



ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА ТА ТРАНСПОРТУ

КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»



## КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

«Підвищення довговічності деталей ~~циліндро-поршневої~~ групи  
дизельних двигунів автомобілів та тракторів реалізацією ефекту  
вибіркового перенесення на базі ТОВ «Калита-Нова»  
м. Кропивницький»

**Виконав:**

магістрант групи АІ(ТС)-22М \_\_\_\_\_ Марія ЛЮТІКОВА  
(шифр групи) (підпис) (ім'я та прізвище)

**Керівник:**

д.т.н., професор \_\_\_\_\_ Євген СОЛОВИХ  
(науковий ступінь, ім'я та прізвище) (підпис) (ім'я та прізвище)

**«ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ»**

**Завідувач кафедри:**

к.т.н., доцент \_\_\_\_\_ Сергій МАГОПЕЦЬ  
(науковий ступінь, ім'я та прізвище) (підпис) (ім'я та прізвище)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

**Рецензент:**

\_\_\_\_\_ (підпис) \_\_\_\_\_ (ім'я та прізвище)  
(науковий ступінь, ім'я та прізвище)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

Кропивницький – 2023 р.

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА ТА ТРАНСПОРТУ  
КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

Рівень вищої освіти: другий (магістерський) рівень вищої освіти

Галузь знань: 20 «Аграрні науки та продовольство»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

Освітньо-професійна програма: «Технічний сервіс сільськогосподарської техніки»

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**

Завідувач кафедри «Експлуатація та ремонт машин»

\_\_\_\_\_ Сергій МАГОПЕЦЬ  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

Лютікової Марії Олександрівни

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Підвищення довговічності деталей циліндро-поршневої групи дизельних двигунів автомобілів та тракторів реалізацією ефекту вибіркового перенесення на базі ТОВ «Калита-Нова» м. Кропивницький»

керівник роботи Солових Євген Костянтинович, \_\_\_\_\_ д.т.н., \_\_\_\_\_ професор  
(прізвище, ім'я, по батькові) (науковий ступінь) (вчений звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «04» 08 2023 року №42-13

2. Строк подання здобувачем роботи «22» грудня 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи Матеріали науково-дослідної практики.

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

4.1 Розділ 1. Історія створення та діяльності ТОВ «Калита-Нова». Обґрунтування теми магістерської роботи. Висновки по розділу 1.

4.2 Розділ 2. Особливості роботи та причини виходу із ладу деталей циліндро-поршневої групи ДВЗ. Явище вибіркового перенесення при терті. Способи підвищення довговічності ЦПГ, що реалізують ефект вибіркового перенесення. Фінішна антифрикційна безабразивна обробка як спосіб підвищення довговічності деталей машин. Застосування металопоглинаючих присадок. Пристрої для ФАБО гільз циліндрів. Висновки по розділу 2.

4.3 Розділ 3. Загальна методика проведення досліджень. Розробка комплексної технології, що реалізує ефект вибіркового перенесення. Теоретичне обґрунтування нанесення антифрикційних покриттів ФАБО. Експериментальні

дослідження ефективності комплексної технології, що реалізує ефект вибіркового перенесення. Стендові випробування двигунів. Висновки по розділу 3.

4.4 Розділ 4. Технічна ефективність технології ФАБО. Економічна ефективність технології ФАБО. Техніка безпеки та охорона праці при ремонті циліндро-поршневої групи ДВЗ. Висновки по розділу 4.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: Розподіл ресурсних відмов деталей і вузлів ДВЗ. Схема вибіркового перенесення при терті. Класифікація напрямків практичного використання ефекту вибіркового перенесення. Класифікація сучасних способів підвищення довговічності ЦПГ двигунів за рахунок реалізації ефекту вибіркового перенесення. Класифікація заходів щодо прискореного припрацювання деталей. Результати досліджень геометричних характеристик поверхні гільзи. Результати досліджень зносостійкості поверхні. Результати стендових випробувань двигунів.

### ГРАФІК ВИКОНАННЯ ЕТАПІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної магістерської роботи                                                                                               | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------|
| 1     | Розділ 1. Аналіз діяльності підприємства ТОВ «Калита-Нова» та обґрунтування теми магістерської роботи                                           | 10.11.2023                    |          |
| 2     | Розділ 2. Аналіз літературних джерел за темою досліджень                                                                                        | 24.11.2023                    |          |
| 3     | Розділ 3. Результати досліджень довговічності гільз циліндрів, оброблених з використанням технології, що реалізує ефект вибіркового перенесення | 05.12.2023                    |          |
| 4     | Розділ 4. Визначення ефективності використання комплексної технології, що реалізує ефект вибіркового перенесення                                | 12.12.2023                    |          |
| 5     | Оформлення ілюстративного матеріалу                                                                                                             | 22.12.2023                    |          |
|       |                                                                                                                                                 |                               |          |
|       |                                                                                                                                                 |                               |          |
|       |                                                                                                                                                 |                               |          |
|       |                                                                                                                                                 |                               |          |
|       |                                                                                                                                                 |                               |          |
|       |                                                                                                                                                 |                               |          |
|       |                                                                                                                                                 |                               |          |

Магістрант \_\_\_\_\_  
(підпис)

Лютікова М.О.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Євген СОЛОВИХ  
(ім'я та прізвище)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна магістерська робота присвячена підвищенню довговічності деталей циліндро-поршневої групи дизельних двигунів автомобілів та тракторів реалізації ефекту вибіркового перенесення.

Метою представленої роботи є підвищення довговічності деталей циліндро-поршневої групи дизельних двигунів за рахунок реалізації у з'єднаннях тертя вибіркового перенесення.

Об'єкт дослідження – з'єднання тертя «гільза циліндрів – кільце поршнєве».

Предметом дослідження робоча поверхня гільзи циліндрів.

Показано, що ресурс роботи двигуна внутрішнього згорання залежить від довговічності деталей циліндро-поршневої групи. Саме на зношування деталей циліндро-поршневої групи приходиться найбільша кількість відмов.

Зроблено висновок, що одним з напрямків з підвищення довговічності деталей циліндро-поршневої групи є використання триботехнічних методів, що забезпечують ефект вибіркового перенесення.

Розкрито механізм вибіркового перенесення у вузлах тертя. Одним з напрямків практичного використання вибіркового перенесення є фінішна антифрикційна безабразивна обробка деталей.

Запропонована до використання комплексна технологія обробки гільз циліндрів, що реалізації вибіркового перенесення, суть якої полягає в попередньому нанесенні на поверхні деталей покриттів, що вміщують мідь, для захисту від зношування в період припрацювання й наступної їх експлуатації на мастильних матеріалах з використанням металоплакуючої присадки.

Представлені результати експериментальних досліджень та стендові випробування двигунів засвідчили значне підвищення зносостійкості та довговічності гільз циліндрів ДВЗ.

Визначені технічна та економічна ефективність використання комплексної технології обробки деталей циліндро-поршневої групи з використанням ефекту вибіркового перенесення.

Розглянуті заходи з техніки безпеки та охороні праці при ремонті циліндро-поршневої групи дизельних двигунів.

Кваліфікаційна магістерська робота складається з вступу, 4 розділів, висновків; містить 75 сторінок тексту, 38 рисунків, 3 таблиці.

**ВСТУП.....**

**РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА ТОВ  
«КАЛИТА-НОВА» ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕМИ МАГІСТЕРСЬКОЇ  
РОБОТИ .....**

- 1.1. Історія створення та діяльності ТОВ «Калита-Нова».....
- 1.2. Обґрунтування теми магістерської роботи
- 1.3. Висновки по розділу 1.....

**РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ  
ДОСЛІДЖЕНЬ**

- 2.1. Особливості роботи та причини виходу із ладу деталей  
циліндро-поршневої групи ДВЗ
- 2.2. Явище вибіркового перенесення при терті
- 2.3. Способи підвищення довговічності ЦПГ, що реалізують ефект ВП
- 2.3.1 Фінішна антифрикційна безабразивна обробка як спосіб  
підвищення довговічності деталей машин
- 2.3.2 Застосування металоплакуючих присадок
- 2.4. Пристрої для ФАБО гільз циліндрів
- 2.5. Висновки по розділу 2.....

**РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ДОВГОВІЧНОСТІ  
ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ, ОБРОБЛЕНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ  
ТЕХНОЛОГІЇ, ЩО РЕАЛІЗУЄ ЕФЕКТ ВИБІРКОВОГО  
ПЕРЕНЕСЕННЯ .....**

- 3.1. Загальна методика проведення досліджень
- 3.2. Розробка комплексної технології, що реалізує ефект вибіркового  
перенесення
- 3.3. Теоретичне обґрунтування нанесення антифрикційних покриттів

## ФАБО

3.4. Експериментальні дослідження ефективності комплексної технології, що реалізує ефект вибіркового перенесення

3.4.1 Вибір режиму ФАБО

3.4.2 Дослідження шорсткості поверхні гільзи

3.4.3 Дослідження зносостійкості деталей, оброблених за комплексною технологією

3.4.4 Стендові випробування двигунів

3.5. Висновки по розділу 3 .....

## **РОЗДІЛ 4. ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КОМПЛЕКСНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ, ЩО РЕАЛІЗУЄ ЕФЕКТ ВИБІРКОВОГО ПЕРЕНЕСЕННЯ .....**

4.1. Технічна ефективність технології ФАБО

4.2. Економічна ефективність технології ФАБО .....

4.3. Техніка безпеки та охорона праці при ремонті циліндро-поршневої групи ДВЗ

4.4. Висновки по розділу 4.....

**ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....**

**ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....**

## Вступ

Довговічність та ресурс двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) значною мірою визначається інтенсивністю зношування деталей, що труться.

Досвід експлуатації свідчить про те, що близько 80-90% деталей машин виходять з ладу через зношування. Однак, правильний вибір матеріалу і покриття трибоспряжень дає змогу значно підвищити зносостійкість і довговічність вузлів тертя під час експлуатації. Також відомо, що від фінішної обробки деталей залежить не тільки початковий (припрацювальний) знос, а й усталений знос. Таким чином, початкове припрацювання може впливати на інтенсивність зношування під час тривалої експлуатації машин [1].

Це повною мірою стосується деталей циліндро-поршневої групи (ЦПГ), надійність роботи яких багато в чому визначають ресурс двигуна загалом. Аналіз доступної інформації дозволяє стверджувати, що не всі резерви підвищення ресурсу деталей ЦПГ, зокрема, застосування нових способів фінішної обробки гільз циліндрів вичерпані [2].

Це свідчить про те, що перед вченими й практиками всього миру залишаються завдання пошуку, дослідження, розробки й впровадження нових технічних і технологічних заходів, спрямованих на підвищення довговічності як двигунів, так і окремих сполучень, наприклад, деталей ЦПГ.

Результати наукових досліджень і практичного застосування технологій, що реалізують вибіркове перенесення (ВП) при терті, вказує на необхідність розвитку саме цього напрямку, як менш енергоємного, практично екологічно нешкідливого, що дозволяє досягти вагомих результатів.

Таким чином, одним із шляхів підвищення довговічності сполучень двигунів є реалізація у вузлах тертя ефекту ВП, при якому на поверхні тертя утворюється найтонша металева плівка з низьким опором зрушення, яка нездатна накопичувати при деформації дислокації.

# **РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА ТОВ «КАЛИТА-НОВА» ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕМИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ**

## **1.1. Історія створення та діяльності ТОВ «Калита-Нова»**

«Науково-виробнича фірма «Калита» зареєстрована 15 листопада 1993 року в формі ТОВ. Початковою спеціалізацією роботи підприємства було відновлення колінчастих валів методом електродугового напилення. У 1994 році підприємство заключило угоду з Державним Інноваційним фондом про впровадження інноваційного проекту: «Технологія відновлення колінчастих валів електродуговим напиленням композиційними покриттями». Проект було впроваджено за шість місяців; вже через місяць підприємство вийшло на проектну потужність» [3].

Поштовхом до активної діяльності підприємства стало впровадження лінії для відновлення блоків циліндрів двигунів внутрішнього згорання. Для виконання поставленої мети було придбано та введено в експлуатацію спеціальне розточувальне обладнання, що дало змогу розробити технологію хонінгування циліндрів із застосуванням прогресивного інструменту: алмазних різців та алмазних хонінгувальних брусків.

Наступним етапом у розвитку підприємства стало впровадження дільниці з ремонту головок блоків циліндрів двигунів, а також впровадження технології відновлення розподільчих валів легкових автомобілів безвтулковим способом спряження.

«У 1997 році на підприємстві з'явилася дільниця з ремонту паливної апаратури та розширюється спеціалізація по відновленню пар тертя деталей машин, встановлено універсальний координатно-розточувальний верстат особливої точності, що дозволило проводити відновлення різноманітних корпусних деталей, а також спряжень типу вал – втулка» [3].

«У 1998 році на підприємстві модернізовано технологію ремонту головок блоків циліндрів двигунів із застосуванням новітньої технології фірми “NEWAY”; впроваджується відділ по ремонту карбюраторів ДВЗ із сучасним технологічним обладнанням, яке дозволяє імітувати роботу карбюраторів в умовах близьких до умов реальної роботи двигуна» [3].

«На протязі 1999 – 2001 рр. розпочато роботи дільниці зварювально-рихтувальних робіт, почала працювати дільниця шиномонтажу та балансування коліс, яка потім була оснащена верстатом по правці зварних коліс автомобілів, виконуються роботи з ремонту ходових частин легкових автомобілів» [3].

«Новим етапом розвитку підприємства стало її реорганізація та створення ТОВ «Калита-Нова». На сьогодні «підприємство ТОВ «Калита-Нова» відноситься до автосервісних підприємств, що виконують функції, пов'язані з підтриманням автомобілів в справному технічному стані. Основним видом діяльності організації є технічне обслуговування та ремонт автотранспортних засобів. Проходячи практику на такому підприємстві здобувачі вищої освіти мають можливість побачити окремі технології ТО і ремонту автомобілів, а також закріпити теоретичні знання, отриманні під час навчання. Матеріально-технічна база підприємства дозволяє виконувати ремонт базових деталей автомобілів» (рис.1.1)» [3]. Підприємство зареєстровано за адресою: вул. Олійника 49, м.Кропивницький.



a)



б)



в)

Рис.1.1. Обладнання та виконання робіт на підприємстві ТОВ «Калита-Нова»

## 1.2. Обґрунтування теми магістерської роботи

Нині проблема забезпечення якості та ефективності машин, механізмів і транспортних засобів набула не тільки технічного, а й економічного та соціального значення. Головним напрямком розв'язання цієї проблеми є пошук шляхів підвищення довговічності та безвідмовності техніки. Питання підвищення довговічності особливо гостро стоять на автомобільному транспорті. У цьому сенсі слід зазначити, що саме надійність і довговічність двигунів багато в чому визначають технічну готовність автомобільного парку, витрати на технічне обслуговування і ремонт.

При цьому саме на двигун та її системи припадає найбільше число відмов (табл.1.1) [4]

Таблиця 1.1 – Розподіл відмов між системами автомобіля, %

| Автомобілі | Двигун | Трансмісія | Ходова частина | Рульове керування | Гальмівні системи | Кабіна, платформа | Електроустаткування |
|------------|--------|------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| ГАЗ        | 31,4   | 12,9       | 4,6            | 2,7               | 19,4              | 11,3              | 17,7                |
| ЗИЛ        | 30,2   | 11,7       | 9,4            | 1,9               | 16,4              | 10,2              | 20,2                |
| КамАЗ      | 28,2   | 10,1       | 8,6            | 2,4               | 17,3              | 13,5              | 19,9                |
| КрАЗ       | 29,7   | 10,7       | 9,8            | 2,9               | 18,1              | 13,9              | 14,9                |

Як можна побачити з табл.1.1 саме на двигун приходяться найбільше кількості відмов

Як свідчать дослідження [5], «ресурс роботи двигуна на 70 – 90% залежить від довговічності деталей циліндро - поршневої групи (ЦПГ). Саме в цих деталей раніше, ніж в інших, наступають граничні зноси, в основному абразивного характеру, що вимагають обов'язкового відновлення під час капітального ремонту».

Швидкість зношування деталей циліндро - поршневої групи автомобілів показано в табл.1.2 [4].

Таблиця 1.2 – Середні швидкості зношування деталей циліндро-поршневої групи автомобілів [4]

| Деталь, елемент                               | Середня швидкість зношування, <u>мкм/1000 км</u> |         |           |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------|-----------|
|                                               | ЗИЛ-130                                          | ЯМЗ-236 | КамАЗ-740 |
| Гільза циліндрів                              | 0,65                                             | 1,10    | 0,60      |
| Верхнє поршневе кільце:                       |                                                  |         |           |
| - по висоті                                   | 0,34                                             | 0,35    | 0,30      |
| - по зазору в замку                           | 28,0                                             | -       | 10,6      |
| Поршень: - канавка під верхнє поршневе кільце | 1,07                                             | 0,90    | 0,71      |

Саме на зношування деталей ЦПГ приходить найбільша кількість відмов (рис.1.2).

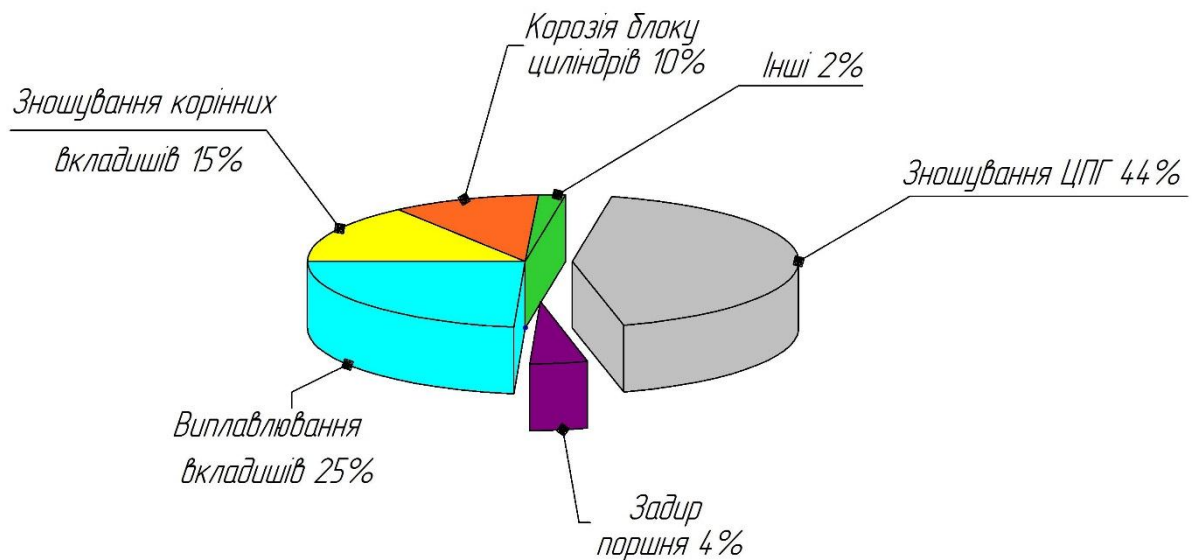


Рис.1.2. Ресурсні відмови деталей і вузлів автомобільних двигунів

Отже стає зрозумілим актуальність питання підвищення довговічності деталей ЦПГ дизельних двигунів автомобілів та тракторів.

Надійність і довговічність машин досягається такими основними методами [6]:

- металургійним (отримання нових матеріалів);

- конструкторським (розробка оптимальних рівномісних конструкцій);
- технологічним (застосування спеціальних технологічних процесів, що забезпечують якість поверхонь);
- експлуатаційним (експлуатація машин і механізмів на розрахункових режимах із дотриманням термінів технічного обслуговування).

Конструкторський напрям полягає в розробленні принципів конструювання і розрахунку, що забезпечують довговічність і надійність роботи за допустимих навантажень на контактуючих поверхнях деталей [7].

Реалізація двох напрямів може забезпечуватися тільки третім, тобто технологічним напрямом, зокрема, теорією і практикою забезпечення якості поверхневого шару [7].

Технологічний вплив на поверхню змінює насамперед стан поверхневого шару, що визначають експлуатаційні показники деталей [8].

Довговічність і надійність роботи машин та механізмів забезпечується насамперед поліпшенням якісних показників робочих поверхонь деталей. Серед різноманіття напрямів для розв'язання цього завдання важливе місце посідає група технологічних методів силової природи, об'єднаних принципом жорсткої кінематики: обробка різанням, обкочування, накочування, алмазне вигладжування тощо. Ці методи в поєднанні з іншими, наприклад, нанесення металевих покриттів, дають змогу суттєво поліпшити якісні показники поверхонь і поверхневого шару, керувати процесом формування поверхонь і поверхневого шару з певними якісними показниками, що забезпечують необхідний рівень експлуатаційних характеристик деталей машин.

За умови дотримання вимог експлуатації, основною причиною зниження технічних параметрів машин, від яких залежать показники призначення, є зношування, спричинене тертям деталей.

У царині технологічних процесів оброблення деталей для боротьби зі зношуванням використовують методи підвищення міцності матеріалу деталі та її поверхневої твердості, у поєднанні зі зниженням шорсткості поверхні тертя. До таких технологій належать такі методи, що забезпечують:

- зміну структури поверхневого шару матеріалу деталі (цементация, поверхнєве загартування, пластична деформація, електромеханічне оброблення, лазерне зміцнення тощо);

- зміну складу та структури поверхневого шару (азотування, фосфатування, іонна імплантація тощо); нанесення зносостійкого зносостійкого матеріалу (нанесення зносостійких матеріалів);

- нанесення зносостійких матеріалів (нанесення зносостійких матеріалів); нанесення зносостійких матеріалів (нанесення зносостійких покриттів, нанесення зносостійкого шару тощо);

- нанесення зносостійких покриттів (гальванічні, дифузійні, наплавлення твердими сплавами, магнетронне розпилення, іонно-променеве осадження покриттів та ін.);

- спеціальна фінішна обробка поверхонь (тонке шліфування, суперфінішування, діамантове вигладжування, обробка кульками та ін.).

Донедавна вважалося, що тертя в рухомих з'єднаннях тільки руйнівний процес, що приводить до відмови вузла та зв'язку із цим до величезних матеріальних витрат в усьому світі [9].

Відкриття вибіркового перенесення (ВП), або іншими словами «ефекту безизносності» дозволило змінити існуючу думку про механізм зношування й тертя [9].

Вибіркове перенесення під час тертя (ефект безизносності) явище, за своїм характером протилежне зношуванню: якщо під час зношування під час тертя всі процеси в зоні контакту зводяться до руйнування поверхні, то процеси під час виборчого перенесення мають творчий характер: вони необоротні та відносяться до процесів, які самоорганізуються, неживої природи.

«Сутність ВП складається в тому, що при терті мідних сплавів по сталі в умовах граничного змащення, що виключає окиснення міді, відбувається явище вибіркового перенесення міді із твердого розчину мідного сплаву на сталь і зворотного її переносу зі сталі на мідній сплав, що супроводжується зменшенням коефіцієнта тертя та до значного зниження зношування пари тертя» [10].

«Це явище перше було названо атомарним захопленням. У наслідку, після проведення ряду досліджень, в 1968 році явище ВП було визначено як «...вид фрикційної взаємодії, який характеризується в основному молекулярної складової сили тертя. Виникає в результаті протікання на поверхні хімічних і фізичних процесів, що приводять до утворення систем автокомпенсації зношування й зниження тертя. Найбільш характерна система утворення захисної (сервовитної) плівки (рис.1.3), у якій реалізується дифузійно – вакансійний механізм деформації, що протікає без нагромадження дефектів, властивих втомлювальним процесам» [9].

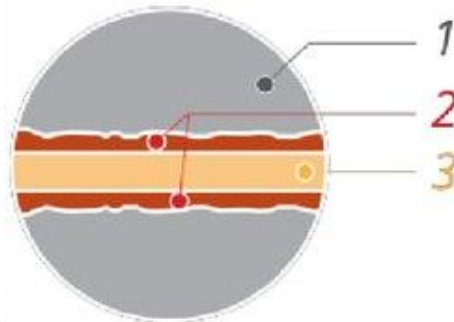


Рис.1.3. Механізм вибіркового перенесення при терті: 1 – металева поверхні деталі; 2 – «сервовитна» плівка; 3 – змащувальний матеріал

Назва «сервовитна» (плівка) походить від латинського servowitte - рятувати життя, має на увазі, на думку авторів, у нашому випадку порятунок поверхонь тертя від зношування.

На думку ряду вчених [10], «вибіркоче перенесення – це вид тертя, який здійснюється в основному як внутрішнє тертя в спонтанно виникаючій металевій плівці, яка утворюється на поверхнях тертя при певних комбінаціях конструкційних і мастильних матеріалів. Ця плівка підвищує зносостійкість поверхонь на два порядки й знижує сили тертя на один порядок у порівнянні з аналогічними умовами тертя при граничному змащенні. Для неї характерний нелінійний режим взаємодії вакансій і дислокаційно-вакансійний механізм зрушення, що задається підвищеною концентрацією вакансій при вибіркового розчиненні зміцнених ділянок у процесі тертя».

Сутність ВП полягає в тому, що за певних умов відбувається вибіркоче розчинення поверхневого шару металу деталі, внаслідок його взаємодії з

мастильними матеріалами. У результаті електрохімічної активності іонів розчиненого металу, поверхні тертя «контртела» покриваються особливою захисною плівкою, що одержала назва «сервовитна» [11].

Фізична природа ВП дає підстави для реалізації на поверхні тертя «ефекту безизносності».

Практичне використання «ефекту безизносності» можна представити таким чином (рис.1.4).

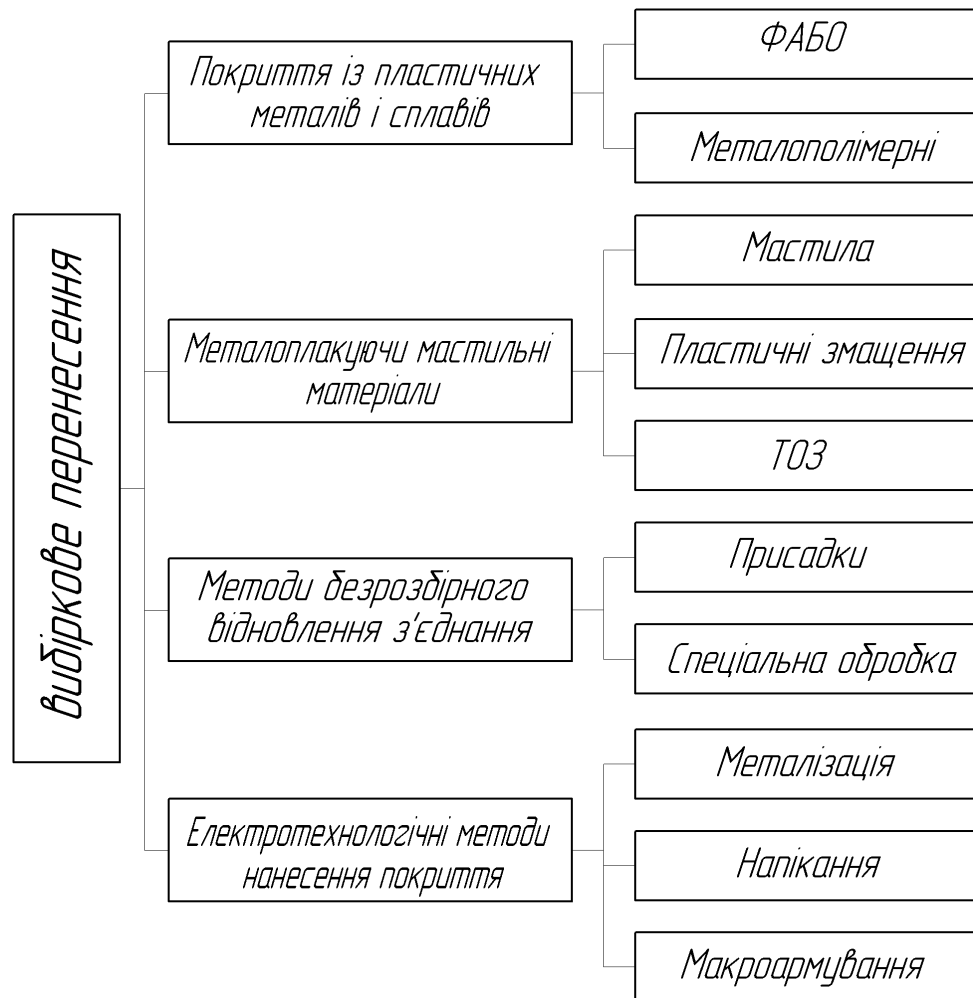


Рис.1.4. Напрямки практичного використання ефекту вибіркового перенесення

Відповідно до рис.1.4 напрямками практичного використання вибіркового перенесення можуть бути:

- нанесення покриттів із пластичних матеріалів та сплавів(мідь, латунь, бронза та інш.);

- використання в якості металоплакуючих мастильних матеріалів у вигляді мастил та пластичного змащення;
- різні методи безрозбірного відновлення з'єднання, що реалізують «ефект безизносності»;
- різні методи нанесення покриттів (металізація, припікання та ін.).

Таким чином, можна стверджувати, що одним із ефективних шляхів підвищення надійності та довговічності деталей циліндро-поршневої групи двигунів автомобілів та мобільної сільськогосподарської техніки є реалізація у вузлах тертя ефекту вибіркового перенесення, при якому на поверхні тертя утворюється найтонша металева плівка з низьким опором зрушення, яка нездатна накопичувати при деформації дислокації.

### **1.3. Висновки по розділу 1**

За результатами розділу 1 «Аналіз діяльності підприємства ТОВ «Калита-Нова» та обґрунтування теми магістерської роботи» зроблені наступні висновки:

1. Діяльність підприємства ТОВ «Калита-Нова» на сьогодні пов'язана з технічним обслуговуванням та ремонтом транспортних засобів.
2. Ресурс роботи двигуна залежить від довговічності деталей циліндро - поршневої групи. Разом з тим, саме на зношування деталей циліндро - поршневої групи приходить найбільша кількість відмов.
3. Надійність та довговічність машин та механізмів досягається металургійними, конструкторськими та технологічними напрямками. Підвищення якості поверхневого шару деталей досягаються технологічними методами.
4. Сутність вибіркового перенесення, що полягає у створенні на поверхні тертя захисної плівки можна ефективно використовувати для підвищення довговічності деталей тертя.

## **РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ**

### **2.1. Особливості роботи та причини виходу із ладу деталей циліндро-поршневої групи ДВЗ**

Двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) завдяки постійним перевагам конструктивних даних їхніх вузлів і оптимальному узгодженню з робочими процесами впродовж десятиліть продовжували розвиватися щодо їхньої сьогодишньої потужності, поведінки під час експлуатації та терміну служби. Їхні функції та експлуатаційна надійність деталей гарантується тільки за справності всіх його елементів (вузлів, деталей), коли за нерегулярності не порушується процес експлуатації.

ДВЗ є основною частиною енергетичного засобу, від якого залежить безвідмовна робота автотранспортної техніки в цілому. При неправильній експлуатації в результаті загального зносу, середня втрата потужності ДВЗ становить 10-15%, або понад 100 млн. кВт. Загалом за час експлуатації ДВЗ, його ремонтують щонайменше п'ять разів, при цьому ресурс роботи відремонтованого двигуна в середньому становить 30 % нового. Проблеми зменшення тертя, корозії та загального зносу основних сполученні автотракторних двигунів тісно пов'язані між собою [12].

Встановлено, що приблизно 62 % від загальної енергії, одержуваної двигуном внутрішнього згоряння від спалювання палива, витрачається на термічні втрати (відхідні гази, охолодження циліндрів). На аеродинамічні та гідродинамічні втрати - 6 %, від тертя - 7 % і корисні витрати - 25 %. На циліндро-поршкову групу двигуна припадає 67 % механічних втрат на тертя, на допоміжні агрегати - 16 % і гідравлічні втрати, пов'язані з прокачуванням оливи - 17 % [12].

Одним із найважливіших елементів двигуна є циліндро-поршнева група (ЦПГ), на її частку припадає близько 34-43% відмов.

ЦПГ двигунів внутрішнього згоряння відіграє важливу роль як основний конструктивний вузол, що піддається постійним циклічним, механічним і тепловим навантаженням. ЦПГ сприймає тиск газів під час такту згоряння-розширення і перетворює прямолінійний, зворотно-поступальний рух поршня на обертальний рух колінчастого вала.

Від стану ЦПГ безпосередньо залежать найважливіші показники, необхідні для стабільної роботи двигуна внутрішнього згоряння.

ЦПГ складається з таких частин: поршень, поршневі кільця, палець, 2 стопорних кільця, гільза. У будові поршня розрізняємо спідницю поршня і верхню частину - корону поршня. Від стану і типу ЦПГ залежать експлуатаційні показники моторів: надійність запуску, витрата паливних і мастильних матеріалів, показник компресії (тиску) в циліндрах ДВЗ. Необхідна компресія бензинового і дизельного мотора забезпечує впевнений холодний і гарячий запуск двигуна, його потужність, екологічність та інші експлуатаційні показники.

Нижче розглянуто характерні дефекти деталей основних ЦПГ та причини їх виникнення.

**Поршень.** Поршні призначені для того, щоб сприймати тиск газів і через шатун передавати цей тиск на колінчастий вал двигуна.

Найбільш характерним видом зносу цієї деталі є заїдання.

Їх можна розділити на три основні групи:

- заїдання зазору;
- заїдання під час роботи без змащення;
- комбінація заїдання під час роботи без змащення і заїдання зазору.

Поршень виготовлено з алюмінієвого матеріалу, який при температурі розширюється приблизно вдвічі так само, як і чавунний циліндр, що облягає його. Крім цього, під час експлуатації поршень досягає значно вищих температур, ніж циліндр. Тому під час роботи з неправильними параметрами

зазорів, у разі перекосів циліндрів, або за термічних перевантажень зазор між поршнем і циліндром може неприпустимо звужитися або взагалі перекритися. Тиск притискання поршня на робочу поверхню циліндра із зазором, що зменшується, і перекриттям, яке починається, стає весь час сильнішим, за рахунок чого несуча поверхня спідниць поршня насамперед стирається до полірованого дзеркального блиску. Тепло від тертя збільшує температуру ковзних пар. Масляна плівка постійно нагрівається все сильніше і втрачає свою змащувальну здатність. Нарешті, вона не може вже більше перешкоджати роботі без мастила між робочими поверхнями поршнів і циліндрів. Результатом є перші притирання з гладкою, темно забарвленою поверхнею. У підсумку виходять такі характерні особливості задирання зазору: місця притискань із дзеркальним блиском, що переходять у гладкі, темно забарвлені розтирання (рис.2.1).



Рис.2.1 Поршень із дефектом – Зайдання зазору

Зайдання можуть з'являтися також за достатнього зазору, тобто без відповідного протитиску. При цьому масляна плівка між поршнем і поверхнею циліндра через високу температуру або переповнення паливом лопається, часто обмежено, тільки 4 місцями. На цих місцях незмащені поверхні поршнів і циліндрів труться одна об одну і через дуже короткий час це призводить до

заїдання з сильно стертою поверхнею. Подібні явища виникають, якщо в немає мастила, тобто якщо між поршнем і циліндром узагалі немає змащення.

Можна відзначити такі характерні особливості задирання роботи без мастила:

а) за зруйнованої масляної плівки: без переходу з'являються вузько обмежені задираки переважно на спідниці поршня, які показують сильно стерті, темно забарвлені поверхні. На початковій стадії часто немає ніяких яскраво виражених місць протитиску.

б) за нестачі оливи: за винятком забарвлення поверхні, вони ідентичні з задирами під час роботи без змащення, як описано вище. Але поверхня місць задирок скоріше чисто металева і не має темного забарвлення. Часто, на початковій стадії, як і в задиру зазору, з'являються місця протитиску (рис.2.2).

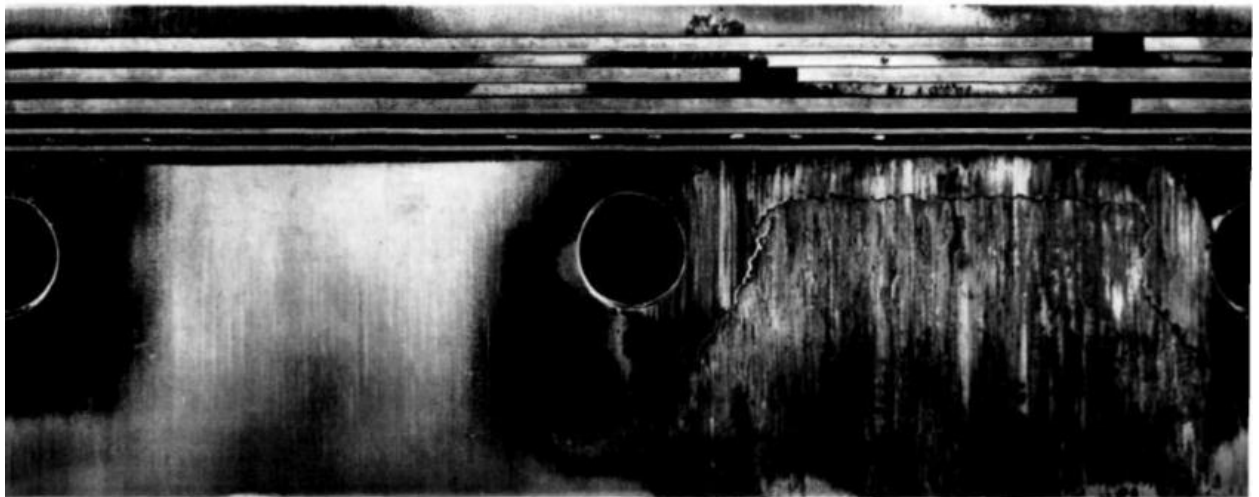


Рис.2.2. Поршень із дефектом – Заїдання під час роботи без змащення

Через високі температури в камері згоряння, з одного боку, масляна плівка знижує свою ефективність, а з іншого боку, зазор між надлишковим тепловим розтягуванням головки поршня звужується. Задираки, що з'являються в результаті цього, показують на поверхні особливості задирака роботи без змащення, тобто сильно стерта, навіть надірвана, темно забарвлена поверхня. Крім цього, вони мають таку своєрідність заїдання зазору, що у заїдання з'являються весь час відповідні місця протитиску. Нерідко при цьому головка поршня заїдається по колу.

Головка поршня сильно нагрівається за рахунок дуже високого термічного перевантаження камери згоряння, що з одного боку вона перекриває робочий зазор, а з іншого боку дедалі більше і більше руйнує масляну плівку. Зрештою по всій голівці поршня це призводить до комбінації заїдання зазору і роботи без змащення. Взагалі, відсутність зазору між поршнем і циліндром є причиною ушкодження, тому що попри важкі заїдання голівки менш явно ушкоджено нижню частину спідниці, де завжди є перший зазор між поршнем і циліндром (рис.2.3).



Рис.2.3. Поршень із дефектом – Комбінація заїдання під час роботи без змащення і заїдання зазору

Сучасні двигуни вимагають дуже мало оливи. І тим не менш, у верхній критичній зоні циліндра вони все одно мають бути дуже добре змащені. Допустимі значення коливаються між 2 до максимально 1,5 гр/квт/год. Загальна витрата оливи на двигун складається з втрати оливи, втрат випаровування та ефективної витрати оливи на поршнях. Останню потрібно тут розглядати у зв'язку з пошкодженнями поршня.

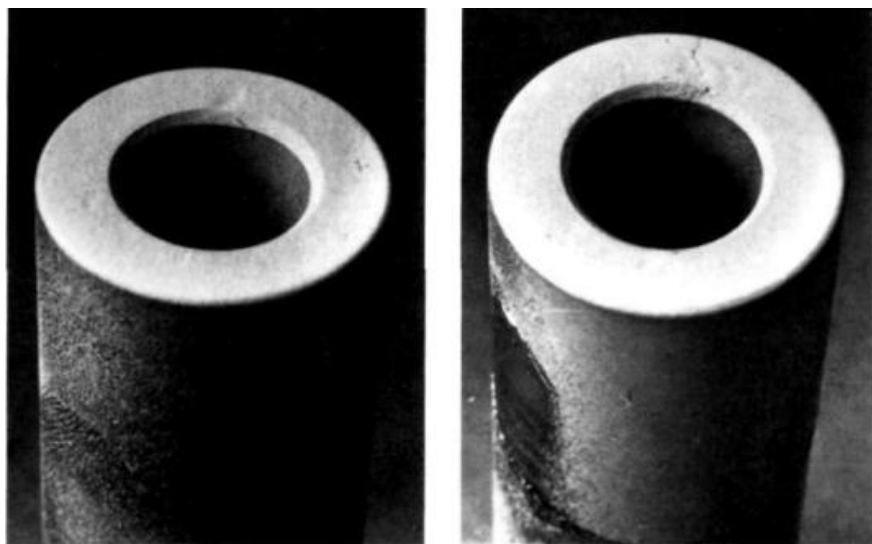
**Поршневі кільця.** Призначені для того, щоб ущільнювати надпоршневу порожнину циліндра як від прориву газів у картер, так і від зайвого проникнення в неї мастила.

**Поршневий палець.** Використовується для шарнірного з'єднання поршня з шатуном.

Поршневий палець під час роботи прогинається і овально деформується за рахунок тиску відпрацьованих газів на поршень. Через овальну деформацію на кінцях пальців під час перевантаження спочатку може утворитися поздовжня тріщина, яка може вийти або на зовнішній поверхні, або на внутрішньому отворі. Тріщина проходить тоді як втомний злам далі в напрямку середини пальця. У більшій зоні навантаженості зламу між отвором для поршневого пальця та головкою шатуна напрямок змінюється до поперечної тріщини, що врешті-решт призводить до пролому всього пальця наскрізь.

Через овальну деформацію поршневого пальця в отворах поршневого пальця на кінцях поршня під час перевантаження спочатку утворюється поздовжня тріщина, що може початися як на зовнішній поверхні, так і на внутрішньому отворі. Тріщина проходить потім далі як безперервне руйнування в напрямку середини пальця. У більшій зоні згинального навантаження між отвором поршневого пальця та отвором шатуна напрямок змінюється до поперечної тріщини, що врешті-решт веде до пролому пальця.

На рис.2.4 а, б показано, що перша тріщина може виникнути не тільки через перевантаження, а й через неналежне поводження з поршневим пальцем під час монтажу ударами молотка. Ці знімки є доказом того, що наявна перша тріщина також і за нормального навантаження йде далі і, врешті-решт, це призводить до повного руйнування.



а) б)

Рис.2.4. Виникнення тріщини на поверхні поршневого пальця: а) на початку; б) характерний дефект

**«Гільза блока циліндрів** є найбільш відповідальною деталлю ЦПГ. Внутрішня поверхня гільзи спільно з головкою поршня утворює камеру згоряння, а також служить напрямною під час руху поршня» [13].

«Гільзи зношуються в основному в результаті тертя поршневих кілець, дії абразивних часток на поверхні циліндрів і корозії. У процесі згорання палива в циліндрі різко підвищуються температура й тиски газів. Гази проникають за поршневі кільця й притискають їх до дзеркала циліндра, внаслідок чого підвищується питомий тиск на поверхню циліндра. Зростання питомого тиску поршневих кілець на стінку циліндрів приводить до різкого збільшення сили тертя під час руху кілець, витискування масляного шару з-під них, внаслідок чого між кільцями й циліндром виникає граничне тертя. Крім того, при високих температурах в'язкість масла різко знижується, що спричиняє зменшення міцності масляної плівки, і вона місцями розривається» [13].

На збільшення інтенсивності зношування пари тертя «гільза – кільце» впливає різка зміна навантажувальних і швидкісних режимів роботи двигуна.

Знос гільзи циліндра по висоті не однаковий. Найбільше зношування відбувається у верхній частині, в так званій зоні зміни напрямку руху

компресійних кілець, де спостерігається нестача змащення через наявність високих тисків і температур.

На поверхні тертя гільз циліндрів ДВЗ, навіть за максимальної швидкості ковзання поршня, не спостерігається тертя з гідродинамічним мастилом. З підвищенням тиску на компресійні кільця і температури поверхонь тертя зона тертя з граничним мастилом у гільзі циліндра збільшується.

За переважання корозійно-механічного зношування, максимальне зношування спостерігається у верхній частині гільзи циліндрів, за абразивного зношування більше зношується середня частина гільзи.

Слід зазначити, що гільзи більше схильні до абразивного зношування через потрапляння твердих частинок у зону тертя (рис.2.5).



Рис.2.5. Знос внутрішньої поверхні гільзи в наслідок абразивного зношування.

У процесі експлуатації двигуна гільза зношується, і в неї виникають такі дефекти:

- знос внутрішньої поверхні;
- знос торцевої поверхні опорного бурта;
- деформація і кавітаційні руйнування посадкових пасків і зовнішньої поверхні, що омивається охолоджувальною рідиною;
- тріщини, відколи, забоїни і задирки різного характеру.

Основним дефектом у гільз є знос внутрішньої поверхні. Знос внутрішньої поверхні гільзи є складним триступінчастим процесом, що

включає в себе адгезію, корозію та абразивне зношування [14]. Залежно від умов експлуатації двигуна і стану деталей ЦПГ, характер зносу гільзи може змінюватися. Зсув максимального зносу донизу від положення ВМТ поршневого кільця спричиняється збільшенням періоду затримки займання палива, а збільшення зносу в середній частині гільзи зумовлене забрудненням моторного мастила абразивом або інтенсивною корозією під час роботи двигуна на низькотемпературному режимі.

За нормальної експлуатації найінтенсивніше зношування спостерігається в процесі припрацювання, коли переважає адгезійне зношування, що виникає тільки в перший період експлуатації. Нерівності кільця і гільзи, що ковзають відносно одна одної, завдяки місцевим пластичним деформаціям, призводять до утворення з'єднань (мікрозварювання) з подальшим руйнуванням у найслабших точках. Пластична деформація, що виникає в процесі тертя під час зворотно-поступального руху сполучених тіл у тонкому поверхневому шарі, спотворює кристалічну решітку і значно прискорює дифузійні процеси. Крім того, включення графіту в структурі чавуну великого розміру і неметалеві включення неправильної форми є сильними концентраторами напружень, що сприяють процесу адгезії.

У міру збільшення часу роботи двигуна, знос, що відбувається під дією сили тертя, замінюється корозійним зносом, впливом на поверхню тертя відпрацьованих газів, конденсату розчинів кислот. Утворюється тонка окисна плівка, що перешкоджає процесу схоплювання між матеріалами гільзи та кільця. Ця плівка під дією поршневих кілець і абразивних частинок відділяється з поверхні тертя, утворюючи нові абразивні частинки. Оголена ювенільна металева поверхня знову окислюється, і процес повторюється, спричиняючи зношування.

Висока температура на внутрішній поверхні гільзи сприяє руйнуванню поверхневого шару, про це свідчить зміна твердості чавунів в інтервалі температур 293... 1173°K.

«Під час капітального ремонту двигунів 100% гільз потребують заміни на нові або відновлені. У ремонтному виробництві здебільшого зношені гільзи розточують під ремонтний розмір, збільшений на 0,7 мм, і комплектують кільцями і поршнем ремонтного розміру. При цьому можна розточувати гільзи, що мають знос не більше 0,35 мм на діаметр з овальністю посадкових пасків не більше 0,05 мм, що становить близько 70% від загальної кількості гільз, які підлягають відновленню. Через відсутність обладнання та сучасної технології для відновлення гільз циліндрів, до 80% зношених гільз утилізують і замінюють на нові» [15].

Деформація посадкових пасків і кавітаційне руйнування зовнішньої поверхні гільзи трапляється значно рідше; коефіцієнт повторюваності дефекту в різних гільз не більше 20%. Крім того, в процесі експлуатації через зношування, зменшується твердість внутрішньої поверхні гільзи на HRC 8... 10.

Тріщини, відколи, забоїни і задирки гільз є результатом неправильного складання або розбирання двигунів, зберіганням або транспортування ремфонду, а також аварійним станом ЦПГ. Такі гільзи ремонту не підлягають і бракуються.

Аналіз умов роботи ЦПГ свідчить про те, що однією з найбільш відповідальних та таких, що лімітує ресурс двигуна в цілому є гільза циліндрів.

За рахунок ефективного відновлення спрацьованої робочої поверхні (дзеркала) гільзи циліндра можна підвищити ресурс двигуна, зменшити матеріальні та трудові витрати на технічне обслуговування при експлуатації.

Питання підвищення довговічності деталей ЦПГ можна вирішити за рахунок використання застосування триботехнічних методів, що забезпечують ефект безизносності (явище вибіркового перенесення при терті)/

## **2.2. Явище вибіркового перенесення при терті**

Донедавна вважалося, що тертя в рухомих з'єднаннях тільки руйнівний процес, що приводить до відмови вузла та зв'язку із цим до величезних матеріальних витрат в усьому світі [9].

Відкриття вибіркового перенесення (ВП), або іншими словами «ефекту безизносності», зроблені радянськими вченими Д.М.Гаркуновим та І.В.Крагельським в 1956 році, що дозволило змінити існуючу думку про механізм зношування й тертя [16].

Механізму вибіркового перенесення (ВП) присвячено велику кількість робіт. Висвітленню питань ВП під час тертя присвячені численні роботи українських учених В.П. Савчук, О.Л. Садова, В.В. Черкун, Г.О. Серенко та ін., зарубіжні вчені Г. Польшцер, Ф. Майснер і багато інших.

Одним із найперспективніших способів боротьби зі зносом стало використання відкриття 1965 р., якому автори дали таке формулювання: «Виявлено, що під час тертя мідних сплавів об сталь в умовах граничного змащування, яке унеможливорює окиснення міді, відбувається явище виборчого перенесення міді з твердого розчину мідного сплаву на сталь і зворотного її перенесення зі сталі на мідний сплав, яке супроводжується зменшенням коефіцієнта тертя до рідинного та приводить до значного зниження зносу пари тертя».

«ВП є складним саморегульованим процесом, який супроводжується фізико-хімічними, електрохімічними та механічними явищами в парах тертя. Під час цього в зоні контакту мимовільно утворюється пластична плівка товщиною 1...2 мкм із постійним числом дислокацій і великою кількістю вакансій. Для процесу вибіркового перенесення характерне перенесення матеріалу з однієї поверхні пари тертя на іншу без зростання сили та коефіцієнту тертя, різке зниження коефіцієнта тертя (0,01...0,005) та зношування ( $10^{-10}$ ... $10^{-12}$ )» [17].

Щодо природи утворення нових структур під час тертя в режимі ВП існує ціла низка гіпотез, які з різним ступенем достовірності описують цей процес і механізм утворення мідних плівок. Наприклад, у роботі [18] стверджується, «що мідна плівка в парі бронза–сталь утворюється в результаті анодного

розчинення бронзи (легувальні елементи – цинк, олово, алюміній, залізо – йдуть у мастильний матеріал, і поверхня збагачується міддю). Після того як поверхня бронзи і сталі покриється міддю, розчинення припиняється, встановлюється режим ВП» [18].

У процесі формування поверхневого шару основну роль під час тертя відіграють три ефекти: ефект вибіркового розчинення (або корозійний); ефект Ребіндера (або адсорбційний); ефект Кіркендела (або дифузійний). Інтенсивність зазначених фізико-хімічних процесів залежить від характеру напруженого стану поверхонь, що труться.

Розглядаючи явище вибіркового переносу як складний процес, що відбувається в зоні тертя, автор роботи [17] встановив, що трибодеструкція мастила на самому початку тертя в режимі вибіркового переносу, окрім розв'язання проблеми його окиснення, призводить до низки корисних процесів. Молекули мастила, руйнуючись на хімічно активні та електрично заряджені частинки, приводять у дію електрохімічний механізм вибіркового розчинення анодних ділянок сплаву, що знижує міцність поверхневого шару. Одночасно це призводить до двох найважливіших наслідків:

- утворення металоорганічних сполук;
- утворенню вакансій у поверхневому шарі, які, знижуючи поверхневий натяг металу і ніби розріджуючи його, ще більше сприяють його деформуванню.

Утворення металоорганічних сполук призводить до утворення колоїдів, а утворення комплексних сполук посилює перенесення частинок металу в результаті електрофорезу в зону контакту. Перенесення частинок міді на очищену від оксидних плівок сталь, а також поступове зменшення концентрації легуючих компонентів у поверхневому шарі внаслідок їхнього розчинення знижують потенціал у мікроелементі сплаву, а також між сплавом і сталлю практично до нуля.

Результати дослідження основних закономірностей тертя та зношування пари мідний сплав - сталь за реалізації вибіркового переносу, а також складу та

будови захисної плівки дають змогу запропонувати схему взаємодії тріади тертя, що представлена на рис.2.6 [18].

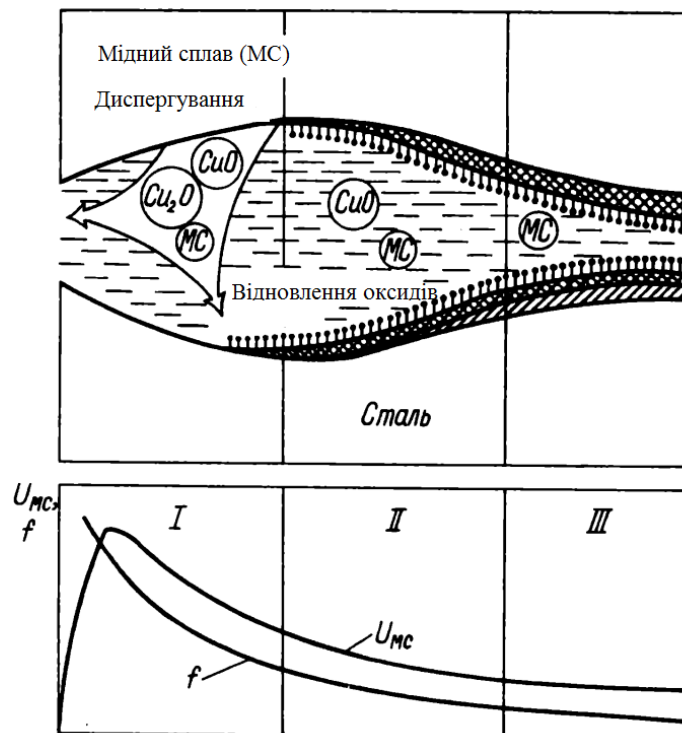


Рис.2.6 Схема взаємодії тріади тертя в умовах ВП: I – початкова стадія; II – утворення мідної плівки; III – сталий режим

Так, у початковий момент роботи вузлів тертя відбуваються диспергування м'якшого матеріалу, видалення з поверхні тертя оксидних плівок, намазування мідного сплаву на сталевий зразок. За рахунок механічних і фізико-хімічних процесів під час тертя в мастильному середовищі утворюються кислоти, які за наявності ювенільних поверхонь міді сприяють реакції естерифікації. Продукти зношування, потрапляючи в зону тертя пари мідний сплав - сталь сталь, діють як абразив щодо мідного сплаву, чинять подряпини та ріжучі дії, оголюють ювенільні поверхні міді та руйнуються. Це сприяє активнішому протіканню хімічних реакцій і формуванню аморфної органічної речовини складноефірного складу на більшій площі фрикційної ювенільної поверхні міді. Є ще ціла низка більш-менш обґрунтованих гіпотез і пропозицій, проте перелічені вище найпоширеніші.

Слід також відзначити комплекс новоутворень, що відбуваються при реалізації ВП (рис.2.7).

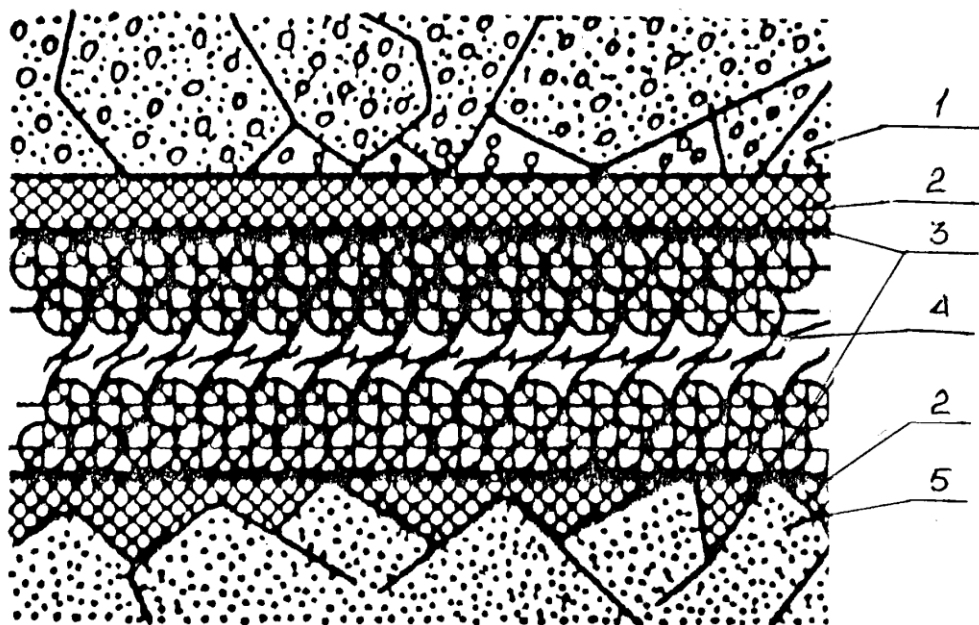


Рис.2.7. Утворення шарів при ВП: 1 – мідний сплав (мідне покриття); 2 – «серфовитна» плівка; 3 – серфінг-плівка; 4 – колоїдні й полімерні структури; 5 – сталь

Природа і механізм ВП під час тертя насправді доволі складні й характеризуються такими факторами: складом і властивостями мастильного матеріалу, поверхонь вузлів тертя; ліквідацією оксидних і адсорбційних плівок; збудженням і деформуванням атомів матеріалу; дифузійними процесами тощо. Така багатостадійність процесу свідчить про його складність і часом неможливість розгляду механізму ВП з будь-якої однієї точки зору.

Виходячи з цього, ВП можна уявити як мимовільне утворення в зоні контакту поверхонь тонкої металевої плівки, що має низький опір зсуву і не накопичує дислокацій під час деформації.

Таким чином, ВП –це процес утворення в зоні тертя тонкої мідної плівки з низьким опором зсуву. Між поверхнями, що труться, внаслідок електрохімічних, трибохімічних і адсорбційних процесів виникає електричне поле, що стабілізує органічні суспензії частинок міді, які перебувають у зоні зазору.

Практичне значення вибіркового переносу полягає в тому, що вперше в кінематичних парах здійснено характерне для дисипативних структур самовідновлення зношеного шару. Це усуває зазор, що виникає в процесі тертя, який зазвичай виводить машини і механізми з ладу. Таким чином, використання вибіркового перенесення дає змогу істотно підвищити довговічність машин і механізмів. Явище практичного використання ВП можна застосувати для підвищення довговічності деталей ЦПГ дизельних двигунів автомобілів та тракторів.

### **2.3. Способи підвищення довговічності ЦПГ, що реалізують ефект ВП**

Важливість підвищення надійності деталей ЦПГ двигуна визначається тим, що саме від стану вузла спряження « гільза-поршень-кільце» залежить термін служби двигуна, а витрати на ремонт, відновлення й заміну деталей ЦПГ є найбільшими в порівнянні з витратами на ремонт, відновлення й заміну інших деталей двигуна [19].

На сьогодні перспективним напрямком досліджень по підвищенню зносостійкості продовжує залишатися застосування способів, що реалізують ефект вибіркового перенесення. Відомо, що застосування таких способів забезпечує підвищення зносостійкості деталей в 1,5...2 рази, поліпшення антифрикційних і протизадирних властивостей поверхонь тертя, скорочення часу припрацювання, а також дозволяє підвищити ресурс двигунів до 30% [18].

Існуючи варіанти способів й технологічного оснащення для їх реалізації не знаходять широкого застосування на підприємствах технічного сервісу [20]. Це робить актуальним пошук нових шляхів, що дозволяють при мінімальних витратах впровадити способи, що реалізують ефект ВП на ремонтних підприємствах і забезпечити тим самим, підвищення зносостійкості ЦПГ двигунів автомобілів.

У зв'язку із цим, метою досліджень є підвищення довговічності характеристик робочих поверхонь ЦПГ, із застосуванням раціональних

способів на основі ефекту ВП для реалізації доступного технологічного процесу в умовах ремонтних підприємств.

У результаті патентних досліджень і аналізу джерел [9, 18 та ін.], розроблена сучасна класифікація способів підвищення довговічності ЦПГ за рахунок реалізації ефекту ВП (рис.2.8).

Можна виділити три основні напрямки для реалізації ВП: вставки в деталі, фінішну обробку й застосування металоплакуючих присадок.

Металоплакуючі присадки застосовуються як при обкатуванні, так і при експлуатації. Присадки можуть вводитися через масло, паливо й повітряний колектор [18].

Безліч способів поєднує в собі фінішна антифрикційна безбразивна обробка (ФАБО), яку можна розділити на дві основні групи (рис.2.8): нанесення металевих покриттів; нанесення шаруватих твердозмашувальних покриттів контактним намазуванням, у суспензії твердого змащення або спеціальними методами хонінгування.

У свою чергу нанесення металевих покриттів може бути реалізоване фрикційно-механічним способом, у вигляді фрикційного латунування, бронзування, мідніння, і фрикційно-хімічним способом, в металоплакуючих середовищах (рис.2.8).

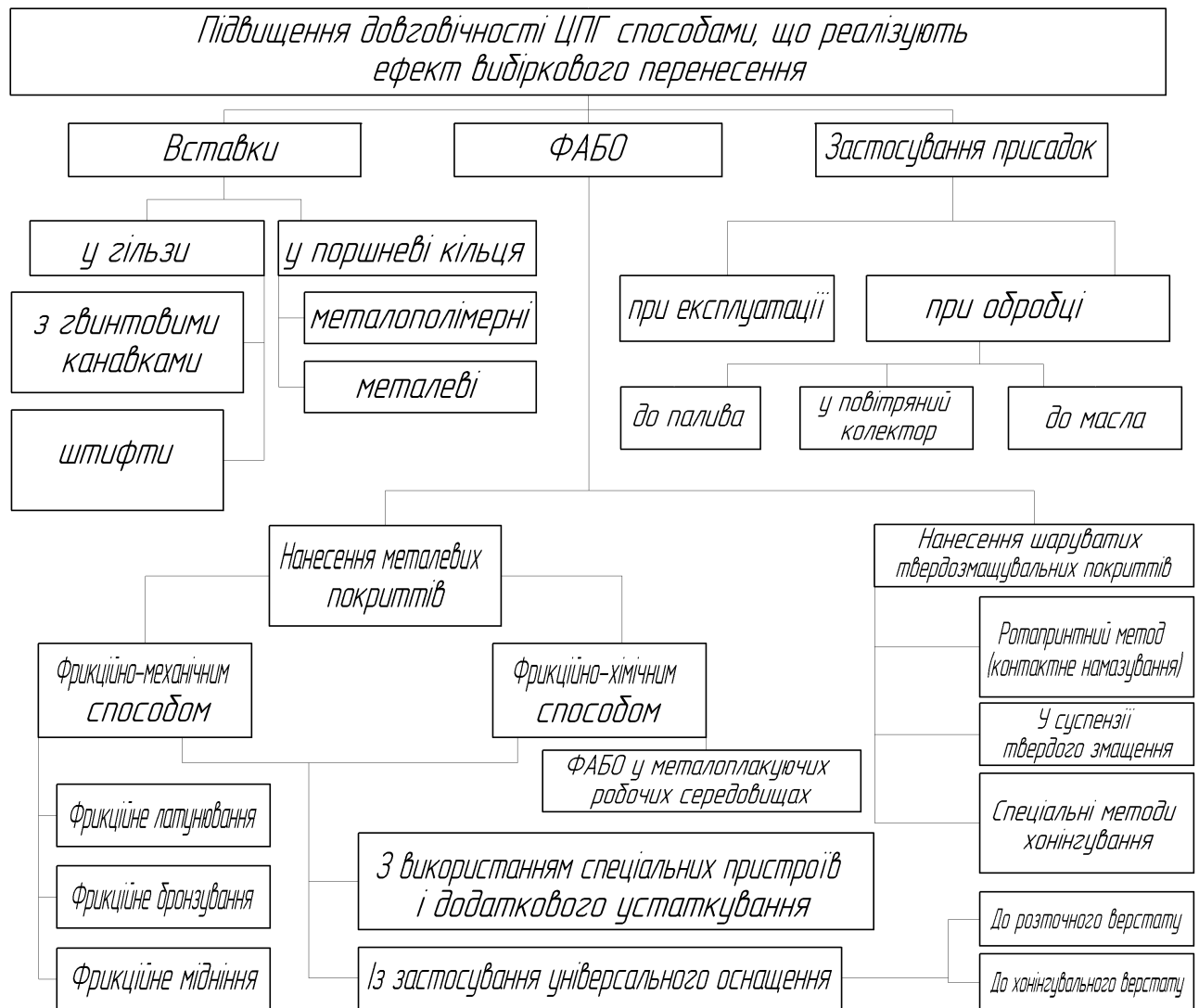


Рис.2.8. Класифікація сучасних способів підвищення довговічності ЦПГ двигунів за рахунок реалізації ефекту ВП

За типом застосовуваного устаткування можна виділити способи з використанням спеціальних пристроїв і додаткового устаткування, і способи із застосуванням універсального оснащення: або до розточувального верстата [21], або до хонінгувального верстату. Існуючі способи й варіанти технологічного оснащення для проведення даної операції досить трудомісткі у виготовленні й, як правило, вимагають створення додаткового робочого місця. Одним з перспективних напрямків досліджень, що дозволяють, на думку окремих авторів «розв'язати проблему поршневого кільця», є його модифікація вставками з антифрикційних матеріалів на основі міді. Вставки можуть бути виконані у гільзах і циліндрах двигунів і у поршневих кільцях.

Однак, даний напрямок також не знайшов широкого застосування у двигунобудуванні, головним чином, через низьку адгезію присадочного антифрикційного матеріалу вставок. Загальним недоліком розглянутих способів є низька адгезія матеріалу вставок до поверхні кільця, що не дозволяє реалізувати повною мірою можливості по підвищенню зносостійкості сполучень. На сьогодні, одним зі шляхів вирішення цієї проблеми є пошук комбінації матеріалів і конструктивно-технологічних особливостей, що дозволяють надійно зафіксувати вставки в тілі кільця. Аналіз проблеми дозволяє стверджувати, що існують передумови до підвищення адгезії й триботехнічного ефекту при застосуванні модифікованих поршневих кілець із вставками з біметалічних матеріалів.

Дослідження показують, що існуючі методи підвищення надійності ЦПГ двигуна не знаходять широкого застосування в ремонтно-технологічній практиці. Незважаючи на дуже велику кількість робіт, присвячених підвищенню якості й довговічності поверхонь тертя двигунів, деякі питання вимагають подальшого вивчення.

Таким чином, проведені дослідження дозволяють виділити такі перспективні напрямки підвищення зносостійкості деталей ЦПГ як проведення ФАБО з використанням універсального оснащення до хонінгувального верстату й застосування вставок з біметалічних матеріалів у поршневі кільця. Модифікація поршневих кілець біметалічними вставками дозволить підвищити адгезію матеріалу вставок до поверхні кільця й тим самим забезпечить можливість їх застосування в практиці ремонтного виробництва. При досягненні позитивних результатів досліджень очікується, що застосування модифікованих поршневих кілець дозволить збільшити фактичну площу контакту, і відповідно, зменшити тиск контактуючих поверхонь у сполученні кільце-гільза та підвищити їх зносостійкість. Це дозволить підвищити якість припрацювання ЦПГ двигуна при його обкатуванні, забезпечить зниження зношування й збільшення ресурсу.

Виконання ФАБО з використанням спеціального оснащення дозволить виконувати обробку безпосередньо на хонінгувальному верстаті, без його спеціального настроювання й переустаткування, тобто процеси ФАБО можна буде впроваджувати при мінімальних витратах на підприємствах технічного сервісу двигунів, що виконують ремонт.

### **2.3.1 Фінішна антифрикційна безабразивна обробка як спосіб підвищення довговічності деталей машин**

Одним з напрямків підвищення ресурсу нових і відремонтованих двигунів є застосування фінішної антифрикційної безабразивної обробки (ФАБО) деталей, що лімітують ресурс двигунів (гільзи циліндрів, колінчасті вали, шатуни й ін.).

ФАБО заснована на використанні явища вибіркового перенесення (ефект безизносності), відкритого в СРСР у 1956 р. Ефект безизносності реалізований у багатьох машинах шляхом використання спеціальних мастильних матеріалів, покриттів і конструкцій вузлів машин. Він заснований на явищі самоорганізації, відомому з фізики [11].

Перспективним напрямком у галузі створення наноструктурованих мідьвмісних покриттів є фінішна антифрикційна безабразивна обробка (ФАБО). Під ФАБО розуміють різні способи фінішної обробки, що ґрунтуються на використанні в процесі тертя явищ захоплення поверхонь і вибіркового перенесення.

Дослідженню процесу ФАБО присвячені багаточисельні праці українських вчених: І.В. Шепеленка, Я.Б. Немировського, Л.І. Івценка В.В. Черкуна, В.І. Кубича та ін. [4, 16, 18, 22 та ін.].

У роботі [18] процес ФАБО представлений у три етапи (рис.2.9).

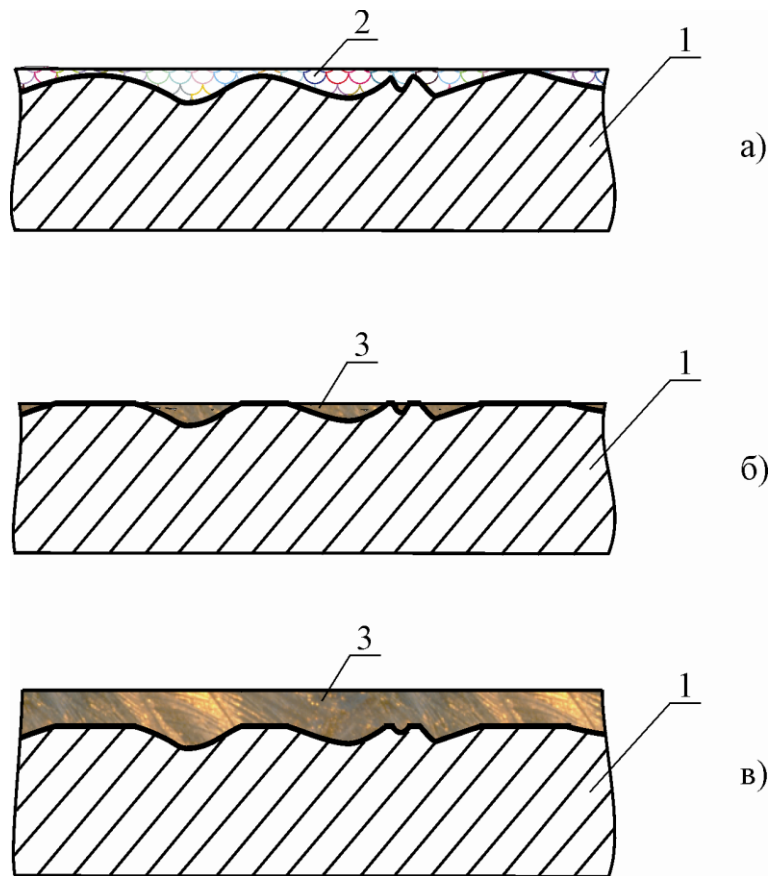


Рис.2.9 Послідовність утворення покриттів методом ФАБО: 1 – основний метал; 2 – технологічне середовище; 3 – покриття

На першому етапі (рис. 2.9, а) на поверхню деталі наносять технологічне середовище, яке, маючи хорошу змочуваність поверхні, сприяє розм'якшенню і розчиненню оксидних плівок на поверхні деталі та інструменту.

На другому етапі (рис. 2.9, б) тверде тіло (оброблювана деталь) контактує з м'яким контртелом (інструментом). При цьому відбувається зношування інструмента внаслідок мікрорізання шорсткостями поверхні оброблюваної деталі. Для цієї фази характерний високий тиск і пов'язане з ним впровадження виступів шорсткості поверхні деталі в поверхню м'якшого матеріалу, що утворює покриття. Унаслідок трибонавантажень і стискаючих тисків частина частинок зносу, що утворилися під час мікрорізання, спресовуються в западинах між виступами шорсткості поверхні деталі. Це сприяє згладжуванню поверхні, збільшує реальну площу контакту, зменшує контактний тиск. У результаті високих локальних тисків виникають когезійні зв'язки.

На третьому етапі (рис.2.9, в), коли западини оброблюваної поверхні заповнені, під впливом адгезійної взаємодії відбувається збільшення товщини шару покриття. При цьому нанесений шар міцно зв'язується з підкладкою основного металу, а шорсткість поверхні посилює цей зв'язок. Подальше зростання товщини покриття визначатиметься тим, наскільки зсувна міцність шарів покриття буде більшою за міцність матеріалу інструменту.

«Необхідною умовою успішного здійснення ФАБО є введення в зону контакту спеціальної технологічної рідини – технологічного середовища (ТЗ), яке змочує оброблювану поверхню, розпушує оксидну плівку, пластифікує поверхню і створює умови для схоплювання металів» [4].

Нанесення металевих покриттів ФАБО може бути здійснено фрикційно-механічним, хімічним, фрикційно-хімічним методом [4].

«Фрикційно-механічний метод полягає в терті мідного інструменту об деталь; хімічний метод заснований на процесі мимовільного утворення металевого покриття за рахунок введеного в контакт технологічного середовища; фрикційно-хімічний метод характеризується протіканням додаткової активації тертям» [18].

Характерну схему ФАБО представлено на рис. 2.10.

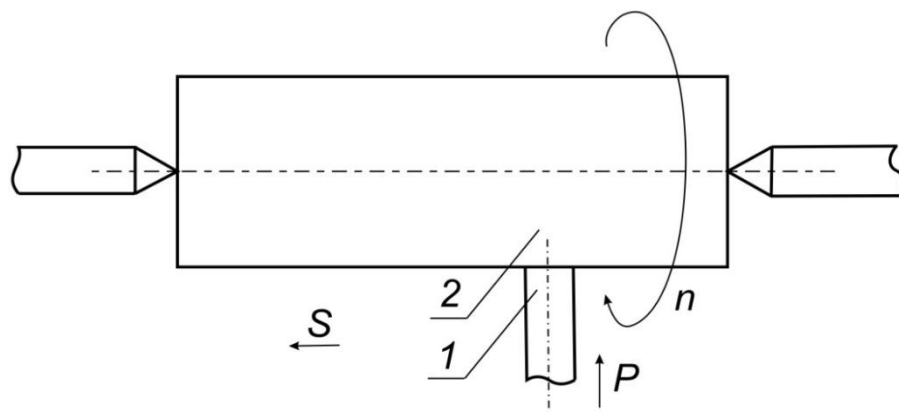


Рис.2.10. Схема реалізації ФАБО: 1 – інструмент, 2 – деталь, яка обробляється,  $P$  – зусилля притиснення елемента, що натирає,  $n$  – частота обертання деталі,  $S$  – поздовжня подача інструмента [4]

### 2.3.2 Застосування металоплакуючих присадок

«До металоплакуючих присадок (МПП) відносяться присадки до мастильних матеріалів (ММ), що реалізують ВП у процесі роботи з'єднань тертя, що змазуються ними й містять суміш жирних органічних кислот, їх солей металів і гліцерину. Тому, в деяких випадках їх ще називають металоорганічними. Під дією жирних кислот та інших органічних компонентів поверхні тертя пластифікуються (ефект Ребиндера), що сприяє швидкому створенню оптимальних шорсткостей поверхонь тертя. При високих температурах порядку  $T = 423...477\text{ K}$  на них утворюються тонкі мідні плівки, що одержали назву «сервовитна» плівки. Під дією органічних елементів, що втримуються у присадці, та компонентів ЗМ на поверхні «сервовитної» плівки утворюється полімерна плівка – «серфінг-плівка»» [18].

Дослідження, які проведені проф. Г.Польцером (Німеччина), виявили високу ефективність застосування МПП типу МКФ-18. Отримані досить гарні результати при обкатуванні й експлуатації автомобілів "Фиат" і "Трабант" [4].

Аналіз властивостей основних присадок показує, що найбільш прийнятними є присадки типу МКФ-18. Вони відрізняються кращими характеристиками в композиції з моторними маслами, меншим змістом механічних домішок і т.д. Найбільш доступної з них є присадка, що серійно випускається, МКФ-18Е - торговельна назва «Велап». Така присадка є універсальною й застосовується не тільки при обкатуванні, але й в експлуатації, як з моторними й трансмісійними маслами, так і з консистентними змащеннями. Універсальність присадки пояснюється невисокою корозійною активністю, низькими концентраціями, що не викликають негативних змін функціональних властивостей масел, можливістю використання при обкатуванні та експлуатації, що знижує асортименти ЗМ необхідних для транспортного підприємства, зменшує їх вартість і спрощує питання постачання.

## 2.4. Пристрої для ФАБО гільз циліндрів

В роботах [ ] представлені різноманітні конструкції пристроїв для ФАБО, які використанні для обробки гільз циліндрів ДВЗ.

Коротко розглянемо основні з них.

Найпростішу схему ФАБО гільз циліндрів представлено на рис.2.11. Пристосування 4 з латунним прутком 3 кріплять на борштанзі 5, встановленій у різетримачі 6 токарного верстата. У процесі латунування латунний пруток притискають до поверхні втулки 2 із зусиллям, що відповідає тиску 70 МПа, і переміщують уздовж втулки з подачею 0,2 мм/об.

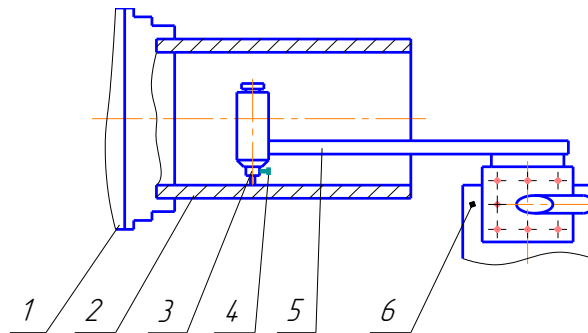


Рис.2.11. Схема фрикційного латунування гільзи: 1 - токарний патрон; 2 - втулка; 3 - латунний пруток; 4 - пристосування; 5 - борштанга; 6 - тримач токарного верстата [21]

Німецькою науковою школою розроблено низку пристосувань для ФАБО циліндрів двигунів [21]. Пристосування влаштовані так, що в них стрижень (інструмент), який натирає, обертається навколо своєї осі. Це дає змогу забезпечити:

- лінійне торкання елемента і водночас малу реальну площу його контакту з поверхнею, що натирається, що дає змогу мати високі тиски за невеликих зусиль притиснення;

- постійна зміна в області контакту в процесі ФАБО.

Таким чином, встановлено [21], що найбільше зміцнення сталеві та чавунної поверхні відбувається, коли між інструментом і оброблюваною деталлю є лінійний контакт.

Відомий приклад обробки гільз у металоплакувальному середовищі, де як інструмент використовують волчкові притири, встановлені на хонголовку [21].

Для ФАБО гільз циліндрів можуть використовуватися пристрої на базі хонінгувального верстата із застосуванням спеціальної хонголовки, що має абразивні й антифрикційні бруски [ ].

У роботі [4] вказується на «доцільність конструювання інструменту для ФАБО на базі хонголовки, що забезпечить його центрування щодо оброблюваного отвору. Також автор рекомендує як матеріал натираючого елемента використовувати латунь марок Л62, Л63» [4]. Більш високий вміст міді небажаний, оскільки це позначається на пластичних властивостях матеріалу.

Для ФАБО внутрішніх циліндричних поверхонь у металоплакуючих робочих середовищах розроблено пристрій, показаний на рис. 2.12 [23].

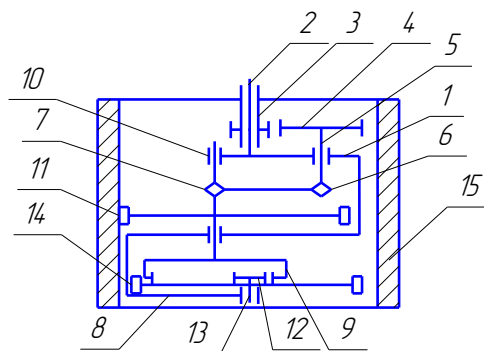


Рис.2.12. Кінематична схема пристрою для фрикційно-механічного нанесення покриттів у металоплакуючих середовищах: 1 - корпус; 2 - ведучий вал; 3 - сонячна шестерня; 4, 12 - сателіт; 5, 10, 13 - вал; 6, 7 - зірочка; 8 - регулюючий корпус; 9 - коронна шестерня; 11, 14 - щітка; 15 – деталь

Недоліком даного пристрою є складність конструкції.

У Кіровоградському інституті сільськогосподарського машинобудування розроблено пристрій для фрикційно-хімічного нанесення покриттів на внутрішні робочі поверхні деталей типу "втулка" (рис.2.13) [23].

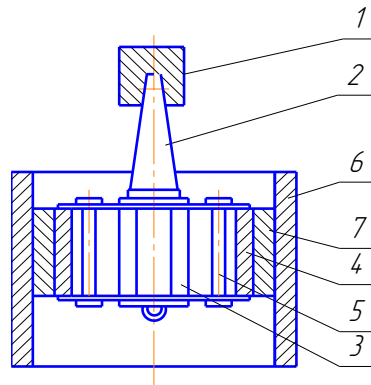


Рис.2.13. Пристрій для фрикційно-хімічного нанесення покриттів із застосуванням пружнопористих елементів: 1 - механізм обертання; 2 - приводний вал; 3 - диск; 4 - колодка; 5 - вісь; 6 - деталь; 7 - натираючий вузол

Автори вказують на підвищення продуктивності процесу, проте точність обробки залишається невисокою.

Відмінною особливістю пристосування (рис. 2.14) для ФАБО гільз циліндрів є наявність двох натираючих елементів, а також відсутність розбризкування робочої рідини під час обробки внутрішньої поверхні [23].

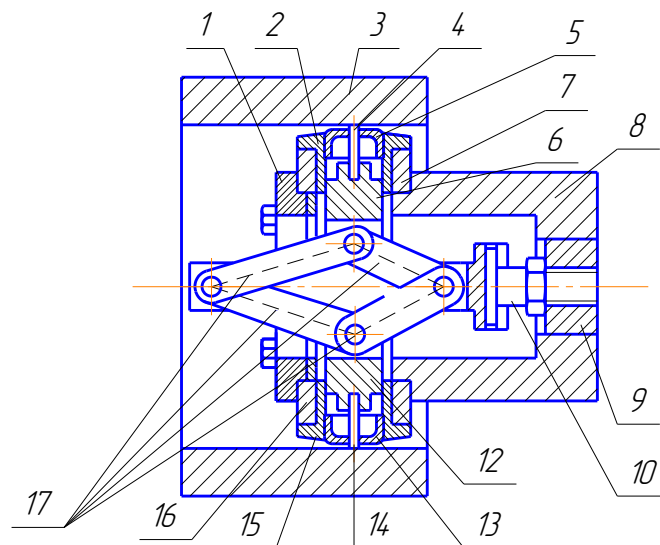


Рис.2.14. Схема ФАБО гільз циліндрів: 1 - кришка; 2, 15 - напрямні втулки; 3 - оброблювана поверхня; 4, 14 - латунний пруток; 5, 13 - гайки; 6, 12 -

рухомі штоки; 7, 16 - стакан; 8 - головка; 9 - тяга; 10 - болт; 11 - вилка; 17 – важіль

Використання такого пристосування дало змогу підвищити швидкість обробки, проте зносостійкість деталей не змінилася.

У Горлівській філії Донецького політехнічного інституту розроблено оснащення для ФАБО гільз циліндрів [ ], за основу якого автор узяв принцип хонінгування, замінивши керамічні бруски в хонінгувальній голівці на латунні ролики (рис.2.15), що мають робочі паски, які виступають.

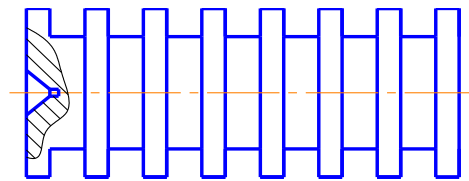


Рис.2.15. Латунний ролик до хонінгувальної головки

Така конструкція дала змогу підвищити тиск на робочу поверхню циліндра, а також створити умови для інтенсивного перенесення матеріалу з ролика на циліндр. Недоліком даної конструкції є неможливість регулювання тиску інструмента на робочу поверхню, внаслідок чого знижується якість обробки.

Аналіз методів фінішного оброблення отворів показав, що найперспективнішим з погляду підвищення зносостійкості та міцності зчеплення покриття з основою слід вважати використання методів комбінованого оброблення [24]. Можливість поєднання ФАБО з методами ППД дасть змогу підвищити продуктивність процесу, а також якість фінішного оброблення отворів. Такий висновок дозволив авторам роботи [25] запропонувати наступний інструмент для ФАБО гільз циліндрів (рис.2.16).



Рис.2.16. Інструменту для ФАБО гільз ДВЗ

Використання запропонованої конструкції інструменту і схеми дало змогу підвищити якість обробки гільз циліндрів ДВЗ.

## **2.5. Висновки по розділу 2**

Аналіз літературних джерел за темою досліджень дозволив зробити наступні висновки:

1. Розглянуто особливості роботи та причини виходу із ладу деталей ЦПГ ДВЗ, а також характерні дефекти, що притаманні з'єднанню. З'ясовано, що гільза циліндрів є найбільш відповідальною деталлю ЦПГ.

2. Питання підвищення довговічності деталей ЦПГ можна вирішити за рахунок використання триботехнічних методів, що забезпечують ефект вибіркового перенесення.

3. Розглянуто механізм утворення мідної плівки при вибіркового перенесенні. Явище практичного використання вибіркового перенесення можна застосувати для підвищення довговічності деталей ЦПГ дизельних двигунів автомобілів та тракторів.

4. Проаналізовані способи підвищення довговічності ЦПГ, що реалізують ефект вибіркового перенесення. Одним з напрямків практичного використання вибіркового перенесення є реалізація методу ФАБО.

5. Розглянуто сутність ФАБО, основні методи її реалізації та конструкції пристрої для ФАБО гільз циліндрів.

### **РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ДОВГОВІЧНОСТІ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ, ОБРОБЛЕНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ, ЩО РЕАЛІЗУЄ ЕФЕКТ ВИБІРКОВОГО ПЕРЕНЕСЕННЯ**

#### **3.1. Загальна методика проведення досліджень**

Для досягнення мети, поставленої в роботі, використано методику, яка складається з таких етапів:

1) Вивчено інформацію про умови роботи ЦПГ, фактори, що впливають на довговічність цього вузла ДВЗ, а також технології оброблення гільз циліндрів ДВЗ і методів збільшення параметрів зносостійкості та довговічності як ЦПГ, так і ДВЗ загалом.

2 Теоретичні дослідження з обґрунтування збільшення довговічності ЦПГ шляхом застосування технологій під час обробки гільз циліндрів.

3. Розробка технології, що реалізує ефект ВП.

4. Вибір антифрикційних матеріалів, режимів ФАБО гільз, а також оцінка впливу фінішної обробки гільз циліндрів антифрикційними матеріалами на параметри поверхонь тертя.

5. Експериментальні дослідження якості поверхневого шару після ФАБО.

6. Стендові випробування.

7. Оцінка ефективності технології обробки гільз циліндрів і можливості їх застосування для підвищення довговічності деталей.

У розділі 2 представленої роботи детально проаналізовано умови роботи ДВЗ, а також ЦПГ. Визначена можливість підвищення ресурсу двигуна за рахунок підвищення довговічності гільзи циліндрів. Тому цілком ефективним виглядає напрямок роботи, пов'язаний з розробкою технології ФАБО гільз.

### **3.2. Розробка комплексної технології, що реалізує ефект вибіркового перенесення**

На підставі відомих фізико-хімічних особливостей ВП визначено, що основними напрямками його практичної реалізації є:

I. Застосування пар тертя, які дають ВП.

II. Застосування пар тертя з попереднім нанесенням шару для реалізації «ефекту безизносності».

III. Застосування мастильних матеріалів з металовміщуючими компонентами, що забезпечують процеси формування сервовитної плівки.

IV. Застосування оптимальних конструкцій вузлів тертя для реалізації ВП.

V. Забезпечення роботи вузла тертя в умовах  $(P, V, T)$ , характерних для реалізації ВП у даній парі тертя при даному мастильному матеріалі.

Нами пропонується об'єднати II та III напрямки в одну комплексну технологію, що забезпечить всі переваги ВП та дозволить створити на поверхні тертя умови для реалізації «ефекту безизносності». А саме, нанесення антифрикційного покриття ФАБО на робочу поверхню гільзи, що значно скоротить період припрацювання та підвищить зносостійкість деталі.

Використання при експлуатації мастильних матеріалів із металоплакуючими присадками (МПП), наприклад МКФ-18, забезпечить утворення та функціонування сервовитної плівки, яка властива для «ефекту безизносності»

В якості інструменту використано розробку українських вчених [25]. Особливістю такого інструменту є наявність брусків із латуні Л63. При чому їх кількість забезпечувало центрування інструменту відносно внутрішньої циліндричної поверхні, а дискретне провертання інструменту гарантувало нанесення покриття на всій робочій поверхні гільзи.



Рис.3.1. ФАБО гільз циліндрів [25]

При обкатуванні двигуна використання МПП МКФ-18 в якості додавання до моторного масла М10Г2 дозволить створити умови до створення сервовитної плівки, яка характерна для «ефекту безизносності».

### 3.3. Теоретичне обґрунтування нанесення антифрикційних покриттів ФАБО

У технології остаточної обробки гільз циліндрів пропонується наносити мідне покриття на внутрішню поверхню гільзи в процесі ФАБО. Даний вид обробки дозволяє зробити поверхневе зміцнення й нанести мідне покриття, що служить твердим змащенням у процесі припрацювання, що в результаті дозволить підвищити зносостійкість гільзи циліндрів і збільшити їх післяремонтний ресурс.

Результати вивчення механізмів дії оксидних та інших плівок при терті дозволили сформулювати правило позитивного градієнта механічних властивостей та запропонувати наступну класифікація антифрикційних покриттів (рис.3.2).

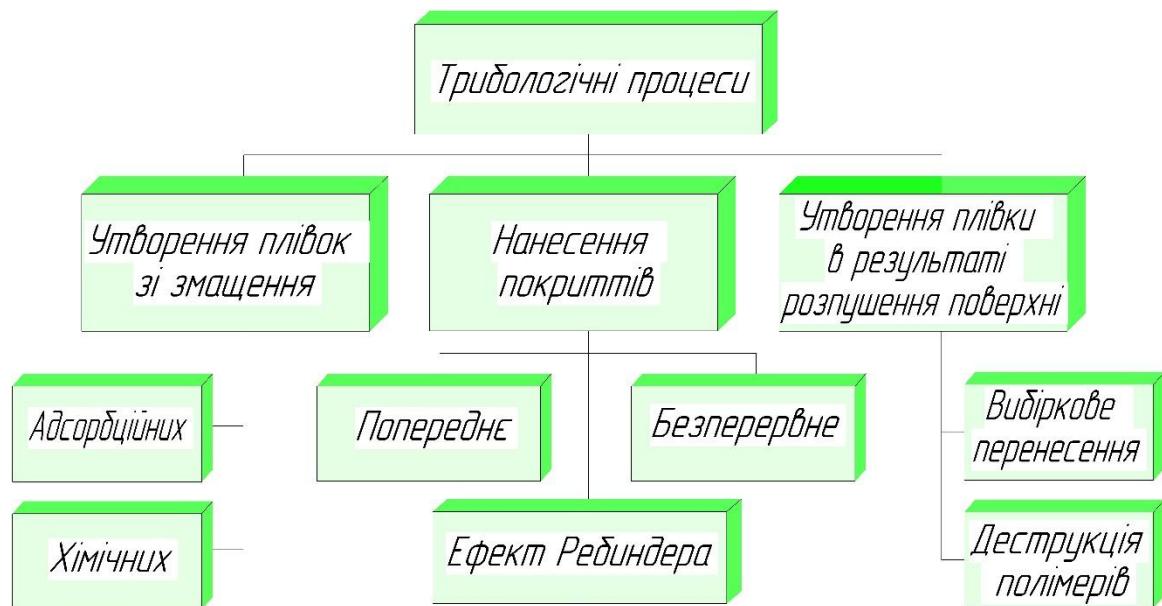


Рис.3.2. Методи одержання позитивного градієнта механічних властивостей [26]

Таким чином, дотримується правило позитивного перепаду механічних властивостей за глибиною (правило позитивного градієнта).

В основі молекулярно-механічної теорії тертя і зносу лежить врахування дискретності контакту двох твердих тіл, зумовленої шорсткістю та хвилястістю поверхонь контакту, який має місце на будь-яких твердих поверхнях.

Молекулярно-механічна теорія тертя визначає коефіцієнт тертя за формулою [26]:

$$f = \frac{\tau_o}{p} + \beta + K\sqrt{\frac{h}{R}},$$

де  $\tau_o$  – міцність адгезійного зв'язку на зріз, Па;

$p$  – фактичний тиск, МПа;

$\beta$  – коефіцієнт зміцнення адгезійного зв'язку;

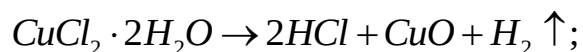
$K$  – коефіцієнт пропорційності, що залежить від геометрії контактуючих поверхонь.

В роботі розглядається ФАБО як метод нанесення антифрикційного покриття з метою зниження інтенсивності зношування гільз циліндрів, підвищення задиростійкості поверхонь тертя й інтенсифікації процесів утворення захисних плівок у період припрацювання після виготовлення й ремонту виробу.

Для пояснення формування антифрикційних покриттів під час ФАБО розглянемо хімічні процеси, що відбуваються при цьому.

Як технологічне середовище використовується склад, більшу частину якого становить гліцерин, який унаслідок механо-хімічних процесів на поверхнях тіл, що контактують (деталь та інструмент), за умови тертя окислюється в гліцериновий альдегід, гліцеринову кислоту та інші продукти з меншою, ніж у гліцерину, молекулярною масою.

Як мідьвмісну хімічну сполуку під час ФАБО використовують, як правило, хлорид міді, що добре розчиняється в гліцерині та воді. При фрикційній обробці відбувається гідроліз з утворенням соляної кислоти:



Соляна кислота сприяє видаленню оксидних плівок, а на поверхнях, що труться, внаслідок взаємодії з оксидами заліза утворюються зайняті шари у вигляді хлоридів заліза.

Унаслідок взаємодії продуктів перетворення гліцерину, що знаходяться в зоні фрикційної обробки, відбувається відновлення продуктів корозії та розчинення активних металів і їхніх сполук.

Взаємодія продуктів перетворення гліцерину призводить також до утворення високомолекулярних сполук і полімерів тертя. Таким чином при ФАБО на оброблюваній поверхні формується антифрикційне покриття з міді та полімерів тертя.

Згідно з концепцією механізму антифрикційної дії тонкої плівки пластичного металу, запропонованої Ф. П. Боуденом і Д. Тейбором, якщо поверхню твердого металу покрити тонкою плівкою м'якшого металу, то навантаження через плівку сприйматиметься підкладкою, тобто твердішим металом, а шар твердозмашувального покриття зазнає пластичного зсуву. Коефіцієнт тертя по твердомастильному покриттю в цьому випадку визначається за формулою:

$$f = \frac{\tau_{з\partial}}{p_k},$$

де  $\tau_{з\partial}$  – опір зсуву твердого мастильного металу;

$p_k$  – контактний тиск.

Коефіцієнт тертя покриття залежить від навантаження, п'єзокоефіцієнта і вихідного опору зсуву плівки покриття.

Для визначення довговічності роботи пар тертя важливе значення має знання інтенсивності зношування пар тертя.

Швидкість зношування гільз циліндрів і поршневих кілець залежить від механічного напруженого стану тіл, що контактують, величини змашувального шару, фізико-хімічних поверхневих процесів, наявності захисних покриттів, рівня температури та інших чинників. Для гільз циліндрів з антифрикційним покриттям, отриманим ФАБО, необхідно до рівняння інтенсивності зношування включити три безрозмірні комплекси, що враховують несучу здатність твердого мастила:

$$\frac{\Delta}{r}; \quad \frac{\sigma_\tau}{K}; \quad \frac{\tau_{з\partial}}{\sigma_\tau};$$

де  $\Delta$  – товщина антифрикційного покриття;

$r$  – радіус кривизни мікронерівностей;

$\sigma_{\tau}$  – межа плинності матеріалу гільзи циліндра;

$K$  – модуль пружності гільзи циліндра.

Встановлено, що для зниження інтенсивності зношування гільз циліндрів необхідно застосовувати антифрикційні покриття з найменшими значеннями опору зсуву  $\tau_o$  та п'єзоефіцієнта  $\alpha$ . Товщина антифрикційних покриттів  $\Delta$  має бути оптимальною, оскільки з її зростанням інтенсивність зношування збільшуватиметься. Таким чином застосування антифрикційних покриттів доцільне за такої умови:

$$\frac{\Delta}{r} \cdot \left( \frac{\tau_o + \alpha \cdot p_k}{\sigma_{\tau}} \right) \rightarrow \min.$$

Таким чином, з'ясовані умови формування антифрикційного покриття, отриманого ФАБО.

Заключною операцією підготовки гільз циліндрів до експлуатації є припрацювання з'єднань. Застосування під час припрацювання спеціальних, технологічних рідин дозволяє, поряд із прискоренням припрацювання, реалізувати явище вибіркового перенесення металів, що забезпечує зниження зношування гільзи в період експлуатації.

Для підвищення ресурсу двигунів на сьогодні існують різні методи: конструктивні (при виготовленні деталей), технологічні (при ремонті й відновленні деталей) і експлуатаційні (при обкатуванні двигунів) (рис.3.3) [7].

Прискорене припрацювання при обкатуванні здійснюється в основному за рахунок експлуатаційних заходів (вибору режимів, застосування різних масел, присадок).

Несприятливе сполучення факторів, що впливають, може ускладнити припрацювання або навіть зробити її неможливою через серйозні ушкодження поверхонь тертя. До таких результатів приводять частковості, надмірно високі навантаження, занадто більші або малі швидкості ковзання, підвищена температура, недостатнє змазування та інш. Тому двигун, у період обкатування навантажують поступово, намагаються забезпечити ефективне охолодження й

змазування поверхонь тертя, тобто в цей період свідомо проводять заходи, спрямовані на забезпечення швидкого і якісного припрацювання.

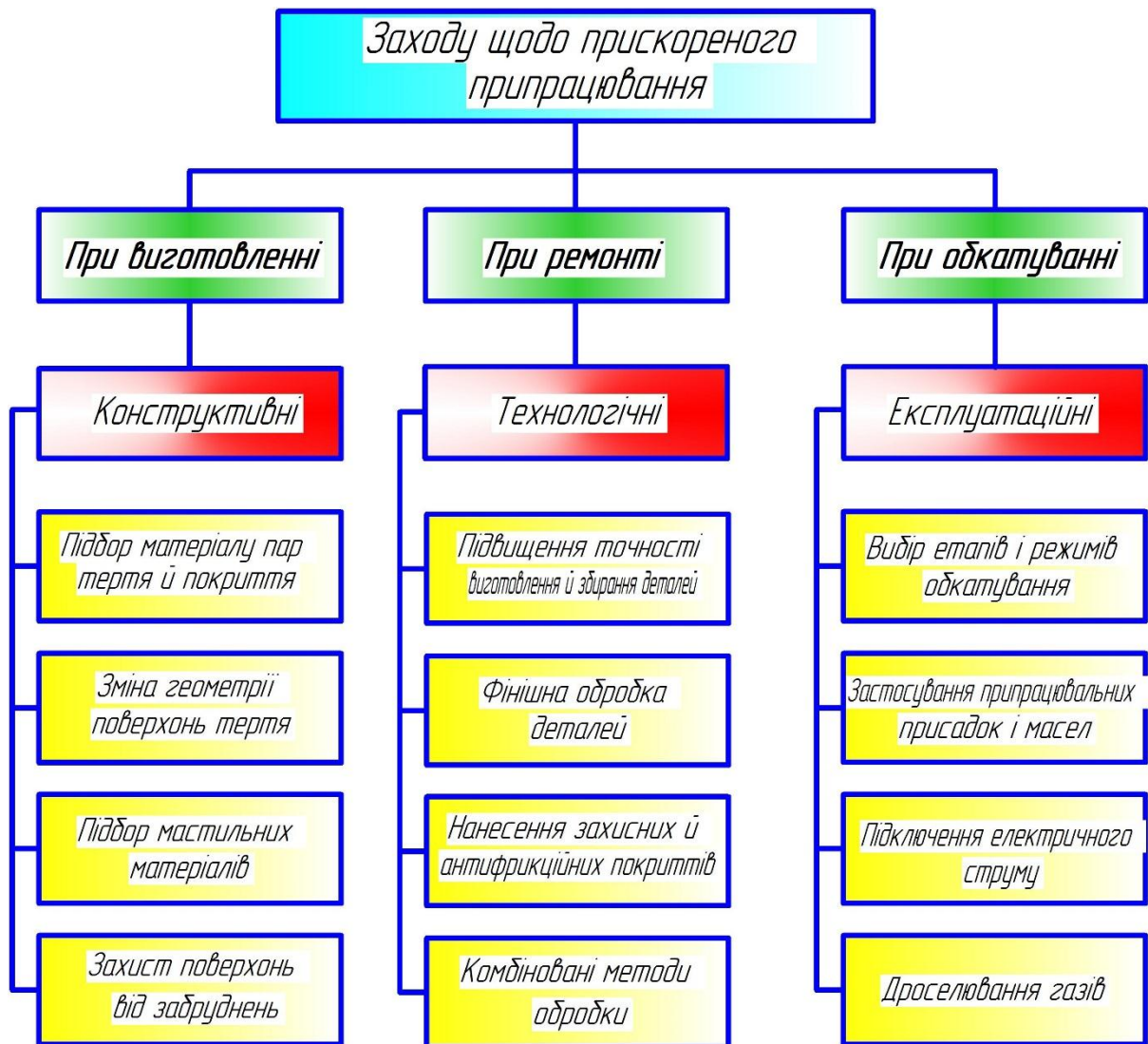


Рис.3.3. Класифікація заходів щодо прискореного припрацювання деталей

У процесі припрацювання на дзеркалі циліндра створюється шорсткість поверхні, що коливається в період експлуатації двигуна біля оптимальних значень. Для автомобільних двигунів оптимальною вважається шорсткість  $R_a = 0,15 \dots 0,19$  мкм. При правильно підібраній вихідній шорсткості можна прискорити припрацювання й уникнути зайвого припрацювального зношування. Після якісно проведеного обкатування повинне бути забезпечене: гарне прилягання поверхонь тертя (відсутність прориву картерних газів ЦПГ, різких змін температури підшипників і т.д.); поступове й стабільне зниження

швидкості зношування, відсутність слідів механічної обробки, гарний розподіл змащення на робочих поверхнях.

### **3.4. Експериментальні дослідження ефективності комплексної технології, що реалізує ефект вибіркового перенесення**

#### **3.4.1 Вибір режиму ФАБО**

На підставі даних роботи [4] при проведенні експериментальних досліджень ФАБО гільз циліндрів виконували на вертикально-хонінгувальному верстаті мод. 3М83 за наступними режимами: тиск латунного інструменту « $P = 6$  МПа, швидкість обертання інструменту  $V = 0,996$  м/с, швидкість зворотно-поступального руху  $V_1 = 0,24$  м/с» [4].

#### **3.4.2 Дослідження шорсткості поверхні гільзи**

**Методика проведення досліджень.** Оцінку геометричних параметрів поверхні проводили шляхом вимірювання параметру  $R_a$  на профілографі – профілометрі Talysurf-5» (рис.3.4) за схемою наведеною на рис.3.5.



Рис.3.4. Профілограф-профілометр «Talysurf-5»

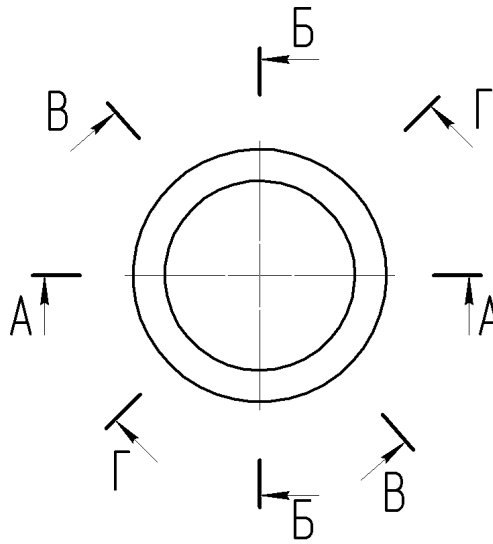


Рис.3.5. Місця вимірювання шорсткості гільз циліндрів

**Результати проведених досліджень.** Результати вимірювання геометричного показника  $R_a$  після вимірювання деталі, яка оброблена за базовою технологією (хонінгування) та з використанням комплексної технології наведені на рис.3.6, 3.7. Зазначимо зміну шорсткості поверхні з  $Ra=0,63$  мкм до  $Ra=0,25$  мкм.

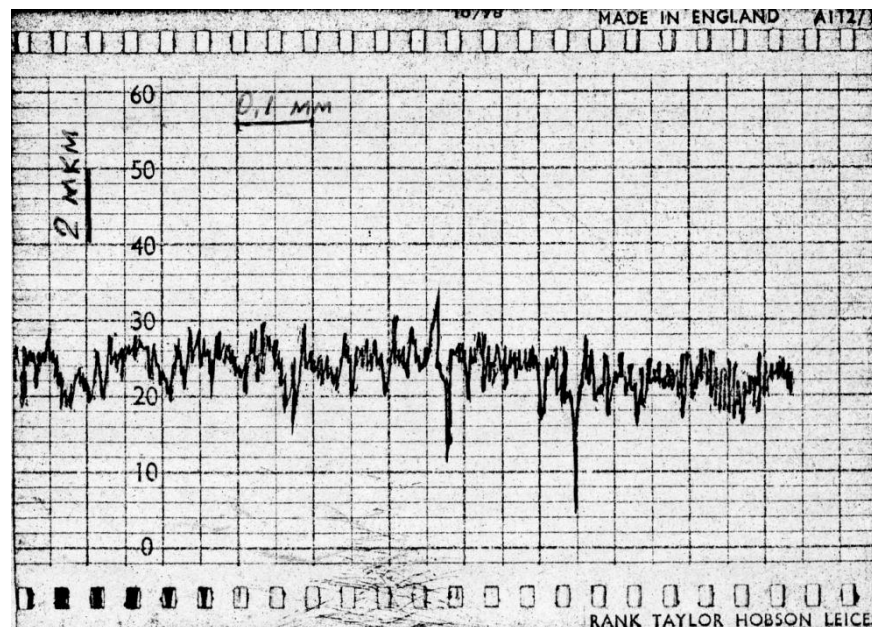


Рис.3.6. Профілограма робочої поверхні гільзи після базової обробки (хонінгування)

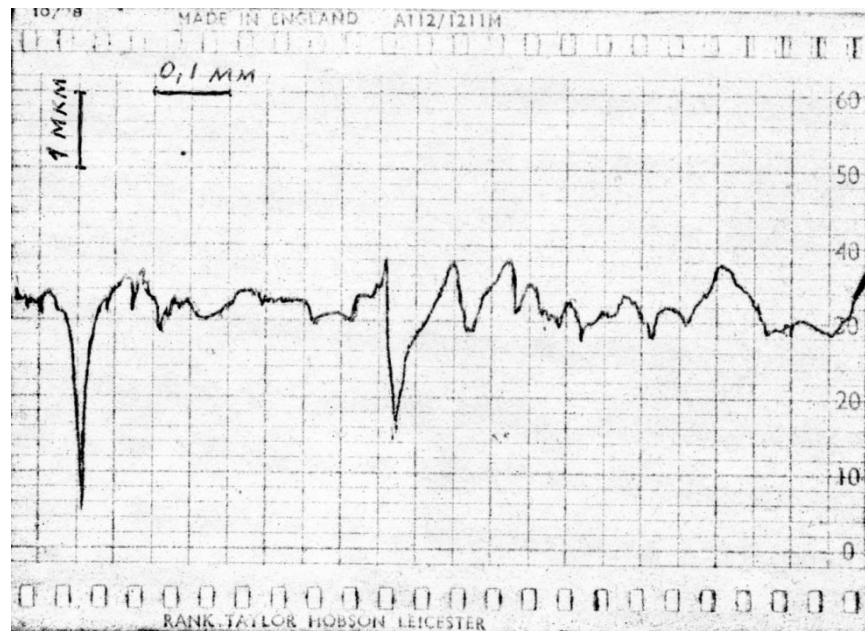


Рис.3.7. Профілограма робочої поверхні гільзи після використання комплексної технології

Після 30 хв. обкатування двигуна шорсткість дещо знизилася до  $R_a=0,34$  мкм. Додавання присадки МКФ-18Е дозволила значно знизити шорсткість до  $R_a=0,24$  мкм (рис.3.8, 3.9).

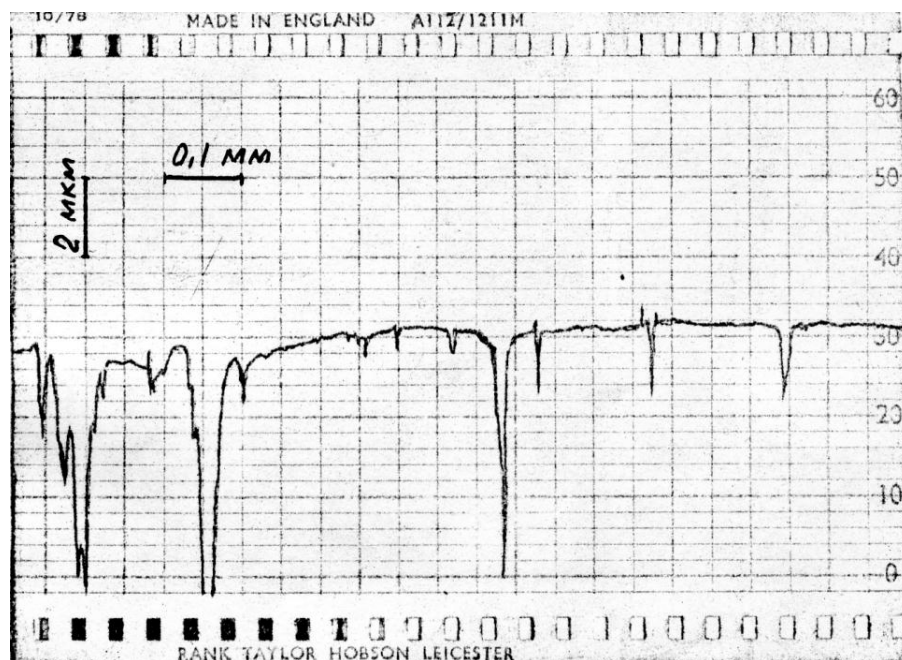


Рис.3.8. Профілограма робочої поверхні гільзи обробленої за базовою технологією (хонінгування) після припарцювання



Рис.3.9. Профілограма робочої поверхні гільзи після використання комплексної технології після припрацювання

### 3.4.3 Дослідження зносостійкості деталей, оброблених за комплексною технологією

**Методика проведення досліджень.** Для оцінки впливу ФАБО на зносостійкість спряження «гільза – кільце» проведено порівняльні триботехнічні випробування на машині тертя ИИ 5018 за схемою «ролик – колодка» (рис.3.10). Зразки пар тертя були виготовлені з конструкційних матеріалів, що застосовуються в трибоспряженні «ролик – колодка». При цьому ролики виготовляли з матеріалу гільз циліндрів ДВЗ (спеціальний чавун), а колодки - з матеріалу поршневих кілець.

Зовнішній діаметр ролика становив 50 мм, ширина – 12 мм. Колодки були виготовлені з кільця, зовнішній діаметр якого – 70 мм, його внутрішній діаметр шліфували під розмір ролика. Довжина колодки по колу  $19,5 \pm 1$  мм. Зразки мали твердість – 340...360 НВ, шорсткість робочої поверхні ролика і колодки – відповідно дорівнювала  $R_a = 0,32$  мкм і  $R_a = 0,63$  мкм.

Під час установа на машину тертя колідка і ролик отримували відносні зміщення, щоб залишалася неробоча поверхня, яка була базою для визначення вихідної шорсткості зразків. Змащування зразків пар тертя відбувалося шляхом обертання ролика в масляній ванні, що забезпечувало рівномірність подачі мастила в кожному досліді.



Рис.3.10. Машина тертя ИИ 5018

Зразки випробовували з покриттями і присадками до мастильного матеріалу. Головними завданнями процесу припрацювання поверхонь тертя є досягнення мінімального часу припрацювання і найменших величин зносу поверхонь припрацювання, а також створення, окрім оптимальної геометрії поверхні, оптимальної структури і властивостей поверхневих шарів.

Припрацьовуваність оцінювали за зміною температури, моменту від сил тертя і шорсткості поверхонь пари, що труться.

Момент сили тертя у випробуваннях визначали на також на установці ИИ-5018. Момент сили тертя визначали індуктивним безконтактним датчиком. Реєстрацію і запис моменту здійснювали потенціометром КСП-4 з точністю 0,1 мВ. Після проведення тарування приладу встановлювали зразки і вмикали установку. Потенціометр забезпечував запис моменту сили тертя на папері. У

міру припрацювання трибосполучення відбувалося зменшення моменту сили тертя. Випробування закінчували для всіх зразків через однаковий час. Досліди проводили за постійного навантаження. Тиск кільця на стінку гільзи наприкінці такту згоряння двигуна дорівнював 4 МПа або 400 Н/см<sup>2</sup>.

Вимірювання температури в зоні тертя трибоспряження на машині тертя проводили за допомогою штучної термопари «хромель – копель», яку монтували в поліхлорвініловій трубці. Вибір термопари зумовлений тим, що ця термопара розвиває найбільшу термоелектрорушійну силу 4,7...6,0 мВ за температури від 223 К до 873 К, а відносні граничні похибки. Термопару підключали до потенціометра КСП-4. Перед проведенням випробувань проводили тарування термопари. Для цього ємність із маслом після припрацювання встановлювали на підігрівач, в масло опускали термопару, приєднану до потенціометра. Температуру оливи, що розігрівається, фіксували термометром із межами від 273 К до 573 К і одночасно робили позначки на шкалі потенціометра через кожні 20 К.

Робота трибоз'єднання під навантаженням призводить до нагрівання мастила після нагрівання. Щоб мастило не вигорало, установка має пристрій, що забезпечує охолодження мастила за рахунок проточної води.

Знос деталей і зразків визначали мікрометруванням і зважуванням згідно з ГОСТ 18509-80. Для проведення вимірювань використовували: індикаторний нутромір із точністю вимірювання 0,001 мм, лабораторні ваги із точністю  $1 \cdot 10^{-4}$  г.

***Результати досліджень.*** Результати досліджень наведені на рис.3.11-3.15.

З рис.3.11 видно, що момент тертя під час випробування роликів без покриття знижувався та стабілізувався через 160...20 хв, а оброблених ФАБО та випробуваних на олії з додаванням композиції М10Г2 + МКФ-18Е - через 80...90 хв.

Результати зношувальних випробувань чавунних роликів із покриттями та без покриттів на машині тертя (рис. 3.12) свідчать, що

зношування ФАБО зразків у 1,13 раз, а з ФАБО та композицією - у 1,5-1,8 рази нижче, ніж у зразків без покриття.

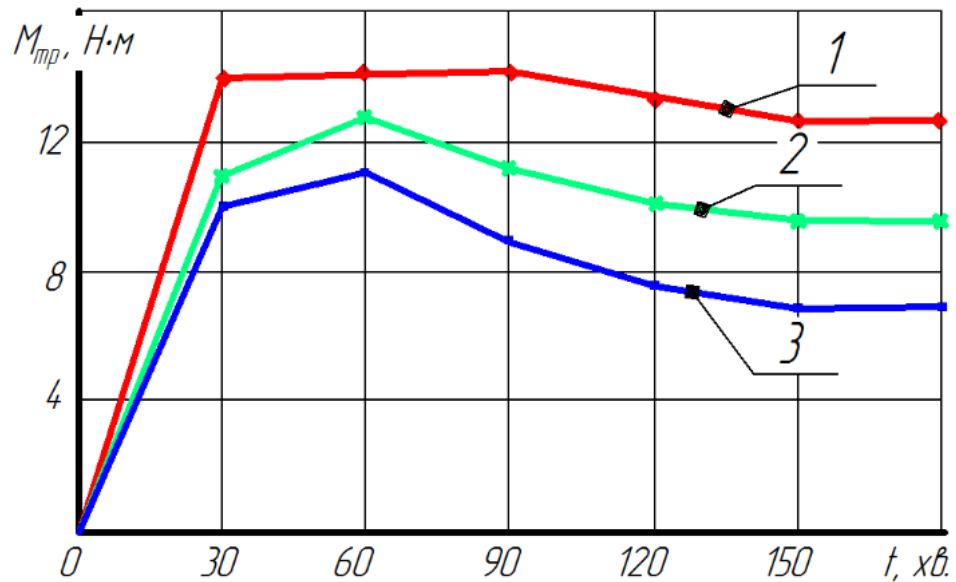


Рис.3.11. Зміна моменту тертя від тривалості випробування зразків: 1 – зразок оброблений за базовою технологією (хонінгування); 2 – зразок після ФАБО; зразок після ФАБО з наступним випробуванням композицією М10Г2 + МКФ-18Е

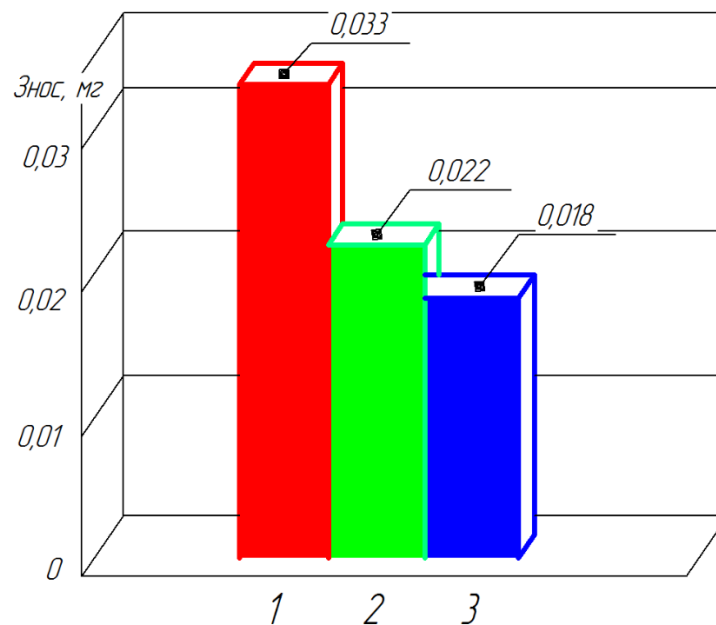
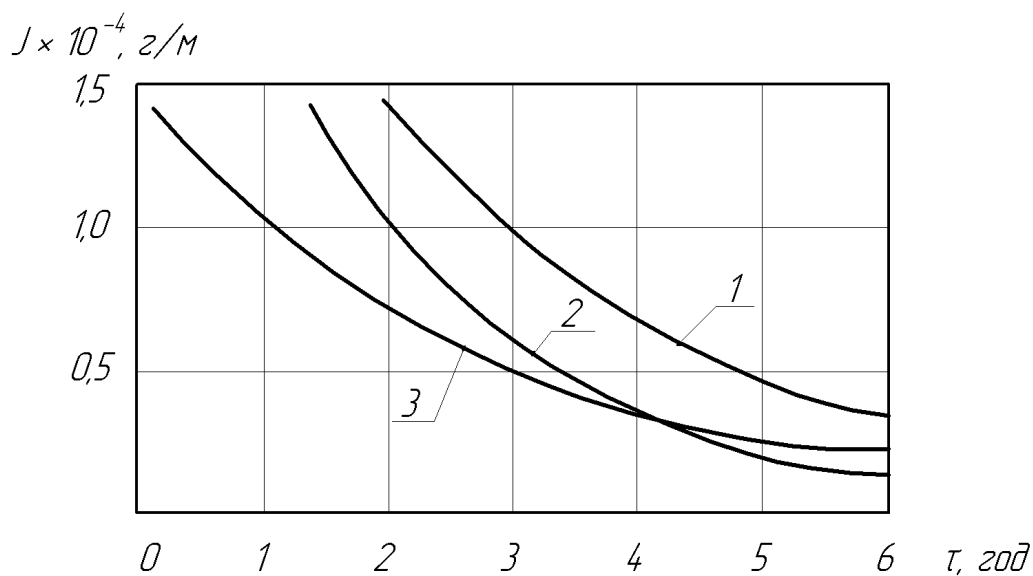
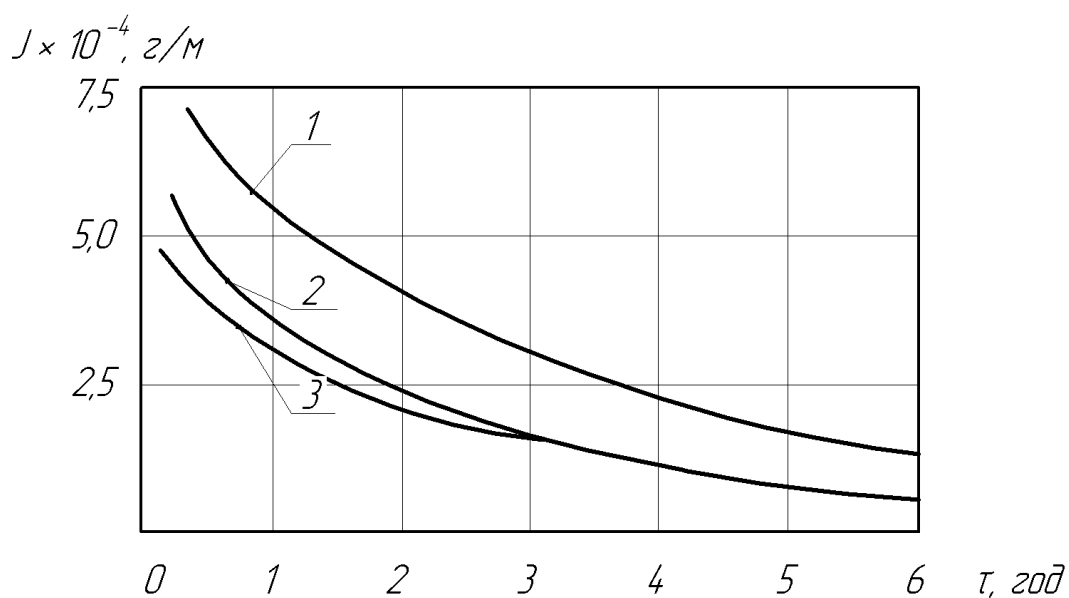


Рис.3.12. Діаграма зносу зразків за 120 хв випробувань: 1 – зразок оброблений за базовою технологією (хонінгування); 2 – зразок після

ФАБО; зразок після ФАБО з наступним випробуванням композицією М10Г2 + МКФ-18Е



а)



б)

Рис.3.13. Залежність інтенсивності зношування зразків гільз (а) і кілець (б) від часу припрацювання: 1 – зразок оброблений за базовою технологією (хонінгування); 2 – зразок після ФАБО; зразок після ФАБО з наступним випробуванням композицією М10Г2 + МКФ-18Е

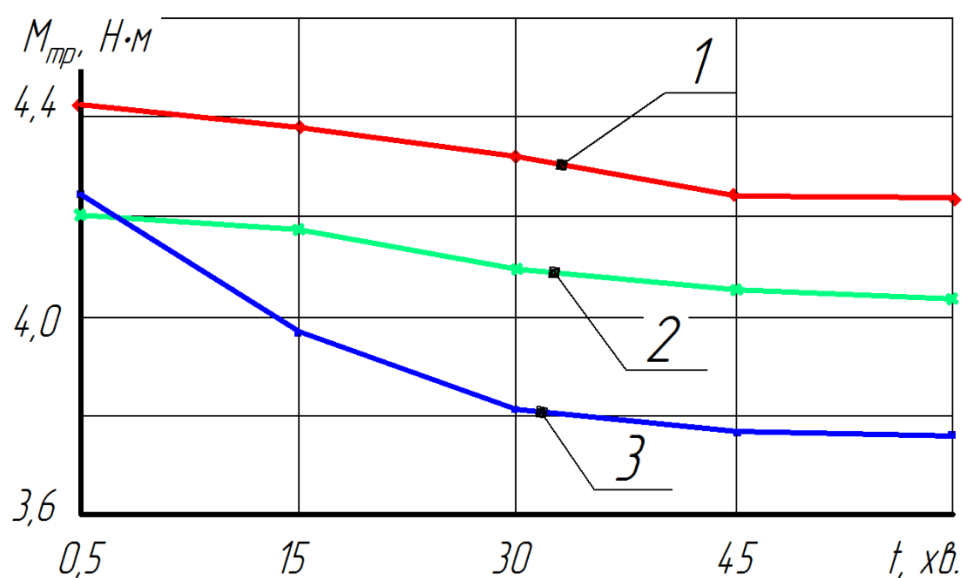


Рис.3.14. Залежність зміни моменту сили тертя від часу під час випробування пар тертя: 1 – гільза після хонінгування і поршневе кільце; 2 – гільза після ФАБО і поршневе кільце; 3 – гільза після ФАБО + композиція (М10Г2 + МКФ-18Е) і поршневе кільце

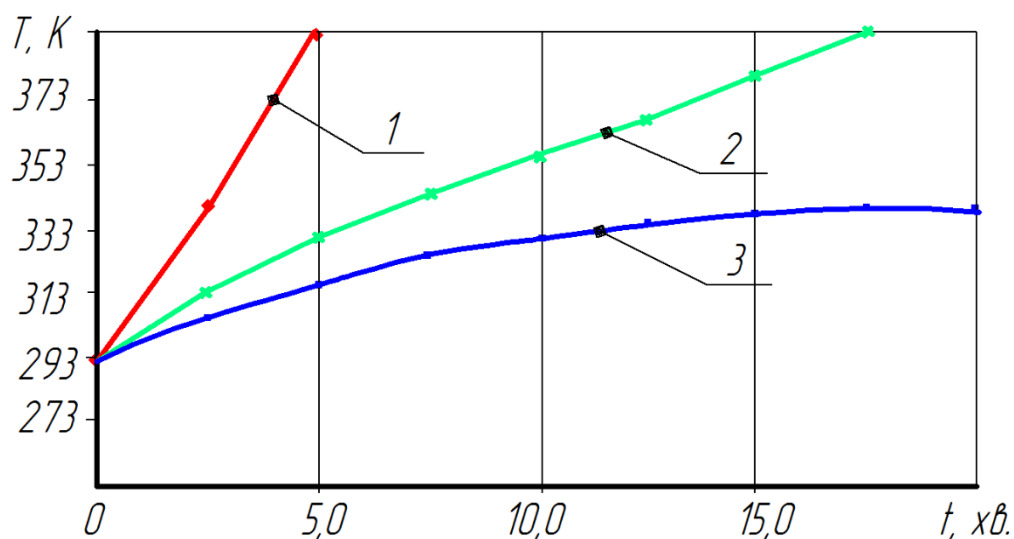


Рис.3.15. Залежність температури в зоні тертя від часу під час випробування на схоплювання: 1 – гільза після хонінгування і поршневе кільце; 2 – гільза після ФАБО і поршневе кільце; 3 – гільза після ФАБО + композиція (М10Г2 + МКФ-18Е) і поршневе кільце

Згідно з вищевикладеним, можна зробити висновок про те, що поверхні з покриттями, випробувані на оливі з додаванням композиції, припрацьовуються краще, ніж вихідні.

У пар тертя з обробкою ФАБО з композицією присадки момент тертя нижчий, ніж у ролика зі звичайним покриттям ФАБО і колодки. Водночас у всіх випадках значення цього параметра значно нижчі, ніж у необроблених пар.

Аналіз залежностей інтенсивності зношування (рис.3.13, а) свідчить про значне скорочення періоду припрацювання з'єднання «гільза циліндрів – поршневе кільце» при обробці гільз використанням технології ВП.

Використання технології, що реалізує ВП (ФАБО + металокомпозиція, що містить мідь) дозволила практично в 2 рази скоротити період припрацювання «гільза циліндрів – поршневе кільце» при використанні базової технології (рис.3.13, б).

Дослідження зміни моменту тертя (рис. 3.14) показали, що у пари тертя з гільзами після хонінгування момент сили тертя знижується (залежність 1) незначно. Після ФАБО момент сили тертя знижується більшою мірою (залежність 2). Найменший момент спостерігається у гільз з антифрикційним покриттям з подальшим обкатуванням з використанням присадки (залежність 3). При цьому момент стабілізується вже через 35...40 хвилин. Порівняно з хонінгованими гільзами момент знижується до кінця випробування в 1,12 рази.

Результати випробувань на схоплювання представлені на рис.3.15. Нанесення антифрикційного покриття збільшує час опору схоплювання до 13 хвилин порівняно з хонінговою.

Нанесення антифрикційного покриття з подальшим припрацюванням з рекомендованою присадкою призводить до збільшення протизадірної стійкості за рахунок концентрації тіла на поверхні та кращого охолодження основного шару металу. При цьому спостерігається стабілізація температури при навантаженні 1500 Н.

### 3.4.4 Стендові випробування двигунів

**Методика проведення досліджень.** З метою одержання більшої ефективності від використання технічних рішень, що реалізують вибіркове перенесення, експериментальний двигун обкатувався відповідно до існуючої інструкції на маслі М10Г2 з добавкою присадки МКФ-18Е, що вміщує мідь, в кількості 0,5% по масі. Використання присадки дозволило скоротити час обкатування з 11 хв. до 9 хв.

Випробування проводили на індукторному стенді В-350АС фірми Zolner (Німеччина) (рис.3.16) з використанням паливного витратоміра динамічної дії моделі 730 фірми AVL (Австрія) і комплексу НІІАТ ЛД 4043.



Рис.3.16. Шафа управління стенда Zöllner [ ]

При випробуваннях визначали регуляторну характеристику шляхом послідовного збільшення навантаження від нульового значення до повної, при частоті обертання, що відповідає максимальному крутному моменту й подальшого зниження навантаження до досягнення частоти обертання колінчастого вала, що становить 85% при максимальному крутному моменті. Вимірювані параметри: крутний момент, частота обертання, час витрати

контрольної дози палива. Вимір параметрів проводився на десятих режимах роботи двигуна.

Витрату масла на вигар визначали по витраті масла з картера під час роботи дизеля на протязі 10 годин при номінальній частоті обертання й потужності складової 90% від експлуатаційної.

**Результати досліджень.** Проведення випробувань в ідентичних умовах дозволили провести порівняння регуляторних характеристик експериментального й серійного двигунів. Результати випробувань представлені в табл.3.1.

Таблиця 3.1 – Результати стендових випробувань

| Найменування показника                                         | Значення показника за технологією |            | Відносна зміна показника, % |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------|-----------------------------|
|                                                                | типова                            | комплексна |                             |
| Ефективна потужність при номінальній частоті обертання, кВт    | 59,4                              | 61,0       | 2,7                         |
| Питома витрата палива, г/кВтгод                                | 244                               | 240        | 1,9                         |
| Максимальна частота обертання холостого ходу, $\text{хв}^{-1}$ | 1940                              | 1948       | 0,4                         |
| Мінімальна стійка частота обертання, $\text{хв}^{-1}$          | 600                               | 590        | 1,7                         |
| Відносна витрата масла на вигар, %                             | 0,59                              | 0,44       | 34,0                        |
| Коефіцієнт запасу крутного моменту, %                          | 8,01                              | 8,7        | 7,9                         |

Отримані результати свідчать про те, що застосування комплексної технології ФАБО забезпечує зміну основних техніко-економічних показників роботи двигуна. Це пояснюється кращим припрацюванням деталей дизеля, зокрема деталей циліндро-поршневої групи.

На рис.3.17 наведені регуляторні характеристики двигунів ЯМЗ-238 після ремонту, знятих під час випробувань.

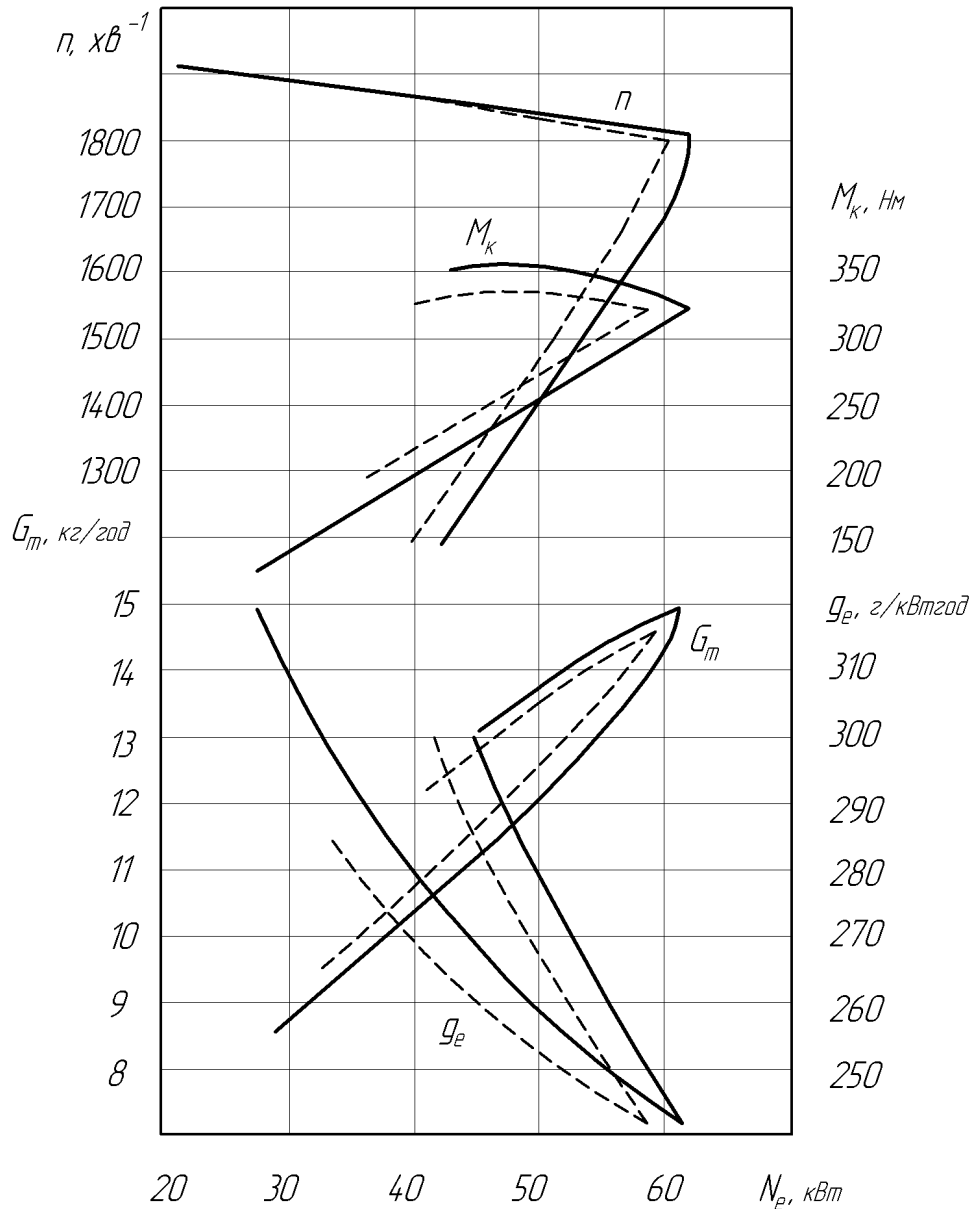


Рис.3.17. Регуляторні характеристики двигунів (- - - із серійними гільзами; \_\_\_\_ з гільзами після ФАБО) ЯМЗ-238:  $n$  – частота обертання колінчастого валу,  $\text{хв}^{-1}$ ,  $M_k$  – крутний момент, Нм;  $G_t$  – годинна витрата палива, кг/рік;  $g_e$  – питома витрата палива, г/кВтгод;  $N_e$  – ефективна потужність, кВт

Дані рис.3.17 свідчать про те, що використання технології ФАБО, що реалізує ефект вибіркового перенесення, забезпечує покращення основних

техніко-економічних показників двигуна, що пояснюється кращим припрацюванням дизельних двигунів, зокрема деталей циліндро-поршневої групи.

### **3.5. Висновки по розділу 3**

Результати наукових досліджень дозволили сформулювати наступні висновки:

1. Запропонована до використання комплексна технологія обробки гільз циліндрів, що реалізації ВП, суть якої полягає в попередньому нанесенні на поверхні деталей покриттів, що вміщують мідь, для захисту від зношування в період припрацювання й наступної їх експлуатації на мастильних матеріалах з використанням металоплакуючої присадки.

2. Наведено теоретичне обґрунтування нанесення антифрикційного покриття з врахуванням молекулярно-механічної теорії тертя та хімічних процесів, що відбуваються під час формування покриття ФАБО.

3. Зазначено, що підвищити ресурс двигуна можна за рахунок прискореного припрацювання при обкатуванні з використанням металоплакуючих присадок.

4. Антифрикційні покриття поверхонь тертя в поєднанні з введенням металоплакуючих присадок у мастильний матеріал забезпечують зменшення моменту тертя в 1,8-2 рази, температури тертя на 60-80%, зниження зносу в 1,6-1,8 рази, прискорення процесу припрацювання в 1,5-2 рази.

5. Запропонована технологія ФАБО забезпечує зниження інтенсивності зношування на 35% та швидшу тривалість виходу на сталий режим тертя в 1,8 - 2 рази. Використання комплексної технології, що реалізує ефект вибіркового перенесення, дозволила ще більш зменшити зношування досліджуваних зразків.

6. Зносні випробування зразків гільз циліндрів і поршневих коліс показали, що момент сили тертя стабілізується вже через 35...40 хвилин і знижується до кінця випробування в 1,12 рази. Застосування комплексної

технології збільшує час опору схоплюванню до 13 хвилин порівняно з хонінгованими гільзами.

7. Результати стендових лабораторних випробувань двигунів після ремонту свідчать про те, що застосування комплексної технології забезпечує: збільшення ефективної потужності на 2,7%; зменшення питомої витрати палива на 1,9%; зниження відносної витрати масла на вигар на 34,0%.

## **РОЗДІЛ 4. ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КОМПЛЕКСНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ, ЩО РЕАЛІЗУЄ ЕФЕКТ ВИБІРКОВОГО ПЕРЕНЕСЕННЯ**

### **4.1. Технічна ефективність технології ФАБО**

Застосування нових технологій може впливати на багато чинників виробництва або ремонту техніки, тому їхня результативність може бути відображена за допомогою багатьох показників економічного, а в низці випадків технічного, технологічного, організаційного тощо.

У розділі 1-3 показано, що циліндро-поршнева група – одне з найбільш навантажених ресурсних сполучень ДВЗ. Втрати на тертя становлять до 60-75 % механічних втрат ДВЗ, втрати на привід механізмів становлять 25-40 %. При цьому до 50 % втрат на тертя припадає на частку сполучення «поршневі кільця - дзеркало циліндра», що становить у середньому 12 % потужності двигуна. Усе це свідчить, що питання підвищення ресурсу деталей ЦПГ є важливими і в багатьох випадках вирішальними.

Низька якість обробки поверхонь деталей, що труться, погане припрацювання деталей після ремонту, невисока культура виробництва та експлуатації спричиняють те, що ресурс відремонтованих двигунів виробляється до 20-30 % за перші години його експлуатації, тобто в період припрацювання після ремонту:

$$I_{np} = (0,2 \div 0,3) I_{zp}, \quad (4.1)$$

де  $I_{np}, I_{gp}$  – припрацювальний та граничний знос гільз циліндрів відповідно, мм.

Знос деталей ЦПГ – головна причина зняття ДВЗ з експлуатації для проведення капітального ремонту, втрати від цього можна скоротити раціональним застосуванням способів обробки, заснованих на реалізації ефекту ВП та інтенсифікацією процесу припрацювання зі зменшенням припрацювального зносу.

З урахуванням того, що ФАБО гільз циліндрів знижує інтенсивність зношування в 1,5-2 рази:

$$I_{hx} = (1,5 \div 2) I_{h\phi}, \quad (4.1)$$

де  $I_{hx}, I_{h\phi}$  — інтенсивність зношування робочої поверхні гільз після хонінгування і після фінішної обробки антифрикційними матеріалами відповідно.

На підставі представлених математичних залежностей можна зробити висновок, що застосування фінішної обробки гільз циліндрів ресурс ЦПГ збільшиться на 10-15 % (рис. 4.1).

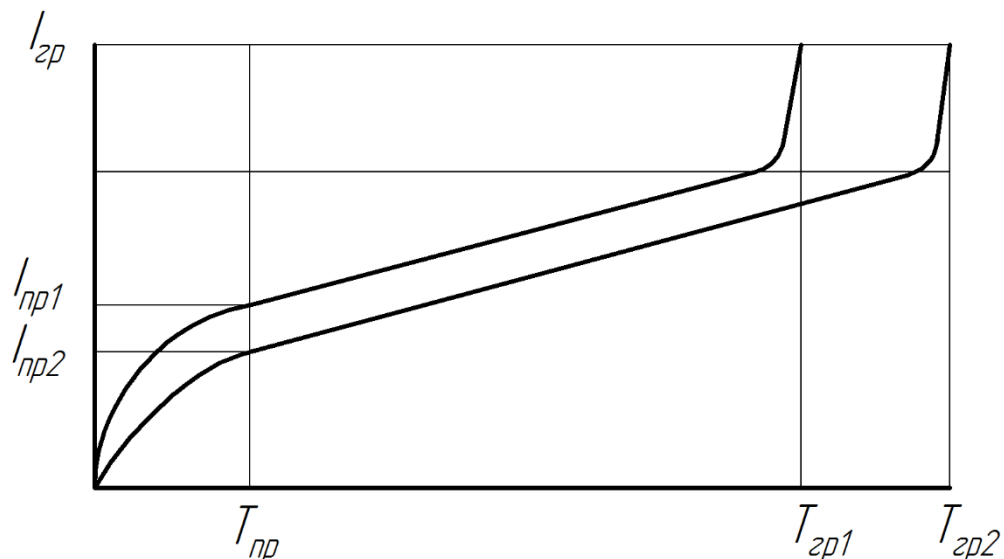


Рис.4.1. Схема визначення ресурсів гільз циліндрів двигунів:

$I_{gp}, I_{pr1}, I_{pr2}$  – знос граничний, припрацювальний після хонінгування і припрацювальний після фінішної обробки відповідно, мм;

$T_{np}, T_{zp1}, T_{zp2}$  – ресурс припрацювальний, граничний після хонінгування і граничний після фінішної обробки, мото-год (км).

Отже, можна стверджувати, що використання комплексної технології з використанням ефекту ВП дозволяє збільшити довговічності як деталей ЦПГ так і двигуна в цілому.

## 4.2. Економічна ефективність технології ФАБО

Доцільність застосування того чи іншого технологічного способу під час ремонту визначається ступенем підвищення зносостійкості відновлюваних деталей, за якого техніко-економічні показники вищі, ніж у деталей без покриття.

Визначимо економічну ефективність ФАБО гільз циліндрів.

Для розрахунку річного економічного ефекту від використання двигунів із підвищеним ресурсом деталей визначаємо вартісну оцінку збільшення ресурсу:

$$E = \left[ (C_1 + E_n K_1) \frac{P_1 + E_n}{P_1 + E_n} - (C_2 + E_n K_2) \right] A_t, \quad (4.3)$$

де  $C_{1,2}$  – собівартість ремонту двигунів із серійними гільзами і гільзами після ФАБО (2), грн.;  $K_{1,2}$  – питомі капітальні вкладення на організацію ремонту двигуна із серійними гільзами і гільзами після ФАБО, рік;  $P_{1,2}$  – величини, обернені термінами служби двигунів із серійними гільзами і гільзами після ФАБО, рік;  $E_n$  – норматив ефективності капітальних вкладень;  $A_t$  – програма ремонту, шт./рік.

Величини, обернені термінами служби двигунів із серійними гільзами і гільзами після ФАБО визначали за формулою:

$$P_{1,2} = \frac{1}{T_{1,2}} = \frac{1}{\frac{W_{1,2}}{W_p}} = \frac{W_p}{W_{1,2}}, \quad (4.4)$$

де  $T_{1,2}$  – міжремонтне напрацювання двигунів із серійними гільзами і гільзами після ФАБО, рік;  $W_{1,2}$  – середнє міжремонтне напрацювання двигунів із серійними гільзами і гільзами після ФАБО;  $W_p$  – середньорічне напрацювання.

Підставляючи значення  $P_{1,2}$  з (4.4) до (4.3) отримуємо:

$$E = \left[ (C_1 + E_n K_1) \frac{W_2}{W_1} - (C_2 + E_n K_2) \right] A_t. \quad (4.5)$$

Зазначимо, що норматив ефективності капітальних вкладень  $E_n$  залишається сталим.

Питомі капітальні вкладення за застосовуваній комплексній технології також залишаються постійними, тобто  $K_1 = K_2$ . Тоді формула (4.5) набуде вигляду:

$$E = \left[ C_1 \frac{W_2}{W_1} - C_2 \right] A_t. \quad (4.6)$$

Підставляючи численні значення отримуємо:

$$E = \left[ 88,50 \frac{1170}{675} - 146,50 \right] 5000 = 34500 \text{ грн.} \quad (4.7)$$

Таким чином, річний економічний ефект від використання комплексної технології ФАБО гільз циліндрів склав 34500 грн. при програмі ремонту 5000 двигунів.

#### **4.3. Техніка безпеки та охорона праці при ремонті циліндро-поршневої групи ДВЗ**

Забезпечення заходів безпеки праці під час ремонту деталей ЦПГ необхідно проводити в суворій відповідності з вимогами «Правил з охорони праці під час ремонту рухомого складу і виробництва запасних частин».

Розбирання, ремонт і складання ЦПГ проводити на спеціально обладнаній ділянці за допомогою спеціальних пристосувань, стендів і відповідного інструменту для забезпечення продуктивності праці, якості виконання

операцій, обертання деталей і вузлів від ушкоджень із суворим дотриманням заходів безпеки.

Перед розбиранням і ремонтом усі вузли і деталі повинні бути обмиті й очищені від забруднень. Усе обладнання, що експлуатується, повинно перебувати в повній справності. Огородження і захисні пристрої повинні бути на своїх місцях і відповідним чином закріплені. Робота на несправному обладнанні, а також за відсутності або несправності огороження забороняється.

Робота несправним або зношеним інструментом не допускається. Несправний або такий, що не відповідає умовам роботи, інструмент - підлягає вилученню і заміні. При користуванні всіма видами електроінструменту забороняється працювати без його заземлення.

Усі роботи, пов'язані з виділенням шкідливих речовин, повинні проводитися тільки при нормально-діючій вентиляції. Прибирання стружки, обрізків, пилу і бруду з устаткування і робочих місць повинен здійснювати сам працівник. Прибирання стружки із застосуванням стисненого повітря забороняється.

Верстаки, столи і стелажі повинні бути міцними, стійкими і надійно закріплені та встановлені на підлозі. Для захисту робітників від осколків, що відлітають, на верстатах повинні бути встановлені сітки заввишки не менше 1 м з осередками не більше 3 мм.

Усі деталі, вузли та вироби мають бути стійко укладені на стелажах, у кошиках, контейнерах, не захаращуючи проходів. Слюсарі з ремонту ЦПГ повинні:

- 1) при роботі з лещатами надійно затискати оброблювану деталь;
- 2) під час рубки металу зубилом користуватися захисними окулярами з небитким склом. Для захисту оточуючих обов'язково ставити щитки і сітку;
- 3) без спеціального дозволу майстра не робити ніякого ремонту або огляду обладнання, включаючи електричну частину.

Переміщення ЦПГ проводити згідно з «Інструкцією з безпечного ведення робіт для стропальників (зачіпників), які обслуговують вантажопідіймальні крани». Категорично забороняється користуватися пошкодженими або немаркованими чалочними пристосуваннями, з'єднувати ланки розірваних чалок дротом. Перед подачею сигналу про підйом вантажу стропальник (зачіплювач) повинен переконатися в тому, що об'єкт надійно зачеплений і на ньому немає незакріплених деталей або інструменту.

Усі працівники, пов'язані з ремонтом ЦПГ, повинні дотримуватися правил особистої гігієни. На виробничій дільниці повинна знаходитися аптечка з набором медикаментів і перев'язувальних матеріалів. Основні вимоги заходів безпеки праці та промислової санітарії є обов'язковим керівництвом для виконання всіма працівниками, пов'язаними з ремонтом циліндро-поршневої групи.

#### **4.4. Висновки по розділу 4**

За результатами виконання розділу 4 «Визначення ефективності використання комплексної технології, що реалізує ефект вибіркового перенесення» зроблені такі висновки:

1. Визначена технічна ефективність використання комплексної технології обробки деталей ЦПГ з використанням ефекту вибіркового перенесення, що збільшити довговічності деталей ЦПГ та ресурс двигуна.

2. Розрахована економічна ефективність прийнятий в роботі технічних рішень. Річний економічний ефект від використання комплексної технології ФАБО склав 34500 грн. при програмі ремонту 5000 двигунів.

3. Розглянуті заходи з техніки безпеки та охорони праці при ремонті циліндро-поршневої групи дизельних двигунів.

## **ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ**

За результатами виконання кваліфікаційної магістерської роботи, яка присвячена підвищенню довговічності деталей циліндро-поршневої групи дизельних двигунів за рахунок реалізації ефекту вибіркового перенесення, зроблені наступні загальні висновки:

1. Ресурс роботи двигуна залежить перш за все від довговічності деталей циліндро-поршневої групи. Саме на зношування деталей циліндро-поршневої групи приходить найбільша кількість відмов.

2. Питання підвищення довговічності деталей циліндро-поршневої групи можна вирішити за рахунок використання триботехнічних методів, що забезпечують ефект вибіркового перенесення.

3. Аналіз методів підвищення довговічності деталей циліндро-поршневої групи, що реалізують ефект вибіркового перенесення показав, що одним з напрямків практичного використання вибіркового перенесення є реалізація методу ФАБО.

4. Запропонована до використання комплексна технологія обробки гільз циліндрів, що реалізації вибіркового перенесення, суть якої полягає в попередньому нанесенні на поверхні деталей покриттів, що вміщують мідь, для

захисту від зношування в період припрацювання й наступної їх експлуатації на мастильних матеріалах з використанням металоплакуючої присадки.

5. Результати експериментальних досліджень та проведені стендові випробування двигунів засвідчили ефективність прийнятих технічних рішень.

6. Доведена технічна та економічна ефективність використання комплексної технології обробки деталей циліндро-поршневої групи з використанням ефекту вибіркового перенесення.

## **ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Кондрачук М.В. Трибологія / М.В. Кондрачук, В.Ф. Хабутель, М.І. Пашечко, Є.В. Корбут. – К.: Вид-во Національного Авіаційного університету «НАУ-друк», 2009. – 232 с.

2. Сідашенко О.І. Ремонт машин та обладнання: підручник/ [Сідашенко О.І., Науменко О.А., Скобло Т.С., Тіхонов О.В., Черновол М.І., Ружи́ло З.В., Войтов В.А., Аветісян В.К., Автухов А.К., Мартиненко О.Д., Бантковський В.А., Сиромятніков П.С., Сайчук О.В. та ін.]; за ред. проф. О.І.Сідашенка, О.А.Науменка. – Київ: Агроосвіта, 2014. – 665 с.

3. <https://erm.kntu.kr.ua/materiali/pidgotovka.html>

4. Молодан А.А. Оценка технического состояния цилиндро-поршневой группы двигателя с учетом разделения потоков газов, проходящих в картер: дис.... кандидата техн. наук: 05.22.20 / Молодан Андрей Александрович. – Х., 2011. – 184 с

5. Практикум з ремонту машин. Загальний технологічний процес ремонту та технології відновлення і зміцнення деталей машин. Том 1 : Навчальний посібник / [Сідашенко О. І., Тіхонов О. В., Скобло Т. С., Мартиненко О. Д., Гончаренко О. О., Сайчук О. В., Аветісян В. К., Автухов А. К., Рибалко І. М.,

Сиромятніков П. С., Бантковський В. А., Маніло В. Л.] /За ред. О.І. Сідашенко, О.В. Тіхонова. – Харків: ТОВ «Пром-Арт», 2018. 416 с.

6. Черновол М.І. Надійність сільськогосподарської техніки: підруч. / [М.І. Черновол, В. Ю. Черкун, В.В. Аулін та ін.] – Кіровоград: КОД, 2010. – 320 с.

7. Войтов В.А. Основи трибології: підруч. / [Антипенко А.М., Белас О.М., Войтов В.А. та ін.] – Харків: ХНТУСГ, 2008. – 342 с.

8. Надійність машин: Практикум. / О.С. Гринченко, В.Г. Кухтов, О.І. Алфьоров, В.Б. Савченко, Є.І. Калінін, В.І. Іванов, Г.П. Юр'єва; За ред. О.С. Гринченка, В.Г. Кухтова. – Х.: ТОВ «Планета-прінт», 2018. – 140 с.

9. Шепеленко І.В. Наукові основи технології нанесення антифрикційних покриттів з використанням пластичного деформування: Автореф. дис....д-ра техн. наук: 05.02.08 / НТУУ „КПІ ім. І. Сікорського”. – К., 2021. – 43 с.

10. Черкун В. В. Триботехнічні властивості латуньованих поверхонь тертя / В. В. Черкун, В. Б. Юдовинський. // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2008. – Вип.8, т. 1. – С. 158 – 165.

11. Сіренко Г. О. Фізико-хімія явища вибіркового перенесення міді в динамічному контакті твердих тіл (огляд) / Г. О. Сіренко, Л. М. Солтис // Фізика і хімія твердого тіла. - 2013. - Т. 14, № 4. - С. 805-809.

12. Журавель Д.П. Моделювання процесів зміни кількісних і якісних показників моторних масел при їх використанні. Праці ТДАТА. Вип.2, т.14. Мелітополь, 2000. С. 37-40.

13. Шепеленко І.В. Технологія зміцнення робочої поверхні гільз циліндрів із забезпеченням їх антифрикційних властивостей/ І.В. Шепеленко, Я.Б. Немировський, Е.К. Посвятенко// Технологія і техніка друкарства. – 2022. – № 1(75). – С. 29–36.

14. Паніна В.В. Спосіб відновлення гільз циліндрів з використанням ФАБО/ В.В. Паніна, Г.І. Дашивець // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. – 2015. – Вип. 5, Т. 1. – С. 134–139.

15. Міцність та надійність машин / В.Я. Анілович, О.С. Гринченко, В.В. Карабін та ін. За ред. Аніловича, - К.: Урожай, 1996. – 288 с.

16. Шепеленко, І.В., Немировський, Я.Б., Посвятенко, Е.К. (2022). Підвищення якості антифрикційних покриттів з використанням пластичного деформування. *Mechanics and Advanced Technologies*, 6(1). <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2022.6.1.255655>.

17. Савчук П. П. Наукові і технологічні основи створення та керованого функціонування епоксидних композитів з різним ступенем наповнення : дис... д-ра техн. наук : 05.02.01 – Київ : ІПМ, 2010. – 320 с.

18. Черкун В.В. Підвищення зносостійкості цапф шестерень гідронасосів фінішною антифрикційною безабразивною вібраційною обробкою: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.04. - Київ, 2011. - 162 с.

19. Пермяков О.А., Черновол М.І., Шепеленко І.В., Немировський Я.Б. Технологічне проектування процесів відновлення деталей з використанням методів, що забезпечують підвищення якості поверхневого шару // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXI міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2023, 17-20 травня 2023 р. – Харків : НТУ «ХПІ», 2023. С.192.

20. Черновол М.І., Пермяков О.А., Немировський Я.Б., Шепеленко І.В., Горбулик В.І. Методологія технологічного проектування процесу відновлення деталей // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні: зб. наук.пр. – Харків : НТУ «ХПІ», 2023. № 2 (8) 2023. – С. 10–16. <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/70482>

21. Черновол М.І. Пристрої для фрикційно-механічного нанесення покриттів/ М.І. Черновол, І.В. Шепеленко// Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету, Кіровоград, 2013. – Вип.26. – С.58 – 62.

22. Кубич В.І., Іщенко Л.І. Про вплив вмісту компонентів галієво-індієвого середовища на триботехнічні характеристики сполучення галієво-індієвого середовища на триботехнічні характеристики сполучення// Проблеми тертя та зношування: Наук.-техн. зб. - К.: Вид-во НАУ "НАУ-друк", 2009. - Вип. 52. - С.92-101.

23. Chernovol Mykhailo. Appliances for FANT of cylinder liners / Mykhailo Chernovol, Ihor Shepelenko, Mohamed R.F. Budar // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, Кіровоград, 2016. – Вип.46. – С. 258–265.

24. Черновол М.И. Повышение качества финишной обработки отверстий/ М.И. Черновол, И.В. Шепеленко, Мохамед Р.Ф. Будар // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету, Кіровоград, 2016. – Вип.29. – С.104–111.

25. Патент № 128740 України. Пристрій для фрикційно-механічного нанесення покриттів / Чернявський О.В.,Шепеленко І.В., Посвятенко Е.К., Немировський Я.Б., Єрьомін П.М., Сіренко О.Д., Мохамед Р.Ф. Будар, Чернявський О.О.; опубл.10.10.2018.

26. Закалов, О.В. Триботехніка і підвищення надійності машин [Текст]: О.В. Закалов. – Тернопіль: ТДТУ, 2000. – 354 с.