

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Розробка технології відновлення гільзи циліндра двигуна внутрішнього згоряння із застосуванням електролітичного хромування

Рівень вищої освіти: перший бакалаврський

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 132 Матеріалознавство

Освітня програма: Відновлення і технічний сервіс автомобілів

Шифр: КРБМТВА 26. 22450. 000 ПЗ

Виконав: студент 4 курсу,
група МТВАз-22-1



Владислав РУДИЙ

Керівник, д.т.н., професор



Олександр ДИХА

Нормоконтролер, к.т.н., доцент



Олег БАБАК

До захисту допускаю:
завідувач кафедри ТАМ



Олександр ДИХА

10 06 2026 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: Інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра: трибології, автомобілів та матеріалознавства
Рівень вищої освіти: перший бакалаврський
Галузь знань: 13 Механічна інженерія
Спеціальність: 132 Матеріалознавство
Освітня програма: Відновлення та технічний сервіс автомобілів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТАМ
Олександр ДИХА

" 15" квітня 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Рудий Владислав Вікторович

1. Тема роботи: **Розробка технології відновлення гільзи циліндра двигуна внутрішнього згорання із застосуванням електролітичного хромування**

Керівник роботи: Диха Олександр Володимирович, д.т.н., проф.

Затверджено наказом університету від 20.01.2026 р. № 7

2. Строк подання студентом роботи на кафедру: 15.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи:

- 1) Дані про будову ЦПГ ДВЗ
- 2) Технічні умови ремонту гільз циліндрів
- 3) Матеріали переддипломної практики.
- 4) Нормативно – технологічна документація
- 5) Результати літературного огляду і патентного пошуку.

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

1. Аналіз умов роботи циліндро-поршневої групи двз
2. Діагностика технічного стану двигуна і заміна його деталей
3. Технологія відновлення гільзи циліндра двигуна
4. Заходи з техніки безпеки при хромуванні деталей

5. Консультанти розділів роботи

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

6. Дата видачі завдання: 20 квітня 2026р.


КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз умов роботи циліндро-поршневої групи двз	1.05.2026	
2	Діагностика технічного стану двигуна і заміна його деталей	15.05.2026	
3	Технологія відновлення гільзи циліндра двигуна	30.05.2026	
4	Заходи з техніки безпеки при хромуванні деталей	10.06.2026	

Студент

 Владислав РУДИЙ

Керівник кваліфікаційної роботи

 Олександр ДИХА

РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки – 68 сторінок, кількість рисунків - 15, таблиць - 5, додатків - 1, кількість джерел згідно із переліком посилань - 10.
Студент гр. МТВАз-22-1 Рудий В.В.





Тема «Розробка технології відновлення гільзи циліндра двигуна внутрішнього згоряння із застосуванням електролітичного хромування»

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання підвищення довговічності гільзи циліндра двигуна внутрішнього згоряння шляхом відновлення її робочої поверхні. Проведено аналіз умов експлуатації деталі та основних механізмів зношування, серед яких домінують контактномне та абразивне зношування. Досліджено сучасні методи відновлення поверхонь деталей та обґрунтовано доцільність застосування електролітичного хромування як ефективного способу підвищення зносостійкості. Розроблено технологічний процес відновлення гільзи циліндра, що включає підготовку поверхні, нанесення хромового покриття та фінішну механічну обробку методами шліфування і хонінгування. Визначено основні параметри технологічного процесу та обрано необхідне обладнання. Показано, що запропонована технологія забезпечує відновлення геометричних параметрів деталі, покращення трибологічних характеристик і підвищення ресурсу роботи гільзи циліндра. Отримані результати можуть бути використані в умовах ремонтного виробництва.

Ключові слова: гільза циліндра, відновлення деталей, електролітичне хромування, зносостійкість, трибологія, хонінгування, шліфування, циліндропоршнева група

Зміст

ВСТУП	6
1 АНАЛІЗ УМОВ РОБОТИ ЦИЛІНДРО-ПОРШНЕВОЇ ГРУПИ ДВЗ.....	9
1.1 Основні механізми та системи двигуна.....	9
1.2 Циліндро-поршнева група двигуна	15
1.3 Система мащення.....	20
1.4 Визначення сил і контактного тиску у вузлі тертя.....	22
2 ДІАГНОСТИКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДВИГУНА І ЗАМІНА ЙОГО ДЕТАЛЕЙ.....	25
2.1 Загальний опис діагностики технічного стану двигуна.....	25
2.2 Контрольний огляд циліндро-поршневої групи.....	29
2.3 Перевірка компресії в циліндрах двигуна.....	32
2.4 Діагностика поршневих кілець.....	35
3 ТЕХНОЛОГІЯ ВІДНОВЛЕННЯ ГІЛЬЗИ ЦИЛІНДРА ДВИГУНА.....	37
3.1 Аналіз технічних умов на відновлення поверхні деталі і методи їх забезпечення.....	37
3.2 Розробка технологічного процесу відновлення деталі.....	39
3.3 Відновлення поверхні хромуванням.....	43
3.4 Механічна обробка після відновлення поверхні.....	52

					КРЕМТВА 26. 22450. 000 ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розробка технології відновлення гільзи циліндра двигуна внутрішнього згоряння із застосуванням електролітичного хромування			Літ.	Аркуш	Аркушів		
Розроб.	Рудий										4	70
Перевір.	Диха							ХНУ,				
Н.контр.	Бабак							гр. МТВАз-22-1				
Затвер	Диха											

3.5	Термообробка.....	57
3.6	Кінцеві методи обробки відновленої поверхні.....	58
4	Заходи з техніки безпеки при хромуванні деталей.....	62
	Висновки.....	67
	Список використаних джерел.....	68
	Додатки	

					КРБМТВА 26. 22450. 000 ПЗ	Ст.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		5

Вступ

Сучасні дослідження в галузі електролітичного хромування спрямовані на підвищення експлуатаційних характеристик покриттів, зниження їх токсичності та оптимізацію технологічних параметрів процесу.

У роботах, присвячених застосуванню хромування, відзначається, що цей метод є одним із найбільш ефективних для підвищення зносостійкості та корозійної стійкості деталей машин. Хромові покриття характеризуються високою твердістю, низьким коефіцієнтом тертя та значною довговічністю, що зумовлює їх широке використання у вузлах тертя [5].

Разом із тим традиційні технології, що базуються на використанні шестивалентного хрому, мають суттєві недоліки, пов'язані з високою токсичністю електролітів і їх негативним впливом на довкілля. У сучасних дослідженнях підкреслюється необхідність переходу до більш екологічно безпечних технологій, зокрема до застосування тривалентного хрому [6, 7].

Дослідження показують, що покриття, отримані з електролітів тривалентного хрому, можуть забезпечувати високі трибологічні характеристики. Зокрема, відзначається підвищена зносостійкість і достатній рівень мікротвердості, що робить такі покриття перспективними для практичного застосування [1].

Важливим фактором, що визначає властивості покриття, є густина струму. Встановлено, що її зміна суттєво впливає на структуру осадженого шару, його щільність та експлуатаційні характеристики. Збільшення густини струму сприяє формуванню більш щільної та зносостійкої структури покриття [2].

У роботах, присвячених трибологічним дослідженням, встановлено, що механізм зношування покриттів значною мірою залежить від їх мікроструктури, пористості та адгезії до основи. Високоякісні покриття демонструють підвищену стійкість до абразивного та адгезійного зношування [3].

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Окремий напрям досліджень пов'язаний із пошуком альтернатив хромовим покриттям. У ряді робіт зазначається, що, незважаючи на розвиток нових матеріалів, хромові покриття залишаються еталонними за поєднанням твердості, зносостійкості та вартості [4].

Механізм формування хромових покриттів також детально досліджений у літературі. Встановлено, що процес електроосадження супроводжується утворенням характерної мікроструктури, яка включає мікротріщини. Ці особливості суттєво впливають на експлуатаційні властивості покриття, зокрема його зносостійкість і здатність утримувати мастильний матеріал [8].

У сучасних роботах також розглядаються нові підходи до підвищення ефективності процесу хромування. Зокрема, використання спеціальних добавок до електроліту дозволяє покращити якість покриття, зменшити дефектність і підвищити рівномірність осаження шару [9].

Крім того, фундаментальні основи процесу електроосадження металів детально викладені у роботах загального характеру, де розглядаються закономірності переносу заряду, масообміну та формування покриттів [10].

Проведений аналіз літературних джерел показує, що електролітичне хромування залишається одним із найбільш ефективних методів підвищення зносостійкості деталей. Водночас сучасні дослідження спрямовані на вдосконалення технології з урахуванням екологічних вимог, оптимізацію режимів осаження та покращення трибологічних характеристик покриттів. Це підтверджує актуальність подальших досліджень у даному напрямі, особливо для відновлення деталей циліндропоршневої групи.

Мета роботи

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення довговічності та зносостійкості гільзи циліндра двигуна внутрішнього згорання шляхом розробки та обґрунтування ефективного технологічного процесу її відновлення із застосуванням електролітичного хромування та подальшої фінішної обробки.

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Завдання роботи

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести аналіз умов роботи гільзи циліндра та основних механізмів її зношування в процесі експлуатації двигуна.
2. Дослідити існуючі методи відновлення поверхонь деталей і обґрунтувати доцільність застосування електролітичного хромування для гільзи циліндра.
3. Розробити технологічний процес відновлення гільзи циліндра з визначенням послідовності операцій, обладнання та режимів обробки.
4. Оцінити ефективність запропонованої технології за показниками якості поверхні, зносостійкості та можливості практичного впровадження.

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1 АНАЛІЗ УМОВ РОБОТИ ЦИЛІНДРО-ПОРШНЕВОЇ ГРУПИ ДВЗ

1.1 Основні механізми та системи двигуна

Сучасний комбінований двигун внутрішнього згоряння являє собою складну технічну систему, до складу якої входить сукупність взаємопов'язаних механізмів, систем і функціональних вузлів. Кожен із них виконує чітко визначене призначення та забезпечує реалізацію робочого циклу двигуна, перетворення енергії палива на механічну роботу, а також підтримання надійного й довговічного функціонування агрегату в цілому.

Основу силової частини двигуна становить кривошипно-шатунний механізм. Саме він сприймає тиск газів, що виникає в циліндрах під час згоряння паливоповітряної суміші, та перетворює зворотно-поступальний рух поршня на обертання колінчастого вала. До складу цього механізму входять поршень із супутніми елементами, шатун, колінчастий вал і маховик. У деяких конструкціях можуть застосовуватися й спеціальні компоновання, зокрема крейцкопфні схеми. Робота кривошипно-шатунного механізму безпосередньо визначає силові, динамічні та експлуатаційні характеристики двигуна.

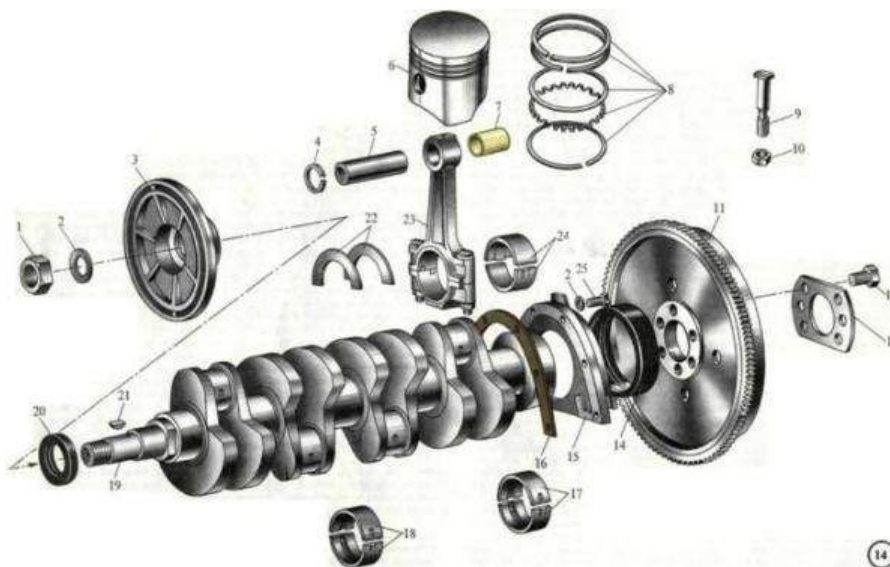


Рисунок 1.1 – Схема кривошипно-шатунного механізму двигуна

						КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			9

Нерухому основу двигуна формує його остов, або корпусна частина. Вона виконує роль несучої системи, на якій закріплюються та в межах якої функціонують рухомі деталі. До елементів остова належать фундаментна рама або піддон, картер, блок циліндрів, а також головка циліндрів. Саме корпусні елементи забезпечують необхідну жорсткість конструкції, взаємне розташування деталей та сприйняття експлуатаційних навантажень.

Для забезпечення подачі свіжого заряду до циліндрів і підвищення ефективності наповнення застосовуються продувочні та наддувні пристрої. До них належать продувочні насоси, наддувочні агрегати, ресивери, повітроохолоджувачі, фільтри та елементи приводу. У двотактних двигунах ці пристрої мають особливе значення, оскільки від якості продувки значною мірою залежить повнота очищення циліндрів від відпрацьованих газів і наступне наповнення робочою сумішшю.

Важливу роль у функціонуванні двигуна відіграє механізм газорозподілу. Його призначення полягає в організації своєчасного впуску свіжого заряду та випуску продуктів згоряння. До складу механізму газорозподілу входять клапани або інші газорозподільні органи, а також деталі приводу: розподільний вал, штовхачі, штанги, коромисла, шестерні. Узгоджена робота цих елементів забезпечує правильну фазу газообміну, що безпосередньо впливає на потужність, економічність і екологічні показники двигуна.

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

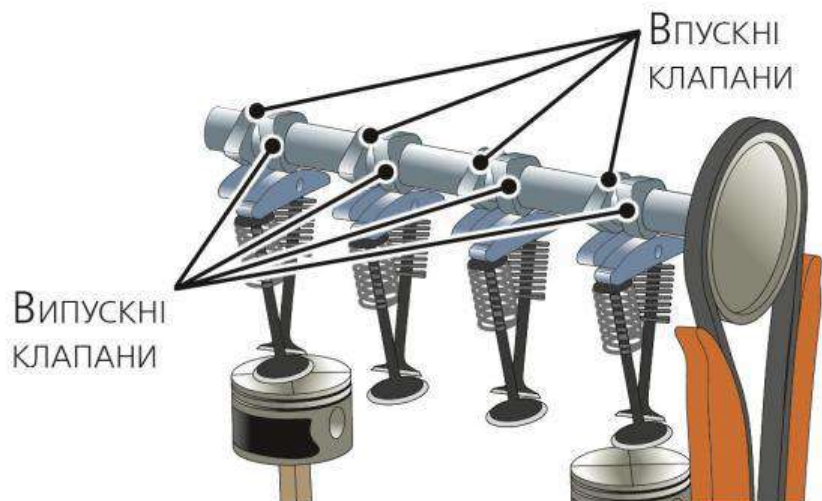


Рисунок 1.2 – Узагальнена схема газорозподільного механізму

Система живлення служить для зберігання палива, його очищення, подачі та підготовки до згорання. У дизельних двигунах до її складу зазвичай входять паливний бак, підкачувальний насос, фільтри, паливопроводи, насос високого тиску та форсунки. У двигунах із зовнішнім сумішоутворенням до системи живлення входять паливний бак, насос, трубопроводи, фільтри та карбюратор або змішувальний пристрій. Конструкція та принцип роботи системи живлення значною мірою залежать від типу двигуна й способу утворення робочої суміші.

Система мащення призначена для подачі мастильного матеріалу до поверхонь тертя, зниження втрат на тертя, зменшення інтенсивності зношування та відведення частини теплоти від навантажених деталей. До її основних складових належать масляний насос, фільтри, маслозбірники, канали подачі оливи, а в окремих випадках і маслоохолоджувачі. Надійна робота системи мащення є обов'язковою умовою довговічності двигуна, оскільки недостатнє змащування призводить до прискореного спрацювання та можливого аварійного руйнування деталей.

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

утилізації теплоти відпрацьованих газів. Їх наявність залежить від типу двигуна, умов експлуатації та вимог до його функціональності.

Однією з важливих характеристик двигуна є рівномірність його роботи. Якщо крутний момент на валу змінюється надто нерівномірно, деталі трансмісії та самого двигуна зазнають ударних навантажень, що негативно впливає на їх ресурс. Не менш важливою є врівноваженість двигуна. Вона визначається тим, наскільки повно компенсуються сили та моменти інерції, що виникають під час руху деталей кривошипно-шатунного механізму. Недостатня врівноваженість зумовлює появу вібрацій, які передаються на опори, фундамент або раму машини.

У разі незадовільної врівноваженості двигун під час роботи створює додаткові коливання, що спричиняють підвищені навантаження на підшипники, послаблення кріплень, пошкодження трубопроводів, а також погіршення точності показів контрольно-вимірювальних приладів. Окрім цього, вібрації негативно позначаються на загальній експлуатаційній надійності установки та комфорті її обслуговування.

Особливо відчутними нерівномірність ходу та невірноваженість є в одноциліндрових чотиритактних двигунах. Частково зменшити ці недоліки можна за допомогою маховика, однак такий спосіб придатний переважно для стаціонарних двигунів, що працюють за відносно сталого режиму. Для транспортних двигунів застосування масивного маховика небажане, оскільки це збільшує масу та габарити силової установки, а також погіршує її здатність швидко змінювати частоту обертання.

З цієї причини в транспортній техніці широкого поширення набули багатоциліндрові двигуни. Збільшення кількості циліндрів дає змогу підвищити рівномірність обертання колінчастого вала, зменшити потребу у великому маховику та покращити врівноваженість конструкції. За раціонального розташування колін вала сили інерції можуть частково або

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

майже повністю компенсуватися, що позитивно впливає на роботу підшипників і знижує вібраційну навантаженість двигуна.

Порядок роботи циліндрів також суттєво впливає на характер обертання валу. Послідовність чергування робочих тактів визначає динаміку двигуна, рівномірність передавання крутного моменту та загальну плавність його функціонування. Саме тому вибір порядку роботи циліндрів є важливим етапом проектування багатоциліндрових двигунів.

Ще однією перевагою багатоциліндрових конструкцій є можливість підвищення частоти обертання двигуна. Застосування кількох циліндрів меншого діаметра замість одного великого дає змогу зменшити масу рухомих деталей, знизити інерційні навантаження та підвищити потужність агрегату. Це особливо важливо для транспортних засобів, де значення мають компактність, питома потужність і динамічні характеристики.

За компонованням циліндрів багатоциліндрові двигуни поділяються на рядні, V-подібні та зіркоподібні. У рядних двигунах циліндри розміщуються в один або кілька рядів уздовж колінчастого вала. Найпоширенішими є однорядні схеми, а також дворядні варіанти з V-подібним чи опозитним розташуванням циліндрів. Вибір конкретного компоновання визначається призначенням двигуна, його габаритними обмеженнями, вимогами до врівноваженості та особливостями монтажу на машині.

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

СХЕМИ РОЗМІЩЕННЯ ЦИЛІНДРІВ БАГАТОЦИЛІНДРОВОГО ДВИГУНА

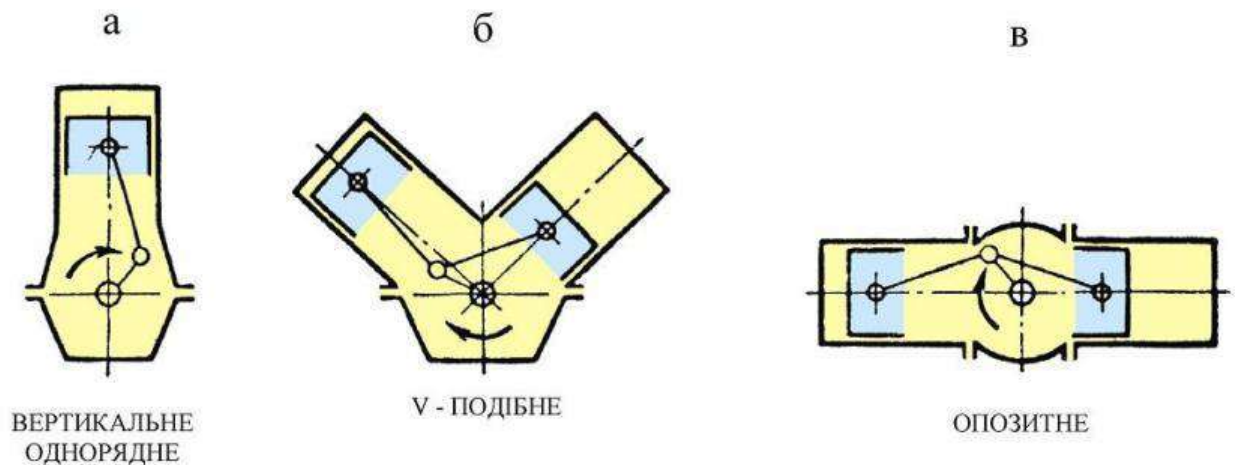


Рисунок 1.4 – Основні схеми розташування циліндрів багатociлiндрових двигунiв

1.2 Цилiндро-поршнева група двигуна

Цилiндропоршнева група двигуна внутрiшнього згорання

Цилiндропоршнева група є ключовим вузлом двигуна внутрiшнього згорання, у якому безпосередньо вiдбувається перетворення енергiї згорання паливоповітряної сумiшi на механiчну роботу. Саме в цiй частинi двигуна формується робочий тиск газiв, що передається через поршень i шатун до колiнчастого вала.

До складу цилiндропоршневої групи входять цилiндр (або гiльза), поршень, поршневi кiльця та поршневий палець. Конструкцiя та матерiали цих елементiв визначають ресурс двигуна, його тепловий стан, рiвень тертя та iнтенсивнiсть зношування.

Конструкцiя та функцiї основних елементiв

Цилiндр

Цилiндр являє собою робочу камеру, в якiй вiдбувається згорання палива та перемiщення поршня. Внутрiшня поверхня цилiндра (дзеркало)

						КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Пiдпис	Дата			15

повинна мати високу точність обробки та спеціальну мікрогеометрію (хонінгування), що забезпечує утримання мастила.

Основні функції циліндра:

- забезпечення герметичності робочого об'єму;
- сприйняття тиску газів;
- відведення теплоти;
- напрямлення руху поршня.

Поршень

Поршень виконує роль рухомого елемента, який сприймає тиск газів і передає його на шатун. Він працює в умовах високих температур і змінних навантажень, тому повинен мати малу масу та високу теплопровідність.

Основні елементи поршня:

- днище (камера згоряння);
- компресійна частина (канавки під кільця);
- спідниця (напрямна частина).

Поршневі кільця

Поршневі кільця встановлюються в канавках поршня і виконують три основні функції:

- ущільнення камери згоряння;
- регулювання товщини масляної плівки;
- відведення теплоти від поршня до циліндра.

Розрізняють:

- компресійні кільця;
- маслоснімні кільця.

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16



Рисунок 1.5 – Конструкція поршня та поршневих кілець

ПОРШЕВІ ТА РОЗПОДІЛЕННЯ ТИСКУ ГАЗІВ НА ПОРШНЕВІ КІЛЬЦЯ

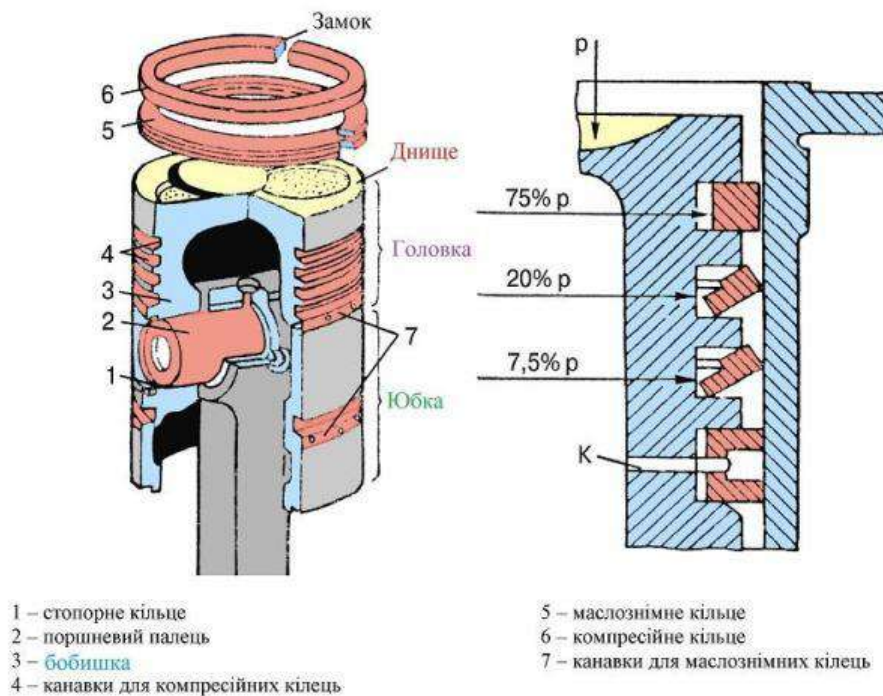


Рисунок 1.6 – Розподіл тиск в ЦПГ

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Таблиця 1.3 – Матеріали поршневих кілець

Тип кільця	Матеріал	Властивості	Особливості
Компресійні	Легований чавун	Зносостійкість	Висока герметичність
Компресійні (верхні)	Сталь з покриттям Cr	Жаростійкість	Робота при високій температурі
Маслознімні	Сталь	Пружність	Ефективне зняття масла
Покриття	Хром, молібден	Антифрикційність	Зменшення зносу

Особливості роботи та зношування

Циліндропоршнева група працює в умовах:

- температур до 2000 °С (у камері згоряння);
- високих контактних навантажень;
- граничного та змішаного тертя.

Основні види зношування:

- абразивне (частинки зносу);
- адгезійне (залипання поверхонь);
- корозійне (вплив продуктів згоряння);
- втомне (циклічні навантаження).

Для підвищення ресурсу застосовують:

- хонінгування циліндрів;
- покриття (Cr, Mo, DLC);
- оптимізацію складу матеріалів;
- застосування присадок до мастил.

Циліндропоршнева група є визначальним вузлом двигуна внутрішнього згоряння, який працює в найбільш напружених умовах. Раціональний вибір матеріалів, геометрії та технологій обробки дозволяє

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

суттєво підвищити зносостійкість, зменшити втрати на тертя та забезпечити довговічність двигуна.

1.3 Система мащення

Система змащення призначена для розміщення, очищення й охолодження масла, подачі очищеного й охолодженого масла до трущихся деталей двигуна з метою зменшення їхнього тертя, зношування й нагрівання й видалення продуктів, що утворюються при цьому, зношування [2]. За принципом подачі масла до трущихся поверхонь система змащення комбінована: частина трущихся деталей змазується під тиском, частина - розбризкуванням, частина - самопливом. Масло під тиском подається до найбільш навантажених тертьових деталей: корінним і шатунним підшипникам колінчатого вала, підшипникам розподільного вала, втулкам коромисел, гідromуфті приводу вентилятора, паливному насосу високого тиску й компресору. Передбачено пульсуючу подачу масла до верхніх сферичних опор штанг штовхальників. Інші трущіся поверхні деталей змазуються розприскуванням і стікаючого з різних поверхонь маслом. Основна частина масла розміщується в піддоні двигуна ("мокрый картер").

Циркуляція масла в системі (рисунок 1.3) здійснюється масляним насосом при номінальному тиску 400...550 кПа (4,0...5,5 кгс/см²) і припустимому його зниженні до 150 кПа (1,5 кгс/см²) на малих частотах обертання колінчатого вала. Очищення масла спочатку відбувається в сітчастому фільтрі маслоприймача, потім, у повнопоточному фільтрі тонкого очищення й у паралельно включеному відцентровому фільтрі додаткового очищення масла. Охолодження масла здійснюється в радіаторі потоком повітря, створюваним вентилятором системи охолодження. Вентиляція картера (видалення відпрацьованих газів і пар палива, що проникають у

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

картер двигуна й погіршують якість масла) відбувається через сапун лабіринтового типу.

Контроль за станом системи змащення здійснюється по показчику тиску й лампі, що сигналізує про аварійне падіння тиску масла. Передбачено установку лампи, що сигналізує про засмічення фільтра гінкого очищення масла.

У системі змащення використовується: в літку при температурі вище плюс 5 °С масло М-10М₂К, узимку при температурі нижче плюс 5 °С масло М-8М₂К. Замінник (всесезонно) - масло Дв-АСЗп-10В.

Система змащення включає піддон двигуна, маслозаборник, насос, полнопоточний і відцентровим фільтри очищення масла, радіатор, заливний патрубок, показчик рівня масла, сапун, контрольно-вимірювальні прилади, магістралі й трубопроводи.

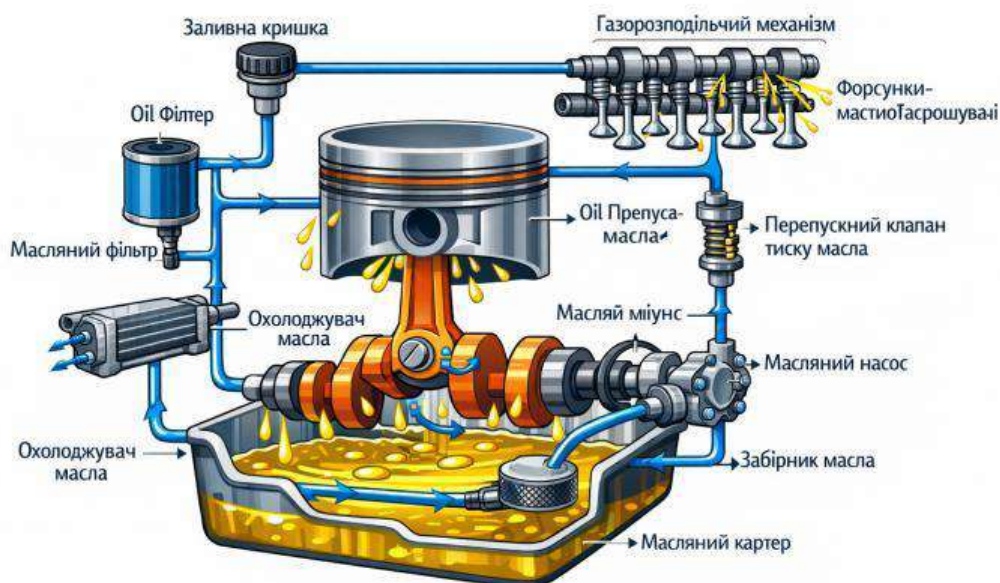


Рисунок 1.7 – Система мащення двигуна

						КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			21

Система змащення включає піддон двигуна, маслозаборник, насос, полнопоточний і відцентровим фільтри очищення масла, радіатор, заливний патрубок, показчик рівня масла, сапун, контрольно-вимірювальні прилади, магістралі й трубопроводи.

1.4 Визначення сил і контактного тиску у вузлі тертя

Під час проєктування та аналізу деталей машин важливим етапом є оцінка напруженого стану матеріалу. У цьому контексті розрізняють фактичні напруження, що виникають у процесі роботи, граничні характеристики матеріалу, визначені експериментально, а також допустимі значення, які враховують запас міцності.

Фактичні напруження формуються під дією робочих навантажень і залежать від умов експлуатації. Граничні характеристики матеріалу визначаються під час випробувань і характеризують стан, при якому матеріал починає руйнуватися або зазнає значних пластичних деформацій. Допустимі напруження приймаються з урахуванням коефіцієнтів запасу та забезпечують надійну і безпечну роботу конструкції.

Характер зміни напружень у часі може бути різним: статичним, пульсуючим або змінним. Це суттєво впливає на довговічність деталей, особливо у вузлах тертя, де діють циклічні навантаження.

Контакт кільця з гільзою циліндра

Однією з важливих задач є оцінка умов контакту між поршневими кільцями та гільзою циліндра. У процесі роботи двигуна на кільця діє тиск газів, що утворюється в камері згоряння, а також власна пружність кілець.

Встановлено, що найбільше навантаження припадає на верхнє компресійне кільце, тоді як на нижні кільця діє значно менший тиск. Це пояснюється поступовим зниженням тиску газів у напрямку від камери згоряння до картера.

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ДІАГНОСТИКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДВИГУНА І ЗАМІНА ЙОГО ДЕТАЛЕЙ

2.1 Загальний опис діагностики технічного стану двигуна

Діагностика технічного стану двигуна внутрішнього згорання є важливим етапом експлуатації та обслуговування транспортних засобів. Її основною метою є визначення фактичного стану вузлів і агрегатів двигуна без його повного розбирання, а також виявлення несправностей на ранніх стадіях їх розвитку.

Сучасні методи діагностики дозволяють оцінити працездатність двигуна за непрямими ознаками, такими як параметри роботи, акустичні характеристики, вібрації, температурні режими та склад відпрацьованих газів. Це значно підвищує ефективність технічного обслуговування та знижує витрати на ремонт.

Основні завдання діагностики

До основних завдань діагностики двигуна належать:

- визначення технічного стану без розбирання;
- виявлення несправностей і їх локалізація;
- оцінка залишкового ресурсу;
- контроль ефективності роботи систем двигуна;
- прогнозування відмов.

Класифікація методів діагностики

Методи діагностики умовно поділяються на декілька груп:

1. Органолептичні методи Включають візуальний огляд, прослуховування роботи двигуна, аналіз запаху та кольору вихлопних газів.

2. Інструментальні методи Передбачають використання спеціального обладнання:

- компресометри;
- газоаналізатори;
- вібраційні датчики;

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

- тепловізори;
- діагностичні сканери.

3. Комп'ютерна діагностика Базується на зчитуванні даних із електронного блоку керування двигуном (ECU) та аналізі кодів помилок.



Рисунок 2.1 – Загальна схема діагностики двигуна

своєчасно виявляти дефекти, оцінювати ступінь зношування та забезпечувати ефективну і безпечну роботу двигуна.

2.2 Контрольний огляд циліндро-поршневої групи

У гільзи циліндра зношується внутрішня поверхня, на якій можуть бути задираки, глибокі подряпини, а також забоїни і заусенці по торцях. Окремі забоїни або ризики на дзеркалі циліндра можна зачищати шкіркою, зернистістю 80 - 120. При значному зносі робочої поверхні гільзи її розточують під ремонтний розмір. Після розточування дзеркало циліндра підлягає обробним операціям, оскільки чистота поверхні дзеркала повинна бути не менш дев'ятого класу. В даний час як обробні операції застосовують хонінгування, розкочування, притирання, точне розточування, шліфування, поліровку і прошивку.

Щільна посадка гільз циліндрів і герметичність їх водяної сорочки забезпечуються установкою в нижній частині гільз двох гумових кілець (на двигунах ЗІЛ-130 і) або мідних кільцевих прокладок (на двигунах ЗМЗ-53, ЗМЗ-66). При цьому прокладки підбирають з таким розрахунком, щоб гільза виступала над площиною блоку на 0,02—0,09 мм в двигунах ЗМЗ-53А, ЗМЗ-66 або 0,07—0,16 мм для двигуна .

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

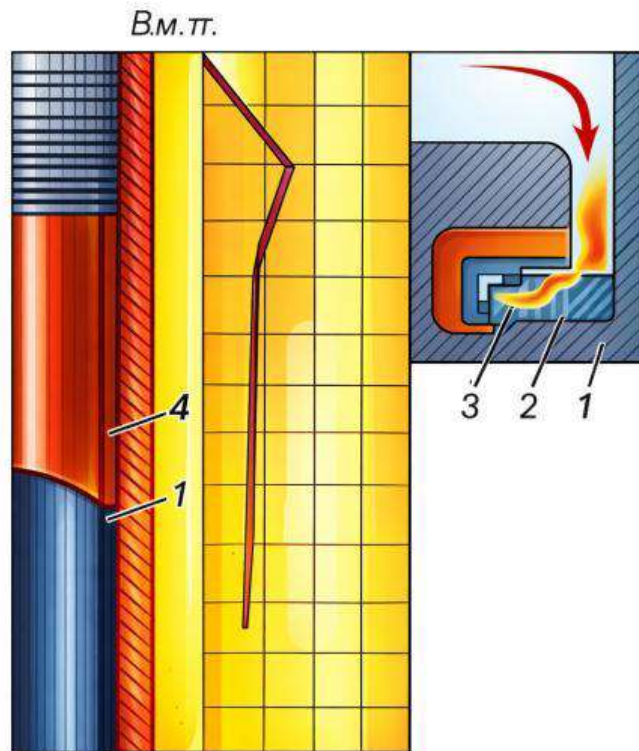


Рисунок 2.4 – Характер зносу циліндра двигуна (по висоті):

1 — циліндр двигуна (гільза циліндра); 2 — коротка зносостійка гільза циліндра; 3 — верхнє компресійне кільце; 4— поршень.

Стан поршневих кілець в значній мірі визначає технічний стан двигуна.

У міру зносу кілець і збільшення зазорів між ними і поршнем зростає їх насосна дія. При цьому збільшується надходження масла в камери згорання, унаслідок чого стають великими втрати масла на чад, а також збільшується прорив газу в картер двигуна, знижуються компресія в циліндрах двигуна і його потужність. В цілях зниження шуму в роботі двигуна, що виникає в результаті похитування поршня, коли він знаходиться

						КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			30

у в. м. т., а також для зменшення тиску спідниці поршня на стінку дзеркала циліндра вісь бобишки 3 для установки поршневого пальця у двигуна ЗІЛ-130 зміщена щодо осі поршня на 1,6 мм вліво (проти ходу колінчастого валу, якщо подивитися на двигун спереду), тобто у бік дії бічної сили, що притискує поршень до циліндра при робочому ході. У двигуна ЗМЗ-53 величина зсуву осі рівна 1,5 мм. У двигуні центр тороїдного поглиблення на днищі поршня, де концентрується сила тиску газів на поршень, зміщений щодо осі поршневого пальця на 5 мм.

У міру зносу поршневих кілець і стінок циліндрів тиск в циліндрах двигуна (його компресія) знижується, одночасно збільшується прорив газів в картер двигуна, унаслідок чого вигоряє масляна плівка на стінках циліндрів, підвищується тиск в картері двигуна, і масло з нього витікає назовні через сальники і нещільність кріплення. Унаслідок контакту з гарячими газами масло псується. Гази окисляють, забруднюють і нагрівають картерне масло, знижуючи його здатність, що мастить.

При зниженні швидкості руху поршня 4 (див. Рис. 2.2) у в. м. т. створюється між поршневими кільцями і дзеркалом циліндра клиновидний масляний шар втрачає несучу здатність, що полегшує видавлювання масла. Крім того, при знаходженні поршня у в. м. т. (початок робочого ходу) тиск газів, проникаючих між верхнім поршневим кільцем 3 і вертикальною стінкою поршневої канавки, досягає свого максимального значення, і мастило між кільцем і дзеркалом циліндра видавлюється.

В результаті взаємодії газів із стінкою циліндра, незахищеною масляною плівкою, відбувається її корозійне руйнування. Таким чином, найбільшому зносу піддається верхня частина циліндра, характер зносу якої по висоті показаний на рис.1.3. В той же час унаслідок збільшення зазорів між поршнями і циліндрами і насосної дії поршневих кілець збільшується надходження масла в циліндри двигуна, що приводить до збільшення чаду масла і нагароутворення на поршнях, клапанах і в камерах згорання.

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

2.3 Перевірка компресії в циліндрах двигуна

Перевірка компресії є одним із найбільш інформативних і доступних методів діагностики технічного стану циліндропоршневої групи двигуна внутрішнього згоряння. Вона дозволяє оцінити герметичність камери згоряння, ступінь зношування деталей та виявити несправності без розбирання двигуна.

Компресія характеризує максимальний тиск, який створюється в циліндрі під час прокручування двигуна стартером при закритих клапанах. Значення цього параметра безпосередньо залежить від стану поршневих кілець, гільзи циліндра, клапанів і ущільнень.

Підготовка до проведення вимірювань

Перед проведенням перевірки необхідно забезпечити однакові умови для всіх циліндрів. Для цього двигун попередньо прогривають до робочої температури, що дозволяє отримати більш достовірні результати. Далі відключають систему запалювання або подачі палива, щоб запобігти запуску двигуна під час вимірювання.

Свічки запалювання (або форсунки у дизельних двигунах) викручують, що зменшує опір прокручуванню та забезпечує однакову швидкість обертання колінчастого вала. Дросельну заслінку відкривають повністю для забезпечення максимального надходження повітря в циліндри.

Методика вимірювання компресії

Вимірювання здійснюється за допомогою компресометра, який встановлюється у свічковий отвір відповідного циліндра. Після цього двигун прокручується стартером протягом декількох секунд, поки показники приладу не стабілізуються.

Процедура повторюється для кожного циліндра окремо. Важливо, щоб умови вимірювання залишалися однаковими, оскільки це впливає на точність результатів.

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Аналіз результатів вимірювання

Оцінка технічного стану двигуна проводиться за такими критеріями:

- Абсолютне значення компресії — порівнюється з нормативними значеннями для конкретного двигуна;
- Рівномірність показників — різниця між циліндрами не повинна перевищувати допустимі межі;
- Динаміка наростання тиску — швидкість зростання показів може вказувати на характер несправності.

Зниження компресії може свідчити про:

- знос або залягання поршневих кілець;
- зношування або задири гільзи циліндра;
- негерметичність клапанів;
- пошкодження прокладки головки блоку циліндрів.

Додаткова діагностика (метод «масляної проби»)

Для уточнення причин зниження компресії застосовують так звану «масляну пробу». У циліндр через свічковий отвір вводиться невелика кількість моторного масла, після чого вимірювання повторюється.

Інтерпретація результатів:

- якщо компресія суттєво зростає — причина полягає у зношуванні поршневих кілець або циліндра;
- якщо значення майже не змінюється — ймовірна негерметичність клапанів або пошкодження прокладки.

Особливості перевірки різних типів двигунів

У бензинових двигунах перевірка виконується через отвори свічок запалювання, тоді як у дизельних двигунах — через отвори форсунок або спеціальні адаптери. При цьому у дизельних двигунах значення компресії значно вищі, що потребує використання відповідних приладів.

Типові похибки та фактори впливу

На результати вимірювання можуть впливати:

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- якщо стисле повітря виходить через карбюратор або глушник, то клапани не щільно прилягають до сідел;
- якщо стисле повітря виходить через сапун, то зношена циліндро-поршнева група;
- якщо стисле повітря виходить крізь циліндр, то пошкоджена прокладка головки блоку.

Заливка в циліндр 20 – 25 mgr. масла указує на знос стінок циліндрів, або кілець.

При перевірці компресії в дизельних двигунах використовують спеціальний компресометр. Іпользованиєм корпуси форсунки, встановлюють на місце форсунки, не знімаючи решти форсунок з циліндрів. Після цього двигун запускають і заміряють тиск в циліндрі, що перевіряється, при 500 об/мин колінчастого валу.

2.4 Діагностика поршневих кілець

Верхні компресійні кільця піддаються покриттю пористим хромом. Загальна товщина хромованого шару приблизно 0,10—0,15 мм. Товщина шару пористого хрому приблизно 0,04—0,06 мм.

Решта кілець піддається лудінню. Товщина шару луди після механічної обробки кілець 0,005—0,010 мм.

Компресійні кільця двигуна, що виготовляються із спеціального чавуну високої міцності, мають на зовнішній циліндровій поверхні кільцеві канавки, покриті оловом, верхні компресійні кільця покриваються пористим хромом.

Поршневі кільця відносяться до числа деталей двигуна, що найшвидше зношуються. Звичайно в процесі експлуатаційних ремонтів виробляється повна або часткова зміна поршневих кілець.

Причиною високого зносу поршневих кілець є важкі умови їх роботи в газовому середовищі при високих температурах. Тому найбільшому зносу

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

піддаються верхні поршневі кільця і особливо перше кільце, про що вже згадувалося. Необхідність щодо частої зміни кілець викликається тим, що при зношених кільцях робота двигуна стає неекономічною, оскільки потужність при цьому падає і збільшується витрата палива і мастила.

Знос поршневих кілець супроводжується зростанням зазора між кільцем і канавкою і втратою пружності.

При посадці кільця в калібр з внутрішнім діаметром відповідного циліндра зазор в стику повинен бути в межах значень, вказаних в табл. 2.3, і кільце не повинне давати просвіту по всьому колу.

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

3 ТЕХНОЛОГІЯ ВІДНОВЛЕННЯ ГІЛЬЗИ ЦИЛІНДРА ДВИГУНА

3.1 Аналіз технічних умов на відновлення поверхні деталі і методи їх забезпечення

Твердість робочої поверхні гільзи циліндра повинна знаходитись у межах 42–50 HRC, що забезпечує достатню зносостійкість при роботі в умовах інтенсивного тертя. Особливі вимоги висуваються до якості внутрішньої поверхні гільзи, яка формує пару тертя з поршневыми кільцями. Ця поверхня повинна характеризуватись високою геометричною точністю та малою шорсткістю.

Необхідні параметри досягаються шляхом поетапної механічної обробки, що включає шліфування та подальше хонінгування. Хонінгування дозволяє сформувати характерний мікрорельєф поверхні у вигляді перехресних рисок, який сприяє утриманню мастильного матеріалу та покращує умови тертя. Після завершення обробки точність розміру забезпечується на рівні 6-го квалітету, а шорсткість поверхні становить близько $Ra = 0,4$ мкм.

На відміну від внутрішньої поверхні, до зовнішніх поверхонь гільзи (статора) жорстких вимог не висувається. Зовнішній діаметр, як правило, виконується з точністю за полем допуску H14, а шорсткість поверхні допускається на рівні $Ra = 3,2$ мкм, що є достатнім для забезпечення монтажу та роботи в складі двигуна.

Гільза циліндра працює в умовах постійного контактного навантаження, тертя та впливу високих температур. У процесі експлуатації відбувається її поступове зношування, основним механізмом якого є контактно-втомне руйнування поверхневого шару. Зношування обумовлене багаторазовим переміщенням поршневих кілець вздовж дзеркала гільзи, що призводить до накопичення мікропошкоджень та їх подальшого розвитку.

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Гранично допустиме значення зносу гільзи, як правило, не повинно перевищувати 0,06 мм. При досягненні цього значення виникає необхідність у відновленні деталі з метою забезпечення подальшої надійної експлуатації двигуна.

У зв'язку з цим ставиться задача розробки ефективного методу відновлення гільзи, який би не лише компенсував зношення, але й забезпечив підвищення її довговічності та покращення трибологічних характеристик вузла тертя в цілому.

Одним із найбільш ефективних напрямів є нанесення зносостійких покриттів на основі хрому. Такі покриття характеризуються високою твердістю, стійкістю до абразивного та адгезійного зношування, а також добрими антифрикційними властивостями.

Отримання хромових покриттів можливе кількома технологічними способами, серед яких найбільш поширеними є:

- дугова металізація;
- плазмове напилення;
- електролітичне хромування.

Розглянемо особливості цих методів.

Процес дугової металізації здійснюється за допомогою спеціального обладнання — металізатора. У цьому процесі два металеві дроти подаються до зони електричної дуги, де вони плавляться під дією електричного струму. Розплавлений метал розпилюється потоком стисненого газу і переноситься на поверхню деталі. Висока швидкість частинок (порядку 120–300 м/с) забезпечує їх пластичне деформування при ударі, що сприяє формуванню щільного покриття.

Однак застосування цього методу для відновлення внутрішньої поверхні гільзи є ускладненим. Це пов'язано з необхідністю забезпечення строго перпендикулярного положення розпилювальної головки до оброблюваної поверхні та дотримання оптимальної відстані (120–150 мм).

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Для внутрішніх поверхонь з відносно малим діаметром (близько 130 мм) виконання цих умов є технічно складним, що негативно впливає на якість покриття.

Іншим методом є електролітичне хромування, яке базується на процесі електролізу. У водному розчині електроліту, що містить сполуки хрому (наприклад, CrO_3 та H_2SO_4), під дією електричного струму відбувається осадження хрому на поверхні деталі. Даний метод забезпечує високу адгезію покриття до основи, а також дозволяє отримати поверхні з високою твердістю та зносостійкістю.

Разом із тим, суттєвим недоліком електролітичного хромування є його екологічна небезпечність. Процес супроводжується утворенням токсичних відходів і потребує складних систем очищення та утилізації, що ускладнює його використання з точки зору сучасних екологічних вимог.

Таким чином, вибір оптимального методу відновлення гільзи циліндра повинен здійснюватися з урахуванням технологічних можливостей, експлуатаційних вимог та екологічних обмежень, що дозволить забезпечити максимальну ефективність і довговічність відновленої деталі.

3.2 Розробка технологічного процесу відновлення деталі

Для забезпечення відновлення експлуатаційних властивостей гільзи циліндра розробляється комплексний технологічний процес, який включає три основні етапи: підготовка поверхні, нанесення відновлювального покриття та фінішна обробка. Раціональна послідовність операцій дозволяє забезпечити високу адгезію покриття, необхідну точність та довговічність відновленої деталі.

Загальна схема технологічного процесу

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Опис послідовності операцій

005 Очищувальна операція

На початковому етапі деталь очищується від залишків мастила, нагару, продуктів зносу та інших забруднень. Ця операція є критично важливою, оскільки наявність сторонніх часток значно знижує якість подальшого відновлення.

010 Мийна операція

Після грубого очищення деталь піддається миттю із застосуванням мийних розчинів або спеціальних установок. Мета операції — видалення дрібнодисперсних забруднень і забезпечення чистоти поверхні перед механічною обробкою.

015 Сушильна операція

Деталь висушується гарячим повітрям або в сушильних шафах. Повне видалення вологи необхідне для запобігання дефектам при подальшій обробці та нанесенні покриття.

020 Контрольна операція

Проводиться первинний контроль геометричних параметрів:

- діаметр гільзи;
- овальність;
- конусність;
- наявність задирів та тріщин.

На цьому етапі приймається рішення щодо доцільності відновлення деталі.

Контроль геометрії гільзи

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після нанесення покриття перевіряються:

- товщина шару;
- рівномірність покриття;
- відсутність дефектів (пори, тріщини, відшарування).

040 Внутрішньошліфувальна операція

Виконується обробка покриття для досягнення необхідного розміру. Знімається припуск після хромування та формується точна геометрія отвору.

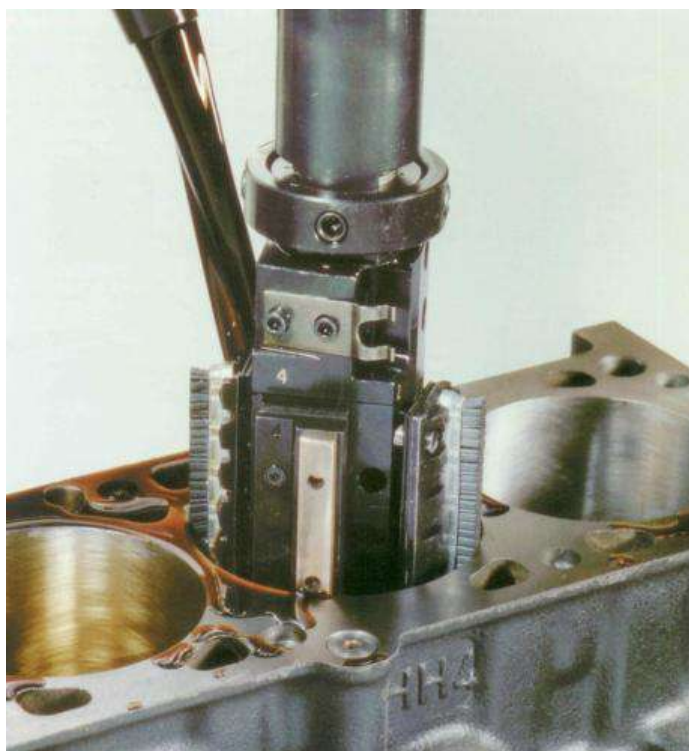
045 Хонінгувальна операція

Фінішна операція, яка забезпечує:

- остаточну точність;
- необхідну шорсткість;
- формування мікрорельєфу (сітки хонінгування).

Це суттєво покращує умови змащення та зменшує інтенсивність зношування.

Процес хонінгування гільзи



050 Контрольна операція

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На завершальному етапі виконується комплексний контроль:

- розмірів;
- шорсткості;
- геометрії;
- якості поверхні.

Деталь визнається придатною до експлуатації або направляється на доопрацювання.

Запропонований технологічний процес відновлення гільзи циліндра забезпечує комплексне відновлення її геометричних і трибологічних характеристик. Поєднання електролітичного хромування з механічною обробкою дозволяє отримати зносостійку поверхню з високою точністю та сприятливими умовами тертя, що в цілому підвищує ресурс двигуна.

3.3 Відновлення поверхні хромуванням

Хромування кілець. Після механічної обробки поршневі кільця вказаних раніше двигунів піддаються пористому хромуванню по наступному технологічному процесу:

- надягання кілець на підвіску (рис. 1.2); на одну підвіску надягається 50 кілець;
- підготовка і установка свинцевого замку;
- затиск кілець в пристосуванні, зачистка замку і надягання фіксаторів;
- знежирення Віденським вапном;
- промивка в проточній воді;
- декапіровання в плавиковій кислоті;
- промивка в холодній воді;
- промивка в гарячій воді;

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- хромування у ванні складу: Cr_3 250 г/л; H_2SO_4 2,5 г/л при $O_k \sim = 50 \text{ а/дм}^2$; (5000 а/л^2); $T=52-60^\circ\text{C}$; одночасно завантажується у ванну шість підвісок (300 кілець); товщина осаду 0,14-0,15 мм; тривалість хромування 3,5 ч;
- дехромірованіє у ванні того ж складу при $O_k = 40 \text{ а/дм}^2$ (4000 а/л^2) протягом 7 хв;
- промивка в холодній воді;
- зняття фіксаторів;
- промивка в гарячій воді;
- обдування стислим повітрям;
- зняття кілець;
- нагрів в машинному маслі протягом 2 г;
- стікання масла;
- ручне притирання;

Перед хромуванням струм протягом 1-2 хв дається в 2-2,5 рази більше обумовленого режимом хромування, встановленим технологічним процесом. Після покриття кілець виробляється десятихвилинне притирання їх на спеціальній установці із змінними чавунними гільзами. Для притирання застосовується суміш абразивного порошку (алунд, зернистість 180) з гасом у вигляді кашки, якій покриваються стінки гільзи 2-3 рази за час притирання.

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.1 – Пристрій для хромування кілець

Після, промиваються в гасі, потім в гарячій содовій воді і обдуваються стислим повітрям.

У процесі електроосадження шаруватих і композиційних комбінованих електролітичних покриттів необхідно підтримувати певну стаціонарність струмового режиму як по величині застосовуваного струму, так і за коефіцієнтом нестаціонарності. Крім того, доцільно змінювати їх по заданій програмі з метою здійснення імпульсних режимів, реверсування, а також зміни форми струму. Відомо, що одержання КЕП при використанні випрямлячів, що мають коефіцієнт пульсацій більше 20%, практично неможливо. Тому необхідно застосовувати пристрої, що згладжують пульсацію струму або напруги. У практиці для цієї мети добре зарекомендувало себе пристрій, схема якого наведена на (рис. 3.1). Пристрій дозволяє не тільки різко знизити пульсацію струму, але й змінити форму

						КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			45

Практична реалізація цього підходу передбачає використання спеціалізованих пристроїв регулювання, які дозволяють працювати в широкому діапазоні навантажень. Такі пристрої забезпечують точне налаштування режиму електролізу, що особливо важливо при нанесенні функціональних покриттів із заданими властивостями. Стабільність густини струму безпосередньо впливає на швидкість осадження металу, рівномірність товщини шару та формування мікроструктури покриття.

Не менш важливим фактором, що визначає якість покриття, є температура електроліту. Вона істотно впливає на кінетику електрохімічних процесів, швидкість росту шару, його твердість, пористість та міцність зчеплення з основою. Для отримання покриттів із прогнозованими властивостями необхідно підтримувати температуру електроліту в заданих межах із високою точністю.

Встановлено, що навіть незначні відхилення температури можуть призводити до зміни структури осадженого шару та появи внутрішніх напружень. Тому в усталеному режимі електролізу коливання температури повинні бути мінімальними та не виходити за межі вузького допустимого діапазону.

Разом із тим у ряді технологічних процесів виникає необхідність керованої зміни температури електроліту. Це використовується для цілеспрямованого впливу на структуру покриття, зокрема при формуванні багат шарових або градієнтних шарів. У таких випадках застосовуються системи регулювання температури, здатні швидко реагувати на зміни режиму та забезпечувати необхідну точність підтримання заданих параметрів.

Таким чином, комплексне керування електричними та тепловими параметрами процесу електролітичного осадження є визначальним чинником отримання якісних покриттів із високими експлуатаційними характеристиками.

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

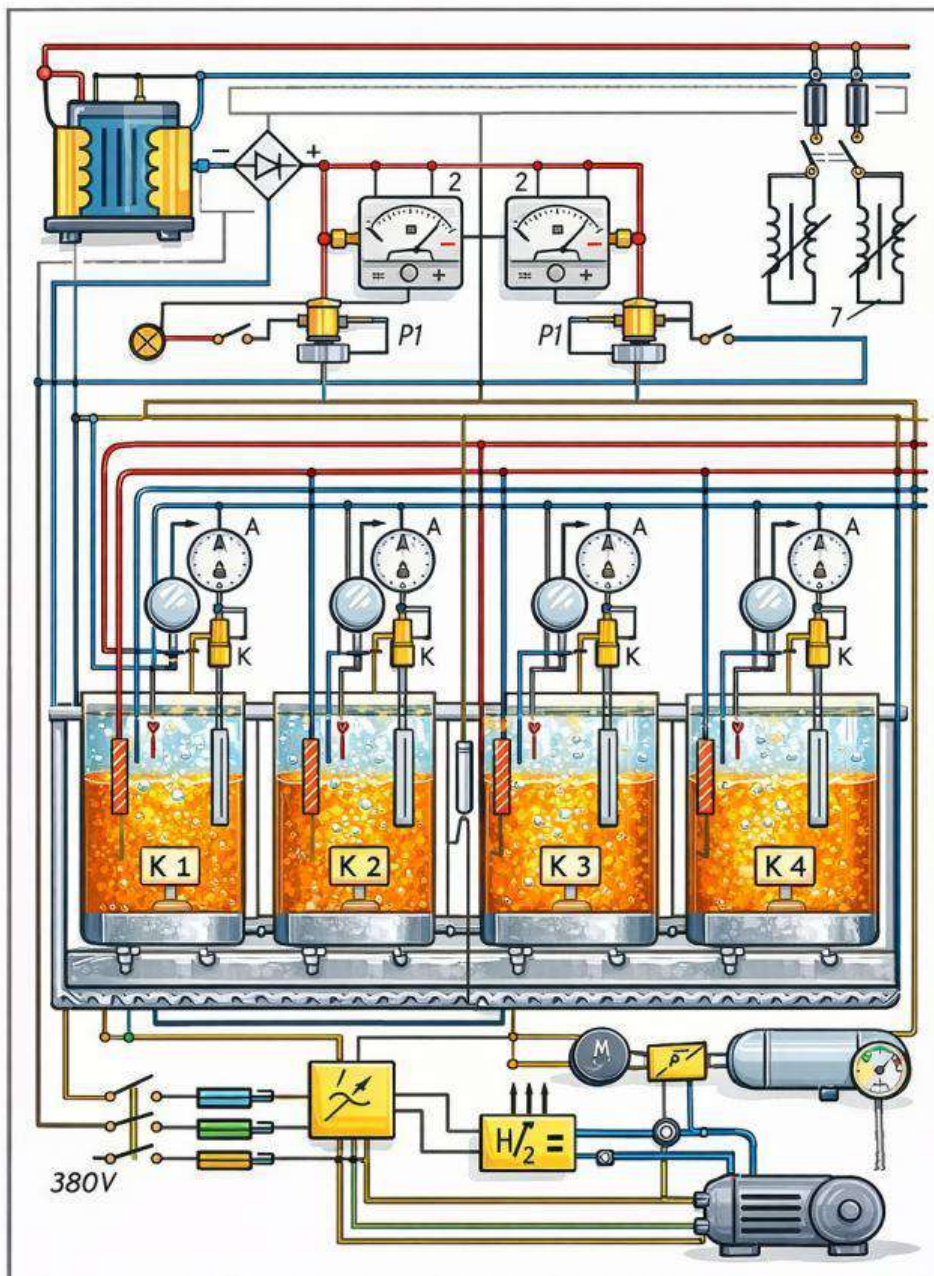


Рисунок 3.3 – Принципова схема лабораторної установки для хромування з ємністю ван від 5 до 100 літрів

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Можливе застосування різних варіантів побудови систем автоматичного регулювання температури, які адаптуються до конкретних умов виробництва. Такі системи можуть обслуговувати як окрему гальванічну ванну, так і групу установок, об'єднаних у єдиний технологічний комплекс.

Під час формування шаруватих покриттів особливо важливо забезпечити високу швидкодію системи керування. Тривалість зміни параметрів процесу повинна бути співрозмірною або меншою за час формування тонкого структурного шару покриття. Цей інтервал може змінюватися від часток секунди до декількох хвилин залежно від умов процесу та складу електроліту.

Додатковою умовою є доцільність проведення процесу в межах однієї гальванічної ванни. У цьому випадку система регулювання повинна забезпечувати керувану зміну температури електроліту в заданому діапазоні протягом обмеженого часу. Для процесів хромування характерні значні перепади температури, які можуть досягати 40–50 °С, тоді як для інших видів покриттів цей діапазон, як правило, становить 10–15 °С.

Реалізація таких режимів стає можливою за рахунок ефективної організації теплового балансу. Відведення та підведення тепла здійснюється шляхом поєднання систем нагрівання, охолодження та перемішування електроліту. Для цього гальванічна ванна повинна бути оснащена теплообмінними пристроями достатньої потужності, які забезпечують інтенсивний теплообмін із середовищем.

У разі використання пари як теплоносія для нагрівання та води для охолодження доцільно застосовувати теплообмінники, розташовані вздовж бічних поверхонь ванни, наприклад у вигляді радіаторних елементів. Додатково використовується система подачі повітря або іншого газу, яка сприяє інтенсифікації теплообміну та вирівнюванню температурного поля в об'ємі електроліту.

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4) всі критерії подоби повинні бути рівні у всіх подібних крапках моделі й оригіналу.

Для хромування гільз циліндрів найбільше підходить установка для анодно-струминного хромування (рис. 3.4).

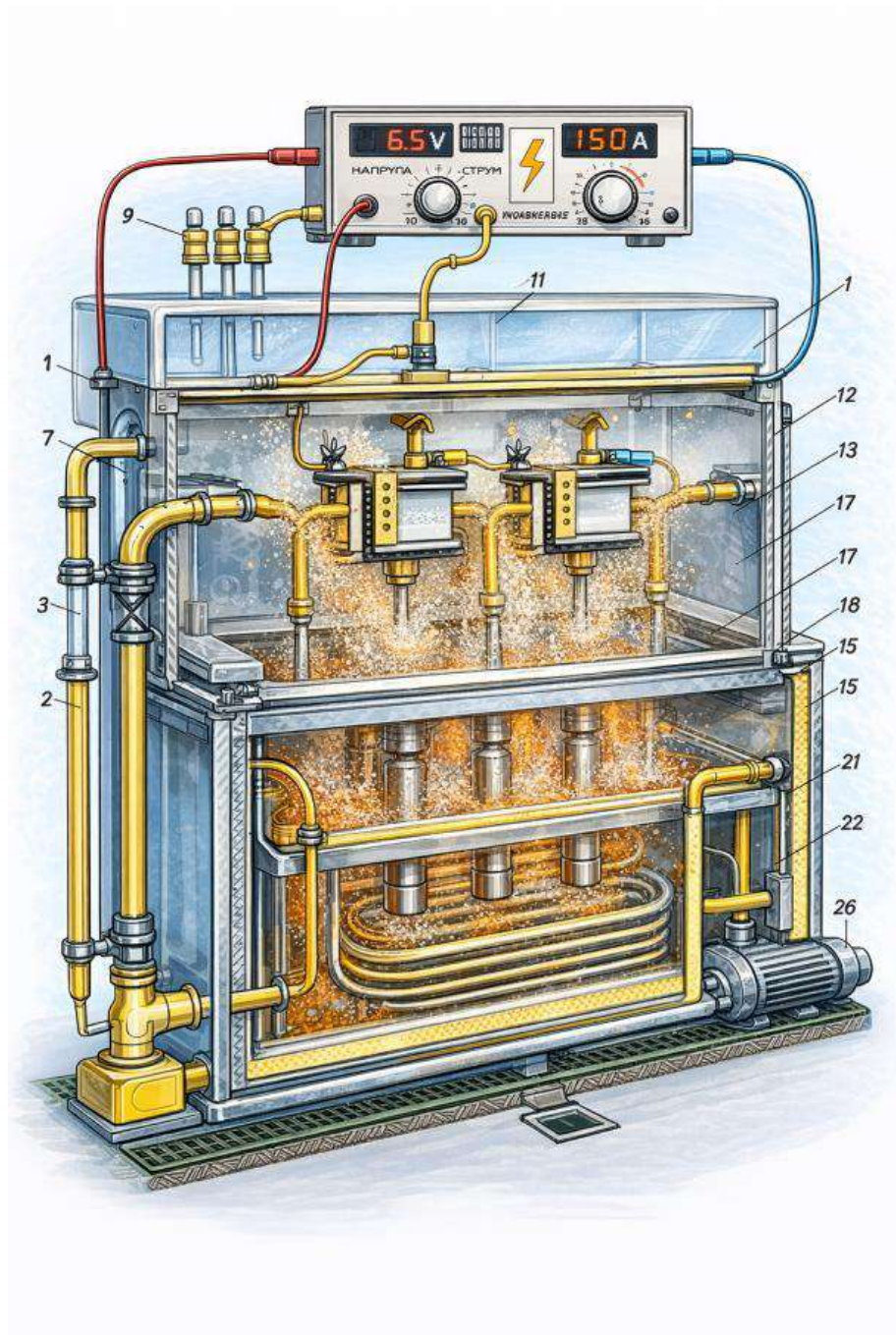


Рисунок 3.4 – Схема установки для анодно-струминного хромування:

									Арк.
									51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

1 — насос; 2, 3, 4, 5, 7 — арматури; 6 — знімне дно; 8 — осередок;
 9 — циліндричний анод; 10 й 11 — штанги; 12 — ванна; 13, 15 — затиски;
 14 — бортовий укіс; 16 — токовід; 17 — притискна втулка;
 18 — фторопластова прокладка; 19 — колектор; 20, 21, 22 — обшивання;
 23 — штанга; 24 — корпус; 25 — ванна-відстійник; 26 — підігрівник

Режими хромування наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Режими хромування

Марка матеріалу	Твердість деталі, HRC	Режими хромування			Мікротвердість покриття
		електроліт	температура °C	щільність струму, а/дм ²	МН/м ²
Чавун спеціальний	42-50	Універсальний	90	20 - 30	600 – 900

При відновленні деталей необхідно рахуватися з умовами їх роботи і витримувати технологічний процес хромування, використовувати найбільш благоприємні режими електролізу.

3.4 Механічна обробка після відновлення поверхні

Після нанесення відновлювального покриття виконується механічна обробка внутрішньої поверхні гільзи з метою відновлення необхідних геометричних параметрів та забезпечення заданої якості поверхні. Обробка здійснюється у два етапи: попереднє шліфування та чистова обробка методом хонінгування.

Попередня обробка проводиться на внутрішньошліфувальному верстаті із застосуванням абразивного круга. Основним завданням цієї операції є зняття припуску після хромування, вирівнювання поверхні та формування правильної геометрії отвору. Завершальна обробка виконується хонінгуванням, що дозволяє отримати необхідну точність розмірів, зменшити шорсткість поверхні та сформувати характерний мікрорельєф, який забезпечує утримання мастильного матеріалу.

Розглянемо вибір режимів для попереднього шліфування відновленої поверхні.

Операція 040 – внутрішньошліфувальна.

На даному етапі виконується шліфування внутрішньої поверхні гільзи після нанесення покриття.

Габаритні розміри деталі становлять: внутрішній діаметр 130 мм, зовнішній діаметр 149 мм, довжина 285 мм. З урахуванням цих параметрів для виконання обробки доцільно застосувати внутрішньошліфувальний верстат моделі 3К227В. Закріплення деталі здійснюється у трикулачковому патроні, що забезпечує достатню жорсткість та співвісність при обробці.

Матеріалом деталі є чавун із твердістю в межах 170–241 одиниць за шкалою Брінелля, що визначає вибір абразивного інструменту та режимів обробки.

Для обробки заданої поверхні обирається шліфувальний круг, характеристики якого відповідають властивостям матеріалу. Доцільно використовувати круг із електрокорунду нормального з відповідною зернистістю та твердістю, який забезпечує ефективне зняття матеріалу та стабільність процесу шліфування.

При визначенні геометричних параметрів круга враховується співвідношення його діаметра до діаметра оброблюваного отвору. Для внутрішнього шліфування рекомендується, щоб діаметр круга становив приблизно 0,8–0,9 від діаметра отвору. Приймаючи це співвідношення на

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

рівні 0,85, отримуємо орієнтовне значення діаметра круга, яке коригується до найближчого стандартного значення. У результаті вибирається круг діаметром 100 мм, що відповідає умовам обробки та можливостям верстата.

Ширина круга визначається з урахуванням довжини оброблюваної поверхні та технологічних рекомендацій. Як правило, вона приймається меншою за довжину отвору для забезпечення рівномірного розподілу навантаження та уникнення перегріву. У даному випадку доцільно застосувати круг із шириною близько 250 мм, що відповідає стандартним розмірам інструменту та забезпечує ефективну обробку.

Вибрані параметри шліфувального круга узгоджуються з технічними характеристиками обладнання та дозволяють забезпечити стабільний процес обробки, необхідну точність і якість поверхні.

Таким чином, попереднє шліфування створює базу для подальшої чистової обробки хонінгуванням, яке остаточно формує експлуатаційні властивості відновленої гільзи циліндра.

Призначаємо режими різання.

Визначаємо частоту обертання шліфувального круга при прийнятій швидкості $V = 35$ м/с

$$n_k = \frac{1000 \cdot 60 \cdot 35}{3,14 \cdot 100} = 6687 \text{ хв}^{-1},$$

За паспортними даними верстата 3К227В приймаємо $n_k = 6000 \text{ хв}^{-1}$ [11].

Визначаємо частоту обертання заготовки за [12], приймаємо в межах 100 – 600 хв^{-1} . Приймаємо $n_3 = 200 \text{ хв}^{-1}$.

Визначаємо швидкість руху окружної подачі

$$V_{S_{окр}} = \frac{3,14 \cdot 130 \cdot 200}{1000} = 81,6 \text{ м/хв} (\approx 1,36 \text{ м/с}).$$

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За [12] визначимо швидкість руху повздовжньої подачі $V_{\text{Сповз}}$.
Приймаємо $V_{\text{Сповз}} = S_{\text{м}} = 7000$ мм/хв.

Враховуємо поправочні коефіцієнти на повздовжню подачу $K_{\text{SM1}} = 0,77$,
 $K_{\text{SM2}} = 1,0$.

Тоді

$$V_{\text{Сповз}} = 7000 \cdot 0,77 \cdot 1,0 = 5390 \text{ мм/хв.}$$

За [12] визначаємо поперечну подачу круга, приймаємо $S_{\text{тповд.ход}} = 0,004$
мм/подв. хід.

Враховуємо поправочні коефіцієнти на поперечну подачу які
визначаються за [12]: $K_{S_{11}} = 1,0$; $K_{S_{12}} = 0,93$; $K_{S_{13}} = 1,0$; $K_{S_{14}} = 1,2$; $K_{S_{15}} = 1,0$; $K_{\text{жс}} = 1,0$;
 $K_1 = 1,0$.

$$S_{2x} = 0,004 \cdot 1,0 \cdot 0,93 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,0045 \text{ мм/подв.хід.}$$

За паспортними даними верстата 3К227В приймаємо
 $S_{2x} = 0,004$ мм/подв.хід.

Визначаємо потужність, яка витрачається на різання

$$N_{\text{різ}} = 3,3 \cdot 1,16 = 3,85 \text{ кВт.}$$

Перевіряємо, чи достатня потужність приводу шліфувального шпінделя
верстата. У верстата 3К227В $N_{\text{ун}} = N_{\text{д}} \cdot \eta = 5,5 \cdot 0,85 = 4,7$ кВт;
 $N_{\text{різ}} \leq N_{\text{ун}} (3,85 < 4,7)$, тобто обробка можлива.

Перевіряємо, чи виконується умова безприпального шліфування

$$N_{\text{уд}} = \frac{3,85}{35} = 0,11 \text{ кВт/мм.}$$

Так як $N_{\text{уд}} = 0,13 \text{ кВт/мм} > 0,11$ то умова безприпального шліфування
виконується.

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основний час на операцію при $h = 0,531$ мм.

$$T_o = \frac{2 \cdot 285 \cdot 0,531}{5390 \cdot 0,004} = 14 \text{ хв.}$$

Операція 045 Хонінгувальна. Хонінгувати відновлену поверхню гільзи.

Призначимо алмазні бруски для обробки заданої поверхні. Для заданого матеріалу і його твердості приймаємо алмазний брусок із слідуючою характеристикою: АСМ20М1 100 % [11].

Призначаємо режими різання.

Глибина різання $t = 0,046$ мм.

Швидкість руху окружної подачі $V_{\text{окр}} = 60$ м/хв [14].

За [14] швидкість руху зворотно - поступової подачі $V_{\text{зп}}$. Приймаємо $V_{\text{зп}} = 20$ мм/хв.

Тиск на бруски $P = 0,5$ МПа.

Частота обертання хонінгувальної головки $n = 100$ хв⁻¹.

Основний час на операцію визначається за формулою

$$T_o = \frac{n_n}{n_2}; \quad (3.19)$$

де n_n – повне число подвійних ходів необхідних для знятті всього припуску,

$$n_n = \frac{1000 \cdot V_2}{2 \cdot S} = \frac{1000 \cdot 20}{2 \cdot 285} = 35 \text{ ПОДВ. ХОД.} \quad (3.20)$$

n_2 – число подвійних ходів головки,

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

$$n_2 = \frac{10 \cdot a}{b} = \frac{10 \cdot 0,046}{0,0046} = 100 \text{ подв.ход.} \quad (3.21)$$

Тоді $T_o = \frac{35}{100} = 0,35 \text{ хв.}$

Отримані данні зводимо в таблицю 3.4

Таблиця 3.4 – Зведена таблиця режимів різання

Найменування операції. переходу. позиції.	t. мм	$\frac{\ell_{p/3}}{\ell_{p,x}}$ мм	λ	$\frac{T_m}{T_p}$ хв	$\frac{S_p}{S_{np}}$ мм подв.хід	$\frac{n_p}{n_{np}}$ хв ⁻¹	$\frac{V_P}{V_{np}}$ м/с	T _o . хв	$\frac{Np}{N_{wn}}$ кВт
040 Внутрішшліфувальна 1. Шліфувати відно-влену поверхню	0.531	$\frac{285}{285}$	1.0	$\frac{30}{30}$	$\frac{0,0045}{0,004}$	$\frac{100}{100}$	$\frac{35}{35}$	14	$\frac{3,85}{4,7}$
045 Хонінгувальна 1.Хонінгувати відновлену пов.	0.046	$\frac{285}{285}$	1.0	$\frac{30}{30}$	-	$\frac{100}{100}$	$\frac{1,0}{1,0}$	0.35	-

3.5 Термообробка

Для хромування чавуних деталей використовуємо універсальний електроліт. Електролітичний хром – метал сріблясто – білого кольору з високою мікротвердістю 400...1200МН/м² (в 1,5...2,0 рази вище, ніж при гартуванні СВЧ), близький до мікротвердості корунду, особливо в абразивному середовищі (в 2...3 рази в порівнянні з загартованою сталлю);

стійкий по відношенню хімічного і температурного впливу, причому висока корозійна стійкість сполучається з гарним зовнішнім виглядом; має низький коефіцієнт тертя (нижчий на 50%, ніж у сталі та чавуну); високу міцність зчеплення покриття з поверхнею деталі; можна отримати хромований шар з твердістю від 42 до 50 HRC₃.

Така твердість повністю задовільняє вимоги до відновлення деталі.

3.6 Кінцеві методи обробки відновленої поверхні

До кінцевих методів обробки відносяться: шліфування, полірування, хонінгування та ін. Для отримання заданої шорсткості та точності поверхні відновлюваної деталі в якості кінцевого метода бобробки поверхні приймаємо хонінгування. При обробці внутрішньої поверхні деталі використовується внутрішшліфувальний верстат високої точності моделі 3К227В і хонінгувальний верстат моделі 3Г833. Точність верстата 0,005 мм. Шорсткість поверхні, яку можна отримати на цьому верстаті Ra = 0,2 мкм. Такі параметри верстата нас задовольняють так як, при обробці поверхні нам необхідно отримати шостий квалітет точності і шорсткість поверхні Ra = 0,4 мкм.

Фінішна антифрикційна безабразивна обробка гільзи (ФАБО).

Існує принципова різниця в переносі матеріалу при вибіркового переносі (ВП) та при фінішній антифрикційній безабразивній обробці гільзи (ФАБО). При (ВП) під час тертя бронзи з її твердого розчину виникає сепарація атомів міді. Атоми легуючих елементів, розчиняючись, переходять в смазочний матеріал; атоми міді, об'єднуючись в групи, переходять на сталь. При ФАБО склад перенесеного металу не відрізняється від вихідного.

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Тут матеріал переноситься крупинками, що міцно схоплюються зі сталлю і мають між собою відповідний зв'язок.

Товщина антифрикційного слою латуні на сталі при ФАБО 2 – 3 мкм, бронзи і міді 1 – 2 мкм. Шероховатість грубих поверхонь після ФАБО зменшується. При малих параметрах шероховатості поверхні ($R_a = 0,63...0,08$ мкм) ФАБО не змінює її значень. Вироби перед ФАБО попередньо піддають шліфуванню, розгортанню, точінню та хонінгованню. Шорсткість поверхні повинна бути не нижче 2,5 мкм.

На рисунку 3.5 показана схема пристрою для ФАБО гільзи циліндра.

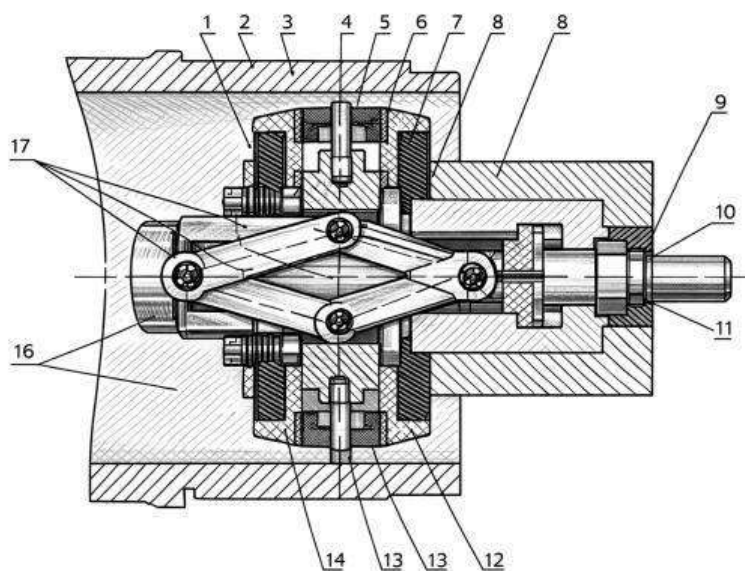


Рисунок 3.6 – Схема пристрою для ФАБО гільзи циліндра

Даний пристрій встановлюється в різцетримач токарного станка. Передня частина пристрою має головку 8 зі стаканами 7 та 16; в розрізаних направляючих втулках 2 і 15 рухаються два направляючих штоки 6 і 12. Через систему важелів сила від тяги 9 передається на штоки, та на встановлені в них прутки 4 і 14 з латуні або бронзи притискаються до оброблюваної поверхні 3. Важілі 17 з'єднані шарнірно з кришкою 1 головки і вилкою тяги. Самовстановлення прутків латуні під час роботи забезпечується переміщенням вилки 11, що має паз, відносно болта 10. По

мірі зношування прутки переміщуються в радіальному напрямку в гайках 5 і 13. Зношені прутки замінюють новими. Для заведення прутків в гільзу підпружинену тягу віджимають спеціальною гайкою, внаслідок чого штоки здвигаются до центру.

Метод фінішної абразивної обробки отворів (ФАБО) є високоефективним способом завершальної обробки внутрішніх поверхонь деталей, зокрема гільз циліндрів двигунів внутрішнього згорання. Основною метою цього методу є забезпечення високої точності геометричних параметрів, зниження шорсткості поверхні та формування сприятливого мікрорельєфу для роботи в умовах тертя.

Сутність методу полягає у використанні спеціального інструмента з абразивними елементами, які притискаються до оброблюваної поверхні та здійснюють складний рух — обертальний у поєднанні з поступальним. Така кінематика забезпечує формування характерної перехресної сітки мікрорельєфу, що є важливою умовою ефективного утримання мастильного матеріалу.

Інструмент ФАБО встановлюється в оброблюваний отвір і приводиться в рух від верстата. У процесі роботи відбувається:

- обертання інструмента навколо своєї осі;
- зворотно-поступальний рух уздовж осі отвору;
- радіальне притискання абразивних елементів до поверхні.

Радіальне розтискання абразивних елементів може здійснюватися механічним, гідравлічним або пружинним способом. Це дозволяє забезпечити рівномірний контакт інструмента з поверхнею та стабільність процесу обробки.

У процесі обробки відбувається видалення тонкого шару матеріалу, що залишився після попередніх операцій (наприклад, шліфування або нанесення покриття). Формується поверхня з перехресною сіткою рисок, яка:

- покращує утримання мастильного матеріалу;

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

- зменшує коефіцієнт тертя;
- підвищує зносостійкість;
- забезпечує рівномірний розподіл навантаження.

Особливо важливим є те, що при ФАБО практично відсутні значні теплові деформації, що дозволяє зберегти точність геометричних параметрів деталі.

До основних переваг методу фінішної абразивної обробки отворів належать:

- висока точність обробки (мінімальні відхилення форми та розмірів);
- низька шорсткість поверхні;
- формування оптимального мікрорельєфу;
- покращення трибологічних характеристик;
- підвищення довговічності деталей.

Область застосування

Метод ФАБО широко застосовується при:

- обробці гільз циліндрів двигунів;
- відновленні внутрішніх поверхонь після нанесення покриттів;
- виготовленні високоточних отворів у машинобудуванні;
- підготовці поверхонь, що працюють у вузлах тертя.

Фінішна абразивна обробка отворів є невід'ємною операцією при виготовленні та відновленні деталей циліндропоршневої групи. Завдяки поєднанню високої точності, формуванню оптимального мікрорельєфу та покращенню умов тертя, цей метод забезпечує підвищення ресурсу та надійності роботи двигуна.

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 Заходи з техніки безпеки при хромуванні деталей

Можна виділити дві групи факторів, що мають вплив на стан безпеки праці в лабораторії:

- виробничо-технічні або об'єктивні (технічні, гігієнічні);
- “людські” (суб'єктивні) або психофізіологічні.

Технічні фактори причин травматизму:

- невідповідність нормам безпеки обладнання, випробувальних стендів, інструменту (наявність потенційно небезпечних зон, небезпека ураження електричним струмом);

- невідповідність конструкції обладнання, інструменту, стендів ергономічним вимогам (нераціональна компоновка, незручність обслуговування і т. п.);

- неправильний вибір обладнання, оснащення, методів і режимів обробки, складання, транспортування;

- недотримання строків планово-попереджувального ремонту (можливий вихід з ладу обладнання, стендів);

- несправність обладнання, інструменту, стендів і т. п. (відривання механічних частин стенду);

Санітарно-гігієнічні фактори:

- незадовільне освітлення (погіршення зорових якостей людини);

- високий рівень шуму (погіршення слухових якостей людини);

- високий рівень запиленості повітря (погіршення якостей дихальної системи);

Психофізіологічні фактори:

- виконання помилкових дій працівниками лабораторії;

- знижена уважність;

- недостатня професійна підготовка;

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

– порушення правил безпечного виконання робіт, трудової і виробничої дисципліни;

– невідповідність психофізичних даних працюючого виконуваний ним роботі або його нездоровий стан.

Загальні положення

Процеси хромування належать до категорії потенційно небезпечних виробничих операцій, оскільки пов'язані з використанням агресивних хімічних середовищ, електричного струму значної сили, підвищених температур та утворенням шкідливих аерозолів. Основними компонентами електролітів є сполуки хрому, які мають токсичні властивості, особливо у вигляді парів і дрібнодисперсних частинок.

У зв'язку з цим організація робіт з хромування повинна здійснюватися з дотриманням комплексу заходів, спрямованих на забезпечення безпеки персоналу, запобігання аварійним ситуаціям і мінімізацію негативного впливу на навколишнє середовище.

Основні небезпечні та шкідливі фактори

Під час виконання процесів хромування на працівників можуть діяти такі фактори:

токсичні пари та аерозолі сполук хрому;

кислоти, що входять до складу електроліту;

електричний струм високої сили;

підвищена температура електроліту;

підвищена вологість повітря;

рухомі частини обладнання;

можливість розбризкування електроліту.

Особливу небезпеку становлять аерозолі шестивалентного хрому, які можуть викликати захворювання органів дихання, шкіри та слизових оболонок.

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Вимоги до організації робочого місця

Робочі місця повинні бути організовані таким чином, щоб мінімізувати контакт працівника з небезпечними речовинами. Основні вимоги:

наявність ефективної загальнообмінної та місцевої витяжної вентиляції;

герметизація ванн і технологічного обладнання;

розміщення обладнання з урахуванням зручності обслуговування;

наявність захисних екранів та огорожень;

забезпечення достатнього освітлення робочої зони.

Схема вентиляції гальванічної ванни

Вимоги до електробезпеки

Оскільки процес хромування здійснюється із застосуванням електричного струму, необхідно суворо дотримуватися правил електробезпеки:

усі струмопровідні частини повинні бути ізольовані;

обладнання повинно бути заземлене;

забороняється торкатися струмопровідних частин під напругою;

роботи з обслуговування електрообладнання виконуються тільки при відключеному живленні;

застосування захисних автоматів та пристроїв аварійного відключення є обов'язковим.

Засоби індивідуального захисту

Працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту, які включають:

захисний одяг (кислотостійкі халати, фартухи);

гумові рукавички;

захисні окуляри або щитки;

респіратори або протигази;

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

спеціальне взуття.

Використання засобів захисту є обов'язковим протягом усього часу перебування в зоні виконання робіт.

Безпечне поводження з електролітами

Електроліти для хромування містять агресивні хімічні речовини, тому при роботі з ними необхідно:

уникати попадання розчину на шкіру та в очі;

використовувати спеціальні ємності для зберігання;

здійснювати приготування розчинів у спеціально обладнаних місцях;

дотримуватись правил транспортування хімічних речовин;

у разі проливу негайно проводити нейтралізацію.

Схема засобів захисту оператора

Вимоги пожежної безпеки

Хоча процес хромування не є безпосередньо пожежонебезпечним, у виробничих умовах можуть використовуватись речовини та обладнання, що становлять пожежну небезпеку. Необхідно:

забезпечити наявність первинних засобів пожежогасіння;

не допускати накопичення легкозаймистих матеріалів;

дотримуватись правил експлуатації електрообладнання;

проводити регулярні інструктажі персоналу.

Дії у разі аварійних ситуацій

У випадку виникнення аварійних ситуацій необхідно діяти відповідно до встановлених інструкцій:

при ураженні електричним струмом — негайно відключити живлення;

при попаданні електроліту на шкіру — промити великою кількістю води;

при вдиханні шкідливих парів — вивести постраждалого на свіже повітря;

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

при пожежі — застосувати відповідні засоби гасіння;
повідомити відповідальних осіб.

Екологічні вимоги

Процеси хромування повинні здійснюватися з урахуванням екологічних норм:

очищення вентиляційних викидів;

нейтралізація стічних вод;

утилізація відходів;

контроль вмісту шкідливих речовин у повітрі.

Дотримання заходів техніки безпеки при хромуванні деталей є необхідною умовою забезпечення безпечних умов праці та високої якості продукції. Комплексний підхід, що включає технічні, організаційні та індивідуальні заходи захисту, дозволяє мінімізувати ризики та підвищити ефективність виробничого процесу.

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Висновки

1. Проведений аналіз умов роботи гільзи циліндра двигуна внутрішнього згоряння показав, що основним видом її пошкодження є контактно-втомне та абразивне зношування, зумовлене взаємодією з поршневыми кільцями в умовах змінних навантажень, температур і режимів змащення.

2. На основі порівняльного аналізу існуючих методів відновлення встановлено, що електролітичне хромування є одним із найбільш ефективних способів підвищення зносостійкості робочої поверхні гільзи, оскільки забезпечує високу твердість, адгезію покриття та стійкість до зношування.

3. Розроблений технологічний процес відновлення гільзи циліндра, який включає підготовку поверхні, нанесення хромового покриття та подальшу механічну обробку (шліфування і хонінгування), дозволяє відновити геометричні параметри деталі та сформувати оптимальний мікрорельєф поверхні.

4. Запропонована технологія забезпечує покращення трибологічних характеристик вузла тертя, зниження інтенсивності зношування та підвищення ресурсу гільзи циліндра, що підтверджує її доцільність для практичного застосування в умовах ремонтного виробництва.

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

Список використаних джерел

1. Protsenko, V., et al. (2025). Electrodeposition and tribological performance of chromium coatings. *Springer Materials Science*.
2. Hagarová, M., et al. (2025). Effect of current density on mechanical and tribological properties of chromium coatings. *Crystals*.
3. Eriksson, M. (2014). Sliding wear performance of electroplated coatings. *Tribology Research*.
4. Wang, S. (2020). Alternative tribological coatings to hard chromium plating. *Surface Engineering*.
5. Chromium plating overview. (2014). *Comprehensive Materials Processing*.
6. Saiful, L. (2024). Environment-friendly electroplating of chromium. *Journal of Science and Engineering Papers*.
7. Chromium electroplating toxicity review. (2024). *Engineering Review*.
8. Chromium electroplating mechanism. (2022). *Electrochemical Studies*.
9. Electroplating of thick chromium coatings. (2020). *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*.
10. Electroplating fundamentals. (2023). *Electrochemistry Handbook*.

					КРМТВА 06. 22450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68