунки показали, що лінійний знос зменшується в 1,3 рази у порівнянні з типовою гільзою.

3.7. Модифікація гільзи поршневої.

Для виконання процесу металізації міддю робочої поверхні гільзи циліндрів необхідно виконати наступні операції: нарізання чотирьох синусоїдальних і двох еліптичних канавок ; наплавлення міді зачистка; шліфування і хонінгування внутрішньої робочої поверхні.

Запропоновано процес металізації міддю робочої поверхні гільз циліндрів, який передбачає: нарізання 4 синусоїдальних і 2 еліптичних канавок, наплавлення міді, зачистку , шліфування і хонінгування внутрішньої робочої поверхні .

Запропоновано експериментальну циліндропоршневу групу, яка складеться з поршня, на якому сформоване зміцнюючі теплозахисне покриття на днищі головки та гільза циліндрів з нанесеними на внутрішню робочу поверхню канавок з наплавленою в них міддю.

4.РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Результати дослідження якості покриття робочих поверхонь гільз циліндрів міддю.

Згідно методики використання рентгенофлуоресцентного аналізатора X – MET 5100 визначено елементний склад поверхні тертя. Результати елементного складу поверхні показано в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 . Вміст елементів в поверхні тертя.

Наіменування	Хімічні елементи, %					
	Cu	Fe	Si	Mn	Ni	Інші
Типова гільза циліндрів	0,58	93,96	0,97	0,94	0,05	3,5
Металізована гільза циліндрів	0,72	93,85	0,95	0,93	0,05	3,5

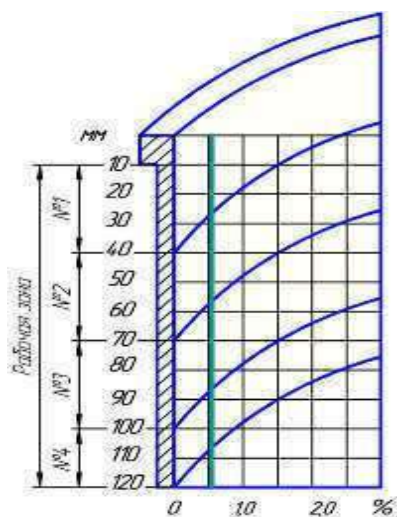
Аналіз отриманих даних показав, що металізована гільза циліндрів має більший вміст міді (0,72%) на внутрішній поверхні тертя у порівнянні з типовою (0,58%) у 1,2 рази. Це свідчить про перенос міді із вставок на поверхню тертя гільзи, яке відбувається при роботі двигуна (ЦПГ).

4.2. Результати визначення площі вкритою міддю робочої поверхні типової і металізованої гільзи циліндрів приладом БАРС -3

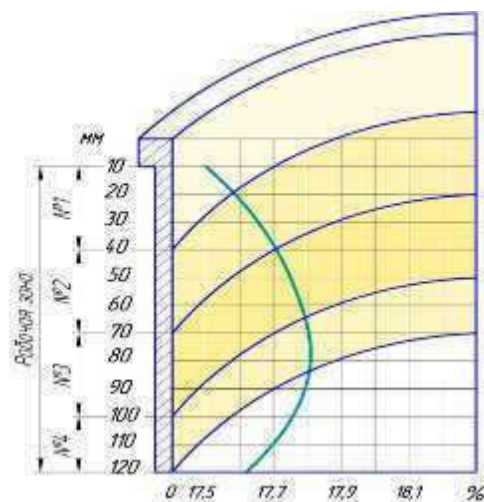
Для більш повного і достовірного підтвердження «вибіркового переносу » проводили дослідження на приладі м площі вкритої міддю. БАРС -3 опромінюванням зразків трубкою а – променів з визначенням площі вкритої міддю.

Дослідженнями встановлено, що максимальна площа покриття міддю внутрішньої робочої поверхні сягає 17,75% та 17,81%.

Площа покриття міддю внутрішньої робочої поверхні типової гільзи сягала 0,59%, що у 29,9 рази менше за площу у металізованій гільзі. Під час роботи двигуна відбувається перенос міді із вставок на поверхню тертя гільзи циліндрів. На робочій поверхні гільзи циліндрів формується шар міді, який дозволяє знизити коефіцієнт тертя, механічні втрати, а також підвищити паливно-енергетичні показники двигуна внутрішнього згорання.



а)



б)

Рисунок 4.1 – Площа покриття міддю робочій поверхні гільзи циліндрів: а) типова; б) металізована

4.3. Результати визначення зварюваності міді і чавуну методом кольорової дефектоскопії.

Для оцінки якості адгезійного зв'язку між міддю і чавуном проведено кольорову дефектоскопію. Лабораторним дослідженням піддавали поверхню металізованої гільзи, де плям малинового кольору не виявлено (рис. 4.2, г). Це свідчить про те, що при виконанні технологічного процесу виготовлення металізованої гільзи циліндрів зварюваність металів якісна, в місцях наплавлення канавок пор, непроварів, підрізів, тріщин, шлакових включень не виявлено.



а)

б)

в)

г)

Рисунок 4.2. Черговість нанесення дефектоскопічних матеріалів: а) зразок; б) нанесення індикаторного пенетранта DP -55; в) нанесення очисника DP- 60; г) нанесення проявника DR -100 і реєстрація дефектів.

4.4. Результати визначення зносу гільзи циліндрів ваговим методом і методом мікрометражу.

Величини зносу гільз циліндрів по висоті представлені на рис.5.3. Результати показали, що максимальне значення середнього зносу типових гільз сягає 6,3 мкм та 4,7 на відстані відповідно 10 мм та 120 мм від верхнього торця гільзи. Мінімальна величина зносу – 4, 0 мкм на відстані 80 мм від верхнього торця гільзи. Найбільший знос 4, 4 мкм – у верхній мертвій точці; в нижній мертвій точці знос 3, 7 мкм, а в середній частині – 3, 1 мкм.

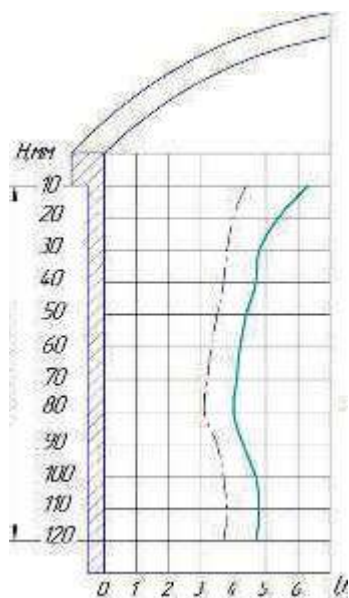


Рисунок 4.3 – Знос (I) гільзи циліндрів по висоті (H)

Очевидним є такий висновок: металізація гільзи циліндрів міддю дозволяє підвищити антифрикційні властивості поверхні тертя гільзи циліндра і знизити знос гільзи циліндра в зонах верхньої і нижньої мертвих точках в 1, 35 рази, а в середній частині у 1, 3 рази.

За результатами зважування побудовані гістограми результатів зважування зразків (рис.4. 4) та середнього зносу зразків в період припрацювання і появи задирок (рис. 4.5)

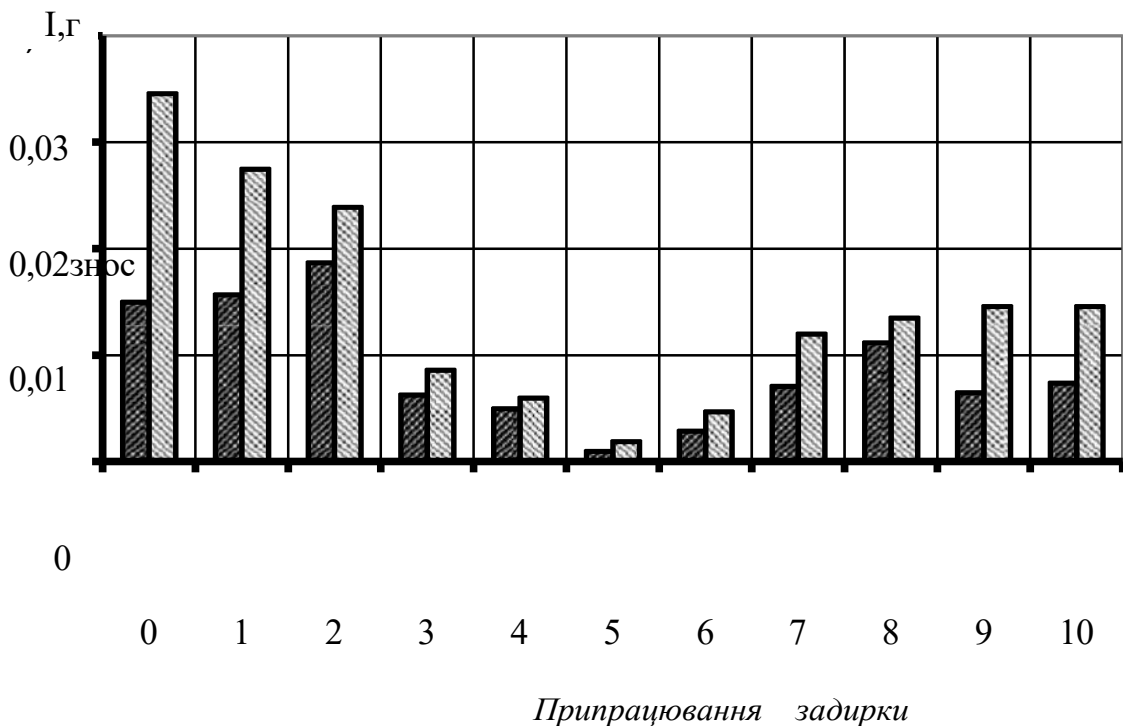


Рисунок 4.4 – Середнє значення зносу в період припрацювання і до виникнення задирок

Результати зважування показують, що зразки, поверхня яких металізована, мають менший знос, ніж зразки без міді. Найменше значення зносу мають зразки під час припрацювання до появи задирок мають зразки з кутами нахилу вставок 15°, 20°, 25°. Інтенсивність

зношення залежить від кута нахилу вставки до ширини досліджуваного зразка (рис.4.5).

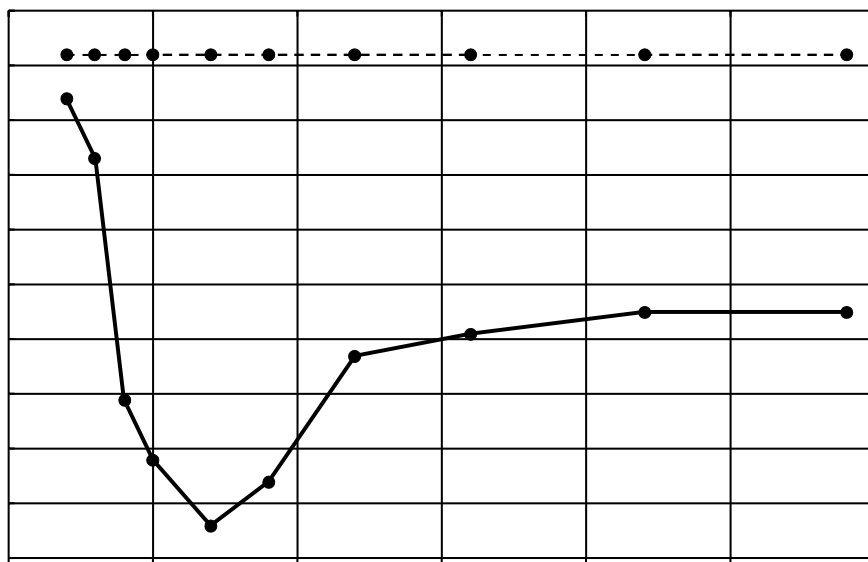


Рис. 4.5 - Інтенсивність зношування (I) дослідних зразки

Отримані результати дозволили визначити рівняння регресії:

$$I=9,8769-0,0119 \cdot \alpha-5 \cdot P+0,0002 \cdot \alpha^2-7 \alpha P-8 \cdot P^2, \quad (4.1)$$

де I – знос зразків, мг; α – кут нахилу вставки до ширини зразка, град.; P – навантаження у вузлі тертя,

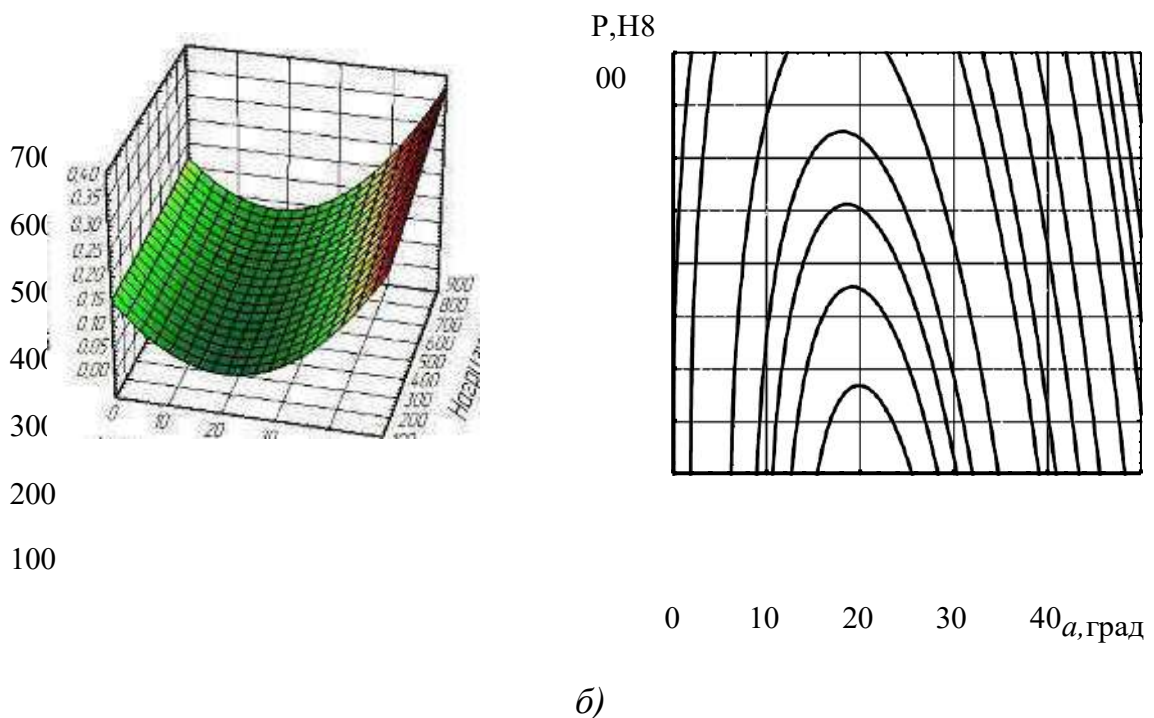


Рисунок 4.6 – а) - поверхня відгуку; б) – двомірний переріз взаємодії кута нахилу вставок і прикладеного навантаження до вузла тертя.

Зразки з поверхнею тертя металізованою міддю мають менший знос, ніж зразки без міді. Кут нахилу мідної вставки до ширини зразка сприяє зміні величини зносу зразка. Зразки з кутом нахилу мідної вставки від 15° до 25° мають мінімальну інтенсивність зношування, а з кутами від 0° до 5° – максимальну.

При нанесенні на робочу поверхню гільзи циліндрів масла змінюється інтенсивність зношування. Ефективним є нанесення мідних вставок з кутом нахилу від 15° до 20° , що забезпечує оптимальний режим відтиснення міді із вставки і намазування її на робочу поверхню гільзи циліндрів. Зразки з мідними вставками, що виконані у

вищезазначених параметрах, мають у 2, 7 рази менший знос та на 48...83% меншу інтенсивність зношування.

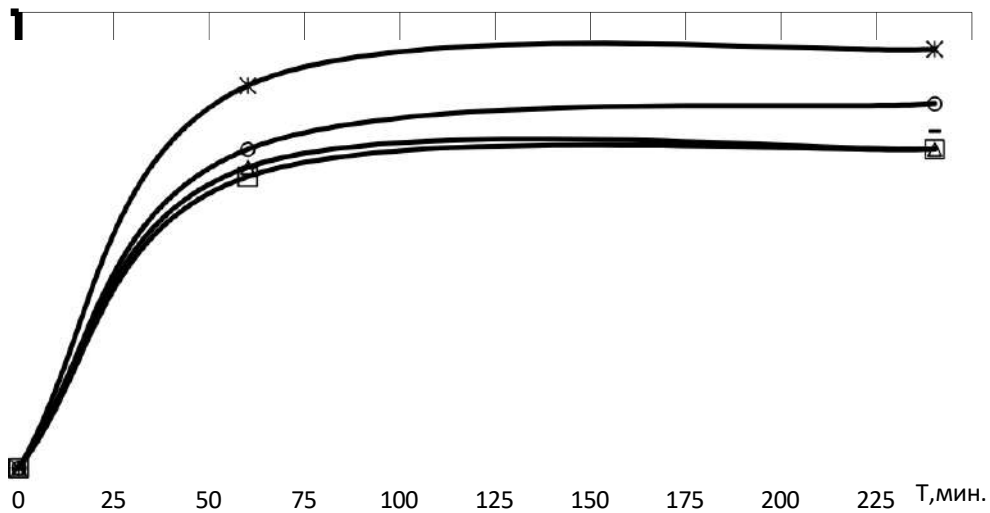
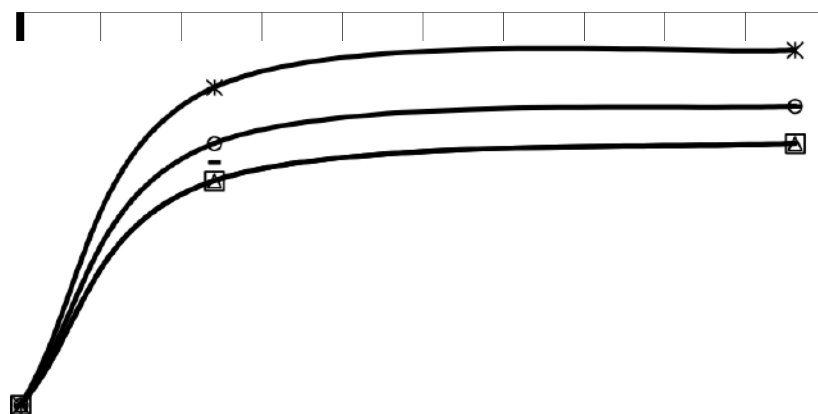


Рисунок 4.7 – Інтенсивність переносу міді на робочу поверхню тертя під час припрацювання.

Дослідження пари тертя «ролик-колодка» на машині виявили формування на поверхнях тертя колодок шару металу. Склад металу досліджено на дифракційному аналізаторі БАРС-3. (рис. 4.7, 4.8).

Знос, %



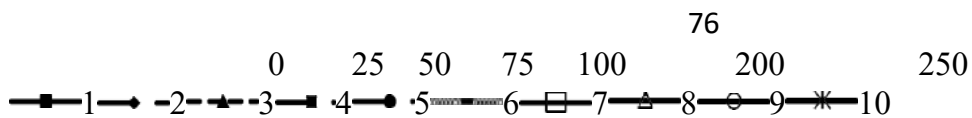


Рисунок 4.8 – Залежність переносу міді на робочу поверхню тертя гільзи від часу випробувань

Отримані результати показали, що формування мідної плівки на поверхні зразків відбувається з поступовим і сталим збільшенням під час роботи. На не міднених зразках перенос міді має місце тільки в перші дві години роботи, після чого процес стабілізується, або навіть зупиняється. Результати дозволили отримати таке рівняння регресії :

$$I = 25,068 - 0,0136 \cdot \alpha - 0,0016 \cdot S + 0,0003 \cdot \alpha^2 - 5 \cdot \alpha \cdot S - 6 \cdot S^2, \quad (4.2)$$

де I – знос зразків, мг ; α – кут нахилу вставки до ширини зразка, град; S – площа покриття робочої поверхні зразка міддю, %.

Отже, згідно результатам, чим більша площа покриття робочої поверхні тертя міддю із вставок , тим нижчим є знос. Максимальне покриття робочої поверхні міддю забезпечується при кутах нахилу до ширини зразка в інтервалі $10^\circ \dots 20^\circ$ (рис 4.9).

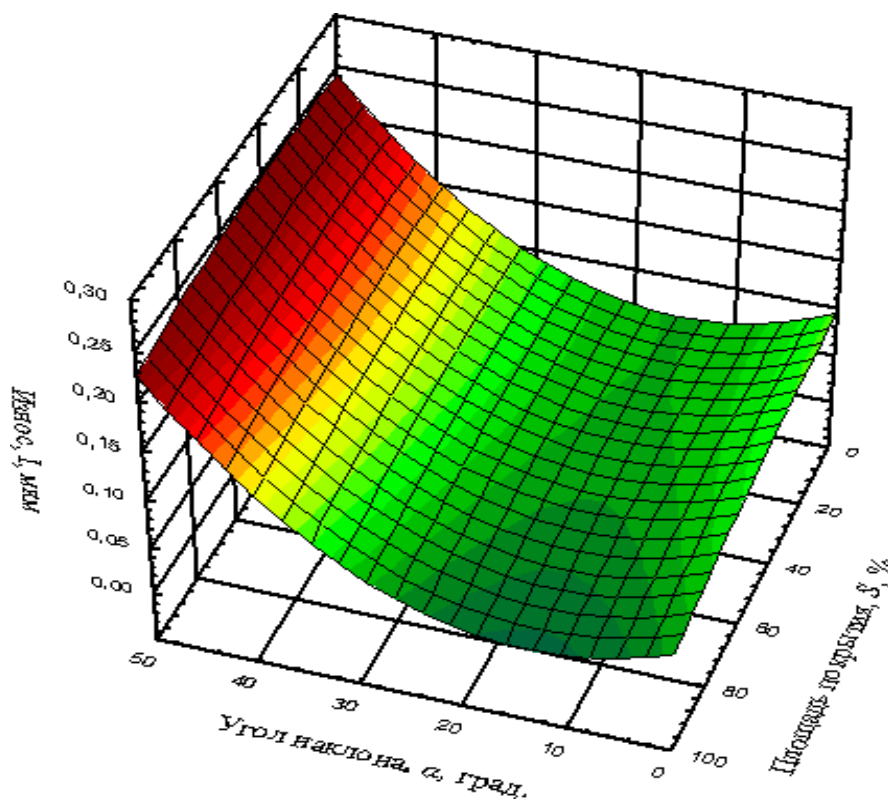


Рисунок 4.9 – Поверхня відгуку

Максимальна площа покриття поверхні тертя міддю складає 84...86% і забезпечується при кутах нахилу мідних вставок до ширини зразка в межах 10... 20 °.

4.5. Результати досліджень гільзи циліндрів на міцність

Для визначення впливу еліптичних і синусоїдальних канавок, заповнених міддю, на міцність гільзи циліндрів проведені гідростатичні і гідродинамічні випробування (рис. 4.10). Під час випробувань виявлено, що зміни геометричних розмірів внутрішньої поверхні гільзи залишились в межах допустимих - 0,06 мм.

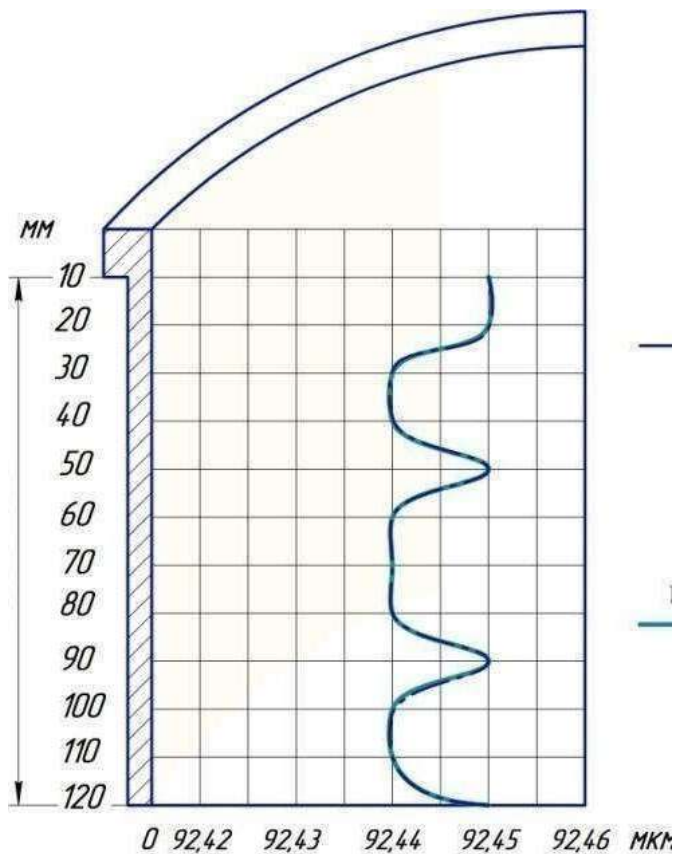


Рисунок 4.10 – Геометричні розміри металізованої гільзи після гідравлічних випробувань.

Це свідчить про те, що синусоїдальні та еліптичні канавки, нарізані на внутрішній робочій поверхні гільзи циліндрів і заповнені міддю, не викликають послаблення і не впливають на міцність металізованої гільзи.

Висновки

ВИСНОВКИ

1. Після наплавлення міді на внутрішню робочу поверхню гільзи циліндрів, на її поверхні вміст міді зростає до 0,72% , що у 1, 2 рази більше, ніж у типової.
2. Проведені дослідження показали, що формування мідної плівки на поверхні зразків відбувається з поступовим і сталим збільшенням товщини під час роботи.
3. Максимальна площа покриття поверхні тертя міддю складає 84...86% і забезпечується при кутах нахилу мідних вставок до ширини зразка в межах 10... 20 °.
4. Сумарний знос металізованих гільз у 1, 3 рази менший, ніж у типових (115 мкм проти 149 мкм у типових).
5. При використанні металізованих гільз циліндрів покращилась ефективність роботи двигунів внутрішнього згорання. Витрати палива на 100 км шляху зменшились на 4,5 %.
6. Середній сумарний знос металізованих гільз зменшився у 3,4 рази, механічні втрати в двигуні зменшились на 11, 9%.

Література

1. W. Dal'Maz Silva, J. Dulcy, J. Ghanbaja, A. Redjaïmia, G. Michel, S. Thibault, T. Belmonte. Carbonitriding of low alloy steels: mechanical and metallurgical responses. Preprint submitted to Materials Science and Engineering A. August 31, 2016. P. 1-11.

2. Ольга Дробот, Світлана Підгайчук, Олег Бабак, Юрій Сидоренко.

Технологічні заходи підвищення зносостійкості поршневих кілець // Вісник Хмельницького національного університету. Том 357, № 5.1 (2025). Серія : Технічні науки. С.145 -153.