



ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА ЕНЕРГЕТИКИ

КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»



КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

«Підвищення зносостійкості деталей циліндро-поршневої групи
двигунів внутрішнього згорання шляхом покращення їх
припрацювання на базі ТОВ «Калита-Нова» м. Кропивницький»

Виконав:

магістрант групи ТС23М-1

(шифр групи)

_____ Артем НЕБЕСНИЙ

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Керівник:

д.т.н., професор

(науковий ступінь, ім'я та прізвище)

_____ Ігор ШЕПЕЛЕНКО

(підпис)

(ім'я та прізвище)

«ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри:

к.т.н., доцент

(науковий ступінь, ім'я та прізвище)

_____ Сергій МАГОПЕЦЬ

(підпис)

(ім'я та прізвище)

«__» _____ 2024 р.

Рецензент:

(науковий ступінь, ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

«__» _____ 2024 р.

Кропивницький – 2024 р.

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА ЕНЕРГЕТИКИ
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
«__» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

Небесному Артему Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Підвищення зносостійкості деталей циліндро-поршневої групи двигунів внутрішнього згорання шляхом покращення їх припрацювання на базі ТОВ «Калита-Нова» м. Кропивницький»

керівник роботи Щепеленко Ігор Віталійович, _____ д.т.н., _____ професор
(прізвище, ім'я, по батькові) (науковий ступінь) (вчений звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «__» __ 2024 року № _____

2. Строк подання здобувачем роботи «02» грудня 2024 р.

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

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

4.1 Розділ 1. Основні етапи створення та розвитку ТОВ «Калита-Нова». Актуальність теми магістерської роботи. Висновки по розділу 1.

4.2 Розділ 2. Проблема підвищення надійності деталей циліндро-поршневої групи. Оцінка працездатності циліндро-поршневої групи. Фактори, що впливають на роботу циліндро-поршневої групи. Діагностування деталей циліндро-поршневої групи. Формування поверхонь тертя під час обкатування. Підвищення ефективності припрацювання ДВЗ. Розрахунок деталей циліндро-поршневої групи. Обґрунтування доцільності застосування фінішної обробки деталей ЦПГ як способу покращення їх припрацювання. Висновки по розділу 2.

4.3 Розділ 3. Теоретичне обґрунтування підвищення зносостійкості деталей за рахунок покращення припрацювання. Теоретичне обґрунтування зменшення

часу припрацювання і припрацювального зносу в результаті фінішної антифрикційної безабразивної обробки. Пристрій для нанесення антифрикційних покриттів на внутрішню поверхню гільзи циліндрів. Визначення раціональних режимів ФАБО. Проведення стендових випробувань. Висновки по розділу 3.

4.4 Розділ 4. Встановлення технічної та економічної ефективності. Техніка безпеки та охорона праці при ремонті деталей ЦПГ. Висновки по розділу 4.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: Структурна схема системи ЦПГ. Інтенсивність відмов ЦПГ залежно від часу експлуатації. Методи підвищення довговічності деталей циліндро-поршневої групи. Експертні методи підвищення зносостійкості та покращення припрацювання деталей ЦПГ. Схема пристрою для нанесення ФАБО. Визначення раціональних режимів ФАБО методом оптимізації їх параметрів. Результати стендових випробувань.

ГРАФІК ВИКОНАННЯ ЕТАПІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1. Історія створення, розвитку підприємства ТОВ «Калита-Нова» та обґрунтування теми магістерської роботи	04.11.2024	
2	Розділ 2. Літературний огляд за темою досліджень	11.11.2024	
3	Розділ 3. Результати досліджень зносостійкості деталей циліндро-поршневої групи двигунів внутрішнього згорання	28.11.2024	
4	Розділ 4. Технічна та економічна ефективність фінішної обробки при припрацюванні деталей циліндро-поршневої групи двигунів внутрішнього згорання	02.12.2024	
5	Оформлення ілюстративного матеріалу	02.12.2024	

Магістрант _____
(підпис)

Небесний А.М.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Ігор ШЕПЕЛЕНКО
(ім'я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна магістерська робота присвячена підвищенню зносостійкості деталей циліндро-поршневої групи двигунів внутрішнього згорання за рахунок покращення їх припрацювання.

Метою представленої роботи є удосконалення процесу припрацювання деталей циліндро-поршневої групи шляхом використання технології нанесення антифрикційних покриттів на робочу поверхню гільзи циліндрів.

Об'єкт дослідження – процес припрацювання пари тертя «гільза – поршневе кільце».

Предметом дослідження є антифрикційні властивості поверхні тертя гільзи та кільця.

Визначені фактори, що впливають на роботу та підвищення зносостійкості деталей циліндро-поршневої групи двигунів внутрішнього згорання.

Теоретичне обґрунтування можливість підвищення зносостійкості деталей за рахунок покращення припрацювання, а також зменшення часу припрацювання і припрацювального зносу в результаті фінішної антифрикційної безабразивної обробки.

Розглянуті відомі схеми для нанесення антифрикційного покриття ФАБО. Вибрано оптимальну конструкцію при обробці гільз циліндрів.

Для визначення раціонального режиму обробки гільз циліндрів використано метод планування багатofакторного експерименту із застосуванням плану регресійного аналізу, який дав змогу отримати уявлення про вплив обробки на шорсткість робочих поверхонь гільз. Проведені стендові випробування.

Доведена технічна та економічна ефективність запропонованих в роботі технічних заходів.

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, 23 рисунки, 4 таблиці.

ЗМІСТ

стор.

ВСТУП	
РОЗДІЛ 1. ІСТОРІЯ СТВОРЕННЯ, РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВА ТОВ «КАЛИТА-НОВА» ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕМИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ	
1.1. Основні етапи створення та розвитку ТОВ «Калита-Нова»...	
1.2. Обґрунтування теми магістерської роботи.....	
1.3. Висновки по розділу 1.....	
РОЗДІЛ 2. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ	
2.1. Проблема підвищення надійності деталей циліндро-поршневої групи	
2.2. Оцінка працездатності циліндро-поршневої групи	
2.3. Фактори, що впливають на роботу циліндро-поршневої групи	
2.4. Діагностування деталей циліндро-поршневої групи	
2.5. Формування поверхонь тертя під час обкатування	
2.6. Підвищення ефективності припрацювання ДВЗ	
2.7. Розрахунок деталей циліндро-поршневої групи	
2.8. Обґрунтування доцільності застосування фінішної обробки деталей ЦПГ як способу покращення їх припрацювання	
2.9. Висновки по розділу 2.....	
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ ЦИЛІНДРО-ПОРШНЕВОЇ ГРУПИ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ	
3.1. Теоретичне обґрунтування підвищення зносостійкості деталей	

за рахунок покращення припрацювання.....

стор.

3.2. Теоретичне обґрунтування зменшення часу припрацювання і припрацювального зносу в результаті фінішної антифрикційної безабразивної обробки

3.3. Пристрій для нанесення антифрикційних покриттів на внутрішню поверхню гільзи циліндрів

3.4. Визначення раціональних режимів ФАБО

3.5. Проведення стендових випробувань

3.6. Висновки по розділу 3

РОЗДІЛ 4. ТЕХНІЧНА ТА ЕКОНОМІНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ФІНІШНОЇ ОБРОБКИ ПРИ ПРИПРАЦЮВАННІ ДЕТАЛЕЙ ЦИЛІНДРО-ПОРШНЕВОЇ ГРУПИ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ

4.1. Встановлення технічної ефективності

4.2. Визначення економічної ефективності

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

Надійність сучасних автотракторних двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) багато в чому залежить від міцності його основних деталей, які зазнають значних динамічних і теплових навантажень. Динамічні навантаження на деякі деталі мають циклічний характер із різною частотою та амплітудою, унаслідок дії навантажень у деталях можуть виникати одночасно крутильні, вигинаючі, розтягувальні та стискальні напруження. Теплові навантаження, пов'язані з градієнтами температур, що спричиняють теплові напруження, а також всілякі концентратори напружень у деталях складної форми створюють додаткові напруження, які необхідно враховувати під час розрахунків деталей. Багато деталей, здійснюючи зворотно-поступальний і обертальний рухи, схильні до зносу. Усе це в поєднанні з іншими факторами знижує міцність деталей двигунів.

Зниження надійності техніки, зайнятої в сільському господарстві, та експлуатованої, як правило, цілий рік, призводить до значного зниження ефективності сільськогосподарського виробництва загалом, особливо в період посіву та збирання врожаю – час простою техніки досягає величини 40-50% від робочого. При цьому 35-45% несправностей припадає на двигун, а з них близько 50% становлять несправності деталей циліндро-поршневої групи (ЦПГ) двигуна.

Важливість поліпшення експлуатаційних показників ЦПГ ДВЗ визначається тим, що саме від стану вузла ущільнення гільза-поршень-кільця залежить термін служби двигуна, а витрати на ремонт, відновлення та заміну деталей ЦПГ є найбільшими порівняно з витратами на ремонт, відновлення та заміну інших деталей двигуна.

РОЗДІЛ 1. ІСТОРІЯ СТВОРЕННЯ, РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВА ТОВ «КАЛИТА-НОВА» ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕМИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

1.1. Основні етапи створення та розвитку ТОВ «Калита-Нова»

Науково-виробнича фірма «Калита» бере початок свого існування 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.

Наприкінці 1994 року на підприємстві почалися роботи по впровадженню лінії відновлення блоків циліндрів двигунів внутрішнього згорання. Для цього було придбано та введено в експлуатацію розточувальне обладнання та розроблено технологію хонінгування циліндрів із застосуванням прогресивного інструменту: алмазних різців та алмазних хонінгувальних брусків.

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.

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.

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.

«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)» [1].



a)



б)



в)

Рис.1.1. Виконання робіт на у виробничому приміщенні ТОВ «Калита-Нова»

1.2. Актуальність теми магістерської роботи

«Важливим резервом підвищення якості ремонту як автомобілів, тракторів і сільськогосподарських машин загалом, так і їх вузлів, економії матеріальних та інших ресурсів є застосування прогресивних технологічних процесів відновлення й остаточної (фінішної) обробки деталей, що забезпечують підвищення ресурсу відремонтованих машин. Двигуни автомобілів, тракторів і комбайнів за весь термін служби ремонтуються до 5 разів, а їхній ресурс після ремонту здебільшого становить 30-50 % ресурсу нового двигуна» [2].

«Вартість ремонту і технічного обслуговування двигунів у 5-7 разів перевищує витрати на їхнє виробництво, при цьому частка запасних частин за термін служби становить 70-120 % вартості нового двигуна» [3].

«Основними причинами малого ресурсу двигунів після ремонту є низька якість обробки поверхонь деталей, що труться; верстати ремонтних підприємств не забезпечують тієї точності обробки, яку мають деталі, виготовлені на заводах серійної продукції; впровадження нових методів обробки в більшості ремонтних підприємств не є можливим унаслідок великих матеріальних витрат; погане припрацювання деталей після ремонту, відсутність сучасних випробувальних стендів, приладів, що контролюють процес припрацювання, забрудненість абразивами мастильних і гідравлічних систем» [2].

Знос є головною причиною зняття машин і устаткування з експлуатації для проведення ремонту, втрати від цього можуть бути скорочені раціональним застосуванням способів обробки, заснованих на триботехніці, та інтенсифікацією процесу припрацювання зі зменшенням прироботочного зносу.

Під час формування поверхонь тертя необхідно забезпечувати отримання оптимальних триботехнічних характеристик сполучених поверхонь, таких як низький коефіцієнт тертя, висока зносостійкість, оптимальні фізико-механічні

властивості. Значною мірою вони визначаються способами обробки поверхонь тертя.

Останнім часом розроблено нові технологічні процеси остаточної (фінішної) обробки, що дають змогу знизити припрацювальне спрацювання та підвищити антифрикційні властивості (підвищити змащування деталей, знизити коефіцієнт тертя тощо), а також зменшити час припрацювання пар тертя (зокрема, і циліндро-поршневої групи).

Аналіз відомої інформації дає змогу стверджувати, що вичерпано не всі резерви зниження часу припрацювання циліндро-поршневої групи (ЦПГ), а відповідно і часу обкатки двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ), у частині застосування нових способів фінішної обробки.

Таким чином, питання поліпшення припрацювання деталей ЦПГ є важливими й актуальними.

1.3. Висновки по розділу 1

За результатами виконання розділу 1 магістерської роботи зроблені наступні висновки:

1. Одним з напрямків роботи підприємства ТОВ «Калита-Нова» є відновлення та зміцнення деталей ЦПГ двигунів внутрішнього згорання.
2. Визначено перспективність дослідження питання зменшення припрацювання деталей циліндро-поршневої групи задля збільшення ресурсу ДВЗ.

РОЗДІЛ 2. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Проблема підвищення надійності деталей циліндро-поршневої групи

Зниження надійності техніки, зайнятої в сільському господарстві та експлуатованої, як правило, цілий рік, призводить до значного зниження ефективності сільськогосподарського виробництва загалом, особливо в період посіву та збирання врожаю – час простою техніки досягає величини 40-50% від робочого. При цьому 35-45% несправностей припадає на двигун, а з них близько 50% становлять несправності деталей ЦПГ двигуна.

ЦПГ двигуна внутрішнього згоряння здійснює термодинамічний круговий процес перетворення теплоти в механічну роботу. Причини відмов двигунів зумовлюються наявністю одночасно кількох різних вихідних дефектів: конструкційних, виробничих або експлуатаційних. Близько 30 % відмов виникають унаслідок експлуатаційних причин, 70 % припадає на конструкційні та виробничі дефекти. З усіх вищенаведених 50 % становлять відмови ЦПГ [3].

За наявними статистичними даними, зібраними протягом тривалого періоду часу, надійність деталей ЦПГ визначає безвідмовність двигуна в цілому. Частка відмов двигунів різного призначення, пов'язаних із виходом з ладу деталей ЦПГ, становить 30-45 % загальної кількості відмов.

Проблема забезпечення необхідного рівня надійності деталей ЦПГ вимагає проведення аналізу їх напружено-деформованого стану з використанням методів математичного моделювання, а також експериментальних досліджень умов роботи деталей ЦПГ. На підставі досліджень удосконалюються конструкція поршнів і технологія їх виготовлення, розробляються і впроваджуються нові матеріали.

Аналіз літературних джерел дає змогу зробити висновок про те, що конструкторські та технологічні заходи спрямовані на забезпечення допустимого температурного стану деталей поршневої групи, що є обов'язковою умовою надійної роботи двигуна. Одним із факторів, що визначають температурний і теплонапружений стан поршня, є інтенсивність відведення теплоти від нього в процесі експлуатації.

Процеси, що протікають у трибо-сполученнях ДВЗ, лімітують термін їхньої безремонтної експлуатації. Основна роль у цьому належить деталям ЦПГ, до яких за усталеною термінологією відносяться: гільзи циліндрів (циліндрові втулки), поршні, компресійні та мастилозйомні кільця, на частку яких припадає до 50% виходів двигунів з ладу. Причина такого становища ховається в специфіці експлуатації цих деталей, що працюють в умовах нестаціонарних теплових і силових впливів, масляного голодування, впливу абразивного і газового середовищ. При цьому, якщо заміною кілець, що вийшли з ладу, повністю відновлюється працездатність двигуна, то заміна поршнів і гільз зазвичай пов'язана з капітальним ремонтом двигуна.

Важливість поліпшення експлуатаційних показників ЦПГ двигуна визначається тим, що саме від стану вузла ущільнення гільза-поршень-кільця залежить термін служби двигуна, а витрати на ремонт, відновлення та заміну деталей ЦПГ є найбільшими порівняно з витратами на ремонт, відновлення та заміну інших деталей двигуна.

ЦПГ на всіх етапах слід розглядати як єдиний цілісний вузол, оскільки її герметичність є визначальним фактором нормальної роботи двигуна. Неврахування будь-якої складової на етапі конструювання і виробництва, як правило, призводить до небажаних наслідків під час експлуатації та спричиняє додаткові витрати під час ремонту.

Оскільки до етапу ремонту деталі надходять як зі зміненими геометричними розмірами, так і зі зміненими фізико-механічними властивостями матеріалів сполучених поверхонь, то ремонтні заходи являють собою, найчастіше, новий етап конструювання, а, іноді, і сучасніші й

оригінальніші технології обробки, ніж ті, що були застосовані під час виготовлення деталей.

Незважаючи на велику кількість робіт, присвячених проблемі підвищення довговічності деталей ЦПГ ДВЗ, немає комплексного підходу до забезпечення характеристик цих деталей, що становлять цілісну групу. Необхідність пошуку вирішення поставленої проблеми в комплексному вигляді зумовлена взаємозв'язком і взаємовпливом процесів, що відбуваються. Комплексність передбачає виявлення та аналіз чинників, що зумовлюють цей взаємозв'язок, з подальшим моделюванням процесів, що відбуваються у вузлі ущільнення. Необхідність розгляду втрати ЦПГ герметичності внаслідок монтажних деформацій, зношування внутрішньої поверхні, ударно-вібраційних навантажень і пов'язаного з ними кавітаційного зношування зовнішньої поверхні визначається відсутністю наразі таких даних.

2.2. Оцінка працездатності циліндро-поршневої групи

Якщо уявити ЦПГ як систему елементів, що діють спільно (складається з поршня, компресійних, мастилознімних кілець і циліндрової втулки), для самостійного виконання заданих функцій, то надійність цієї системи можна оцінити як імовірність безвідмовної роботи моделі системи з послідовно з'єднаних елементів (рис. 2.1), у якій відмова будь-якого з елементів спричиняє відмову системи і двигуна. Відмови елементів приймаються незалежно один від одного.

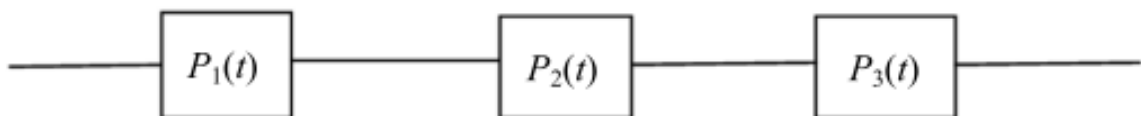


Рис. 2.1. Структурна схема системи ЦПГ із послідовним з'єднанням елементів

Імовірність спільного прояву безвідмовної роботи елементів ЦПГ можна представити як результат незалежних подій, який дорівнює добутку ймовірностей цих подій [4]:

$$P(t) = P_1(t)P_2(t)P_3(t),$$

де $P_1(t)$ – імовірність безвідмовної роботи поршня за час експлуатації; $P_2(t)$ – імовірність безвідмовної роботи кілець за час експлуатації; $P_3(t)$ – імовірність безвідмовної роботи втулки за час експлуатації.

Працездатність ЦПГ оцінюємо за три періоди роботи двигуна.

Період припрацювання – відмови під час випробування виробу на початку експлуатації; після ремонту з'являється відбраковування за конструкційними дефектами, технологічними і виробничими.

Період нормальної експлуатації характеризується раптовими відмовами порівняно постійної інтенсивності.

Період інтенсивного зносу – з'являються відмови зростаючої інтенсивності, викликані старінням елементів.

Усі відмови рівноцінні з позиції того, що вони призводять до неможливості виконання дизелем заданих функцій, їхні впливи на процес експлуатації двигуна різні. Відмова дизеля, що призводить до неможливості використання його за призначенням на даному двигуні до усунення його, – найважчий вид відмови. За напрацюваннями до появи повних відмов визначається ресурс двигуна до капітального ремонту.

Найскладнішими видами відмов, що усуваються в процесі експлуатації двигуна, є відмови деталей ЦПГ [3]. На рис. 2.2 проілюстровано криву інтенсивності відмов ЦПГ залежно від часу експлуатації.

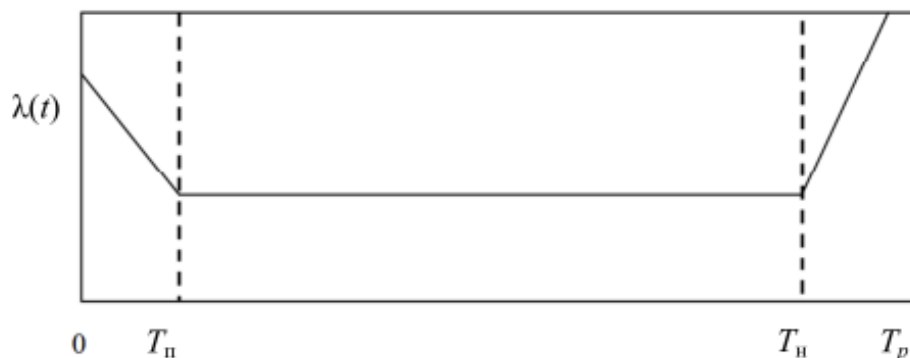


Рис. 2.2. Інтенсивність відмов ЦПГ залежно від часу експлуатації: $0-T_n$ – період припрацювання; $T_n - T_n$ – період нормальної експлуатації; $T_n - T_p$ – період інтенсивного зносу

Розрахункова формула для визначення показників безвідмовності:

$$P_0(t) = e^{-\lambda t},$$

де $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3$ – сумарна інтенсивність відмов на режимах роботи; t – розрахунковий час роботи (нормативне напрацювання).

Середній час безвідмовної роботи:

$$T_p = \frac{1}{\lambda}.$$

2.3 Фактори, що впливають на роботу циліндро-поршневої групи

Зміна техніко-економічних параметрів двигуна протягом його життєвого циклу – від початку експлуатації до списання – багато в чому визначається залежністю від реального стану його вузлів тертя, насамперед – ЦПГ.

Із чинників, що істотно впливають на роботу вузлів тертя ЦПГ і змінюються в процесі експлуатації, виділимо такі:

1) зміну величин зазорів у сполученнях тертя ЦПГ, спричинену процесами зносу робочих поверхонь циліндрових втулок, поршнів і поршневих кілець. Як показує практика, основним тут є зношування утворюючої циліндрової втулки, що призводить до утворення складного конусно-овального профілю її робочої поверхні. Відстеження цього профілю пружними поршковими кільцями призводить до постійної зміни величин теплових зазорів у замках поршневих кілець, причому в міру зношування середні величини зазорів збільшуються. Втрати робочого тіла в камері згоряння визначаються здебільшого протіканнями через теплові зазори кілець, тому поточний стан утворювальної циліндрової втулки істотно

впливає на перебіг індикаторного процесу в циліндрах двигуна і на газові навантаження на поршневі кільця. Сам механізм формування підйомної сили в зазорах під кільцями і поршнем дає змогу нехтувати депланацією робочої поверхні циліндра, спричиненої зносом, і тим самим не враховувати цей чинник у зміні форми зазорів і кутів атаки плоских підшипників, утворених у цих сполученнях. Водночас необхідно враховувати зміну форми поверхонь тертя поршневих кілець і тронка поршня, спричинену зносом;

2) зміна поточного стану робочих поверхонь деталей ЦПГ, спричинена накопиченням на них у процесі експлуатації дефектів тертя. Незважаючи на те, що цей фактор є суто випадковим, він істотно впливає на роботу плоских підшипників ЦПГ, змінюючи величину і характер розподілу в них гідродинамічного тиску підйомної сили;

3) зміна фізико-хімічних параметрів мастила в процесі його тривалої роботи, насамперед – зміна кінематичної в'язкості та вмісту пакету антифрикційних присадок, що впливають на коефіцієнти тертя в сполученнях у разі порушень гідродинамічного режиму тертя.

Перші два фактори – постійно-діючі, вплив їх поступово зростає в міру напрацювання двигуна в період від початку експлуатації (закінчення обкатних процесів) до капітального ремонту, під час якого відбувається відновлення вузлів тертя. Третій фактор – циклічний, що діє між технічними обслуговуваннями двигуна зі зміною моторної оливи.

У результаті комплексу теоретичних та експериментальних досліджень сформульовано підходи, що дають змогу ввести до класичної моделі опису трибологічних процесів у ЦПГ ДВЗ більшість вищевказаних чинників впливу поточного стану двигуна на показники тертя і зносу.

Фактор зміни зазорів у сполученнях тертя ЦПГ враховується таким чином. Облік впливу величин протікання робочого тіла з камери згоряння на індикаторний процес у циліндрах ДВЗ реалізовано шляхом спільного розв'язування рівнянь першого закону термодинаміки для камери згоряння і

закілечних об'ємів, утворених бічними поверхнями поршневих кілець і поршня зі стінками циліндра.

2.4. Діагностування деталей циліндро-поршневої групи

У міру зношування ЦПГ, а також у разі закоксовування кілець або їхньої поломки герметичність робочого об'єму циліндра стає недостатньою. На такті стиснення це призводить до зменшення тиску і температури стисненого повітря. У дизельних двигунах для поліпшення процесу згоряння температура газів наприкінці стиснення повинна на 300-400 °С перевищувати температуру самозаймання палива, що впорскується.

Отже, зношення ЦПГ призводить до утрудненого запуску двигуна через погане займання паливо-повітряної суміші, а також до перебоїв у роботі двигуна. На такті робочого ходу газів під великим тиском прориваються в картер, звідки виходять в атмосферу через сапун. Підвищений прорив газів призводить до зниження тиску їх на поршень і падіння потужності двигуна.

Зі зносом деталей і втратою пружності кілець збільшується кількість масла, що проникає в надпоршневий простір. Попадання оливи в камеру згоряння спричиняє утворення нагару на днищах поршнів і голівці циліндрів і ускладнює відведення теплоти через стінки циліндрів. Згоряння мастила виявляється за синюватим кольором відпрацьованих газів.

Діагностування стану ЦПГ за зовнішніми ознаками ускладнюється тим, що є взаємовплив несправностей механізмів і систем двигуна.

Причиною потрапляння оливи в камеру згоряння ЦПГ може бути спрацьовування або втрата еластичності мастилоз'ємних ковпачків, спрацьовування турбокомпресора, викривлення голівки блока циліндрів, пробій прокладки та ін. Потужність двигуна залежить від стану та регулювань паливного насоса високого тиску і форсунок, кута випередження впорскування палива, стану повітряного фільтра і турбокомпресора тощо.

Отже, під час діагностування ЦПГ необхідно переконатися в справності інших механізмів і систем двигуна.

У практиці діагностування ЦПГ найбільшого поширення набуло вимірювання витрати картерних газів, компресії та герметичності камери згоряння.

Оцінка стану ЦПГ за витратою картерних газів має недостатню точність через витоки газів через ущільнення і вібрації двигуна. Крім того, цей метод не дає змоги визначити окремий несправний циліндр і конкретні причини зниження працездатності ЦПГ.

Перед вимірюванням компресії необхідно перевірити технічний стан акумуляторної батареї, виконати операції з технічного обслуговування повітряного фільтра, виміряти тепловий зазор між бойком коромисла і торцем стрижня клапана. Дизельні компресометри повинні мати перехідники, що компенсують об'єм вивернутої форсунки або свічки розжарення.

Різниця показань в окремих циліндрах не повинна перевищувати 0,2 МПа для дизелів і 0,1 МПа для бензинових двигунів. Різке зниження (на 30...40 %) компресії в циліндрах вказує на поломку або залягання поршневих кілець і є орієнтовним показником оцінки технічного стану деталей ЦПГ.

Основним недоліком методу є залежність показань компресометра від частоти обертання колінчастого вала. При цьому частота обертання під час прокручування стартером ($250-350 \text{ хв}^{-1}$) істотно відрізняються від частоти обертання в режимі холостого ходу ($700-900 \text{ хв}^{-1}$) і ще більше в режимах часткових і повних навантажень. Через інтенсивний рух поршня під час прокручування стартером проблематичним є виявлення невеликого зносу ЦПГ.

Проблемою є також неможливість діагностування ЦПГ на демонтованому, частково розібраному двигуні або двигуні з непрацюючим стартером. Крім того, цей метод також не дає змоги визначити конкретні причини зниження працездатності ЦПГ.

Діагностування стану ЦПГ пневмотестером дає змогу виявляти конкретний несправний циліндр. Поршень циліндра, що перевіряється, виставляється у ВМТ на такті стиснення (при закритих клапанах). У циліндр

подається стиснене повітря під фіксованим тиском і за величиною падіння тиску оцінюється пневмощільність циліндра. Крім того напрямок потоку повітря може показати можливу причину несправності. Якщо все повітря виходить через картер двигуна, це вказує на знос ЦПГ або залягання кілець, шум у впускному або випускному колекторі – на порушення герметичності клапанів, потрапляння повітря в сусідні циліндри або радіатор – викривлення головки блоку циліндрів або пошкодження прокладки. Однак цей метод може бути реалізований тільки в стаціонарних умовах за наявності джерела стисненого повітря.

Діагностування стану ЦПГ аналізатором герметичності циліндрів полягає у вимірюванні, під час прокручування двигуна стартером, двох параметрів: величини вакууму з випуском повітря в атмосферу та величини вакууму під час ізоляції надпоршневого простору.

Величина вакууму з випуском повітря в атмосферу дає змогу оцінити зношення стінки циліндра (гільзи) та щільність у сполученні клапана і сідла, а величина вакууму під час ізоляції надпоршневого простору показує ступінь зношеності поршневих кілець [5].

Однак цьому методу також властива залежність показань від частоти обертання колінчастого вала. Побічно стан ЦПГ можна оцінити вимірюванням струму споживання стартером у режимі прокручування двигуна. Що герметичніший надпоршневий простір циліндра, то більшим буде тиск стиснутого повітря та опір обертанню двигуна, отже, більший струм споживає стартер для провертання колінчастого вала. Однак на споживаний струм впливає не тільки стан ЦПГ, а й стан стартера, кривошипно-шатунного механізму, проводки тощо.

Діагностування ЦПГ аналізом продуктів зносу в системі змащення з оцінкою кількості, концентрації частинок і їхнього хімічного складу. За нормального зносу виявляються частинки розміром до 15 мкм і товщиною до 1 мкм.

Початок інтенсивного зношування супроводжується збільшенням концентрації частинок та їхнього розміру до 50 мкм і появою певної їхньої форми: осколки, пластини неправильної форми, стружка [3].

Недоліком цього методу є те, що цей спосіб не може конкретно підтвердити наявність зносу гільз циліндрів і поршневих кілець, тому що в двигуні є присутніми інші пари механізмів, що труться, – КШМ і ГРМ, які так само можуть давати продукти зносу в процесі роботи.

Дефекти та пошкодження деталей ЦПГ, що виявлені під час діагностування, наведені в табл.2.1

Таблиця 2.1 – Дефекти та пошкодження деталей ЦПГ

Ознаки появи несправності	Зовнішній вигляд після роботи	Причини появи дефекту	Методи попередження та усунення несправності
1	2	3	4
Абразивний знос			
Збільшена витрата масла. Погана робота стартера. Зниження ККД. Картерні забруднення.	Зношені поршневі кільця і робоча поверхня гільзи. Спідниця поршня має матову поверхню тьмяно-сірого кольору. На спідниці поршня, як правило, присутні окремі подряпини. У канавках під поршневі кільця можливий вміст дрібних домішок (частинок).	Причиною цього дефекту є мікрочастинки, що потрапили на робочу поверхню деталей ЦПГ. Мікрочастинки можуть бути принесені як всмоктуванням повітрям, так і забрудненим маслом. 1. Якщо кільця мають великий знос з боку головки (осьовий знос поршневих кілець), то бруд (мікрочастинки) потрапили на робочі поверхні деталей із всмоктуваного повітря. 2. Якщо більше зношене маслоз'ємне кільце (тобто більше зношені кільця з боку спідниці поршня), виразно видно подряпини і матові відтінки на спідниці поршня,	 Проводьте складання з великою ретельністю (відповідно до вказівок виробника). Регулярно очищайте або замінійте фільтри повітрязабірника, користуйтеся новими прокладками, перевіряйте герметичність повітропроводів.

		то забруднення принесене забрудненою оливою.	
--	--	---	--

Продовження табл.2.1

1	2	3	4
Ерозія поршня, плавлення поршня			
Стукіт у двигуні	Верхня частина поршня має сліди оплавлення. Відбулося залягання поршневих кілець. Частина матеріалу поршня перейшла на гільзу. Головка поршня має оплавлення від краю головки до камери згоряння.	Незгоріле паливо осідає на верхній площині голівки і поверхні вогневого пояса поршня. Догорання палива відбувається під час робочого ходу поршня і спричиняє розігрів поверхонь до температури вище 570°C. Розм'якшена поверхня при різноприскореному русі поршня починає втрачати частинки матеріалу. Провокаторами виникнення зайвого палива є: 1. Занадто низька компресія – зношення ЦПГ, несправності в приводі клапанів, їхнє зношення і прогар. 2. Несправність у системі подачі палива. 3 Несправність у системі запалювання, зокрема гартівне і детонаційне згоряння. 4. Несправність у системі примусового	 Відрегулювати дозування палива паливним насосом у цей циліндр, тиск уприскування форсунки (як зайву кількість палива, що впорскується, так і витікання палива з форсунок після подачі). Відрегулювати зазори в клапанах. Відрегулювати кут випередження впорскування палива або запалювання.

		охолодження поршня.	
--	--	---------------------	--

Продовження табл.2.1

1	2	3	4
Оплавлення стінки поршня			
Стукіт у двигуні	Зони над і під отворами під пальці зношені та перебувають у стані, який часто називають «спрацювання» (вироблення). Поверхня відполірована яскраво та гладко. Ділянка робочої поверхні циліндра має сліди впливу пошкодженій ділянки поршня. Внаслідок інерційних сил, що мають місце під час періодичного руху поршня, матеріал поршня «вифарбовується» відірваними частинками стопорного кільця, і каверни, що виникли, можуть досягати пояса кілець. Кільця можуть бути повністю спрацьовані.	Причиною появи дефекту є пошкодження стопорних кілець. Надмірна деформація під час установа може або призвести до розтріскування стопорного кільця, або створити попередню напругу, після чого кільце стане занадто малим. Інерційні сили, що діють на кільце, призводять до його поломки або до втрати натягу і поступового ослаблення, втрамбування або навіть вистрибування. Осьове зусилля пальця на стопорне кільце також може призвести до його зносу або до розширення паза кільця. Пошкодження цього типу спричиняється перекосом поршня внаслідок деформації	 Під час встановлення стопорного кільця використовуйте відповідні плоскогубці, щоб уникнути його перенапруження. Коли стопорне кільце встановлено, поверніть його, щоб переконатися, що положення і натяг правильні. Переконайтеся, що немає перекосу. Встановлюйте правильний вид стопорного кільця відповідно до паза (кільця круглого перетину для круглих пазів, кільця прямокутного перетину для прямокутних пазів). Під час встановлення пальця всередину не натискайте сильно на стопорне кільце, яке вже встановлено. Щоб уникнути впливу інерційних сил, стопорне кільце не повинно встановлюватися таким чином, щоб його розрив був спрямований в сторони (горизонтально).

		шатуна.	
--	--	---------	--

Продовження табл.2.1

1	2	3	4
Руйнування поршня в зоні отвору під палець			
	Поршень зруйнований на дві частини. На днищі поршня можуть бути сліди ударів від клапанів і поверхні головки. Нижня частина поршня зруйнована повністю. Поверхня зламу має сірий колір без растрових ліній. На зовнішньому діаметрі поршневого пальця спостерігається слід прихвату. На торцевій поверхні поршневого пальця спостерігається світла поверхня від постійного впливу об стопорне кільце.	1. Циліндр при непрацюючому двигуні заповнився водою, паливом або маслом (гідравлічний удар). Це також може призвести до здавлювання поршневого пальця та виникнення тріщини. 2. Порушення режиму згоряння. Раптове займання через затримку запалювання. Також може спричинити формування тріщин у перемичках між канавками поршневих кілець. 3. Застосування поршневих пальців з овальною деформацією. Найчастіше це поршневі пальці, що були в експлуатації, використовуються вдруге. 4. Неправильне запресовування поршневого пальця (сволакування	

		матеріалу поршня в отворі).	
--	--	-----------------------------	--

Продовження табл.2.1

1	2	3	4
Руйнування посадкових місць поршневих кілець			
	На фотографії видно, що злам проходив зверху вниз. Фотографії наочно показують сліди руйнування внаслідок неправильного згоряння палива. Роз'їдений край головки поршня добре видно на фотографії. Ті самі ознаки видно на посадковому місці верхнього кільця.	Двигуни з іскровим запалюванням. Детонаційне згоряння призводить до різкого зростання тиску до 300 бар на 1 градус повороту колінвалу (тоді як нормальна величина становить 3-5 бар на 1 градус повороту), і до вібрацій, близьких до ультразвукових, а також до різкого перегріву внаслідок нестабільного згоряння. Під дією високих температур і вібрацій у перегородках з'являються тріщини, а потім і злами, що йдуть зверху вниз. Причиною неправильного згоряння може бути раннє запалювання, бідна горюча суміш, бензин із занадто низьким октановим числом.	 У двигунах з іскровим запалюванням використовуйте паливо з рекомендованим октановим числом. Після тривалої експлуатації автомобіля на коротких дистанціях, дайте двигуну можливість розім'ятися, даючи повне навантаження лише після перших 100 кілометрів. Це допоможе уникнути особливо небезпечної детонації на високих обертах. У дизельних двигунах виставляйте режим упорскування палива та кут випередження запалювання відповідно до характеристик двигуна. Слідкуйте за станом форсунок.

Продовження табл.2.1

1	2	3	4
Сліди заїдання поршня з одного боку			
	Робоча поверхня поршня з чіткими слідами одностороннього заїдання поршня.	Та сторона поршня, яка несе більш високе ударне навантаження, тобто сторона високого тиску, відчуває брак мастила під час ходу зверху вниз. Недолік мастила між поршнем і циліндром призводить до локальних контактів метал-метал з подальшим перегріванням та оплавленням матеріалу (точки заїдання), внаслідок чого незабаром схоплюється вся поверхня, що несе. Причиною цього є: 1. Надмірне зняття олії маслосніжним кільцем. 2. Недостатній рівень мастила. 3. Змив олії із-за конденсації пального. 4. Головка циліндра була надто жорстко затягнута	 Слідкувати, щоб рівень олії був достатнім - між відмітками щупа. Дотримуйтесь рекомендацій виробника щодо якості масла, особливо його в'язкості. Перевіряйте тиск олії. Причиною недостатнього тиску масла може бути зношений маслонасос, засмічення масляного фільтра, несправний запобіжний клапан або змив олії. Дуже важлива ретельність при складанні, уважно стежте, щоб маслопроводи не мали протікання і щоб струм масла в них був вільним. Автоматична повітряна заслінка карбюратора і стартер запуску двигуна в холодному стані – у двигунах з упорскуванням пального має бути в робочому стані.

Продовження табл.2.1

1	2	3	4
Заїдання з боку високого та низького тиску			
	У зоні спідниці поршня – сильне фрикційне зношування зі слідами заїдання з боку як високого, так і низького тиску. Ці місця виглядають глянсовими, начебто відполірованими, і концентруються до нижнього краю спідниці. Можливе утворення тріщини у площині маслосніжного кільця та руйнування поршня.	При механічній обробці поршня надано такий профіль, що при робочій температурі спідниця спирається на стінку циліндра по всій довжині. Заїдання починається від краю спідниці і відбувається по обох несучих сторонах (високого і низького тиску), з цього можна зробити висновок, що зазор між спідницею поршня і робочою поверхнею циліндра неприпустимо заузився через перекося, які виникли при роботі двигуна. Причинами цього могли стати: 1. Несправність роботи системи охолодження. 2. Неправильно відрегульовано паливну апаратуру. 3. Розмиття масляної плівки на стінках циліндра створює сухе тертя.	 1. Складання двигуна проводити суворо за інструкцією (дотичні поверхні повинні бути чистими і рівними, комбінація та моменти затягування болтів повинні відповідати зазначеним). 2. Прокладання головки має відповідати необхідним вимогам. 3. Система охолодження має бути чистою та у справному стані. 4. Навантажуйте двигун після досягнення необхідної температури.

Продовження табл.2.1

1	2	3	4
Діагональне заїдання спідниці поршня під поршневий палець			
	Усі задири мають лише діагональний напрямок. У напрямках високого та низького тиску сліди заїдання спідниці практично відсутні. Безпосередньо поруч із задирами можна бачити сильно відполіровані зони. Шатун можна повернути навколо осі пальця лише із зусиллям. В отворі пальця видно сліди заїдання, особливо з обох боків.	Просвердлені отвори, радіальні або осьові пази для мастила забезпечують надходження олії при нормальній роботі двигуна. Проблеми виникають, коли при нестачі мастила виникає тертя між поршневим пальцем та стінками отвору. Заїдання поверхні отвору під палець часто трапляється до того, як олія проникне в зазор. Додаткове тепло, що утворюється при цьому, викликає надмірне розширення поршня в зоні бобишки поршня. Велике навантаження на циліндр виникає особливо в тих випадках, коли поршень має жорсткий корпус, що призводить до утворення на спідниці полірованих зон біля отвору під поршневий палець.	 Змащуйте палець і отвір під палець перед їх припасуванням та складанням. Якщо цей вузол не буде відразу встановлений у двигун, ретельно змастіть отвори ще раз перед збиранням двигуна. Після завершення складання поршня, поршневого пальця та шатуна необхідно дати час для повного остигання зазначених деталей, а потім переконайтеся, що поршень рухається на пальці абсолютно вільно.

Продовження табл.2.1

1	2	3	4
Стирання поршня та знос гільзи			
	На поршні видно вузькі борозенки з чіткими слідами стирання по всій довжині спідниці поршня. На кільцях є подряпини.	Паливо, що потрапляє, змиває плівку масла на стінці циліндра. Поршень та кільця працюють всуху. Перші сліди стирання, а пізніше задираки утворюються в зоні найбільшого навантаження (з боку високого тиску). Надлишок пального часто виникає за неправильної роботи паливної апаратури. Іншими причинами можуть бути дефектна система впорскування палива (пристрій збагачення для запуску холодного двигуна), або несправність свічок в карбюраторних двигунах в окремих циліндрах. Відсутність мастила викликає стирання спідниці та сильний знос кілець та гільзи.	 Карбюраторні двигуни. Правильно відрегулюйте автоматичну дросельну заслінку. Уникайте "накачувати" педаль акселератора. Уникайте розігріву двигуна на холостому ходу. Перевірте карбюратор – чи правильно працюють поплавці і клапан голки поплавця, оскільки труднощі із запуском означатимуть, що паливо починає заливати двигун. Дизельні двигуни. У разі тривалої постійної детонації (пізні запалення), яка не припиняється після холодного запуску двигуна, перевірте пристрій упорскування палива, особливо форсунки.

Продовження табл.2.1

1	2	3	4
Відрив бурта гільзи			
	Тріщина починається з радіусу під буртом і похило продовжується вгору.	Причиною відриву бурта є перевантаження згинальним моментом бурта. У нормальному стані прокладка головки блоку затиснута між головкою та буртом гільзи. При перевищенні вказаного моменту затягування або при використанні неправильної (надто тонкої або використаної) прокладки головки циліндра притискається до вогнезахисної кромки. Частинки бруду на тримачі або занадто великий радіус після обробки посадкового місця гільзи призводить до перекосу і створює згинальний момент з утворенням тріщин у проміжку від бурта гільзи до центру циліндра. Збільшення згинального моменту визначається силою затягування, що прикладається на болти головки	 Використовуйте вказану прокладку (дешеві нестандартні прокладки або прокладки, що були у використанні, дещо тонші і стискаються щільніше). Дотримуйтесь моментів затягування, і кути обертання, вказані виробником, повинні дотримуватися. Ретельно очищайте поверхні гільз та посадкових місць у блоці.

		циліндра.	
--	--	-----------	--

Продовження табл.2.1

1	2	3	4
Руйнування поршневого пальця			
	Поршковий палець повністю поламаний на переході між стрижнем шатуна та бобишкою поршня. На поршковому пальці є поперечна тріщина. Спостерігається тріщина на короткій ділянці по довжині пальця.	Причинами руйнування поршневого пальця можуть бути: 1. Порушення режиму згоряння. Виникає механічне навантаження (тиск) на вузол палець-шатун. При поздовжньому навантаженні тріщина виникає внаслідок овальної деформації, що виникла через вигин пальця. Через овальну деформацію поршневого пальця в отворі при перевантаженні на кінцях пальця утворюється поздовжня тріщина. При поперечному навантаженні виникає злам унаслідок найбільшого навантаження вигину між бобишкою поршня та бобишкою шатуна. У зоні найбільшого навантаження вигину формується поперечна тріщина, яка згодом призводить до поломки всього пальця.	

		2. Неякісний монтаж. Забивання поршневого пальця.	
--	--	---	--

2.5. Формування поверхонь тертя під час обкатування

У період роботи ЦПГ після виготовлення чи ремонту деталі неспроможні відразу сприймати експлуатаційні навантаження, ними ще не сформований поверхневий шар. У цих умовах висока ймовірність захоплення (металевий контакт) у місцях фактичного контакту поверхонь, що може призвести до їх важких ушкоджень, що іноді унеможлиблює подальше припрацювання.

Припрацювання – це зміна геометрії поверхонь тертя та фізико-механічних властивостей поверхневих шарів матеріалів у початковий період тертя, що проявляється за постійних зовнішніх умов зменшення сили тертя, температури та інтенсивності зношування. Припрацювання деталей двигунів проводять у періоди їх стендової обкатки на заводах та експлуатаційної обкатки у господарствах.

Обкатування – заключна технологічна операція виробництва та капітального ремонту двигунів, якісне проведення якої дозволяє зменшити відмови в період експлуатації та підвищити їхній ресурс.

У процесі обкатування відбувається остаточне формування поверхонь, що труться. На обкатку двигуна потрібно 30-60 год. Залежно від товщини мастильної плівки в процесі роботи вузла тертя можуть бути реалізовані три основні види змащення (рис. 1.7) [].

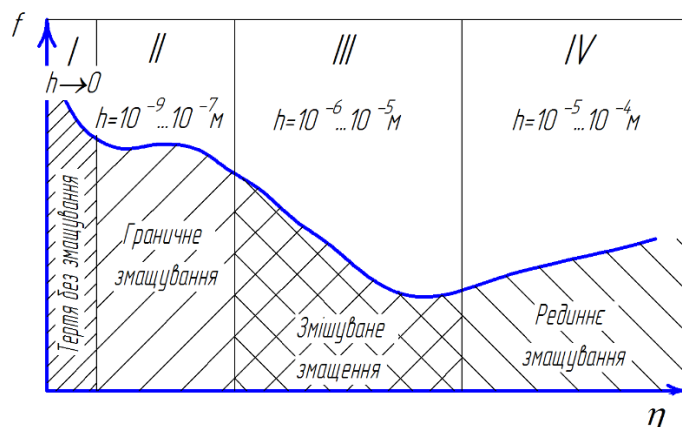


Рис.2.2. Зміна коефіцієнта тертя залежно від умов змащення (крива Штрибека): f – коефіцієнт тертя; η – в'язкість олії; v – швидкість; h – зазор у з'єднанні; P – навантаження

Припрацювання деталей протікає на окремих ділянках в режимах напівсухого, граничного та напіврідинного тертя. При цьому відбувається підвищення накопичення продуктів зносу. Можливе відділення великих частинок при фарбуванні і спрацьовуванні нерівностей, що найбільш виступають.

Після припрацювання масло в картерах забруднюється, і його слід вважати відпрацьованим. Критерії оцінки закінчення припрацювання:

- перехід на прямолінійну ділянку кривої зносу (можна встановити за вмістом заліза в маслі);
- досягнення мінімуму потужності, необхідної на холостий хід машини;
- стабілізація моменту тертя та температури;
- досягнення найбільшої ефективної потужності двигуна при заданій швидкості;
- досягнення певного ступеня прилягання контактуючих поверхонь.

2.6. Підвищення ефективності припрацювання ДВЗ

Численні чинники можна поділити на основні та супутні. До основних можна віднести навантажувальні (навантаження, швидкість), вихідні фізико-механічні властивості матеріалів та мастильне середовище. До супутніх відносяться температура, що підвищується при терті, та пов'язані з нею різні фізико-хімічні зміни на фрикційному контакті. Усі чинники взаємопов'язані, тому вивчення їхнього впливу на припрацювання і встановлення кінцевої, оптимальної даних умов шорсткості, представляє значні труднощі.

Навантаження. Навантаження істотно впливає на якість і тривалість припрацювання. Зі збільшенням навантаження в початковий момент припрацювання зростає частка пластичної деформації тонкого поверхневого

шару, що призводить до збільшення спільної роботи, кількості тепла, що виділяється, і поглиненої енергії. Висока механічна напруга, обумовлена збільшенням тиску на площах контакту, викликає велику дефектність структури поверхонь тертя, що збільшує активність металу.

Вихідна шорсткість. Вихідна шорсткість, яка визначається технологією виготовлення деталей, впливає на зносостійкість сполучення в основному тільки через припрацювання. Шорсткість, яка найближче відповідає рівноважної, як правило, визначали дослідним шляхом.

Механічні властивості матеріалів під час мастила. Це питання є найбільш складним при вивченні кінетики припрацювання та встановленні рівноважної шорсткості тому, що фізико-механічні властивості поверхневого шару матеріалів пар, що труться, можуть зазнавати різних змін у результаті впливу силових, температурних факторів і хімічних перетворень у присутності мастильного середовища. З розглянутих факторів найбільший вплив на характеристики припрацювальної шорсткості надає навантаження.

Мастильний матеріал за інших постійних умов тертя істотно впливає на зміну мікрогеометрії при припрацюванні.

Одним з напрямків зниження часу припрацюванню, а також підвищення ресурсу нових і відремонтованих двигунів є застосування, як остаточну, обробку в металоплакувальних середовищах деталей, що лімітують ресурс. До таких деталей відносяться гільзи циліндрів. В результаті натирання поверхні тертя деталей покривають тонким шаром (1...25 мкм) твердозмащувальних матеріалів, внаслідок чого вони набувають високих антифрикційних властивостей і контактну жорсткість. Також у процесі такої обробки можливе надання певних параметрів рельєфу поверхонь, що сприяє зниженню зносу.

Для визначення можливостей покращення припрацювання деталей ЦПГ розглянемо основні особливості їх розрахунку на прикладі гільзи циліндра.

2.7. Розрахунок деталей циліндро-поршневої групи

Основні конструктивні розміри гільз вибираються з урахуванням забезпечення їх необхідних міцності та жорсткості, що виключають появу овалізації циліндра при складанні двигуна та під час його роботи. Товщину чавунної стінки гільзи зазвичай приймають за експериментальними даними.

Гільзи виконують з легованих чавунів, сірих перлітних чавунів СЧ 20, СЧ 35 або сталей типу 38ХМЮА. Товщину стінки гільзи в першому наближенні визначають за формулою, яка використовується для розрахунку циліндричних судин:

$$\delta_z = 0,5D \left(\sqrt{\frac{\sigma_z + 0,4p_z}{\sigma_z - 1,3p_z} - 1} \right),$$

де D – діаметр циліндра, мм;

σ_z – напруга на розтягування, що допускається (для сталевих гільз $\sigma_z = 80 \dots 100$ МПа, для чавунних гільз $\sigma_z = 50 \dots 60$ МПа);

p – максимальний тиск газів у циліндрі двигуна в кінці процесу згорання палива, МПа.

При розрахунку гільзи циліндрів на міцність визначають напруження лише від основних навантажень: максимального тиску газів, бічного тиску поршня та перепаду температур у стінці гільзи.

Для двигунів з рідинним охолодженням як небезпечне навантаження приймається максимальний тиск у процесі згорання палива p_{zmax} , яке викликає розтягувальні напруження по утворюючому циліндру та його кільцевому перерізу.

Напруження розтягу σ_p від дії сил газів визначають за наближеною залежністю, яка не враховує нерівномірність розподілу напружень за товщиною гільзи:

$$\sigma_p = \frac{0,5p_z D}{\delta_z},$$

де p_z – максимальний тиск газів у циліндрі двигуна, умовно віднесений до положення поршня в НМТ, МПа.

Допустиме напруження σ_p для гільз циліндрів, виконаних з чавунів, змінюється в межах 30–60 МПа, а для сталевих – 80–120 МПа.

Під час роботи двигуна між внутрішньою та зовнішньою поверхнями гільзи виникає значний перепад температур, що викликає теплове напруження:

$$\sigma_t = \frac{E \alpha_y \Delta T}{[2(1 - \mu)]},$$

де E – модуль пружності матеріалу гільзи, МПа (для сталі $E = 2,2 \times 10^5$, для чавуну $E = 1,0 \times 10^5$);

α_y – коефіцієнт лінійного розширення, $1/K$ (для сталі $\alpha_y = 10 \cdot 10^{-6}$, для чавуну $\alpha_y = 11 \cdot 10^{-6}$);

ΔT – перепад температур, K (на підставі дослідних даних, $\Delta T = 100$ – 150 K);

μ – коефіцієнт Пуассона (для сталі $\mu = 0,25 \dots 0,33$, для чавуну $\mu = 0,23 \dots 0,27$).

Напруженням розтягування на зовнішній поверхні гільзи відповідає знак «плюс», а напруги стиснення на внутрішній поверхні – знак «мінус».

Сумарна напруга від тиску газів та перепаду температур:

- на зовнішній поверхні циліндра:

$$\sigma_{\Sigma a} = \sigma_p + \sigma_t,$$

- на внутрішній поверхні

$$\sigma_{\Sigma i} = \sigma_p - \sigma_t.$$

Сумарне напруження в чавунній гільзі не повинна перевищувати 100-130 МПа, а в сталевий – 180-200 МПа.

Для двигунів з повітряним охолодженням з несучими циліндрами:

– напруження розриву по кільцевому перерізу гільзи

$$\sigma_p = 0,25 p_{zmax} D / \delta_z;$$

– напруження вигину від бічної сили N

$$\sigma_u = \frac{N h_y}{W_y},$$

де $h_{\text{ц}}$ – відстань від положення пальця при максимальній силі N до нижньої мертвої точки, м;

$W_{\text{ц}}$ – момент опору поперечного перерізу циліндра:

$$W_{\text{ц}} \approx 0,1(D_0^4 - D^4) / D_0,$$

де D_0 – зовнішній діаметр циліндра.

Сумарне напруження від розтягування та вигину в стінках несучого циліндра

$$\sigma_{\Sigma} = \sigma_p + \sigma_u.$$

У чавунних гільзах напруження не повинні перевищувати 60 МПа, у сталевих – 110 МПа.

Розглянуті особливості розрахунку найбільш відповідальної деталі ЦПГ – гільзи циліндра ДВЗ стверджують про необхідність більш детального вивчення параметрів напружено-деформованого стану цієї деталі.

2.8. Обґрунтування доцільності застосування фінішної обробки деталей ЦПГ як способу покращення їх припрацювання

Відомо, що при відновленні розміру деталі товщина шару металу визначається величиною зношування та припуском на обробку. З іншого боку, і експлуатаційні властивості металопокриттів, що визначають довговічність деталей, великою мірою залежать від товщини шару, що наноситься. Економічна ж доцільність застосовуваних способів відновлення прямим чином пов'язана з товщиною покриттів, оскільки від величини останньої залежать тривалість процесу нанесення покриттів, витрата матеріалів та ін.

Тому числові значення зносу деталей двигунів за міжремонтний період є найважливішою структурною характеристикою, що визначає критерій застосування способів відновлення.

Однак обмежитись вивченням одних кількісних характеристик було б недостатньо, необхідно виявити зносостійкість різних деталей. Відомо, що не

тільки деталі, а й навіть окремі робочі поверхні однієї й тієї ж деталі мають різну зносостійкість. Нерівнозносостійкість деталей призводить до зниження міжремонтних термінів служби та тривалого простою двигунів у технічному обслуговуванні, а також підвищеної витрати запчастин. Через нерівну зносостійкість окремих робочих поверхонь деталей при технічному обслуговуванні та ремонті проводиться або вибраковування, або відновлення по суті абсолютно придатних деталей, що мають знос лише однієї поверхні.

Виявлення нерівнозносостійкості деталей і різних робочих поверхонь їх необхідно не тільки для ремонту, але і для конструювання та виробництва двигунів. Нерівнозносостійкість можна усунути в процесі відновлення деталей застосуванням найбільш зносостійких покриттів, що забезпечують більш високі терміни служби агрегатів.

При конструюванні та виробництві двигунів відомості про нерівнозносостійкість деталей дозволяють обґрунтовано підходити до диференційованого вибору матеріалу та термічної обробки, якості поверхні, і можливо, до зміни розмірів і навіть конструкції деталі, вузла та ін. Актуальність забезпечення рівної стійкості деталей різних машин неодноразово підкреслюється. Широка можливість вирівнювання термінів служби деталей та робочих поверхонь відкривається з впровадженням зміцнюючої технології та зносостійких покриттів, як при виготовленні ряду деталей двигунів, так і в ремонтному виробництві.

«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%» [9].

Одним із методів, що реалізує ефект вибіркового перенесення є фінішна антифрикційна безабразивна обробка (ФАБО).

Цей метод обробки цілком можна розглядати як ефективний напрямок підвищення довговічності деталей циліндро-поршневої групи (рис.2.3).

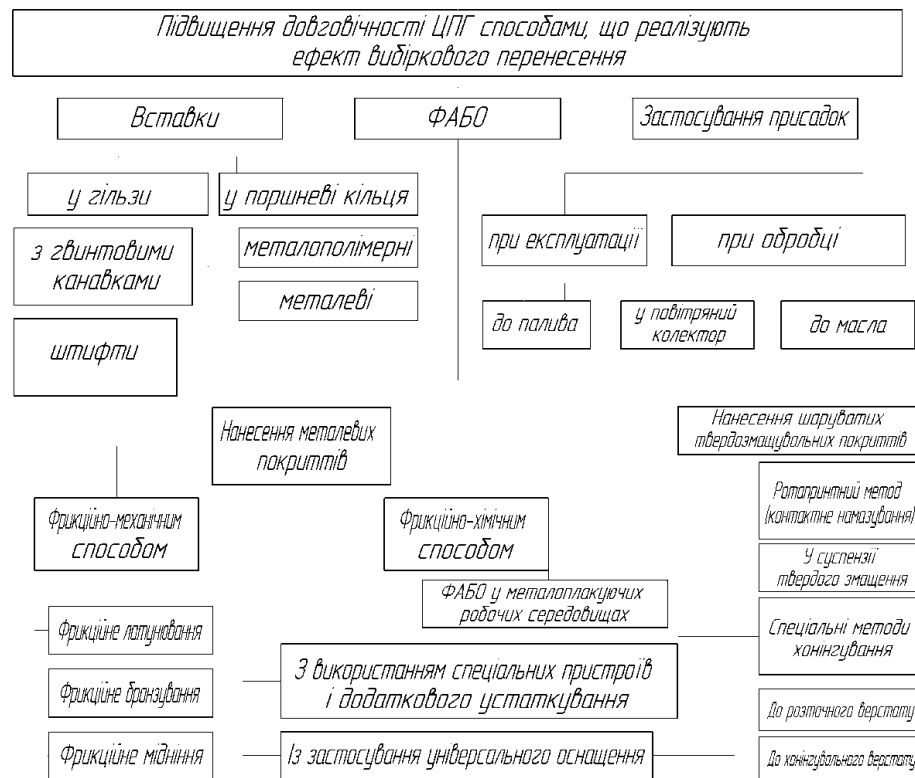


Рис.2.3. Методи підвищення довговічності деталей циліндро-поршневої групи

2.9. Висновки по розділу 2

Аналіз літературних джерел за темою досліджень дозволив зробити наступні висновки:

1. Визначено важливість вирішення проблеми підвищення надійності деталей циліндро-поршневої групи. 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. Розглянуті заходи з підвищення ефективності припрацювання ДВЗ. Обґрунтовано доцільності застосування фінішної обробки деталей ЦПГ як способу покращення їх припрацювання.

3. Запропонована класифікація методів підвищення довговічності деталей циліндро-поршневої групи.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ ЦИЛІНДРО-ПОРШНЕВОЇ ГРУПИ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ

3.1. Теоретичне обґрунтування підвищення зносостійкості деталей за рахунок покращення припрацювання

З позиції системного аналізу загальний випадок процесу припрацювання – динамічний стан, у якому входи і виходи залежать від часу і можуть бути описані системою диференціальних рівнянь. У окремому випадку умови на вході залишаються незмінними, а на виході змінюються (припрацювання за постійних умов зовнішніх впливів: навантаження, швидкості та ін.). Повний математичний опис структури припрацювання як поведінки трибосистеми загалом практично неможливий. Зазвичай обмежуються підходом на основі укрупненого опису інформаційної структури трибосистеми [7].

Припрацювання – процес переходу трибосистеми в стійкий стан, який характеризується фізико-механічними властивостями поверхневих шарів і початковим зносом [4].

Знос деталі можна розглядати як функцію часу, яка не монотонна, а ділиться на 3 ділянки (рис. 3.1) [4, 7]:

- I – період початкового зносу (припрацювання деталей, що труться);
- II – період усталеного зносу;
- III – період аварійного зносу.

Розглянемо ділянку *опт* (рис. 3.1) на кривій зносу. Вона відповідає рівномірно-уповільненому процесу зношування.

Представлена залежність описується наступним рівнянням:

$$U(T) = a(T - T_m)^c + b, \quad (3.1)$$

де a, b, c – коефіцієнти; T_m – напрацювання до точки m , що знаходиться між T_n і T_k ; T_k – напрацювання до форсованого (аварійного) зносу; T_n – час припрацювання; T – змінна.

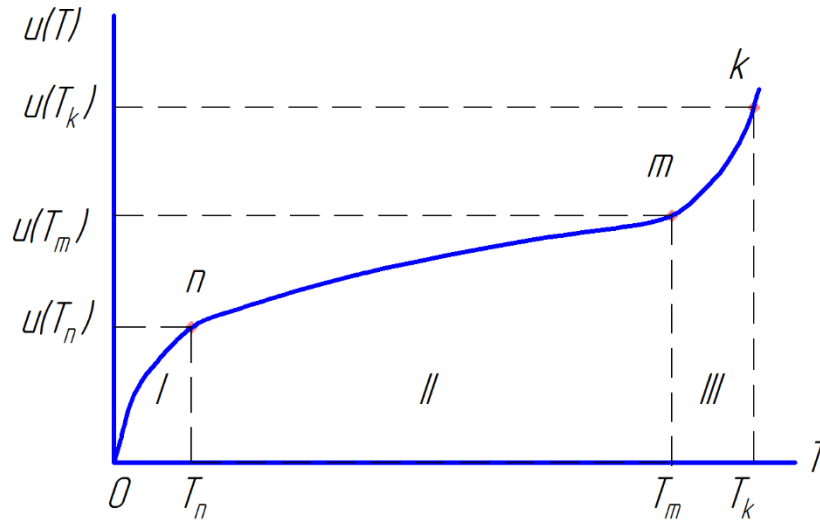


Рис. 3.1. Крива зносу

У точці $T = T_m$ залежність 3.1 повинна мати перегин, тобто

$$\frac{d^2U}{d^2T} \bigg|_T = T_m = 0, \quad (3.2)$$

Після перевірки:

$$U^I(T) = -ac(T_m - T)^{c-1}, \quad (3.3)$$

$$U^{II}(T) = -a(c-1)(T_m - T)^{c-2}, \quad (3.3)$$

звідки $U^{II}(T) = 0$, що підтверджується при $C > 2$, $T = T_m$

Коефіцієнти a, b, c знаходяться з наступних умов:

- $U(0) = 0$ (деталь ще не працювала);

- $U(T_n) = U_n$,

где T_n – час припрацювання; U_n – знос по закінченню припрацювання.

- $U(T_m) = U_m$.

Розглядаючи ці умови маємо:

1. $U(0) = 0$:

$$-aT_m^c + U_m = 0;$$

$$a = \frac{U_m}{T_m^c}$$

$$2. U(T_n) = U_n:$$

$$-\frac{U_m}{T_m^c}(T_m - T_n)^c + U_m = U_n;$$

$$U_c \left(1 - \frac{T_n}{T_m}\right)^c = U_m - U_n;$$

$$\left(1 - \frac{T_n}{T_m}\right)^c = 1 - \frac{U_n}{U_m};$$

$$c = \frac{\ln\left(1 - \frac{U_n}{U_m}\right)}{\ln\left(1 - \frac{T_n}{T_m}\right)}$$

$$3. U(T_m) = U_m$$

$$a(T_m - T_n)^c + b = U_m;$$

$$b = U_m$$

Таким чином, залежність (3.1) має наступний вигляд:

$$U(T) = U_m \left[1 - \left(1 - \frac{T}{T_m}\right)^c\right] \text{ при } T < T_m.$$

Коефіцієнт c характеризує зміну швидкості зносу в період приробітку. Чим він більший, тим інтенсивніше припрацювання.

Експертні оцінки методів інтенсифікації та поліпшення припрацювання ДВЗ [10] показали (рис. 3.2), що основна перевага надається триботехнічним методам, які містять у собі підбір оптимальної шорсткості, введення присадки до мастила, нанесення приробок ФАБО-покриттів, розроблення оптимальних режимів та зневоднення моторного мастила на дільниці випробування двигунів і т.п.

У подальшому були обрані наступні фактори: x_1 – присадки до мастила; x_2 – нанесення припрацювальних ФАБО-покриттів; x_3 – зневоднення моторного мастила.

Ці фактори значно впливають на інтенсифікацію та поліпшення припрацювання трибосполучень.

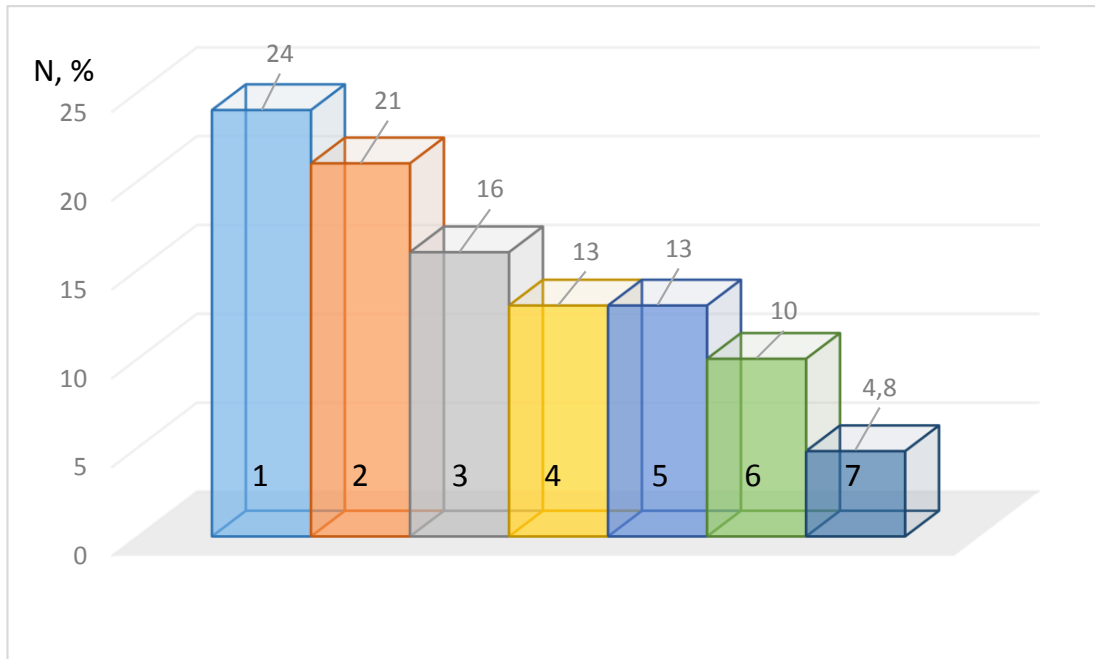


Рис. 3.2. Експертні методи підвищення зносостійкості та поліпшення припрацьовуваності деталей ЦПГ ДВЗ: 1 – отримання оптимальної шорсткості після фінішної обробки; 2 – додавання припрацювальних присадок до мастила; 3 – нанесення покриттів ФАБО; 4 – зневоднення моторних мастил на дільниці стендового обкатування та випробувань двигуна; 5 – розробка оптимальних режимів; 6 – використання мастил різної в'язкості; 7 – інші методи.

Застосуємо гіпотезу про те, що зі збільшенням зносу (його прирощення dU) пропорційно значенню фактора: x_1 і величині зносу U :

$$dU_1^x = U_1^x \alpha_1 x_1 (x_2 = x_3 = 0) - \frac{dU_1^x}{U_1^x} = \alpha_1 x_1;$$

$$dU_2^x = U_2^x \alpha_2 x_2 (x_1 = x_3 = 0) - \frac{dU_2^x}{U_2^x} = \alpha_2 x_2;$$

$$dU_3^x = U_3^x \alpha_3 x_3 (x_1 = x_2 = 0) - \frac{dU_3^x}{U_3^x} = \alpha_3 x_3;$$

де $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – коефіцієнти розмірності, які характеризують ступінь реакції системи на зміну фактору.

Спільна залежність матиме такий вигляд:

$$\frac{dU^x}{U^x} = \frac{dU_1^x}{U_1^x} + \frac{dU_2^x}{U_2^x} + \frac{dU_3^x}{U_3^x},$$

або

$$dU^x = (\alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \alpha_3 x_3) U^x.$$

Після інтегрування рівняння маємо:

$$\int_{U(T)}^{U^x(T)} \frac{dU^x}{U^x} = (\alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \alpha_3 x_3),$$
$$\ln\left(\frac{U^x(T)}{U(T)}\right) = (\alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \alpha_3 x_3) + C,$$

де C – постійна.

Таким чином маємо

$$U^x(T) = U(T) e^{-(\alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \alpha_3 x_3)}.$$

Остаточний вираз для зносу з урахуванням факторів x_1 , x_2 , x_3 приймає вигляд

$$U^x(T, x_1, x_2, x_3) = U(T) e^{-(\alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \alpha_3 x_3)}.$$

Представлені залежності показують, що наявність покриття на деталях, що труться, і додавання присадки в оливу збільшують напрацювання деталей, що труться, а обводненість моторної оливи різко знижує її величину.

Для підвищення довговічності елементів необхідно створити резерв міцності та зносостійкості. Зносостійкі властивості деталей, що труться, можна розглядати як сукупність таких взаємопов'язаних процесів і явищ, як контактна взаємодія шорсткостей, структурна і хімічна зміна поверхневих шарів матеріалів, пластичне деформування тонких поверхневих шарів тощо. Резервування за цими характеристиками необхідно здійснювати в процесі припрацювання шляхом управління процесами тертя через мастильне середовище з хімічно активними присадками, підвищення якості оливи (зневоднення) і нанесення комплексних покриттів на робочі поверхні деталей.

3.2. Теоретичне обґрунтування зменшення часу припрацювання і припрацювального зносу в результаті фінішної антифрикційної безабразивної обробки

Двигуни внутрішнього згоряння перед експлуатацією потребують проведення обкатки, в результаті якої здійснюється припрацювання контактуючих поверхонь.

Припрацювання особливо важливе для сполучень, що лімітують ресурс, які працюють у важких умовах (за високих температур, агресивного середовища, великих швидкостей ковзання та високих навантажень), таких, як сполучення ЦПГ, підшипників та шийок колінчастого вала.

Процес припрацювання можна оцінювати за зміною опорної кривої.

«Опорна крива характеризує розподіл матеріалу по висоті шорсткого шару і відіграє важливу роль під час розрахунків площ шорстких тіл (рис. 3.3)» [4]. Для побудови її профілограму розбивають на низку горизонтальних рівнів, паралельних середній лінії. Потім підсумовують ділянки, що обмежують ширину виступів на розглянутому рівні.

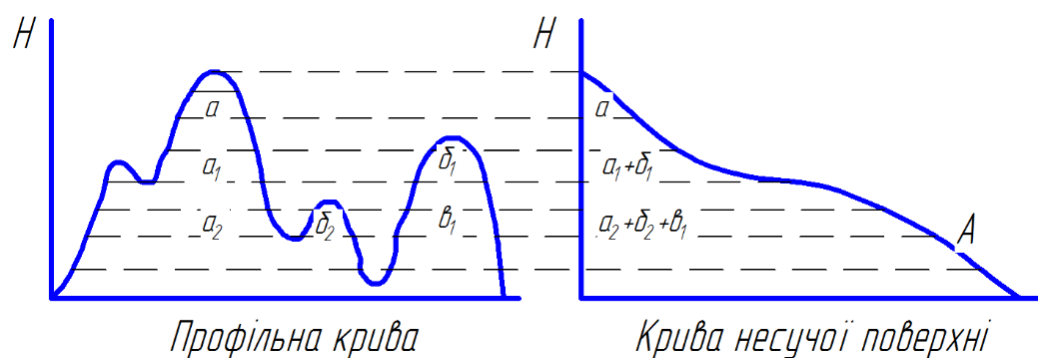


Рис.3.3. Побудова опорної кривої

«Опорна крива переважно будується у відносних величинах. У цьому разі за віссю абсцис відкладають відношення суми перерізів виступів на цьому рівні до довжини оброблюваної профілограми, а за віссю ординат – відношення зближення a до R_{max} (або до R_p)» [4].

Результати вимірювань параметрів шорсткості гільз двигуна Д-240 свідчать, що параметр R_a після хонінгування перебуває в межах 0,56-0,77 мкм (7-8 клас

шорсткості), а його регламентоване нормативно-технічною документацією на капітальний ремонт значення повинно перебувати в межах 0,32-0,63 мкм (8 клас шорсткості). Експлуатаційна шорсткість робочої поверхні гільз ДВЗ дуже мала і перебуває в межах $R_a = 0,05...0,28$ мкм, за середнього значення $R_a = 0,14...0,20$ мкм (9 клас шорсткості).

Під час попередніх експериментів стало зрозуміло, що фінішна обробка гільз циліндрів антифрикційними матеріалами сприяє збільшенню їхньої опорної поверхні та зменшенню шорсткості (з 7-8 класу до 9-го класу). Збільшення опорної поверхні гільз призводить до переважання пружних деформацій у контакті, виключення задирів і можливості інтенсивнішого навантаження в парі тертя «кільце-гільза», що дає можливість скоротити час стендової обкатки або виключити її.

Орієнтовні значення параметрів шорсткості гільзи на різних етапах її оброблення та обкатування, що використовуються для розрахунків опорної кривої, наведено в табл. 3.1. Ці дані були отримані під час проведення численних експериментів [14].

Таблиця 3.1 - Значення параметрів шорсткості гільзи для розрахунку опорної кривої

Етап обробки	R_{max} , мкм	R_a , мкм	r , мкм	b	ν
Після хонінгування	4,7	0,65	15	0,7	1,8
Після фінішної обробки	2,4	0,27	30	1,4	1,7
Після стендового обкатування	2,3	0,25	35	2,0	2,0

Залежності розрахункових значень параметра відносної опорної кривої t_p за різного рівня шорсткості від лінії виступів а показано на рис.3.4.

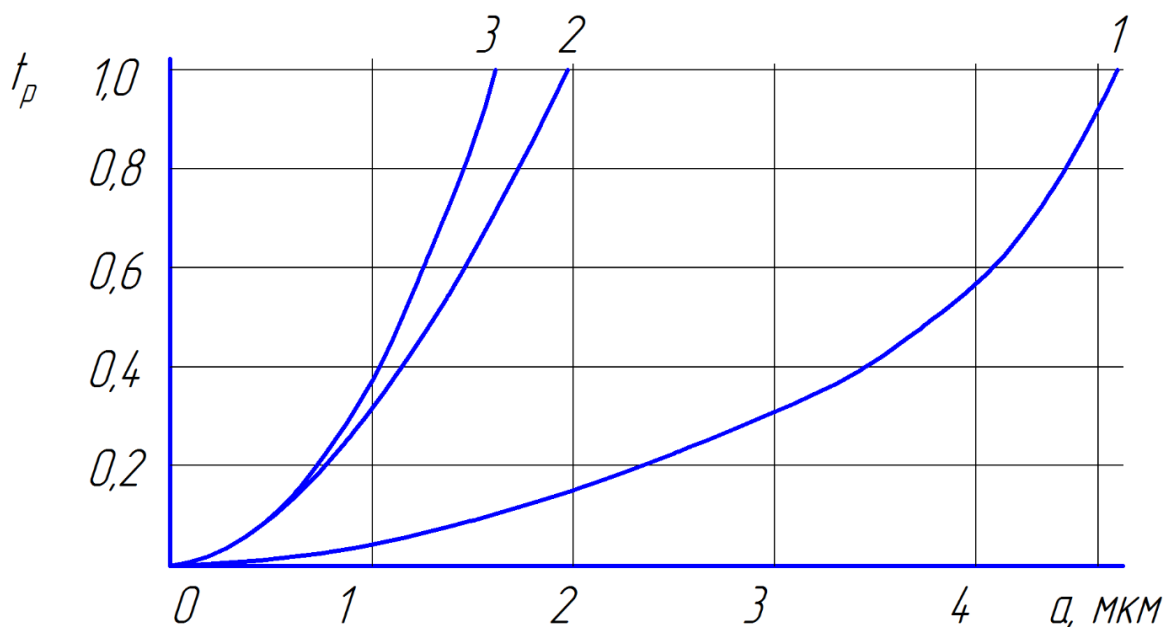


Рис. 3.4. Розрахункові значення відносної опорної довжини профілю від рівня шорсткості: 1 – після хонінгування; 2 – фінішної обробки; 3 – після стендового обкатування

Розрахункові значення початкової ділянки опорної кривої показано на рис. 3.5.

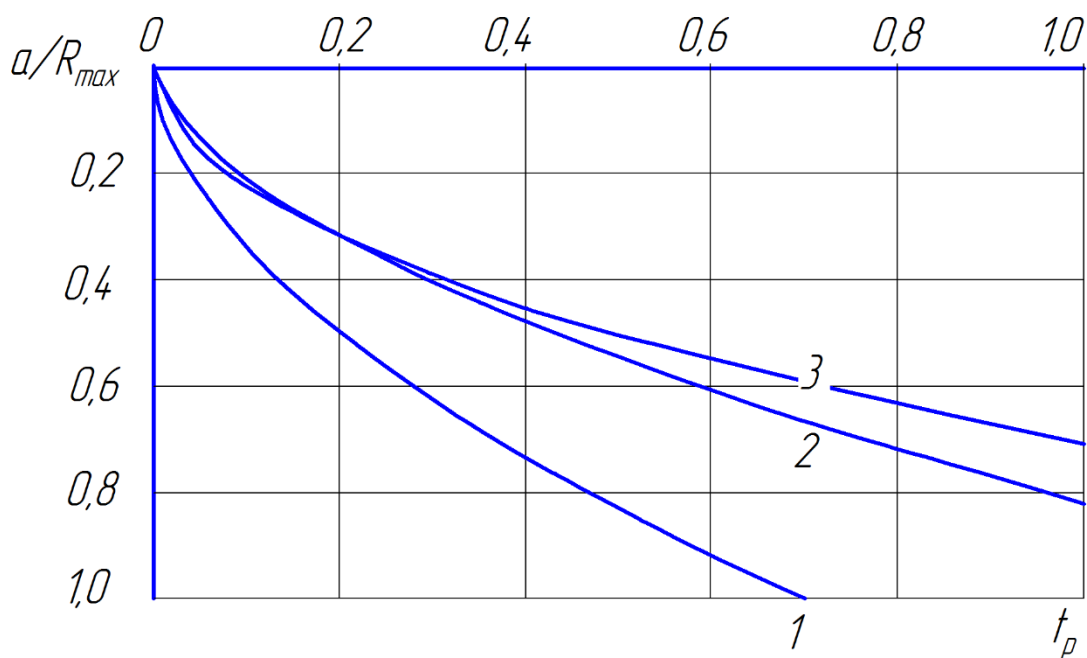


Рис. 3.5. Розрахункові значення початкової ділянки опорної кривої: 1 – після хонінгування; 2 – фінішної обробки; 3 – після стендового обкатування

Отримані дані свідчать, що опорна довжина профілю поверхні гільз збільшується приблизно в 2 рази після фінішної обробки антифрикційними матеріалами (як і після стендового обкатування) порівняно з поверхнею гільзи після хонінгування. Виходячи з цього можна стверджувати, що після фінішної обробки збільшується фактична площа контакту і, відповідно, зменшується тиск поршневих кілець на гільзу циліндра.

Процес припрацювання також можна оцінювати за зміною параметрів шорсткості. «Для гільз циліндрів двигуна Д-240 нормативно-технічною документацією нормується параметр R_a (середнє арифметичне відхилення профілю)» [11].

Для розрахунку коефіцієнта тертя під час припрацювання ЦПГ і зміни інтенсивності зношування в процесі припрацювання цілком можуть бути використані такі дані [6].

Після проведення попередніх лабораторних випробувань, були виведені залежності коефіцієнта тертя f від часу припрацювання для різних способів обробки робочої поверхні гільз. За початкового коефіцієнта тертя $f = 0,1$ на оливі М-10Г₂ було отримано залежності коефіцієнта тертя під час припрацювання ЦПГ після хонінгування f_x і після фінішної обробки антифрикційними матеріалами від часу f_ϕ :

$$f_x = 0,1006 - 0,0414t + 0,0246t^2 - 0,005t^3;$$
$$f_\phi = 0,0691 - 0,0422t + 0,034t^2 - 0,0089t^3$$

Ці залежності графічно можна представити в такому вигляді (рис. 3.6).

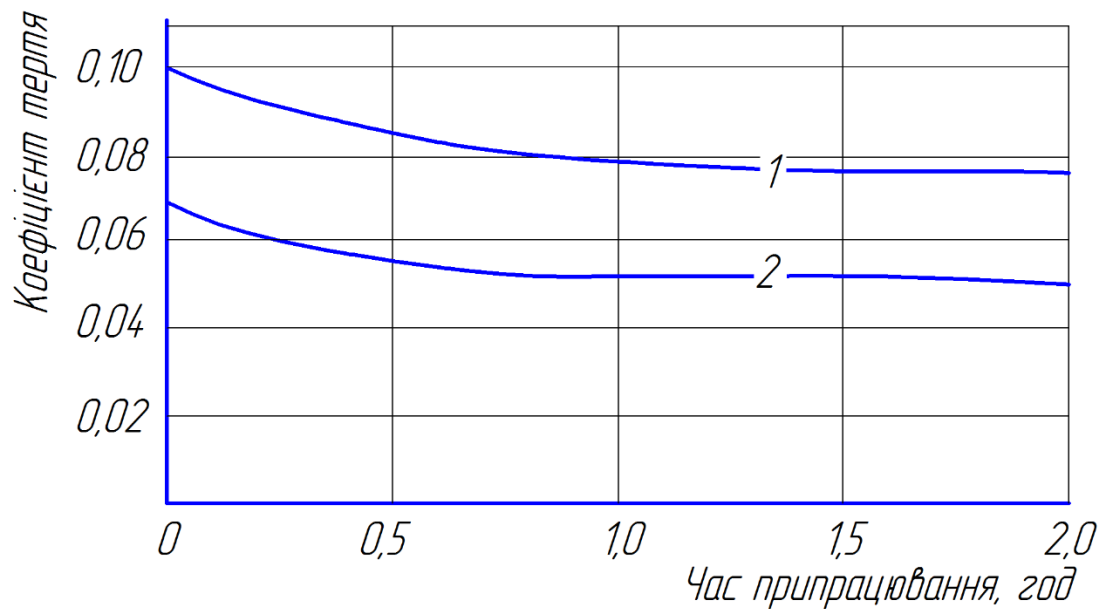


Рис.3.6. Залежність коефіцієнта тертя від часу припрацювання: 1 – припрацювання гільз після хонінгування; 2 – припрацювання гільз після фінішної обробки

Коефіцієнт тертя на початку процесу припрацювання ЦПГ після фінішного оброблення гільз циліндрів антифрикційними матеріалами дещо нижчий за його значення наприкінці припрацювання ЦПГ після оброблення гільз хонінгуванням.

Аналогічним чином було отримано залежності для розрахунку R_a :

$$R_{ax} = \left(t / (1,183 - 0,487t + 0,289t^2 - 0,059t^3) + 1 / R_{анх} \right)^{-1};$$

$$R_{af} = \left(t / (0,813 - 0,486t + 0,403t^2 - 0,105t^3) + 1 / R_{анф} \right)^{-1}$$

де R_{ax} , R_{af} – середнє арифметичне відхилення профілю, що змінюється залежно від часу припрацювання, гільз після хонінгування і після фінішної обробки антифрикційними матеріалами відповідно, мкм;

$R_{анх}$, $R_{анф}$ – початкове значення середнього арифметичного відхилення профілю гільз після хонінгування і після фінішної обробки антифрикційними матеріалами відповідно, мкм.

Графічну інтерпретацію представлених залежностей показано на рис. 3.7.

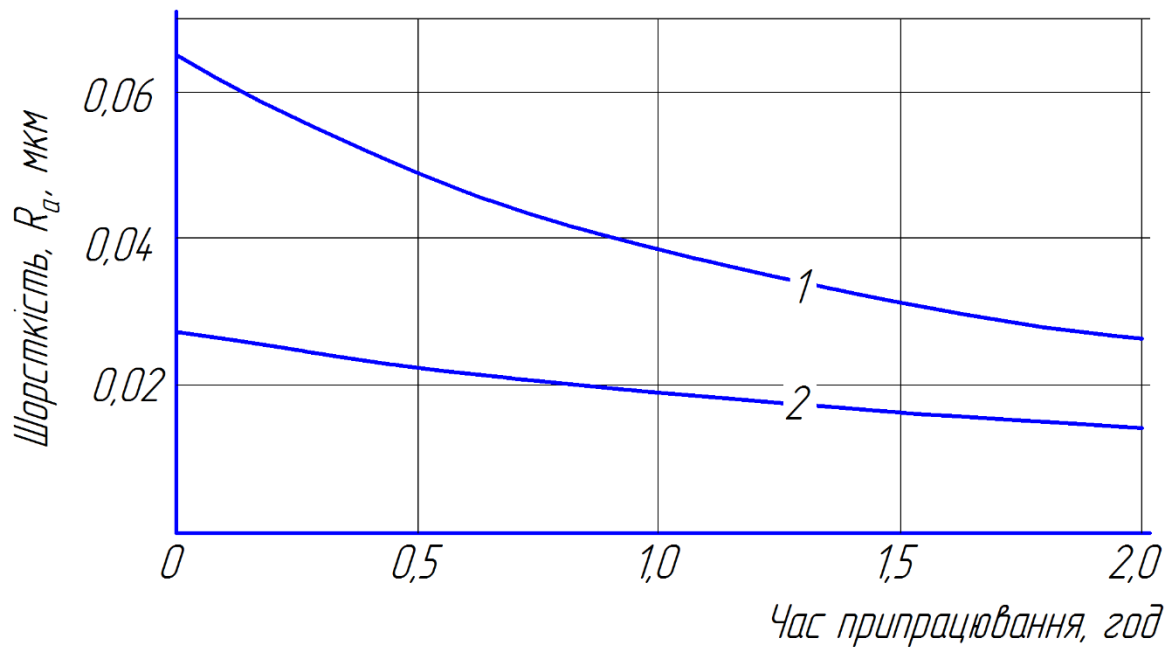


Рис.3.7. Залежність середнього арифметичного відхилення профілю R_a від часу припрацювання: 1 – припрацювання гільз після хонінгування; 2 – припрацювання гільз після фінішної обробки

Отримані дані (рис. 3.4-3.7) свідчать про те, що фінішна обробка гільз циліндрів антифрикційними матеріалами дає змогу досягти значень параметрів шорсткості, які дорівнюють їхнім значенням наприкінці процесу стендового обкатування ЦПГ.

3.3. Пристрій для нанесення антифрикційних покриттів на внутрішню поверхню гільзи циліндрів

З огляду на різноманіття схем для обробки гільз циліндрів ФАБО більш детально зупинимося на наступній конструкції, яка виконана на базі свердлильного верстата (рис. 3.8).

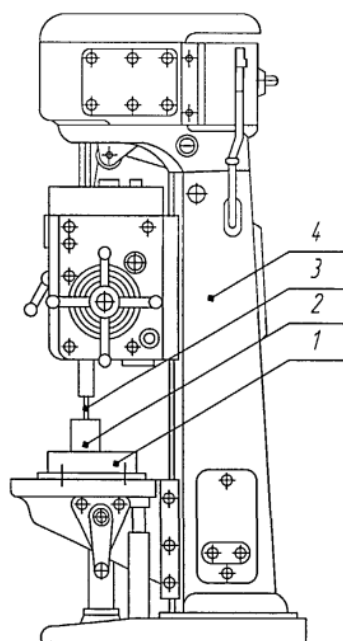


Рис.3.8 Схема нанесення покриттів на гільзи циліндрів: 1 – закріплення гільзи; 2 – гільза; 3 – пристрій для нанесення покриттів; 4 – верстат 2A125

Під час нанесення на робочу поверхню на гільзи циліндрів припрацьовувальних покриттів застосовували пристрій (рис. 3.9), що закріплюється в свердильному патроні верстата, і пристрій для кріплення гільзи (рис. 3.10), що, своєю чергою, встановлюється на робочому столі верстата. Для досліджень застосовувалися гільзи двигуна Д-240.

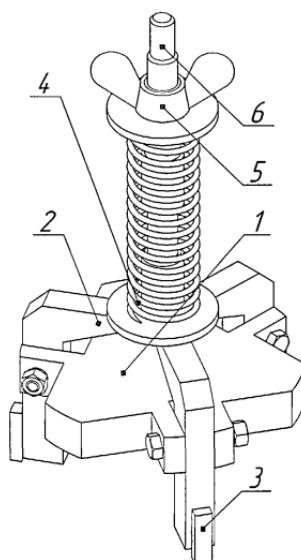


Рис.3.8 Пристрій для нанесення покриттів на гільзи циліндрів: 1 – основа; 2 – важіль; 3 – брусок; 4 – пружина; 5 – гайка; 6 – шток

Пристрій (див. рис. 3.8) має гнучкий шток 6, що дало змогу йому самоцентруватися щодо внутрішньої поверхні гільзи. Також цей пристрій для нанесення покриттів на внутрішню поверхню гільзи має бруски 3 з м'яких металів. При цьому бруски для натирання легко замінюються, що дало можливість проводити нанесення покриттів із застосуванням брусків різної твердості. У результаті проведених пробних випробувань з'ясувалося, що найкращі характеристики під час натирання гільз показують латунні бруски, порівняно з алюмінієвими або олов'яними. Бруски самовстановлюються по твірній гільзи, тому що вони можуть вільно обертатися на кульках. Тиск брусків на поверхню гільзи регулювався за рахунок стиснення гайкою 5 пружини 4, що розтискає важелі 2.

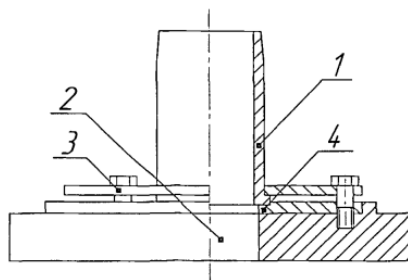


Рис.3.9 Схема закріплення гільзи: 1 – гільза; 2 – плита; 3 – фланець; 4 – установча вставка.

Гільза 1 двигуна Д-240 кріпилася буртом донизу, за який вона притягувалася болтами за допомогою фланця 3 до плити 2 (див. рис. 3.9). При цьому гільзу встановлювали у вставку 4, яка має паз того ж діаметра, що й бурт гільзи. Це дозволило встановлювати гільзу співвісно зі шпинделем верстата від одного експерименту до іншого. Плита має циліндричний отвір (більший за внутрішній діаметр гільзи) для можливості виходу робочого інструменту та обробки всієї поверхні гільзи. Також в отворі плити розташовувалася ємність для збору відпрацювання.

За площі контакту бруска з поверхнею гільзи, що дорівнює 40 мм, за допомогою цієї пружини можливо створювати тиск від 1,5 до 4,2 МПа.

Свердлильний верстат має можливість регулювання частоти обертання шпинделя від 97 до 1360 хв^{-1} , що дало змогу з'ясувати оптимальну швидкість руху бруска.

З урахуванням технічних можливостей свердлильного верстата 2A125 були прийняті межі варіювання швидкості брусків від 0,56 до 7,83 м/с.

«Діапазон зміни часу обробки під час з'ясування її оптимального режиму прийняли від 5 до 30 хв. Максимальний час обробки (30 хв) обрано з огляду на те, що більша тривалість обробки на етапі впровадження у виробництво істотно збільшуватиме загальний час обробки гільз циліндрів двигуна та впливатиме на економічну доцільність застосування цієї операції» [].

Матеріал покриття подавався в зону тертя брусків і гільзи крапельним способом.

3.4. Визначення раціональних режимів ФАБО

Для визначення раціонального режиму обробки гільз циліндрів двигуна Д-240 було використано метод планування багатофакторного експерименту із застосуванням плану регресійного аналізу, який дав змогу отримати уявлення про вплив обробки на шорсткість робочих поверхонь гільз. Вибір шорсткості як основного параметра оптимізації зумовлений тим, що саме він багато в чому визначає припрацювання деталей ЦПГ ДВЗ.

Заведено вважати, що саме шорсткість поверхні – один з основних і найважливіших параметрів, за яким оцінюють процеси, що відбуваються в парах тертя, і якість поверхонь цих пар після обробки.

Як план експерименту було використано центральний ротатбельний композиційний план, який дав змогу отримати математичні моделі впливу чинників на ухвалені функції відгуку: R_a – середньоарифметичне значення відхилень профілю поверхні; R_z – висота профілю за десятьма точками.

Ротатбельний план має п'ять рівнів: верхній, нульовий, нижній і два крайніх («зіркові точки»). Інтервал від нульового рівня до «зоряних точок» визначено «зоряним плечем», що дорівнює 1,68.

Як чинники варіювання обрано:

- час обробки, t : 5...30 хв;

- швидкість бруска, v : 0,81...7,83 м/с;
- навантаження, P : 1,5...4,2 МПа.

Після проведення всіх дослідів згідно з планом трифакторного експерименту, проводилися вимірювання параметрів шорсткості поверхні оброблених поясів гілз.

Отримані дані оброблялися, що дало змогу отримати таке рівняння регресії:

$$R_a = 1,731 - 0,024t - 0,021v - 0,718P - 0,005vt + 0,032vP + 0,002tP + 0,001t^2 - 0,001v^2 + 0,093P^2;$$

$$R_z = 9,987 - 0,202t + 0,376v - 3,724P - 0,030vt + 0,040vP + 0,019tP + 0,007t^2 - 0,001v^2 + 0,522P^2$$

Перевірку статистичної значущості коефіцієнтів проводили за допомогою критерію Стюдента, порівнюючи розрахункові значення з табличними, відповідно до обраного рівня значущості. Перевірка показала, що всі коефіцієнти моделей є статистично значущими [6].

У результаті аналізу коефіцієнтів на статистичну значущість і поліномів на адекватність рівняння набувають вигляду:

$$R_a = 1,731 - 0,024t - 0,021v - 0,718P - 0,005vt + 0,032vP + 0,002tP + 0,001t^2 - 0,001v^2 + 0,093P^2;$$

$$R_z = 9,987 - 0,202t + 0,376v - 3,724P - 0,030vt + 0,040vP + 0,019tP + 0,007t^2 - 0,001v^2 + 0,522P^2$$

Далі подані рівняння аналізували для знаходження мінімуму функції в заданих межах. Мінімум знаходили за допомогою методу найшвидшого спуску.

Напрямок найшвидшого спуску відповідає напрямку найбільшого спадання функції.

«Ідея методу градієнтного спуску полягає в такому. Вибирається деяка початкова точка і обчислюється в ній градієнт розглянутої функції. Робимо крок у напрямку, зворотному градієнтному. У результаті приходимо в точку, значення функції в якій зазвичай менше початкового. Якщо ця умова не виконана, тобто значення функції не змінилося або навіть зросло, то потрібно зменшити крок. У новій точці процедуру повторюємо: обчислюємо градієнт і знову робимо крок у зворотному до нього напрямку. Процес триває до отримання найменшого значення цільової функції. Момент закінчення пошуку настане тоді, коли рух з отриманої точки з будь-яким кроком призводить до зростання значення цільової функції. Строго кажучи, якщо мінімум функції досягається всередині розглянутої області, то в цій точці

градієнт дорівнює нулю, що також може слугувати сигналом про закінчення процесу оптимізації» [6].

На рис. 3.10 проілюстровано шляхи пошуку найменшого значення функції методом градієнтного спуску.

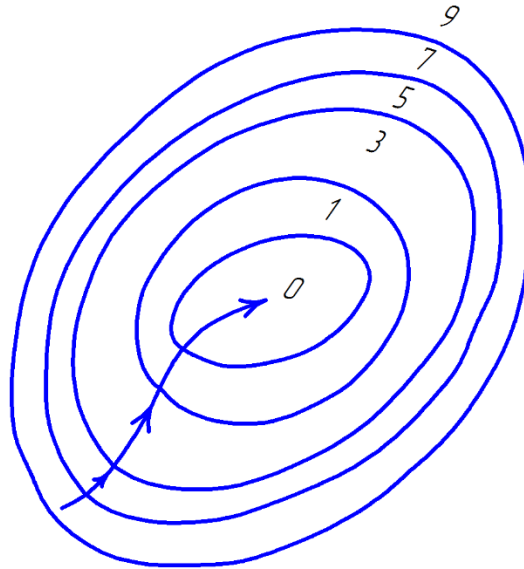


Рис. 3.10. Пошук найменшого значення функції методом градієнтного спуску

Під час використання градієнтного спуску в задачах оптимізації основний обсяг обчислень припадає зазвичай на обчислення градієнта цільової функції в кожній точці траєкторії спуску. Тому доцільно зменшити кількість таких точок без шкоди для самого рішення. Це досягається в деяких методах, які є модифікаціями градієнтного спуску. Одним із них є метод найшвидшого спуску (рис. 3.11). Згідно з цим методом, після визначення в початковій точці напрямку, протилежного градієнту цільової функції, у цьому напрямі роблять не один крок, а рухаються доти, доки цільова функція убуває, досягаючи в такий спосіб мінімуму в деякій точці.

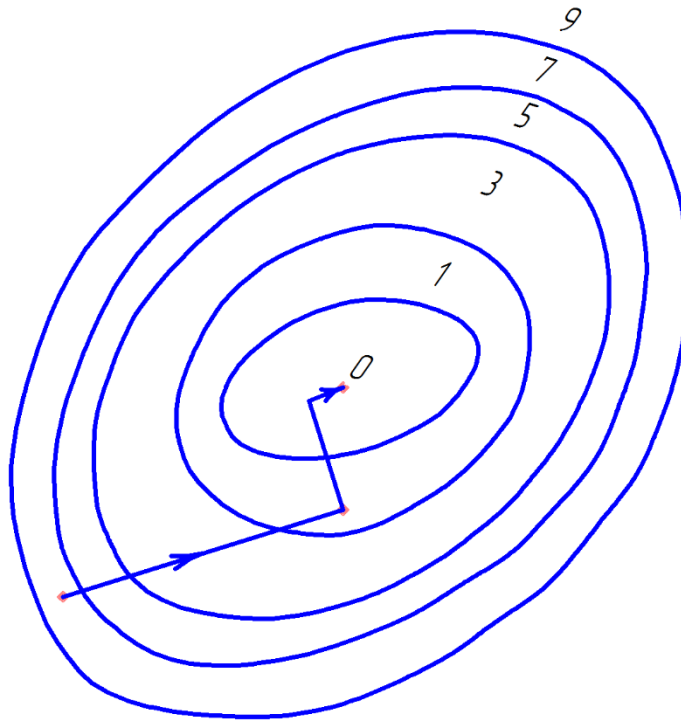


Рис. 3.11. Пошук найменшого значення функції методом якнайшвидшого спуску

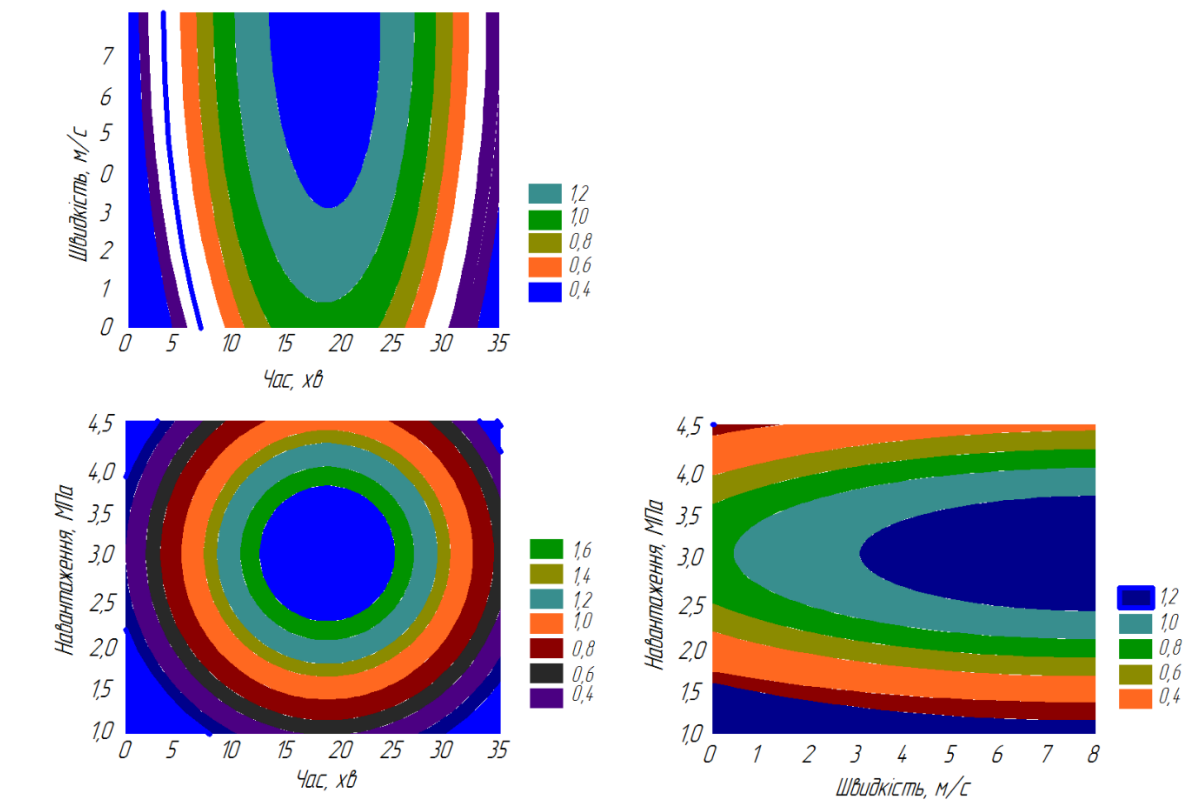
У результаті аналізу отриманих рівнянь і розв'язання оптимізаційної задачі методом якнайшвидшого спуску було отримано параметри режиму ФАБО, який відповідає мінімальному значенню шорсткості (табл.3.2).

Таблиця 3.2 - Рациональні параметри ФАБО гільз циліндрів і значення шорсткості

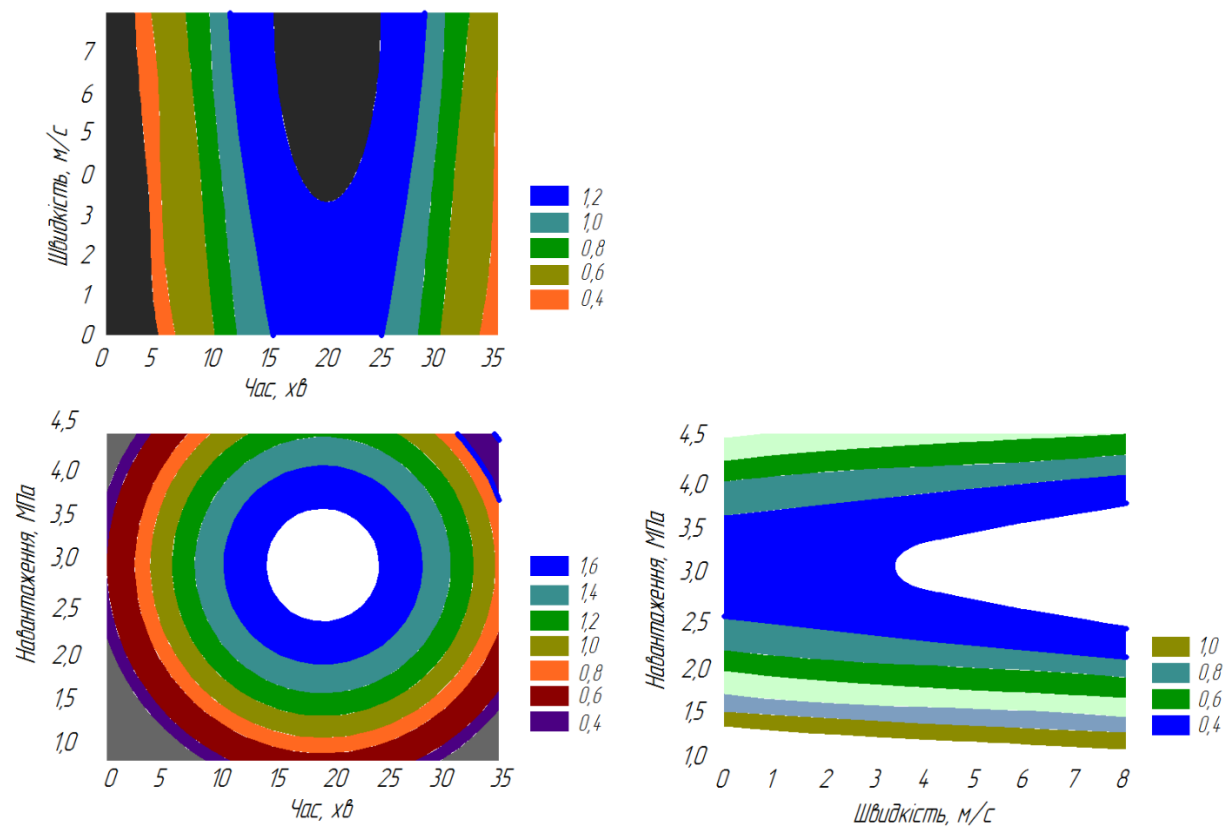
Час, хв	Швидкість, м/с	Навантаження, МПа	Параметри шорсткості, мкм	
t	v	P	R_a	R_z
22	5,53	2,95	0,27	2,77

Значення раціонального режиму обробки показані на рис. 3.12.

Також аналізували отримані за допомогою пертометра Mahr M2 профілограми шорсткості поверхні (рис. 3.13).

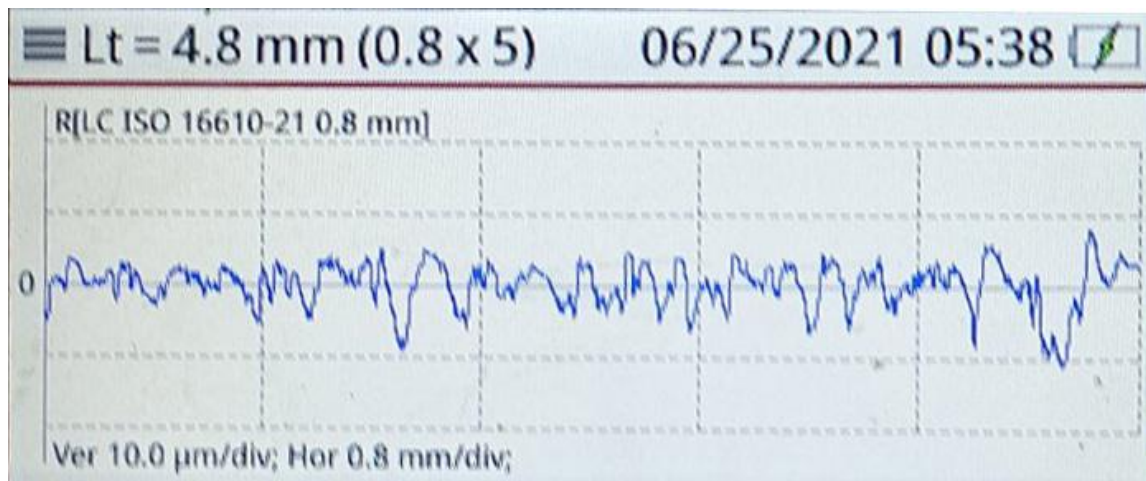


а)

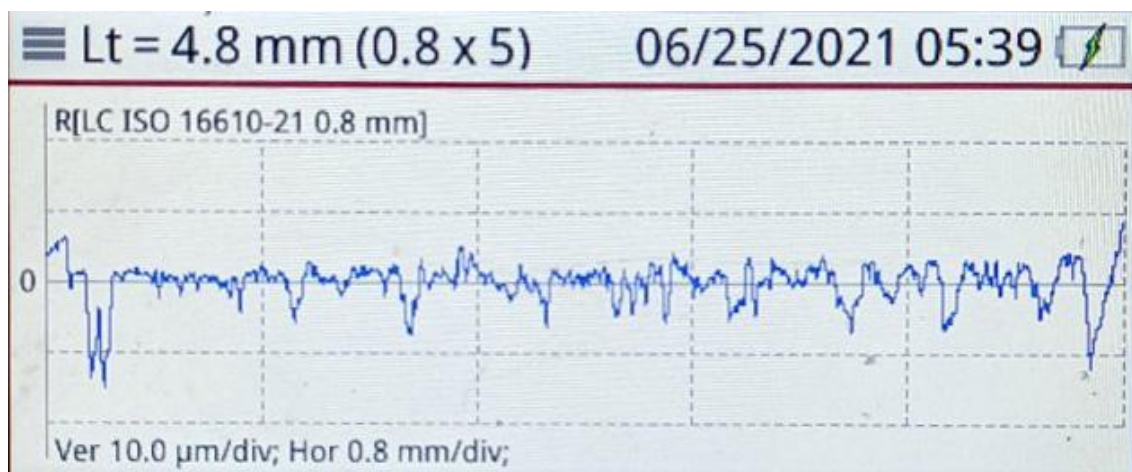


б)

Рис.3.12. Залежність параметрів шорсткості від параметрів режиму ФАБО: а – R_a ; б – R_z (відн. од.)



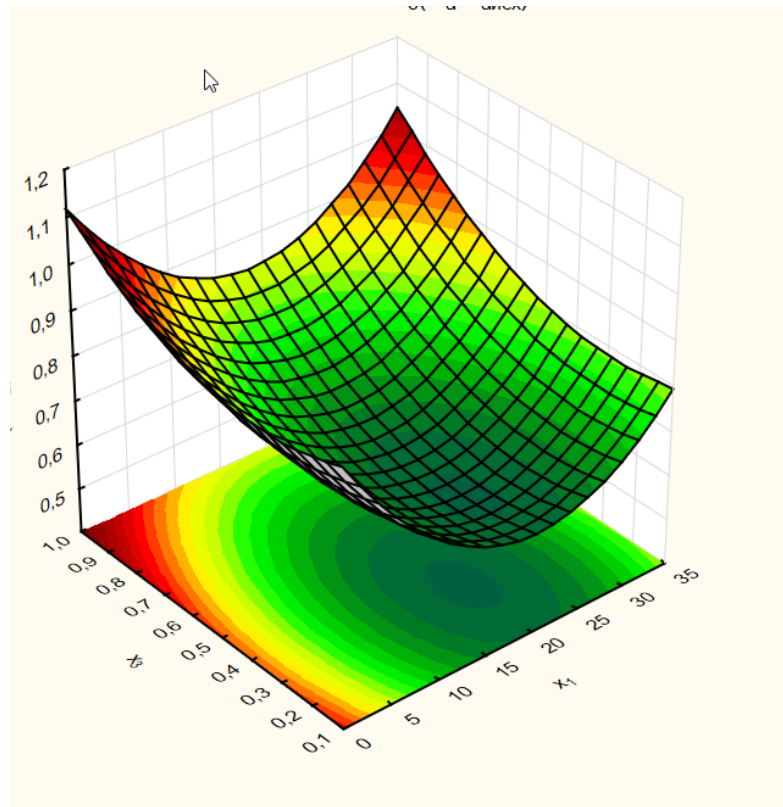
а)



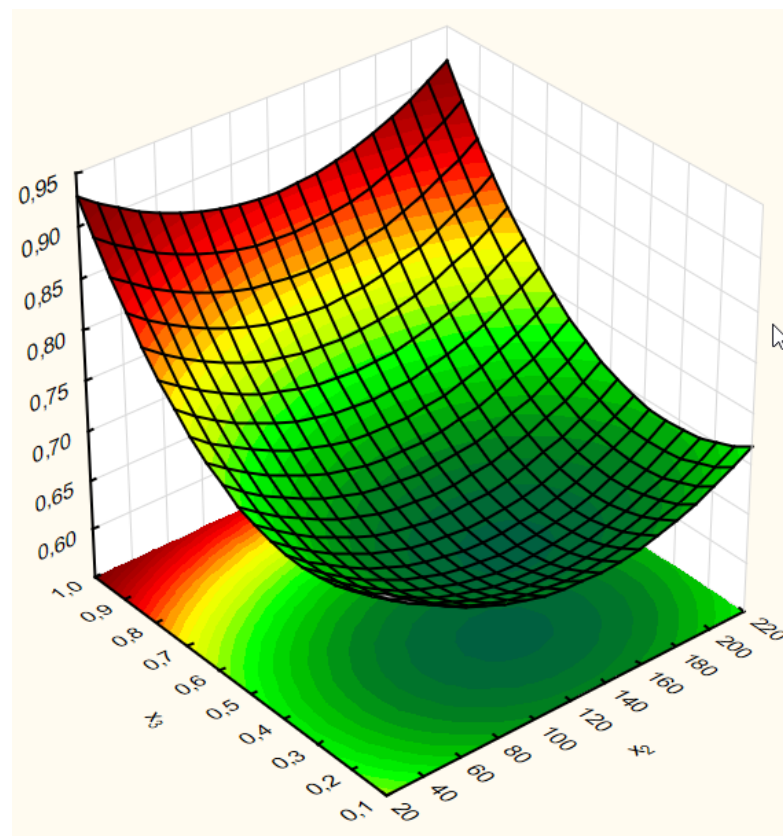
б)

Рис.3.13. Профілограми гільз циліндрів до (а) та після обробки антифрикційним матеріалом (б)

Ці дані (рис.3.13) показують, що обробка гільз антифрикційними матеріалами впливає на мікрогеометрію поверхні, зменшуючи значення параметрів шорсткості. Для наочного уявлення характеру залежностей R_a та R_z від факторів були отримані моделі залежностей $R_a = f(t, P)$ і $R_z = f(t, P)$ при $\nu = \text{const} = 5,53 \text{ м/с}$, які виражені у вигляді тривимірних графіків на рис. 3.14.



а)



б)

Рис.3.14. Залежність параметрів шорсткості від часу обробки t і навантаження P при швидкості інструменту $v = 5,53 \text{ м/с}$: а – R_a , б – R_z

Отримані дані дозволили встановити такі раціональні режими ФАБО:

- час обробки $t = 20$ хв;
- швидкість обробки $v = 5,53$ м/с;
- навантаження $P = 3$ МПа.

3.5. Проведення стендових випробувань

Стендові випробування дозволяють вивчити вплив окремих факторів на роботу вузлів та агрегатів; створити стабільний режим навантаження, що близько відтворює ті чи інші експлуатаційні умови; застосовувати збільшені чи прискорені навантаження порівняно з експлуатаційними для прискорення випробувань; реалізувати спеціальні режими навантаження для порівняльної оцінки різних конструкцій та технологій виготовлення. При терміні служби машини, що обчислюється багатьма тисячами годин, стендові випробування є у часто єдиною можливістю сучасної експериментальної перевірки.

Методика проведення досліджень. Випробування щодо припрацювання ЦПГ проводилися на стенді, загальний вигляд якого показано на рис.3.15.

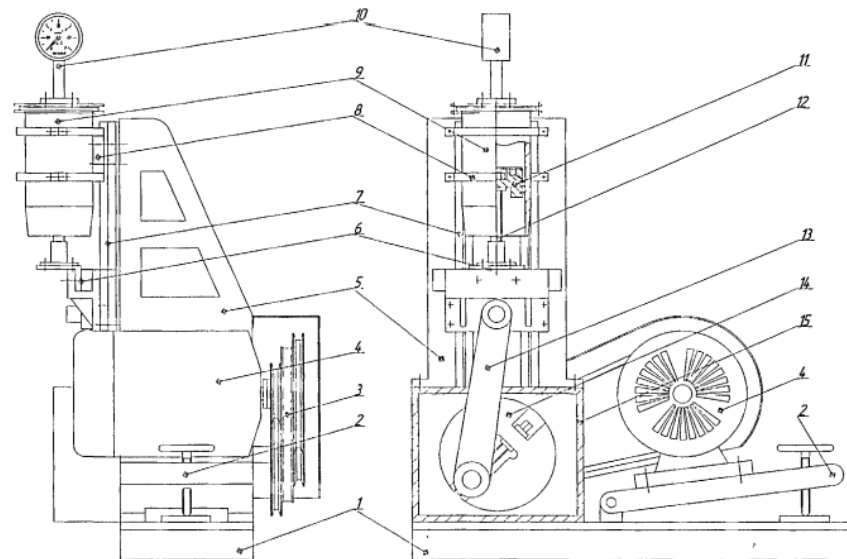


Рис.3.15. Конструкція стенду для випробувань ЦПГ: 1 – основа; 2 – механізм натягу ременя; 3 – клинопасова передача; 4 – електродвигун; 5 – станина; 6 – платформа; 7 – напрямні; 8 – кріплення гільзи; 9 – гільза; 10 – манометр; 11 – поршень; 12 – шток; 13 – КТТТМ; 14 – маховик; 15 – корпус

Стенд (рис. 3.15) складається з основи 1, на якому встановлені електродвигун 4 з механізмом натягу ремня 2, корпус 15 і станина 5. У корпусі розташований вал маховика 14. На станині 5 встановлені напрямні 7 і кріплення гільзи 8. Крутний момент від електродвигуна 4 передається через клинопасову передачу 3 до кривошипно-шатунному механізму 13, що перетворює обертальний рух маховика 14 у зворотно-поступальний рух платформи 6 по напрямних 7, на якій за допомогою різьбового штока 12 закріплений поршень 11.

Гільза 9 перед стендовими випробуваннями була оброблена у трьох поясах. У ній було просвердлено отвори посередині кожного пояса для закріплення термопари. Кріплення гільзи 8 являє собою два розрізних кільця, які гільза встановлюється вільно, а потім затискається. Після цього кріплення з гільзою встановлюється за допомогою шпильок на станину 5. У станині просвердлені три пари отворів (для випробувань кожного з трьох поясів гільзи). Це дало можливість встановлювати гільзу в кожному експерименті в ті самі положення. Гільза 9 кріпилася співвісно поршню 11.

Випробування проводилися на ЦПГ двигуна Д-240 і мали три повторності, для чого в кожній гільзі виділялися три пояси заввишки 60 мм, попередньо оброблені вибраними під час лабораторних досліджень матеріалами.

При випробуваннях контролювалися такі параметри:

- 1) температура в зоні тертя;
- 2) тиск стиснення;
- 3) втрати потужності на тертя;
- 4) шорсткість.

Результати досліджень. Дослідження проводилися на гільзах, Для цієї частини випробувань використовувалися гільзи, попередньо оброблені на встановленому режимі (час $t = 20$ хв, швидкість $v = 5,53$ м/с, навантаження $P = 3$ МПа) Частина гільз, яка у стендових випробуваннях, була без додаткової обробки, тобто після хонінгування. Випробування цих гільз проводилися для

отримання еталона при моделюваному режимі та подальшого порівняння з випробуваннями гільз, оброблених антифрикційними матеріалами.

Кожен експеримент тривав 150 хв.

У процесі проводилися вимірювання температури, потужності, тиску стискування. Температура в процесі припрацювання (рис.3.16) спочатку збільшується, а потім, після формування оптимальних характеристик поверхонь тертя в даних умовах, стабілізується на певному рівні, що означає настання рівноважного стану процесу тертя і закінчення процесу припрацювання.

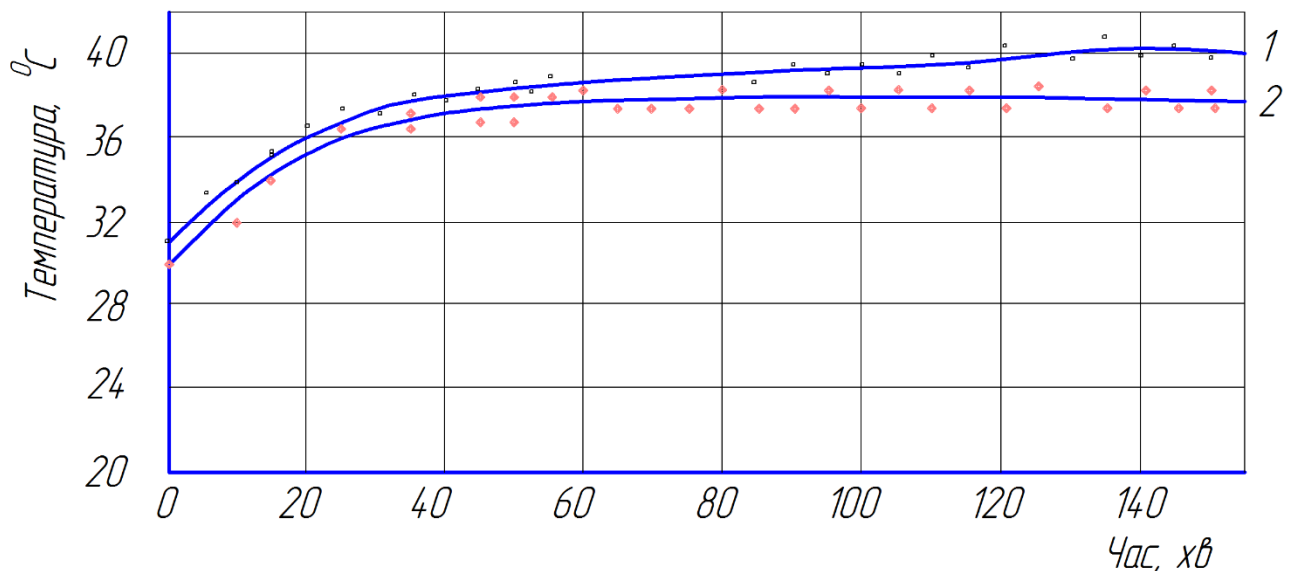


Рис.3.16. Залежності температури від часу припрацювання гільз: 1 – без обробки; 2 – з обробкою

Потужність механічних втрат також є об'єктивним критерієм процесів у парі тертя. На протязі припрацювання механічні втрати поступово зменшуються та стабілізуються при закінченні процесу. На рис. 3.17 представлені залежності механічних втрат у парі тертя «гільза-поршневі кільця» від часу припрацювання ЦПГ.

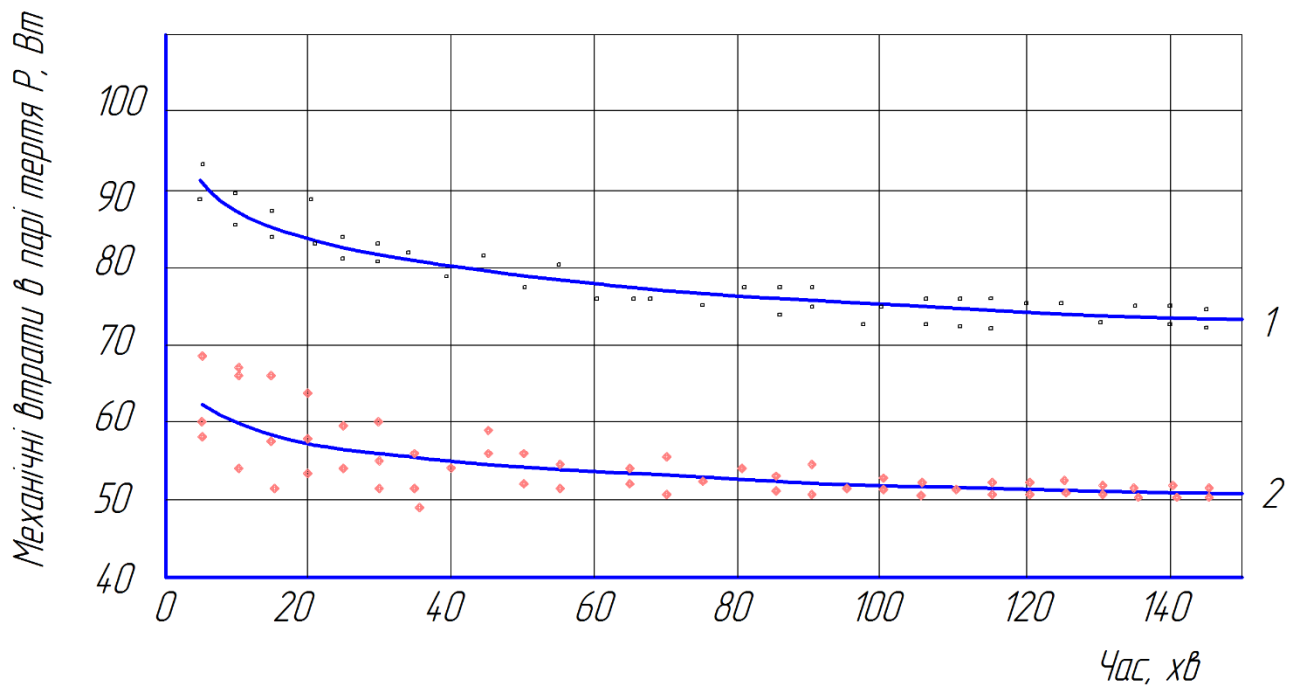


Рис.3.17. Залежності механічних втрат від часу припрацювання гільз: 1 – без обробки; 2 – з обробкою

Також у процесі експерименту вимірювалося значення тиску стиснення, середньоарифметичне значення якого показує його збільшення при випробуваннях гільз, оброблених антифрикційними матеріалами на 5%.

Після проведення експериментів проводилися вимірювання параметрів шорсткості поверхонь гільз. Вимірювали такі параметри шорсткості: R_a – середньоарифметичне значення відхилень профілю поверхні, R_z – висота профілю по десяти точках.

Вимірювання проводилися до обробки гільзи (після хонінгування) та після обробки антифрикційними матеріалами. Шляхом порівняння та аналізу цих параметрів з'ясовувалися оптимальні значення режиму обробки та оптимальні матеріали щодо мінімізації шорсткості.

Отримані результати наведено у табл. 3.3.

Таблиця 3.3 - Параметри шорсткості гільз після стенової обкатки ЦПГ

№ пояс.	R_a			R_z			R_{max}		
	№ вимірювання			№ вимірювання			№ вимірювання		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
після ФАБО									
4	0,89	0,81	0,86	0,80	0,81	0,80	0,76	0,72	0,75
1	0,79	0,59	0,72	0,80	0,54	0,73	0,79	0,44	0,76
2	0,83	0,75	0,77	1,02	0,80	0,75	2,02	1,23	0,80
3	0,65	0,90	0,82	0,76	1,03	1,14	0,91	1,81	2,21
необроблена гільза									
4	1,03	0,95	1,03	0,98	0,91	1,10	0,91	0,92	1,14
1	1,01	0,87	0,87	0,96	0,82	0,82	0,92	0,89	0,89
2	1,01	1,11	1,05	0,81	1,16	1,08	0,69	1,31	1,35
3	1,06	0,92	0,99	1,03	0,79	1,06	1,05	0,83	1,37

За результатами табл.3.3 зроблені наступні висновки.

У процесі припрацювання гільзи після хонінгування шорсткість її робочої поверхні зменшується на 10-20 %, проте після ФАБО параметри шорсткості встановлюються на рівні як після припрацювання гільзи відхонінгованої, а після припрацювання їх значення знижуються ще приблизно на 20 %. Оскільки експлуатаційна шорсткість гільз ДВС дуже мала, то можна дійти до висновку, що ФАБО гільз призводить до інтенсифікації процесу припрацювання, і навіть до зменшення припрацювального зносу, що позитивно позначається на довговічності ЦПГ.

3.6. Висновки по розділу 3

За результатами проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Зносостійкі властивості деталей, що труться, можна розглядати як сукупність таких взаємопов'язаних процесів і явищ, як контактна взаємодія шорсткостей,

структурна і хімічна зміна поверхневих шарів матеріалів, пластичне деформування тонких поверхневих шарів.

2. Доведено, що фінішна обробка гільз циліндрів антифрикційними матеріалами дає змогу досягти значень параметрів шорсткості, які дорівнюють їхнім значенням наприкінці процесу стендового обкатування ЦПГ.

3. Результатом виконаних експериментальних досліджень обробки гільз циліндрів антифрикційними матеріалами визначені раціональні режими обробки:

- час обробки - 20 хв.;
- швидкість - 5,53 м/с,
- навантаження - 3 МПа.

4. У процесі припрацювання гільзи після хонінгування шорсткість її робочої поверхні зменшується на 10-20 %, проте після ФАБО параметри шорсткості встановлюються на рівні як після припрацювання гільзи відхонінгованої, а після припрацювання їх значення знижуються ще приблизно на 20 %.

5. ФАБО гільз призводить до інтенсифікації процесу припрацювання, а також до зменшення припрацювального зносу та підвищення довговічності ЦПГ

РОЗДІЛ 4. ТЕХНІЧНА ТА ЕКОНОМІНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ФІНІШНОЇ ОБРОБКИ ПРИ ПРИПРАЦЮВАННІ ДЕТАЛЕЙ ЦИЛІНДРО- ПОРШНЕВОЇ ГРУПИ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ

4.1. Встановлення технічної ефективності

Застосування прогресивних технологій може великий вплив на багато виробництва або ремонту техніки. Їх ефективність може бути оцінена за допомогою ряду показників: економічного, технічного, технологічного, організаційного тощо.

Враховуючи те, що ЦПГ – одна з найбільш навантажених ресурсних сполучень двигунів внутрішнього згорання, тому витрати на тертя становлять до 60-75 % механічних втрат, а також 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.

«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» []:

$$I_{np} = (0,2 \div 0,3) I_{gp},$$

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

Знос деталей циліндро-поршневої групи – головна причина зняття двигунів внутрішнього згорання з експлуатації для проведення капітального ремонту, втрати від цього можна скоротити раціональним застосуванням способів обробки, в тому числі за рахунок запропонованої у роботі технології фінішної обробки нанесенням припрцювальних покриттів.

Враховуючи те, що технологія ФАБО гільз циліндрів знижує інтенсивність зношування деталі в 1,5-2 рази, можемо представити:

$$I_{hx} = (1,5 \div 2) I_{hf},$$

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

Запропоновані аналітичні залежності дають підстави підійти до висновок, що використання фінішної обробки гільз циліндрів збільшить ресурс деталей ЦПГ на 10-15 % (рис. 4.1).

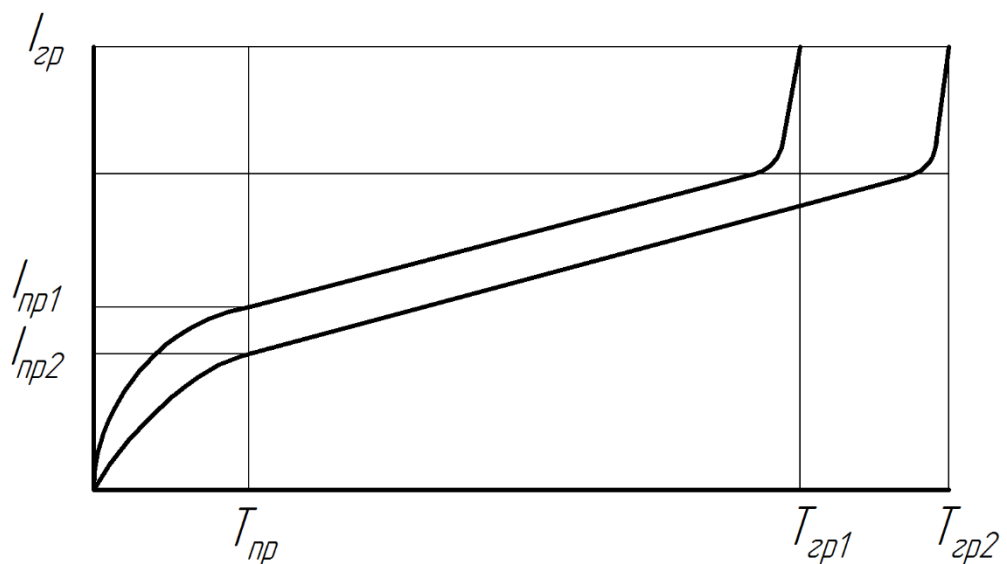


Рис.4.1. Схема визначення ресурсів гільз циліндрів двигунів:

I_{zp}, I_{np1}, I_{np2} — 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).

Таким чином, можна стверджувати, що використання запропонованої технології нанесення антифрикційних покриттів дозволяє зменшити припрацювання та збільшити довговічності як деталей ЦПГ так і двигуна в цілому.

4.2. Визначення економічної ефективності

«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:

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

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 фінішної обробки можна представити у вигляді:

$$P_{1,2} = \frac{1}{T_{1,2}} = \frac{1}{\frac{W_{1,2}}{W_p}} = \frac{W_p}{W_{1,2}},$$

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.

Після деяких перетворень отримуємо:

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

Слід зазначити, що норматив ефективності капітальних вкладень E_n залишається сталим.

Питомі капітальні вкладення за застосовуваній також залишаються постійними, тобто $K_1 = K_2$, а формула набуває наступного вигляду:

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

Таким чином, маємо

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

Отже, річний економічний ефект від використання запропонованої технології нанесення антифрикційних покриттів на робочу поверхню гільзи склав 34500 грн. при програмі ремонту 5000 двигунів.

4.3. Техніка безпеки та охорона праці при ремонті деталей ЦПГ двигунів внутрішнього згорання

«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» [27].

«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, оберігання деталей і вузлів від ушкоджень із суворим дотриманням заходів безпеки» [27].

«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» [27].

«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» [27].

«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» [27].

«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» [27].

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» [27].

«Усі працівники, пов'язані з ремонтом ЦПГ, повинні дотримуватися правил особистої гігієни. На виробничій ділянці 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» [27].

4.4. Висновки по розділу 4

За результатами виконання розділу 4 зроблені наступні висновки:

1. Визначені технічна та економічна ефективність використання фінішної обробки задля збільшення зносостійкості деталей ЦПГ за рахунок зменшення їх припрацювання.
2. Визначений економічний ефект від використання технології нанесення антифрикційних покриттів. Розглянуті заходи з техніки безпеки та охорони праці при ремонті деталей ЦПГ ДВЗ.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

За результатами виконання кваліфікаційної магістерської роботи, яка присвячена підвищенню зносостійкості деталей циліндро-поршневої групи двигунів внутрішнього згорання шляхом покращення їх припрацювання, зроблені наступні загальні висновки:

1. Визначено, що ресурс роботи двигуна багато в чому залежить від довговічності деталей циліндро-поршневої групи. Саме на зношування деталей циліндро-поршневої групи приходить найбільша кількість відмов.

2. Аналіз робіт із вивчення застосування антифрикційних покриттів на етапі обробки деталей ДВЗ, що лімітують ресурс, показав, що така обробка дає змогу скоротити час проведення обкатки та поліпшити припрацювання поверхонь ДВЗ, що труться.

3. Теоретичний розрахунок параметрів робочої поверхні гільзи циліндра ДВЗ під час їхньої фінішної обробки показав збільшення опорної поверхні вдвічі та отримання шорсткості $R_a = 0,27$ мкм, що є близьким до значень після стендового обкатування. Це доводить можливість застосування цієї обробки з метою зменшення часу припрацювання ЦПГ і поліпшення характеристик прироблюваних поверхонь.

4. 3. Результатом виконаних експериментальних досліджень обробки гільз циліндрів антифрикційними матеріалами визначені раціональні режими обробки:

- час обробки - 20 хв.;
- швидкість - 5,53 м/с,

- навантаження - 3 МПа.

5. У процесі припрацювання гільзи після хонінгування шорсткість її робочої поверхні зменшується на 10-20 %, проте після ФАБО параметри шорсткості встановлюються на рівні як після припрацювання гільзи відхонінгової, а після припрацювання їх значення знижуються ще приблизно на 20 %.

6. Доведено, що ФАБО гільз призводить до інтенсифікації процесу припрацювання, а також до зменшення припрацювального зносу та підвищення довговічності ЦПГ

6. Доведена технічна та економічна ефективність використання запропонованої технології фінішної обробки деталей циліндро-поршневої групи задля збільшення їх зносостійкості.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ



1. <https://erm.kntu.kr.ua/materiali/pidgotovka.html>
2. Сідащенко О.І. Ремонт машин та обладнання: підручник / [Сідащенко О.І., Науменко О.А., Скобло Т.С., Тіхонов О.В., Черновол М.І., Ружило 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. Сідащенка, О.А. Науменка. — Київ: Агроосвіта, 2014. — 665 с.
3. Молодан А.А. Оценка технического состояния цилиндро-поршневой группы двигателя с учетом разделения потоков газов, проходящих в картере: дис. ... кандидата техн. наук: 05.22.20 / Молодан Андрей Александрович. — Х., 2011. — 184 с.
4. 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.
5. Практикум з ремонту машин: Загальний технологічний процес ремонту та технології відновлення і зміцнення деталей машин. Том 1: Навчальний посібник / [Сідащенко 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. Сідащенко, 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. Аудін 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. Юловинський. // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2008. – Вип. 8, т. 1. – С. 158–165. ¶
11. Сіренко Г. О. Фізико-хімія явища вибіркового перенесення мілі 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 керування 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 «ХП», 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 «ХП». Серія: Технології в машинобудуванні: зб. наук пр. — Харків: НТУ «ХП», 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., Івденко 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., Посватенко 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.¶

27. Запорожець О.І. Основи охорони праці: Підручник. — Київ: вид. ЦУЛ, 2019. — 264 с.¶