

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерії машин, споруд та технологій

(назва факультету)

Автомобілів

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення технологічного процесу хонінгування гільз циліндрів
740.1002021 з метою підвищення їх трибо логічної надійності

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи МАС-41
спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

Алексєєв Ю.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Гупка А.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Тесля В.О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Зав. кафедри

Цьонь О.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Ярема І.Т.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Факультет Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)

Кафедра Кафедра автомобілів
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Цьонь О.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«24» січня 2023 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Алексєєву Юрію Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення технологічного процесу хонінгування гільз циліндрів 740.1002021 з метою підвищення їх трибо логічної надійності

Керівник роботи Гупка Андрій Богданович., к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 24 » січня 2023 року № 4/7-73

2. Термін подання студентом завершеної роботи 13 червня 2022

3. Вихідні дані до роботи Базовий технологічний процес відновлення гільз циліндрів

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Загально-технічний розділ. 2 Технологічний розділ. 3 Конструкторський розділ.

4 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Вузол тертя – 1 лист А1;

Електрична схема – 1 лист А1;

Дослідна установка – 1 лист А1;

Головка для рівновершиного хонінгування циліндра – 1 лист А1;

Схема обкочування – 1 лист А1;

Рух брусків при хонінгуванні – 1 лист А1;

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.	к.т.н. доц. Сенчишин В.С.		

7. Дата видачі завдання 24 січня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загально-технічний розділ	11.03.2023	
2	Технологічний розділ	25.03.2023	
3	Конструкторський розділ	14.04.2023	
4	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	15.05.2023	
5	Оформлення графічної частини	23.05.2023	
6	Захист бакалаврської роботи	16.06.2023	

Студент

(підпис)

Алексеев Ю.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Гупка А.Б.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ЗМІСТ

ВСТУП

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Підвищення задиростійкості робочих поверхонь циліндрів

1.1.1 Плосковершинне хонінгування циліндрів

1.1.3 Хімічне фосфатування поверхні циліндра

1.1.4 Фінішна безалмазна обробка циліндра

1.1.5 Структура чавуну циліндра

1.2 Підвищення задиростійкості поршня і його кілець

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Дослідження триботехнології нанесення припрацьовуючого покриття на циліндри з рівно вершинним профілем

2.2 Розкочування поверхні циліндра

2.3 Вибір та оцінка технологій хонінгування циліндрів і триботехнологій нанесення припрацьовуючих покриттів

2.4 Розробка і дослідження циліндрів із перлітних чавунів для карбюраторних двигунів

3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Вплив структури чавуну циліндрів

3.2 Вплив припрацьовуючих покриттів гільз циліндрів

3.3 Дослідження і вибір основних параметрів з рівним профілем технологічної поверхні циліндра

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників та заходів

щодо забезпечення умов охорони праці

4.2 Правила техніки безпеки під час ремонту двигунів

4.3 Розосередження робітників та службовців підприємства під час надзвичайної ситуації військового часу

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

БІБЛІОГРАФІЯ

ВСТУП

Гільзи циліндрів внутрішнього згоряння є одним з найважливіших елементів двигуна, від яких залежить його ефективність та тривалість роботи. Однак, у процесі експлуатації гільзи піддаються зносу та утворенню подряпин, що негативно впливає на їхню працездатність і знижує ефективність двигуна. Для збереження оптимальних характеристик гільз та продовження їхнього терміну служби необхідно застосовувати методи відновлення та хонінгування гільз циліндрів.

Метою даної роботи є детальне вивчення процесу хонінгування гільз циліндрів та розробка оптимальної технології відновлення їхньої поверхні. Дослідження включає аналіз сучасних методів та матеріалів, використовуваних для відновлення гільз, оцінку впливу процесу хонінгування на параметри гільз та розробку оптимальної послідовності операцій.

В роботі проведено аналіз наукових досліджень та практичного досвіду у галузі відновлення гільз циліндрів. Встановлено, що використання хонінгування є ефективним способом відновлення та поліпшення якості гільз, однак існують різні підходи до процесу, які вимагають подальшого вивчення та оптимізації.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Підвищення задиростійкості робочих поверхонь циліндрів

1.1.1 Плоско поверхнєве хонінгування циліндрів

Аналіз зарубіжних досліджень показує, що поліпшенню задиростійкості деталей циліндропоршневої групи і поліпшенню техніко-економічних показників двигуна з затрат пального і мстил сприяють циліндри, виготовлені за допомогою технології плосковершинного хонінгування.

Хонінгування, як технологічна операція, здійснюється головкою з брусками (багаторіжучим інструментом із абразивних керамічних або алмазних зерен), якій надається обертовий і зворотно-поступальний рух (рис.1.1). Постійний контакт брусків з поверхнею циліндра при різанні металу покращує точність розмірів і форму. В процесі хонінгування на поверхні циліндра створюються риски (сліди обробки), розміщені під певним кутом, який залежить від діаметра циліндра та швидкості обертового і зворотно-поступального руху головки.

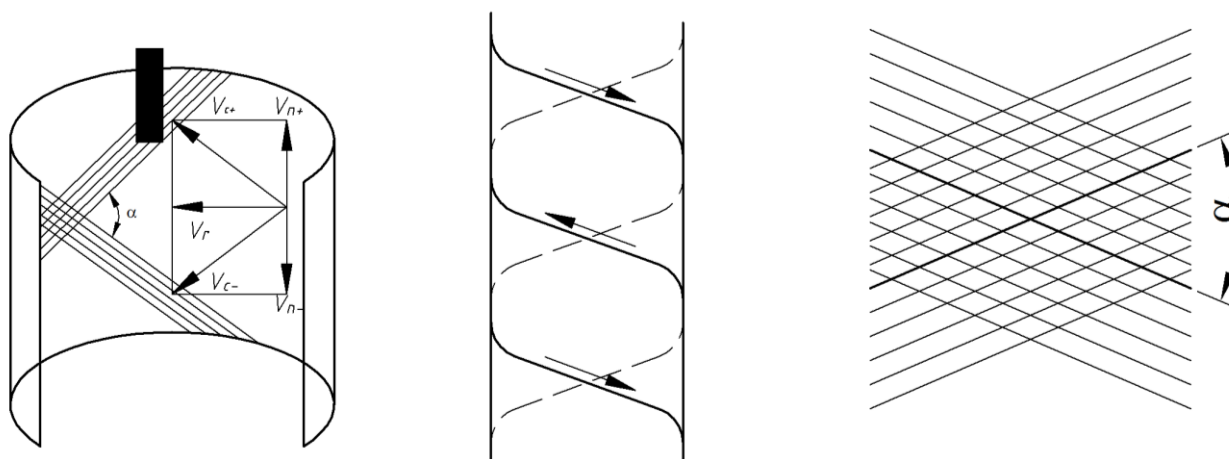


Рисунок 1.1 Принцип руху брусків при хонінгуванні циліндрів: V_r , V_o і V_c – відповідно швидкості обертання, ходу брусків і різання; α – кут перетину

риск.

Умови досліджень впливу плосковершинного профілю поверхні циліндра на покращення задиро та зносостійкості пари тертя циліндр-

поршневих кілець та на зменшення витрат пального і мастил на вигорання показує, що технологічна поверхня циліндра має забезпечити: короткочасний і надійний період припрацювання циліндрів і кілець при їх зменшеному зносі; рівномірний розподіл мастил на поверхні і хороше ущільнення надпоршневого простору від проходження газів у картер і збільшеного вигорання мастил; зменшення умовних механічних потреб на тертя в циліндропоршневій групі для ефективної витрати пального. Ось чому при хонінгуванні циліндра потрібно отримати такий профіль і топографію технологічної поверхні, в якій можна поєднати характеристики ковзання, наближені до гладкої поверхні, а здатність затримувати мастило була б такою, як на шорсткій поверхні. Утворюється така технологічна поверхня за рахунок основного і завершального хонінгування (рис. 1.2) за встановлення циліндра у стенд з головкою, на якій встановлено середньозернисті і дрібнозернисті бруски, які чергуються.

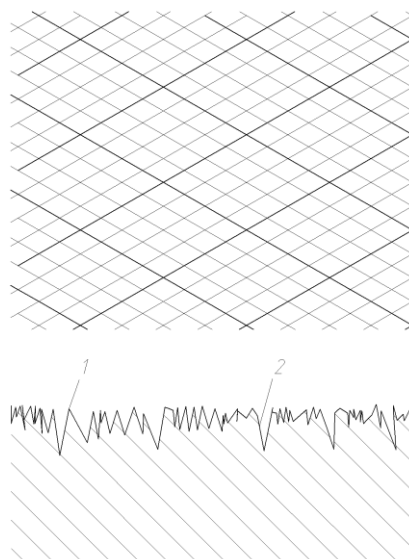


Рисунок 1.2 - Схематичне відображення поверхні циліндра отриманої плосковершинним хонінгуванням: 1 – полоски на площині профілю; 2 – западинни профілю

Спершу середньозернистими брусками проводять основне хонінгування. Даною операцією досягається потрібна точність діаметра циліндра і проводиться нарізка на поверхні глибоких рисок потрібних параметрів. Після цього мілкозернистими брусками проводять завершальне хонінгування через зрізання великих вершин.

Внаслідок цього утворюється плосковершинний профіль і топографія технологічної поверхні циліндра з потрібними параметрами. Хонінгувальний верстак забезпечує послідовну роботу середньозернистих і мілкозернистих брусків. Можливе, при потребі, мале в часі перекриття в їх роботі.

Беручи до уваги налагоджене високопродуктивне силове різання на останніх операціях розточування і хонінгування циліндрів, потрібно при розробці технології плосковершинного хонінгування поставити такі параметри профілю і топографії технологічної поверхні, які заповнили б її перехід в головну без пошкоджень під час періоду короткочасної заводської обкатки. Підбір оптимального профілю і якості поверхні циліндра вимагає детального аналізу впливу усіх з їх параметрів на ефективний перехід технологічної поверхні в експлуатаційну.

Технологічна якість оброблюваної поверхні циліндра отримується після останньої операції по обробці внутрішнього діаметру і реалізується такими показниками (рис. 1.3): геометричними, структурними, хімічними і механічними показниками поверхневих шарів і їх деформацією.

Досвід показує, що фірми, які виготовляють мотори оцінюють технологічну плосковершинну поверхню циліндра, з такими параметрами профілю, так і за параметрами якості поверхні.

Одним із багатьох показників технологічної поверхні циліндра є шорсткість.

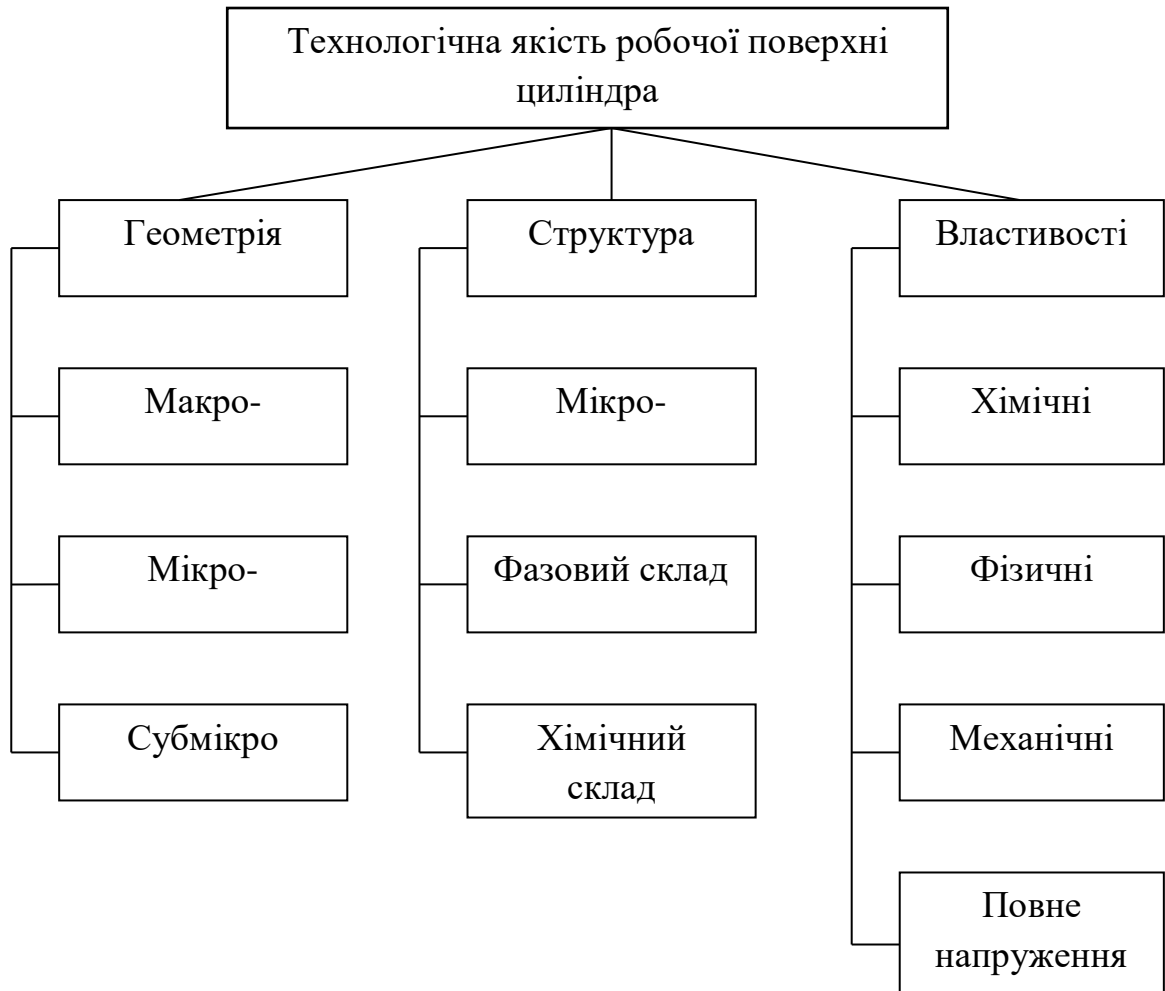
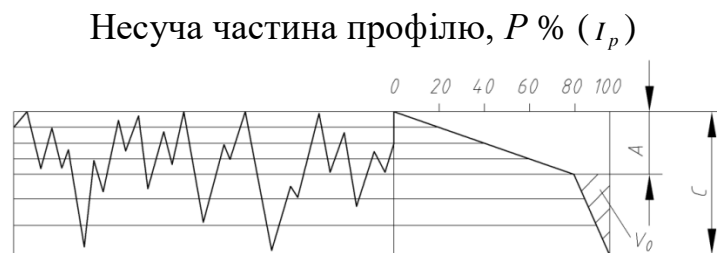


Рисунок 1.3 Технологічна якість робочої поверхні циліндра

Порядок дослідження основних показників профілограми поверхні графічним методом показано на рис. 1.4.



Несуча крив олійна пряма Аббotta

Рисунок 1.4 Основні параметри профілю:

A – середня глибина рисок несучої поверхні, мкм; C – середня глибина маслоутримуючих впадин профілю, мкм; B – несуча частина профілю, %; V_0 – питомий об'єм масла після спрацювання рисок на опорній поверхні, $\text{мм}^3/\text{см}^2$.

Для дослідження основних показників діаграми профілю потрібно використовувати графічний метод розрахунку, так як теоретичного, так і на практиці профілю циліндра, виготовленого методом плосковершинного хонінгування (рис. 1.6). Об'єм мастила (V_0), який затримується на головній поверхні циліндра після застосування рисок, визначається за формулою:

$$G_0 = \frac{(90 - H)(D - R)}{1800}, \text{ мм}^3/\text{см} \quad (1.5)$$

де G_0 – питомий об'єм масла після спрацювання рисок на опорній поверхні, $\text{мм}^3/\text{см}^2$;

H – несуча частина профілю, %;

D – середня глибина впадин, які затримують мстило профілю, мкм;

R – середня глибина насічок опорної поверхні, мкм.

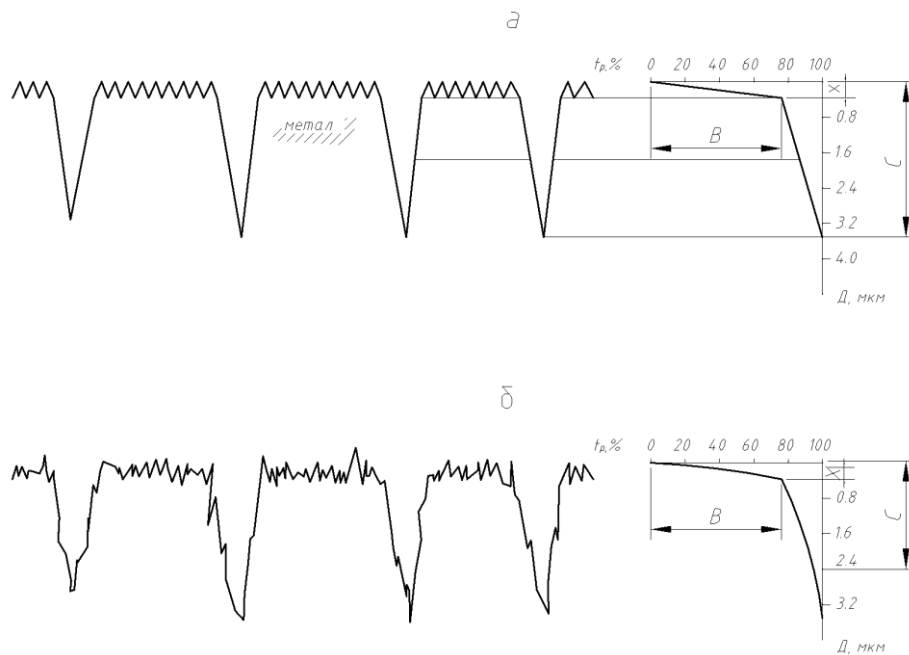


Рисунок 1.5 Профілограми і домоміжні криві теоретичного (а) і експлуатаційного (б) профілю поверхні циліндра.

Шорсткість несучої поверхні R_a часто порівнюють з функціональною глибиною шорсткості R_v , яку визначають суб'єктивно шляхом виключення найбільших рисок зверху і знизу. При звичайному

хонінгуванні функціональна глибина шорсткості R_v дорівнює 2...4 мкм, а при плосковершинному необхідно вибирати в межах 1,0...2,5 мкм. Менша шорсткість поверхні циліндра може погіршити умови припрацювання поршневих кілець і збільшити час обкатки двигуна, а при високому форсуванні двигуна – сприяти пошкодженню пари тертя циліндр-поршневі кільця.

Глибина та ширина рисок від хонінгування і їх частота впливає на витрати масла на вигоряння, на коефіцієнт тертя та на надійність роботи пари тертя циліндр-поршневі кільця.

Широкі та глибокі риси викликають підвищену витрату масла на вигоряння, збільшують механічні втрати на тертя і витрати пального на їх подолання. Такі риси і впадини можуть бути причиною пошкодження поверхні тертя циліндрів і поршневих кілець, або їх підвищеного зносу. Оптимальна глибина і ширина рисок вибирається для кожного двигуна індивідуально. Глибина рисок для різних двигунів складає 2...8 мкм, ширина 5...150 мкм.

Більшість сучасних зарубіжних профілографів-профілометрів визначають автоматично і записують на стрічку профілограми опорну довжину профілю (B), кількість піків (np), положення середньої лінії профілю. Рівень січення профілю може задаватися оператором в широкому діапазоні ввєрх і вниз (від $t_p = 0$ до $t_p = 100\%$), що дозволяє будувати опорні криві профілю і криві розподілу піків, а також криву Аботта. Недоліком такого методу оцінки профілю технологічної поверхні циліндра є те, що він вимагає відносно багато часу.

Вдосконалений метод оцінки шорсткості поверхні циліндра дає можливість записати несучу криву Аботта безпосередньо профілографом-профілометром як з хвильовим фільтром, так і без нього (рис. 1.7). На основі цього можна розрахувати маслоутримуючий об'єм:

$$V_0 = \frac{100 - B}{1000} \text{ мм}^3/\text{см}^2 \quad (1.6)$$

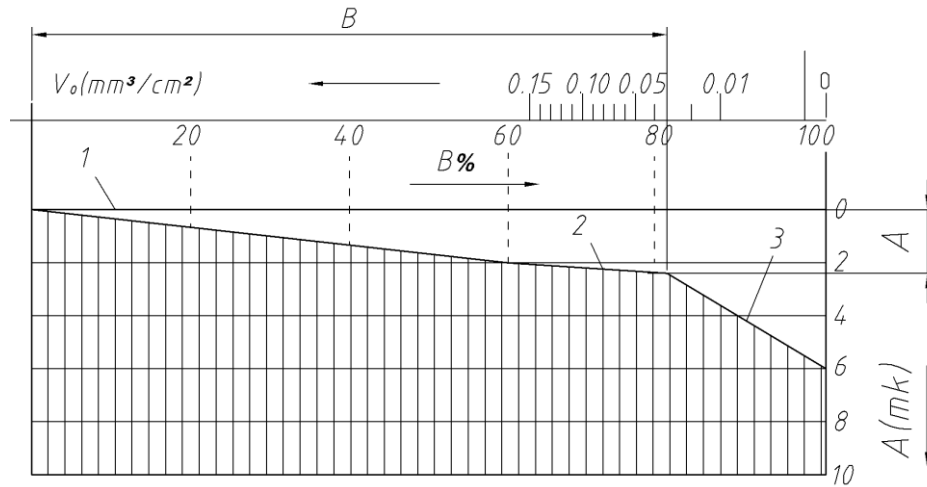


Рисунок 1.6 Спрощений метод визначення основних показників профілографи поверхні:

A – глибина рисок несучої поверхні, мкм; B – несуча поверхня, %; V_0 – питома маслоємність, $\text{мм}^3/\text{см}^2$; 1 – нульова базова лінія; 2 – перша характеристика; 3 – друга характеристика з нахилом 0,2 мкм/%; 4 – глибина маслоутримуючих впадин.

Середня глибина рисок C вираховується по показниках профілю A і B :

$$C = A + 0,2(100 - B) \quad (1.7)$$

Глибина рисок A на плато повинна вибиратися з таких умов, щоб забезпечити надійне припрацювання поршневих кілець при мінімальних витратах масла на вигоряння. Значення глибини рисок A на плато вибирається для кожного конкретного двигуна, оскільки ця величина залежить від багатьох параметрів.

На надійність роботи циліндропоршневої групи в період обкатки двигуна впливає не тільки профіль, але і топографія технологічної поверхні циліндра та структура поверхневих шарів металу. Тому зарубіжні моторобудівні фірми надають особливу увагу дослідженням топографії технологічної поверхні циліндра з використанням найсучасніших досягнень

у галузі фізики твердого тіла та поверхневих явищ.

До основних показників топографії технологічної поверхні циліндра належать: кут хонінгування α° ; віддаль між впадинами профілю l , мкм; чистота різання; двостороннє різання; хвильове і перерване хонінгування; ширина впадин профілю l , мкм; сліди від попереднього хонінгування або розточування; тріщини від хонінгування; глибина деформації поверхні від хонінгування або розточування h , мкм; вириви або викришування металу; кількість відкритих графітних включень у відсотках.

Розроблено і широко використовується зарубіжними моторобудівними фірмами чотири основні методи контролю технологічної поверхні циліндра відбиток поверхні методом факс-фільм-фото; поперечний металографічний шліф; растрова електронна мікроскопія; комбіновані методи.

1.1.2 Хімічне фосфатування поверхні циліндра

Одним із напрямків нанесення на поверхню циліндрів припрацьовуючих покриттів є хімічне фосфатування.

При фосфатуванні у водяних розчинах фосфорнокислих солей марганцю і заліза на поверхні циліндра створюється покриття із фосфатів металу товщиною до 20 мкм. Це покриття пористе і грубокристалічне, добре вбирає в себе масло. В процесі технологічної заводської обкатки двигунів пористий поверхневий шар циліндра зношується і створює дрібнозернисту масу, яка виконує роль припрацьовуючої пасти.

Фосфатування поверхні циліндрів може здійснюватись також у розчині первинного фосфату цинку. Внаслідок цього на поверхні створюється припрацьовуюче покриття із фосфатів заліза і цинку. Для зменшення коефіцієнта тертя фосфатовану поверхню покривають графітизованим маслом. У такому випадку шар фосфату має високі змащуючі властивості і сприяє припрацюванню циліндрів і поршневих кілець та запобігає їх

пошкодженню в процесі тертя.

Фосфатування циліндрів не знайшло широкого застосування у масовому виробництві циліндрів автотракторних двигунів через те, що цей хімічний процес є складний для управління і підтримування в необхідних межах концентрації розчинів фосфорнокислих солей і фосфату цинку. Технологія вимагає постійної корекції хімічного складу розчину і температури його нагрівання. Крім цього, технологічний процес є довготривалим, енергозатратним, трудомістким і екологічно брудним.

1.1.3 Фінішна безалмазна обробка циліндра

На зміну традиційним хімічним технологіям нанесення припрацьовуючих покриттів на поверхні циліндрів почали розроблятися технології фінішної антифрикційної безалмазної (безабразивної) обробки (ФАБО). Суть цих технологій полягає в тому, що на поверхню циліндра наноситься шар латуні, бронзи або міді за рахунок явища переносу металу притерті.

Для нанесення покриття поверхню обезжирюють і обробляють гліцерином або сумішшю двох частин гліцерину і однієї частини 10%-ного розчину соляної кислоти. Нанесення покриття здійснюють на токарному верстаті з допомогою спеціального пристрою, закріпленого в різцетримачі.

Випробування двигунів з таким припрацьовуючим покриттям циліндрах показали задовільні результати, але в масовому виробництві така технологія не використовується, тому що цей процес довготривалий і не піддається автоматизації.

Різновидністю ФАБО є нанесення композиційних твердозмазуючих покриттів методом електrolітичного натирання. В склад електrolітів входили розчини на основі солей заліза, нікелю, міді і як добавка використовувався дисульфід молібдену.

Незважаючи на позитивні результати випробувань циліндрі таким

покриттям, ця технологія не використовується в двигунобудуванні з тієї ж причини, що і ФАБО.

Технологія ФАБО може мати розвиток і застосування при умові нанесення припрацьовуючого покриття на циліндр за короткий час на хонінгувальних верстатах в автоматичній лінії. Тому доцільно провести комплекс пошукових науково-дослідних і конструкторсько-технологічних робіт по розробці механохімічного (триботехнологічного) способу нанесення припрацьовуючого покриття на циліндри.

Грунтовний аналіз різних технологій підвищення антифрикційних властивостей циліндрів подано в монографії автора.

1.1.4 Структура чавуну циліндра

В автотракторних двигуні найбільше розповсюдження набули циліндри із чавунів з такими структурами: перлітною, аустенітною і мартенситною (гартовані циліндри).

Основним матеріалом для виготовлення циліндрів є сірий перлітний чавун, оскільки він може найбільш повно задовольнити весь комплекс технологічних і функціональних вимог до циліндрів. Хімічний склад перлітного чавуну підбирається так, щоб його структура забезпечила необхідну задиро- і зносостійкість циліндрів, а також весь технологічний комплекс властивостей з ливарного виробництва і механічної обробки циліндрів. Крім цього, вартість циліндрів повинна бути мінімальною як за рахунок використання дешевих легуючих хімічних елементів, так і за рахунок вдосконалення і автоматизації технології виробництва [44, 45].

Металічною основою сірого перлітного чавуну є феритно-цементна суміш, в якій цементит (Fe_3C) знаходиться у вигляді пластинок різної дисперсності. Відстань між пластинками цементиту залежить від хімічного складу чавуну і технології ливарного виробництва. Цементит характеризується високою твердістю і хрупкістю та низькою пластичністю [45].

Основною структурною складовою частиною перлітного чавуну є ферит (твердий розчин вуглецю в α -Fe), твердість якого складає HB 80...120 в залежності від хімічного складу чавуну. Ферит характеризується низькою твердістю і міцністю та високою пластичністю [45].

Для виготовлення циліндрів автотракторних двигунів найчастіше використовуються економнолеговані сірі перлітні чавуни такого хімічного складу в % [45]:

$$\frac{C}{3,15...3,25}; \frac{Si}{2,2...2,4}; \frac{Mn}{0,6...0,8}; \frac{P}{0,18...0,25}; \frac{Cr}{0,2...0,3}; \frac{Ni}{0,15...0,35}; \text{Fe} - \text{решта.}$$

Твердість чавуну HB 190...210. Структура чавуну: грубопластинчастий перліт з обмеженою кількістю (до 5%) вільного фериту; розірвана сітка фосфідної евтектики; графіт пластинчастий прямолінійний Рівномірного і нерівномірного розподілу з довжиною пластин 45...180 мкм в кількості 6...8%.

Незважаючи на високі технологічні властивості перлітного чавуну, зносостійкість таких циліндрів недостатня [45].

Крім циліндрів із перлітного чавуну, використовуються біметалічні циліндри з вставкою із аустенітного чавуну типу “нірезист” (14...18% Ni і 7...9% Cu) та гартовані циліндри з мартенситною структурою [44, 45].

У 40-50-х роках знайшов широке застосування аустенітний чавун типу “нірезист” для виготовлення із нього вставок, які запресовувалися у верхню частину циліндра на висоту 50 мм. Використовувався чавун такого складу в % [45]:

$$\frac{C}{2,5...3,0}; \frac{Si}{2,5...3,0}; \frac{Mn}{0,6...1,0}; \frac{P}{0,4...0,7}; \frac{Cr}{1,8...2,2}; \frac{Ni}{16,0...17,5}; \frac{Cu}{7,0...8,0}; \text{Fe} - \text{решта.}$$

Твердість чавуну HB 193...197; структура: аустеніт (твердий розчин вуглецю в залізі) з рівномірно розміщеними карбідами в кількості 3...5% і дрібнопластинчастий графіт.

Біметалічні циліндри, хоч і мають високу зносостійкість, але використовуються обмежено через низьку технологічність у виробництві і

недостатню надійність в експлуатації [45].

Для підвищення зносостійкості циліндрів і поршневих кілець дизелів, які працюють у важких умовах експлуатації і з високою концентрацією порохи в повітрі, використовується гартування робочої поверхні циліндрів струмом високої частоти або об'ємне гартування з відпуском в зоні фланця (бурту) для запобігання тріщини.

Після гартування на поверхні циліндра створюється мартенситна структура з високою твердістю. Для зниження твердості до HRC 45...52 і термічних напружень циліндри піддаються низькотемпературному відпуску [45].

Як при поверхневому, так і при об'ємному гартуванні циліндрів є велика ймовірність їх деформації і утворення тріщин на робочій поверхні, що є причиною браку. Тому в 80-90 роках набуває розповсюдження нова технологія гартування з використанням лазерного променя великої потужності, яка усуває недоліки, пов'язані з деформацією і тріщинами циліндрів. Незважаючи на всі переваги гартування циліндрів лазерним променем, ця технологія є довготривалою і дорогою.

Враховуючи технологічні і функціональні недоліки гартованих і біметалевих циліндрів і технологічні переваги циліндрів із перлітного чавуну, доцільно провести комплекс досліджень з метою підвищення зносостійкості перлітного чавуну. Для цього необхідно дослідити умови роботи, особливості зношування та переважаючий вид спрацювання циліндрів у різних умовах експлуатації двигунів і розробити вимоги до структури зносостійкого перлітного чавуну.

1.2 Підвищення задиристійкості поршня і його кілець

З підвищенням літрової потужності двигуна необхідно наносити на поршень ефективне антифрикційне покриття для запобігання його "заклинення" в циліндрі в період технологічної обкатки.

Найбільше розповсюдження знайшли покриття поршня оловом і свинцем, технології яких є дорогими і токсичними. Тому широкого застосування набуває графітизація поверхні поршня [5].

У більшості випадків перед графітизацією поршня проводиться фосфатування його внутрішньої і зовнішньої поверхонь. Здійснюється фосфатування в 70% розчині ортофосфорної кислоти у ванні при температурі 18...25°C тривалістю 8,0...12,0 хв. Для нанесення графітного покриття на напрямну частину поршня необхідно приготувати графітну суміш, яка складається з колоїдно-графітного препарату (С-1), бакелітового лаку (ЛБС-1) і спирту етилового технічного ректифікованого в таких вагових співвідношеннях: 12,5:55,0:32,0. Нагрітий поршень до 60°C покривають графітною сумішшю з допомогою пульверизатора. Розпилювання суміші через пульверизатор здійснюють очищеним і сухим повітрям при тиску 0,3...0,35 МПа (3,0...3,5 кг/см²) впродовж 1...2 хв. Поршень покривається рівним шаром графіту і вкладається в термічну піч на годину для сушіння при температурі 140...180°C.

Нанесення графітного покриття на поршень може здійснюватись і без фосфатування поверхні поршня.

Технологія фосфатування і графітизації поршня є довготривалою, складною і вимагає великих затрат енергії. Тому доцільно провести комплекс пошукових науково-дослідних і конструкторсько-технологічних робіт по розробці механо-хімічного (триботехнічного) способів нанесення покриття на поршень.

Підвищення задиро- і зносостійкості поршневих кілець ведеться за рахунок нанесення на їх робочу поверхню різних багатофункціональних покриттів. Найбільшого поширення набула технологія нанесення на верхні компресійні кільця твердого електролітичного хрому мікропористістю робочого шару 4...10 мкм. Таке покриття має високу задиро- і зносостійкість завдяки мікропористості високій твердості хрому (HV 1000). Недоліком такого покриття верхніх поршневих кілець є зниження твердості і

зносоустійкості при температурі вище 250°C , яка виникає при роботі високофорсованих дизелів. Цей недолік усувається шляхом використання плазмового покриття хромом, яке має кращий комплекс фізико-хімічних та механічних властивостей і забезпечує задовільну роботу поршневих кілець в більш жорстких умовах. Таке плазмове покриття кілець хромом повинно мати: загальну пористість $1...10\%$; відкриту пористість $3...40\%$ твердість HV 580; мікротвердість 750 кг/мм^2 . Висока задиристійкості таких верхніх поршневих кілець обумовлена їх пористістю.

У високофорсованих дизелях часто використовуються верхні компресійні кільця, покриті методом напилювання молібденом. Такі поршневі кільця по задиристійкості значно кращі ніж ті, що покриті твердим електролітичним хромом.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Дослідження триботехнології нанесення припрацьовуючого покриття на циліндри з рівно вершинним профілем

Розробка триботехнології полягала в тому, щоб сумістити операцію травлення хонінговано поверхні циліндра азотною кислотою з одночасним нанесенням на неї припрацьовуючого фосфатного покриття.

Численні випробовування циліндрів з припрацьовуючим покриттям, нанесеним по технології РВХ-МХО, показали, щонайкращі техніко-економічні показники дизелів СМД-31/31А і найвища задиростійкість циліндрів досягається при використанні для механічної обробки гартованої поверхні циліндрів хімічної суміші із азотної і фосфатної кислот, в яких був розчинений оксид цинку та інші сполуки.

Антифрикційний брусок для здійснення триботехнології МХО виготовлявся із шихти, в яку входили мідь, олово, нікель, цинк, оксид молібдену, сурма та інші антифрикційні метали в певних співвідношеннях.

Виготовлялися бруски методом порошкової металургії. Після спікання бруска його твердість була на 10...15% нижче твердості чавуну для циліндрів, що забезпечувало відповідну контактну температуру для пришвидшення механіко-хімічних та каталітичних процесів і не виникало зносу поверхні циліндра при терті.

Триботехнологічний процес нанесення припрацьовуючого покриття методом МХО здійснювався на обладнанні, яке використовувалося для нанесення металополімерного покриття.

Механізоване покриття створювалося за такою технологією. При вході в циліндр головки, оснащеною системою впорскування, на технологічну поверхню подавалася при допомозі системи дозування перша порція суміші кислот і починався обертовий та зворотно-поступальний рух головки з розтиснутими брусками. В присутності хімічно активної суміші бруски терлися по хонінгованій поверхні циліндра і починався процес розтравлення

його верхніх шарів. Через кожні 10...15 с повторювалося повторення впорскування суміші кислот на поверхню циліндра. Одночасно з травленням поверхні продукти зносу брусків перемішувалися з сумішшю кислот і створювали різні фосфати, які заповнювали риски і впадини профілю поверхні циліндрів. Цей процес натирання циліндра тривав 1,0...2,5 хв. Витрати суміші кислот складали 3...7 см³ на один циліндр діаметром від 120 до 165 мм. Процес здійснювався при швидкості обертання головки 160...240 хв⁻¹ і швидкості зворотно-поступального руху до 3 м/хв. Тиск брусків на поверхню становив 0,1...0,5 МПа (1...5 кг/см²). За 6...12 с до закінчення операції натирання припинялася подача суміші кислот. У цей період на поверхні циліндра проходило інтенсивне створення припрацьовуючого покриття. Оброблений за такою технологією циліндр відстоювався в накопичувачі і на транспортері 6...12хв для завершення хімічних процесів та затвердіння припрацьовуючого покриття на поверхні циліндра.

2.2 Розкочування поверхні циліндра

Різні автори розробляли, досліджували і вдосконалювали два методи розкочування поверхні циліндрів: з вібруванням стальної кульки і без її вібрації. Найбільше проведено науково-дослідних та конструкторсько-технологічних робіт по вібраційному розкочуванню поверхні циліндра кулькою. Це забезпечувало чіткий регулярний мікропрофіль і топографію з канавками будь-якого заданого виду.

Суть методу обкочування кулькою поверхні циліндра пояснюється схемами на рис. 1.8. Кулька притискається до циліндра 1 за допомогою пристосування 3 (рис. 1.8, а), різцетримача 4 токарного верстата. Циліндр 1 за допомогою пристосування 2 закріплений на шпинделі токарного верстата, здійснює обертання навколо своєї осі. Якщо кулька не здійснює осциляційного руху, то за рахунок поздовжньої подачі пристосування 3 утворюється на поверхні гвинтоподібне заглиблення. При вібраційному

обкочуванні кулька здійснює осциляційний рух вздовж осі циліндра з великою частотою і малою амплітудою, що створює зміщені по відношенню один до одного криві лінії, близькі до синусоїди (рис. 1.8, *a*). Внаслідок цього на поверхні циліндра створюється сітка кривих, маслоємність яких можна регулювати швидкістю обертання і глибиною канавки.

Осциляційні коливання кульки вздовж твірної циліндра здійснюються за рахунок вібраційної головки 3 (рис. 1.8, *b*), яка створює вібрацію від індивідуального електродвигуна 6 через ексцентрик 7.

На рис. 1.6, *b* показано метод обкочування поверхні циліндра кулькою, яка не здійснює осциляційного руху. Внаслідок цього на поверхні циліндра створюється сітка гвинтових канавок правого і лівого напрямку, які перетинаються.

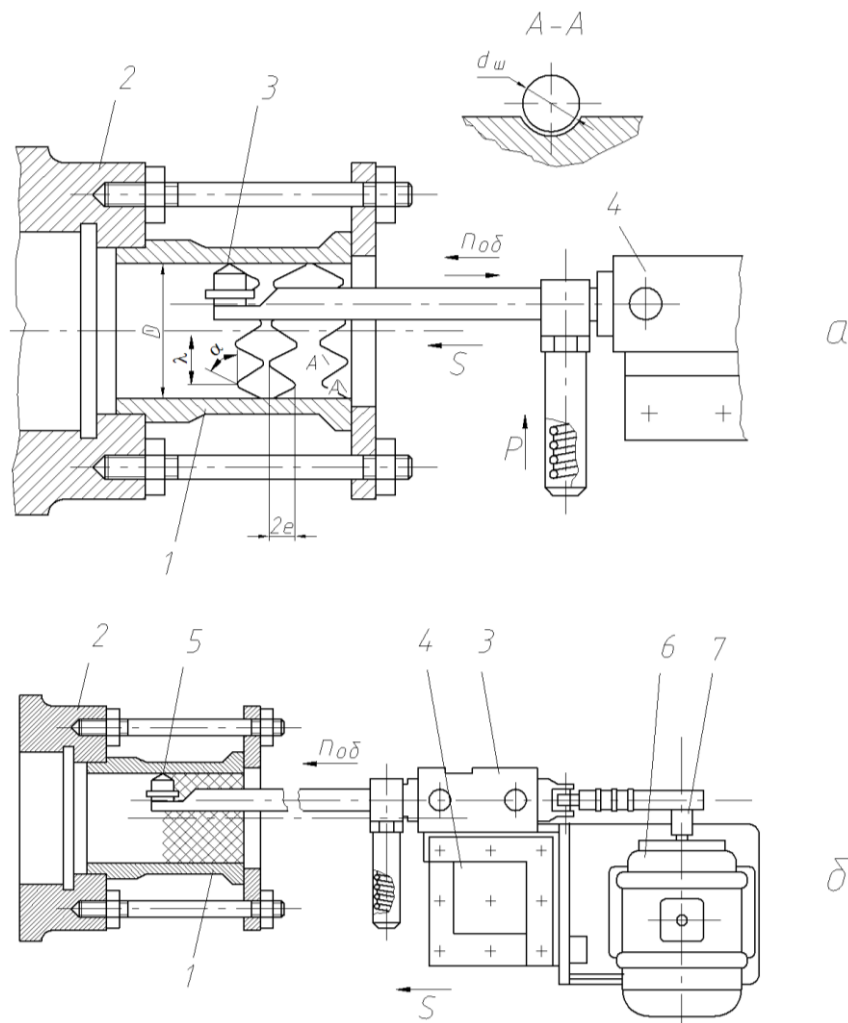


Рисунок 2.1 Схема обкочування поверхні циліндра сталлюю кулькою:

a – обкочування з вібруванням кульки; *1* – циліндр; *2* – пристосування для закріплення циліндра; *3* – пристосування для закріплення кульки; *4* – різцетримач токарного верстата; *б* – обкочування без вібрування кульки; *1* – циліндр; *2* – пристосування для закріплення циліндра; *3* – головка; *4* – різцетримач; *5* – пристосування для закріплення кульки; *б* – електродвигун; *7* – ексцентрик.

Моторно-стендові випробовування двигунів з такими циліндрами показали, що в цьому випадку забезпечується надійне припрацювання поршневих кілець і підвищується зносостійкість циліндрів, але збільшуються витрата масла на вигоряння. Стабілізація вигоряння масла настає після довготривалої експлуатації двигунів у міру спрацьовування канавок і зменшення їх масло ємності. Крім цього, така технологія порівняно з хонінгуванням є довготривалою і важко піддається автоматизації. Враховуючи низьку технологічність процесу розкочування циліндрів та інші суттєві недоліки, цей спосіб збільшення маслоємності циліндрів не знайшов застосування в масовому виробництві.

2.3 Вибір та оцінка технологій хонінгування циліндрів і триботехнологій нанесення припрацьовуючих покриттів

По результатах проведених досліджень форсованих двигунів та структури чавуну циліндра дано рекомендації для вибору оптимального профілю технологічної поверхні циліндра, а також технологічного процесу нанесення припрацьовуючого покриття (трибо технології) (Див. табл. 2.1). В залежності від ступені форсування двигуна, характеристик циліндрів та верхніх поршневих кілець, використовують технології або плоско вершинного хонінгування або рівно вершинного хонінгування. При виборі алмазних брусків (параметри зернистості та концентрації порошків) враховувались режими хонінгування, як для основного так і для фінішного хонінгування.

Основні характеристики поверхні після плосковершинного хонінгування:

оптимальний кут хонінгування $\alpha = 55^\circ \dots 65^\circ$, відстань між глибокими рисками – максимум 100 мкм., рівномірні чисто нарізані риски, хвилястість відсутня, тріщини розміром не більше 100 мкм.

Основні характеристики поверхні після з рівним профілем хонінгування: функціональна шорсткість маслоутримуючого профілю $R_{\phi}^c = 3 \dots 6$ мкм; функціональна шорсткість маслорозподільного профілю $R_{\phi}^a = 1,0 \dots 2,5$ мкм; відносна довжина опорного профілю $B = 50 \dots 65\%$.

Для забезпечення надійної роботи двигунів, їх необхідно комплектувати циліндрами з оптимальними показниками, як профілю так і топографії технологічної поверхні. Якість комплектуючих циліндрів оцінюється відповідною кількістю балів: сума балів не більше 15 – придатні для комплектування двигунів для забезпечення їх надійної роботи. Допускається використання циліндрів із балами, сума яких не перевищує 20, які не пошкоджують поршневі кільця. Якщо сума балів перевищує 20 такі циліндри вибраковуються і вимагають повторного хонінгування.

Як відомо, кожен двигун характеризується технологічними особливостями його виготовлення та складання, а також конструктивними особливостями. Дані параметри необхідно враховувати при розробці технологічного процесу плоско вершинного або рівно вершинного хонінгування, які забезпечують одержання заданих показників профілю та топографії технологічної поверхні (вибір технологічного обладнання та оснащення, різального та вимірювального інструментів, підбір режимів обробки).

2.4 Розробка і дослідження циліндрів із перлітних чавунів для карбюраторних двигунів

Найбільш масові карбюраторні двигуни ЗІЛ-130, ЗІЛ-375, ЗМЗ-24, ЗМЗ-53 комплектувалися циліндрами з аустенітними вставками. Незважаючи

на високу зносо- і задиростійкість циліндрів із аустенітними вставками, вони мають ряд суттєвих технологічних і експлуатаційних недоліків:

- висока вартість ДСТУродефіцитних присадок Ni, Cu і Cr;
- низька технологічність і висока вартість виготовлення циліндрів, викликаних необхідністю окремої відливки і механічної обробки як вставки, так і циліндра;
- високий рівень деформацій поверхні циліндра в експлуатації, викликаний запресуванням вставки з високим коефіцієнтом теплового розширення в циліндр із сірого перлітного чавуну СЧ-24 з низьким коефіцієнтом теплового розширення та недостатніми механічними властивостями;
- низька ремонтпридатність при розточуванні циліндра під ремонтний розмір.

Високий рівень деформації поверхні циліндра в експлуатації сприяє створенню зазору між циліндром і вставкою, який заповнюється нагаром. При цьому погіршується робота поршневих кілець в місці стику вставки з циліндром, що разом з деформацією вставки приводить до її нерівномірного зносу, збільшення прориву газів в картер, підвищення витрат масла на вигорання, зростання токсичності відпрацьованих газів. При значній овальності вставки утворюється сходинка, яка приводить до поломки поршневих кілець, пошкодження поршня.

Одержати рекомендовану задиро- і зносостійку структуру перлітного чавуну для монометалічних циліндрів можливо тільки при певному співвідношенні графіту і карбідів або фосфідної евтектики з карбідами. Досліджено, що карбіди і фосфідна евтектика повинні розміщуватися по границях евтектичних комірок.

Для виділення карбідів по границях зерен чавуну використовувалось явище мікроліквації елементів. При цьому за час евтектичної кристалізації створювали такі умови, при яких елементи, що сприяють створенню графіту, повинні концентруватися, головним чином, у центрі евтектичних комірок, а

елементи, які сприяють створенню карбідів, навпаки, на їх периферії. Для забезпечення необхідної інтенсивності процесу росту графіту і розширення технологічних можливостей регулювання створення необхідної структури чавуну застосовувалося графітізуюче модифікування.

3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Вплив структури чавуну циліндрів

При переході від технологічного рельєфу поверхні гільзи циліндра до експлуатаційної проходить на всьому циклі експлуатації автомобіля, однак повного припрацювання робочих поверхонь досягти не вдалося і свідчення тому сліди мікрорізання на поверхнях внаслідок дії абразиву.

Комплексне дослідження трибологічних характеристик поверхонь тертя гільз циліндрів, виготовлених із різних марок чавунів, проводилися в використанні машини тертя СМЦ-2. Схема дослідження диск-колодка. Контртіло – диск діаметром 52мм, висотою 15мм виготовлений із сталі ШХ15. Досліджувану деталь – колодка виготовлена із матеріалу гільзи циліндра. Тривалість процесу випробувань – 80хв. Контролювались параметри – момент тертя, сила тертя, коефіцієнт тертя, інтенсивність зношування. Досліджувались 8 однакових зразків, для одержання середніх результатів експерименту (рисунок 3.1, 3,2)

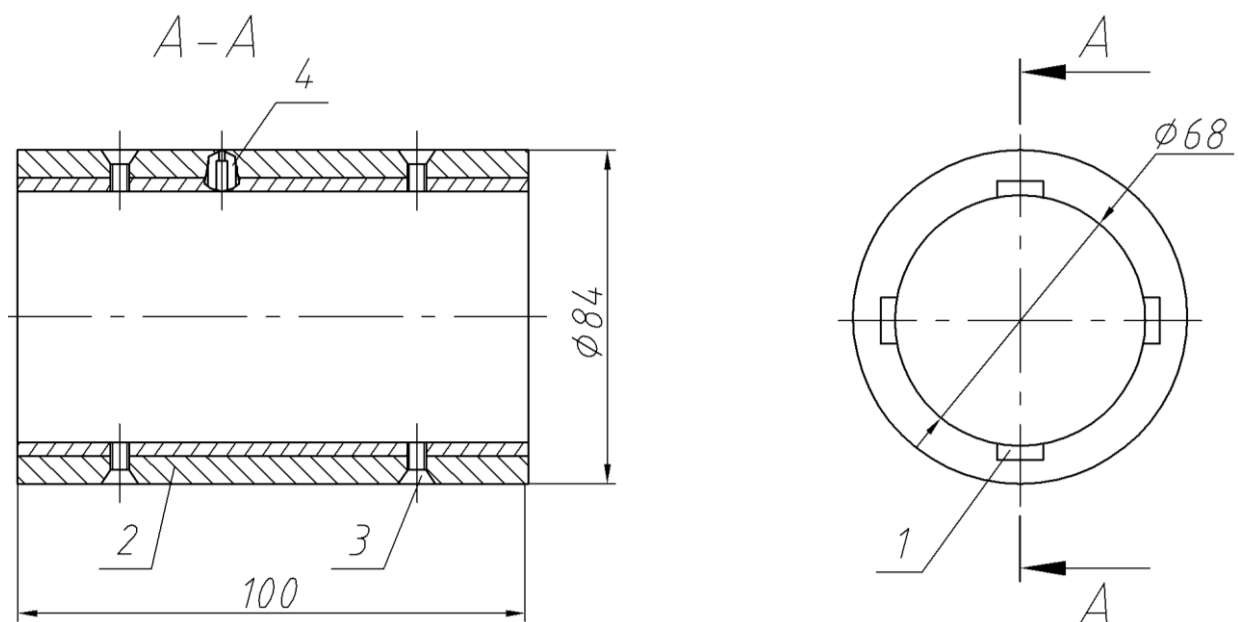


Рисунок 3.1 Схема дослідження зносостійкості матеріалів зразків гільз циліндрів 1 – колодка; 2 – втулка; 3 – гвинт; 4 – зразки циліндрів

Середнє значення ширини ямки визначалося в 10-ти перерізах.

Дослідження задиростійкості зразків циліндрів проводилося за розробленою експрес-методикою на машині тертя без подачі масла. За критерій зчеплення і задиру пари тертя було прийнято зміни акустичних характеристик і початок вібрації системи.

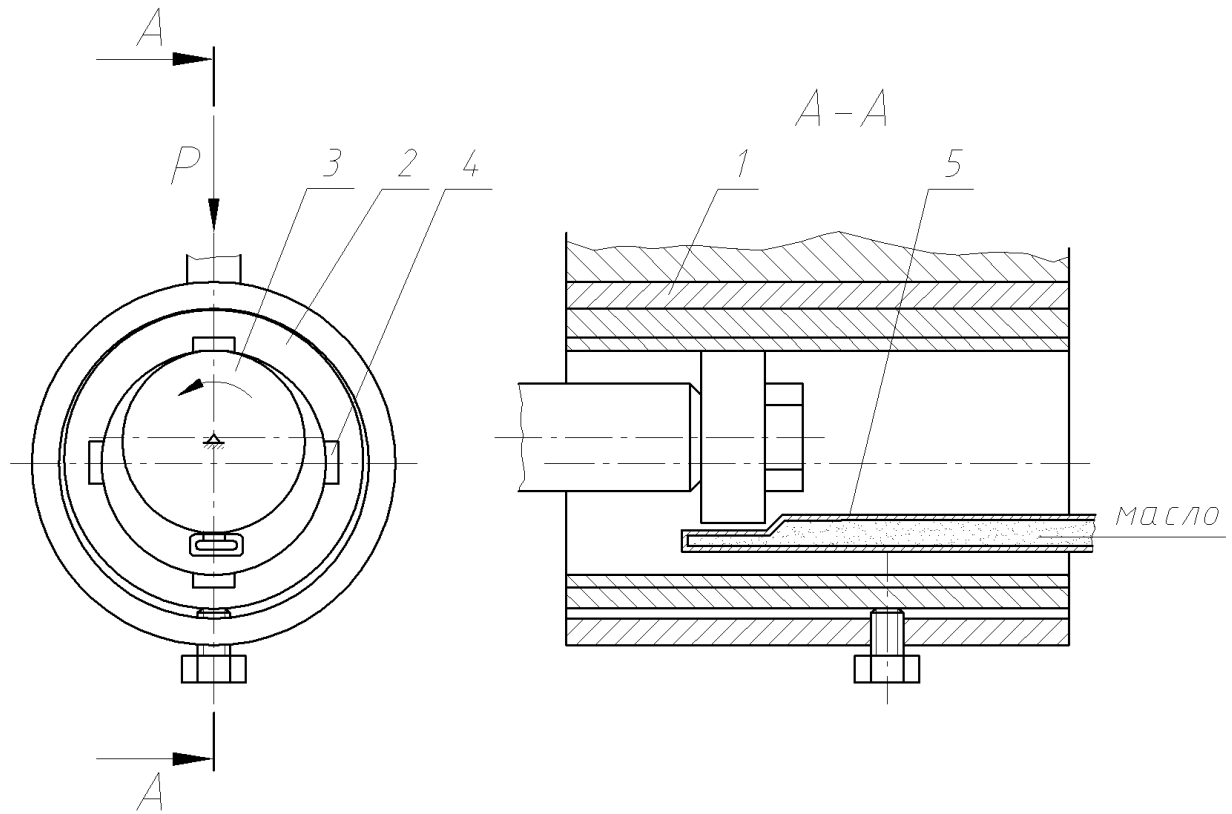


Рисунок 3.2 Схема робочого вузла машини тертя СМЦ-2:

1 – обойма; 2 – втулка; 3 – контртіло; 4 – зразки циліндрів; 5 – трубка

При хонінгуванні негартованих циліндрів із перлітного та аустенітного чавунів період припрацювання менший відповідно в 1,9 і 2,3 рази у порівнянні із гартованими циліндрами із мартенситною структурою. Різняться гартовані та негартовані циліндри по задиростійкості. Одержані на машині тертя СМЦ 2 триботехнічні характеристики циліндрів із різною структурою чавуну приведені в таблиці 3.2. При дослідженні негартованих циліндрів коефіцієнт тертя в 1,2...1,3 рази нижчий у порівнянні із гартованими циліндрами. Одже задиростійкість та зносостійкість є протилежними експлуатаційними властивостями чавуну.

Таблиця 3.2 Триботехнічні властивості матеріалів гільз циліндрів та їх зразків

Структура і твердість чавуну	Триботехнічні властивості зразків на машині тертя			Зносостійкість		
	Час до припра- цювання, хв	Задиросійкість, с	Коефіцієнт тертя, f	На машині тертя, Інн 10^{-9} , мкм/цикл	Після коротко- часної обкатки двигуна, мкм/г	Після повної обкатки двигуна, мкм/г
Перлітна НВ 190...210	$\frac{12}{6}_1$	$\frac{18}{36}_1$	$\frac{0,70}{0,55}_1$	$\frac{10,8}{7,9}_1$	$\frac{1,86}{1,40}_2$	$\frac{0,08}{0,07}_2$
Аустенітна НВ 147...197	$\frac{10}{5}_1$	$\frac{19}{40}_1$	$\frac{0,65}{0,50}_1$	$\frac{5,9}{3,4}_1$	$\frac{1,80}{1,30}_2$	$\frac{0,08}{0,06}_2$
Мартенситна HRC 40...45 (НВ400...460)	$\frac{23}{10}_1$	$\frac{10}{35}_1$	$\frac{0,80}{0,50}_1$	$\frac{4,2}{3,7}_1$	$\frac{1,30}{1,00}_2$	$\frac{0,09}{0,04}_2$

Як показали дослідження на машині тертя СМЦ 2 зразків гільз циліндрів із перлітного та аустенітного чавунів після хонінгування їхня зносостійкість у 2,5 і 1,5 рази нижча як зразків гартованих циліндрів. Відомо, що величина зносу гільз циліндрів та верхніх поршневих кілець після короткочасної технологічної обкатки двигуна суттєво залежить від структури чавуну циліндра та параметру мікротвердості (табл. 3.2.) . Збільшення мікротвердості чавуну призводить до зниження величини зносу гільз циліндрів та верхніх поршневих кілець.

Аналіз одержаних результатів показує, що під час короткочасної обкатки двигуна прогнозувати задирос- і зносостійкість гільз циліндрів можна на відповідних машинах тертя. Повне обкатування двигуна призводить до зростання зносостійкості гільз циліндрів відповідно із перлітною, аустенітною та мартенситною структурами відповідно 23,5, 22,5 14,4 рази у порівнянні із короткочасною обкаткою (таблиця 3.2).

Підвищення мікротвердості та зносостійкості призводить до значної

трансформації структури перлітного та аустенітного чавунів гільз циліндрів. Внаслідок технологічної обкатки двигуна збільшується зносостійкість верхніх поршневих кілець у 20, 22, 25 для гільз циліндрів виготовлених із чавунів із перлітною, аустенітною та мартенситною структурами. Зносостійкість верхніх поршневих кілець гільз циліндрів із чавуну з мартенситною структурою вища в 1,75 і 1,5 рази у порівнянні із перлітною та аустенітною структурами чавуну.

В таблиці 3.3 приведені результати дослідження інтенсивності зношування робочих поверхонь гільз циліндрів в залежності від марки чавуну.

Таблиця 3.3 Показник зносу гільз циліндрів після першої обкатки двигуна вантажного автомобіля

Структура чавуну циліндрів	Знос циліндрів за повну обкатку двигуна, мкм	Ресурс циліндрів до капітального ремонту, мкм	Доля зносу циліндрів після обкатки двигуна, %
Перлітна	10,5	150	7,0
Аустенітна	5.6	150	3,7
Мартен ситна	6.4	150	4,3

Видно, що величини зносу циліндрів із різних чавунів після повної технологічної обкатки двигуна складає 3,7...7,0% від загального ресурсу до капітального ремонту. По результатах проведених досліджень основних характеристик структури чавунів гільз циліндрів встановлено вплив їх складових на параметри задиро- та зносостійкості (рисунок 3.3). Аналіз одержаних результатів підтвердив наступні висновки: параметри задиро- та зносостійкості гільз циліндрів є протилежними експлуатаційними характеристиками структури чавунів в процесі експлуатації; короткочасна

технологічна обкатка двигунів автомобілів характеризується впливом вихідної мікротвердості матеріалів чавунів на задиро- та зносостійкість гільз циліндрів. Спрогнозувати вплив даних параметрів можна при випробуванні зразків гільз циліндрів на відповідних машинах тертя (машина тертя СМЦ-2). Початок технологічної обкатки характеризується трансформацією вихідної структури чавуну від дії температури, пластичної деформації при русі поршня із кільцями по робочій поверхні гільзи; при повній технологічній обкатці двигуна автомобіля зносостійкість деталей циліндро-поршневої групи визначається схильністю вихідної мікроструктури чавуну гільз циліндрів до трансформації в період експлуатації автомобіля; зносостійкість чавуну гільз циліндрів залежить від структури чавуну, а зносостійкість поршневих кілець від твердості матеріалу.

3.2 Вплив припрацьовуючих покриттів гільз циліндрів

Для вивчення впливу припрацьовуючого покриття циліндра на задиро- і зносостійкість циліндро-поршневої групи необхідно було дослідити фізико-хімічні і триботехнічні властивості поверхневого шару циліндра після таких операцій: хонінгування; нанесення припрацьовуючих покриттів; короткочасної і повної обкатки двигуна.

Для визначення цих властивостей використовувалися структурно-енергетичні методи, які ґрунтуються на комплексних дослідженнях з допомогою електронної мікроскопії, мікрорентгеноспектрального і рентгеноструктурного аналізів та фотоелектронної спектроскопії.

Рентгеноструктурні дослідження проводились за методикою, яка описана в роботі.

Дослідження залишкових напружень І-роду в циліндрах і у верхніх поршневих кільцях проводились з використанням методу шарового електролітичного травлення поверхневих шарів із кільцевих зразків з безперервним записуванням деформації. Ця методика дає

можливість одержати розподіл окружних залишкових напружень по перерізу зразка. Із циліндра вирізають зразок (кільце) шириною 10 мм (рис. 3.4), вимірюють його розміри, розрізають по твірній і вимірюють при цьому зміни діаметра. В процесі електролітичного травлення внаслідок послідовного зняття шарів металу з залишковими напруженнями здійснюється деформація зразка, яка безперервно записується у вигляді кривої лінії за часом. Дослідження залишкових напружень проводилося на пристосуванні, зображеному на рис. 3.5. Зразок 1 закріплюється в державці 2 таким чином, щоб лапка 3 доторкалась до пружної пластинки з тензорезисторами 4. В такому положенні зразок опускають у ванну 6 з електролітом. Він служить одним електродом (анодом), а другим електродом (катодом) служить армований металом півциліндр із діелектрика 5. Для електролітичного травлення використовується джерело постійного струму, яке стабілізується по струму. Деформація зразка безперервно реєструється електросхемою, розробленою на базі самописця (рис.3.6). В процесі травлення шарів металу з залишковим напруженням зразок, деформуючись, діє на пружний елемент з тензорезисторами. Тензорезистори R_p і R_k , змінюючи свій опір, розбалансовують місток. Різниця потенціалів на діагоналі розбалансованого містка підсилюється підсилювачем У і приводить в дію електродвигун РД-09. Перо самописця, механічно зв'язане з електродвигуном, фіксує деформацію зразка. За допомогою резисторів R_c і R_m встановлюється умовний нуль самописця.

Тарировка приладу для визначення деформації кільцевого зразка здійснювалася на пристосуванні, яке дозволяє жорстко закріпити зразок і розтиснути його по діаметру з одночасною фіксацією деформацій на приладі з мікрометричною голівкою (рис. 3.7).

Розрахунок напружень по деформації і товщині знятого шару металу з врахуванням розмірів зразка проводився на ЕОМ.

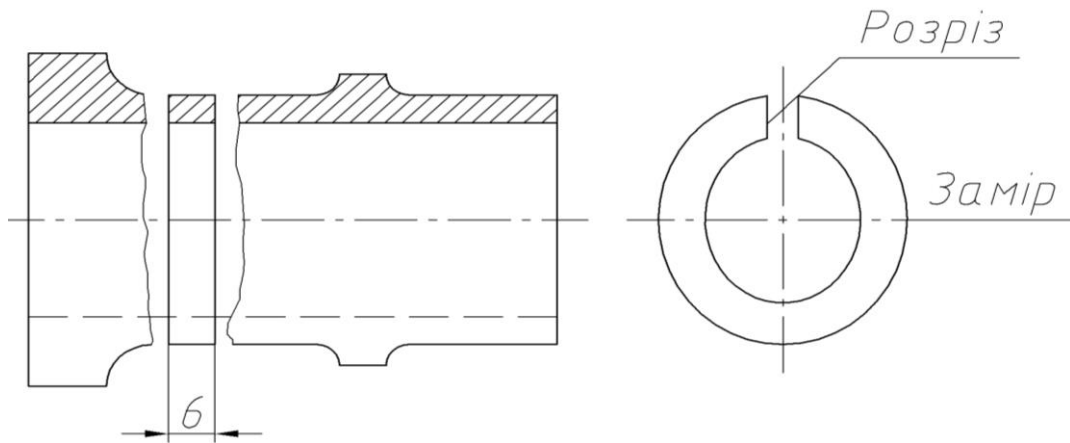


Рисунок 3.4 Загальний вигляд зразка гільзи циліндра.

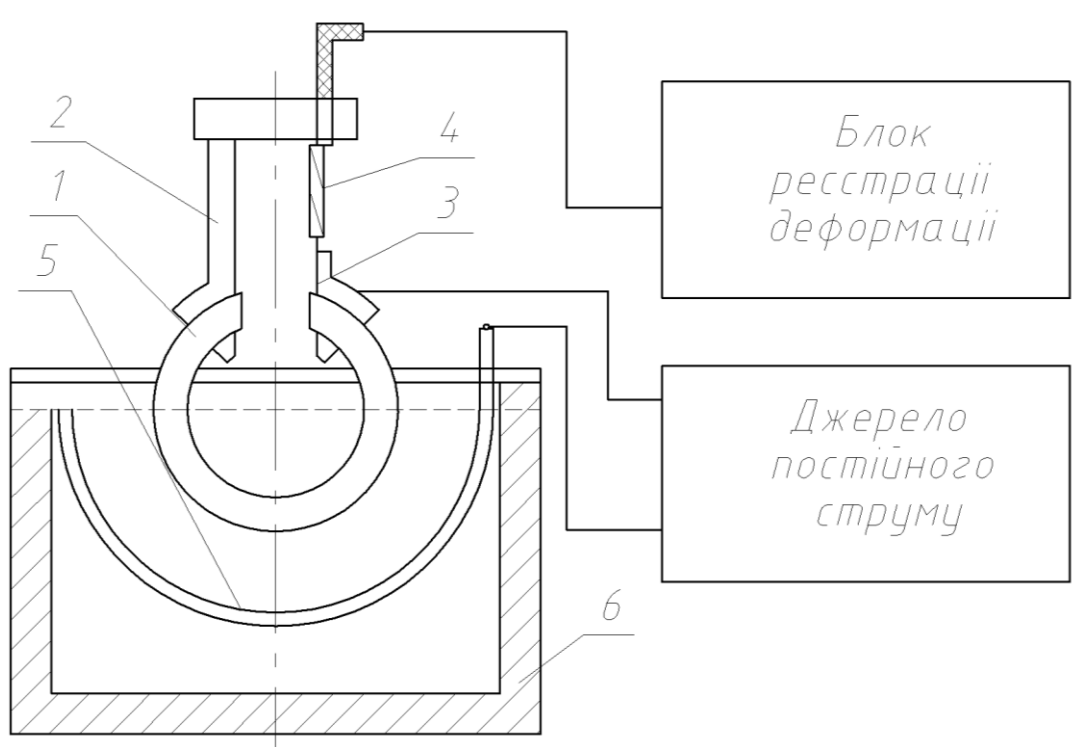


Рисунок 3.5 Схема установки для дослідження залишкових напружень в кільцевих зразках:

1 – зразок; 2 – держак; 3 – лапка; 4 – пружна пластинка з тензорезисторами; 5 – катод із діелектрика; б – ванна.

Порядок підготовки дослідного зразка гільзи циліндра до лабораторних досліджень на машині тертя СМЦ-2: одержане кільце відповідно розмічають та розрізають по твірній; заміряють геометричні параметри одержаного зразка; робочі поверхні зразка обезжирюють для подальшого їх протравлення з

використанням електроліту із 100г NaCl і 50г ZnSO₄ на літр води. Величина зносу дослідного зразка визначалася ваговим методом.

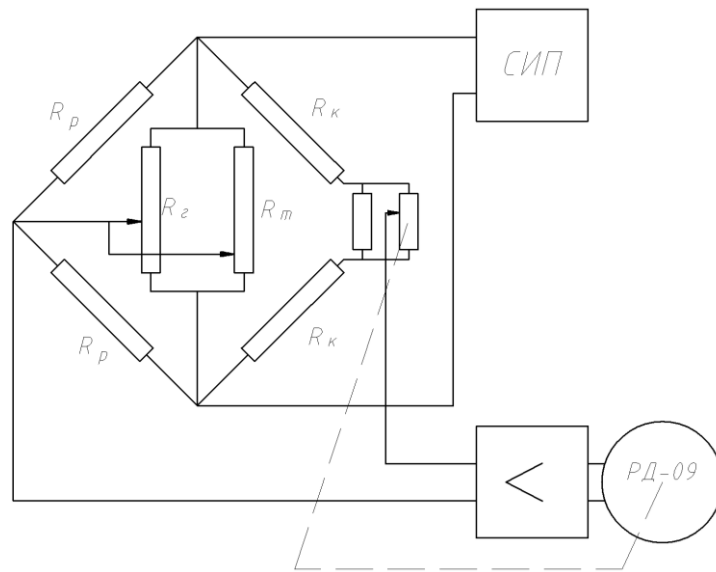


Рисунок 3.6 Принципова електрична схема вимірювального приладу для дослідження залишкових напружень в матеріалі гільзи циліндра.

R_p і R_k – характеристики тензорезисторів; R_2 і R_m – використовувані резистори; РД-09 – тип електродвигуна; СИП – чотирьох каналний самописець.

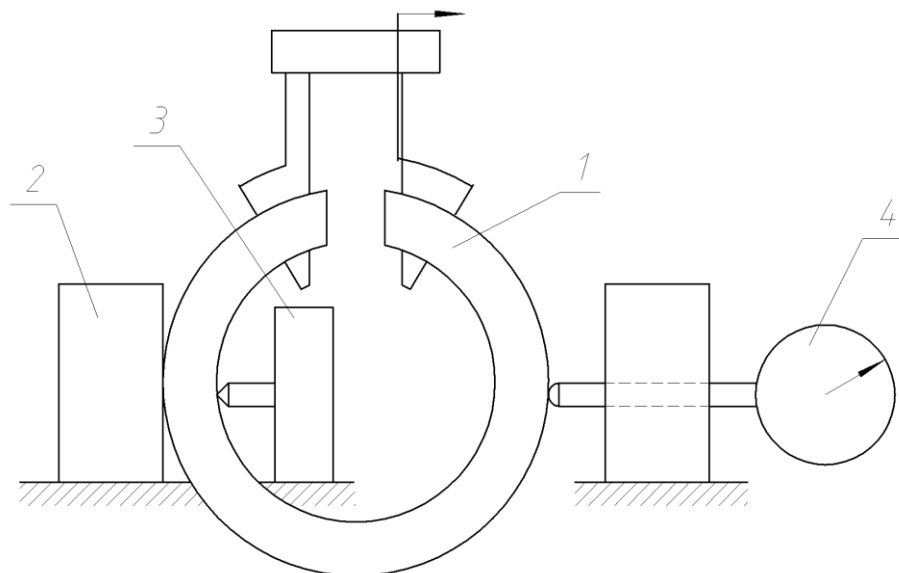


Рисунок 3.7 Принципова схема пристосування для тарировки:

1 – дослідний зразок; 2 – корпус пристосування ; 3 – пристрій для затиску зразка; 4 – індикатор мікрометричного типу.

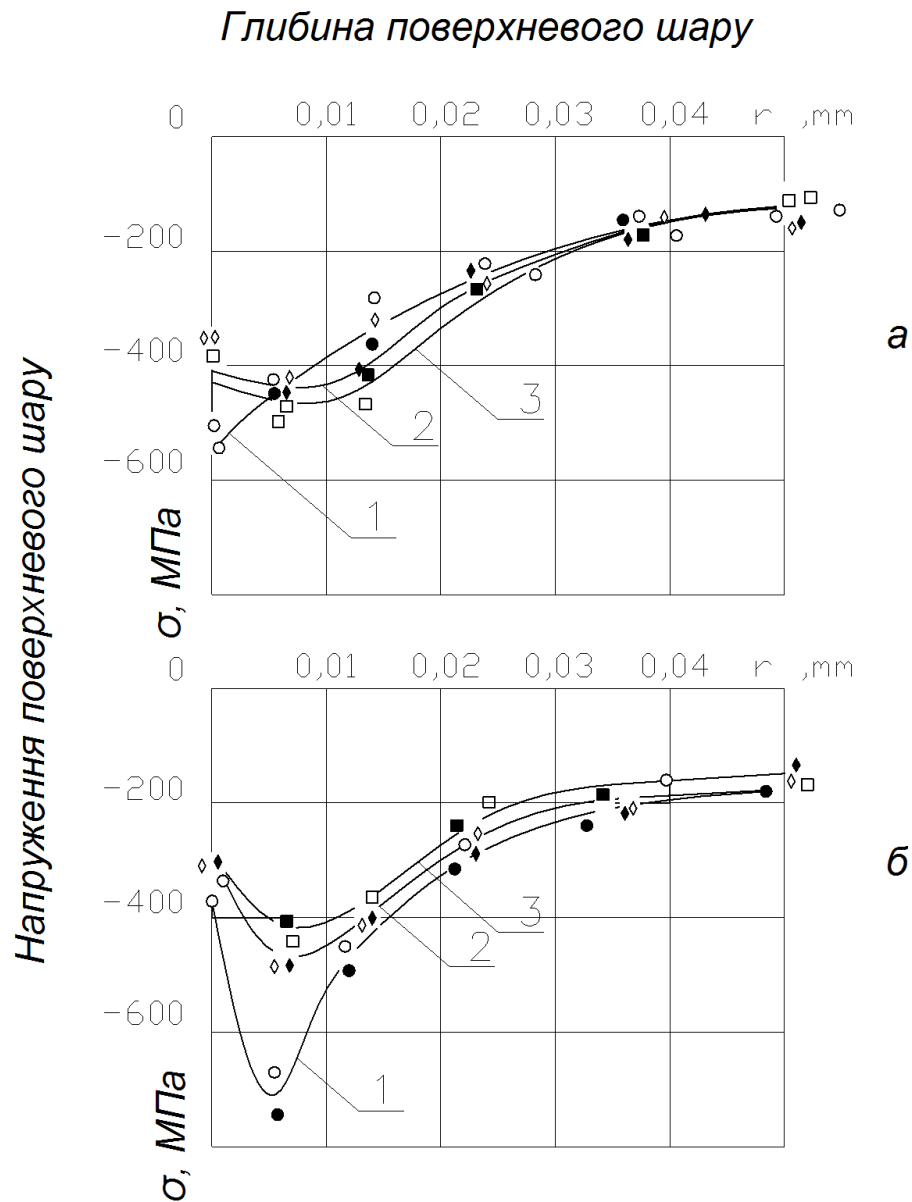


Рисунок 3.8 Характер розподілу залишкових напружень в поверхневих шарах матеріалу гільз циліндрів для різних технологічних операцій поверхні (а) та після повної обкатки (б) дизельного двигуна:

1 – режим плоско вершинного хонінгування; 2 – комплексна механохімічна обробка поверхонь гільз; 3 – хімічна обробка поверхонь гільз.

В якості досліджуваних зразків використовувались гільзи циліндрів виготовлених із перлітних чавунів (НВ197...217). Характер напруженого стану матеріалу гільз циліндрів негартованих відповідно після процесу хонінгування та нанесення різних припрацьовуючи покриттів після

завершення обкатки двигуна показано на рисунку 3.8.

При обробці технологічної поверхні (1) гільзи циліндра відповідно лезовим інструментом та хонінгувальною головкою відбувається пружно-пластична деформація поверхневих шарів матеріалу. При цьому залишкові напруження на глибині 0,005мм у порівнянні із 0,05мм в 3,5...4,5 рази більші.

Суттєве зниження поверхневих напружень в поверхневому шарі матеріалу відбувається внаслідок розтравлення металічної основи, при нанесенні на поверхні відповідного припрацьовуючого покриття механічним (2), або хімічним (3) способами. Величина знижування складає відповідно 1,75 і 1,50 раз. Характер даних змін показано на рисунку 3.8б. Зміна напруженого стану в поверхневих шарах матеріалів гільз циліндрів, під час обкатки двигуна, зумовлені роботою пари тертя циліндро-поршневої групи. При використанні гільз циліндрів, де не використовувалось припрацьовуюче покриття, характер напруження в поверхневому шарі матеріалу знизився в півтора рази у порівнянні із відповідним напруженням після обробки хонінгуванням. У випадку, коли використовувалось припрацьовуюче покриття поверхонь гільз циліндрів, відповідне напруження в поверхневих шарах матеріалу незначно зросло.

Висновок – при обкатці двигуна автомобіля з використанням гільз циліндрів без покриття величина зносу рівна величині деформованого шару, який утворився після певної механічної обробки. Величина деформованого шару приблизно рівна глибині розтравленого поверхневого шару матеріалу гільзи циліндрів з припрацьовуючим покриттям. Після зношування припрацьовуючого покриття, поверхні гільзи циліндра відбувається процес суттєвого зміцнення поверхневого шару внаслідок дії пластичних деформацій, які виникають в процесі тертя та зношування деталей циліндро-поршневої групи двигуна автомобіля. Використовувались циліндри укомплектовані верхніми поршневими кільцями покритих твердим полірованим хромом.

При шаржуванні робочої поверхні досліджуваній циліндр із плосковершинним профілем закріплювався на хонінгувальному верстаті, хонінгувальна головка якого укомплектована твердосплавними підпружиненими брусками-притирами в кількості 12 штук (рис. 3.9). В процесі шаржування хонінгувальна головка здійснює, як обертовий так і зворотно-поступальний рух відносно гільзи циліндра. Параметри режимів обробки: швидкість обертання хонінгувальної головки – 160 хв^{-1} , швидкість зворотно-поступального руху – 40 под.ходів/хв, величина зусилля притискання притирів – 0,8...1,2 МПа. На початку роботи в робочу зону подається абразивна суспензія (карбід кремнію – 55...82%, карбід бору – 3...10%) при зернистості 60...80 мкм одночасно із спеціальним мінеральним маслом. Роль масла полягає в тому, що необхідно забезпечити утримування карбідів в суспензії і запобігти їх осіданню на дно ємкості.

Внаслідок силового притискання брусків-притирів до поверхні гільзи циліндра зерна абразиву закріплювались на ній. Середня тривалість процесу шаржування однієї гільзи циліндра складає близько 12с. В подальшому з робочої поверхні гільзи циліндра знімається залишок суспензії при допомозі твердосплавних кілець, які змонтовані на хонінгувальній головці впродовж 30с, при цьому здійснювався тільки зворотно-поступальний рух головки без подачі суспензії. Дана технологічна операція забезпечує очищення поверхні гільзи циліндра від залишків суспензії, а також вільних абразивних частинок.

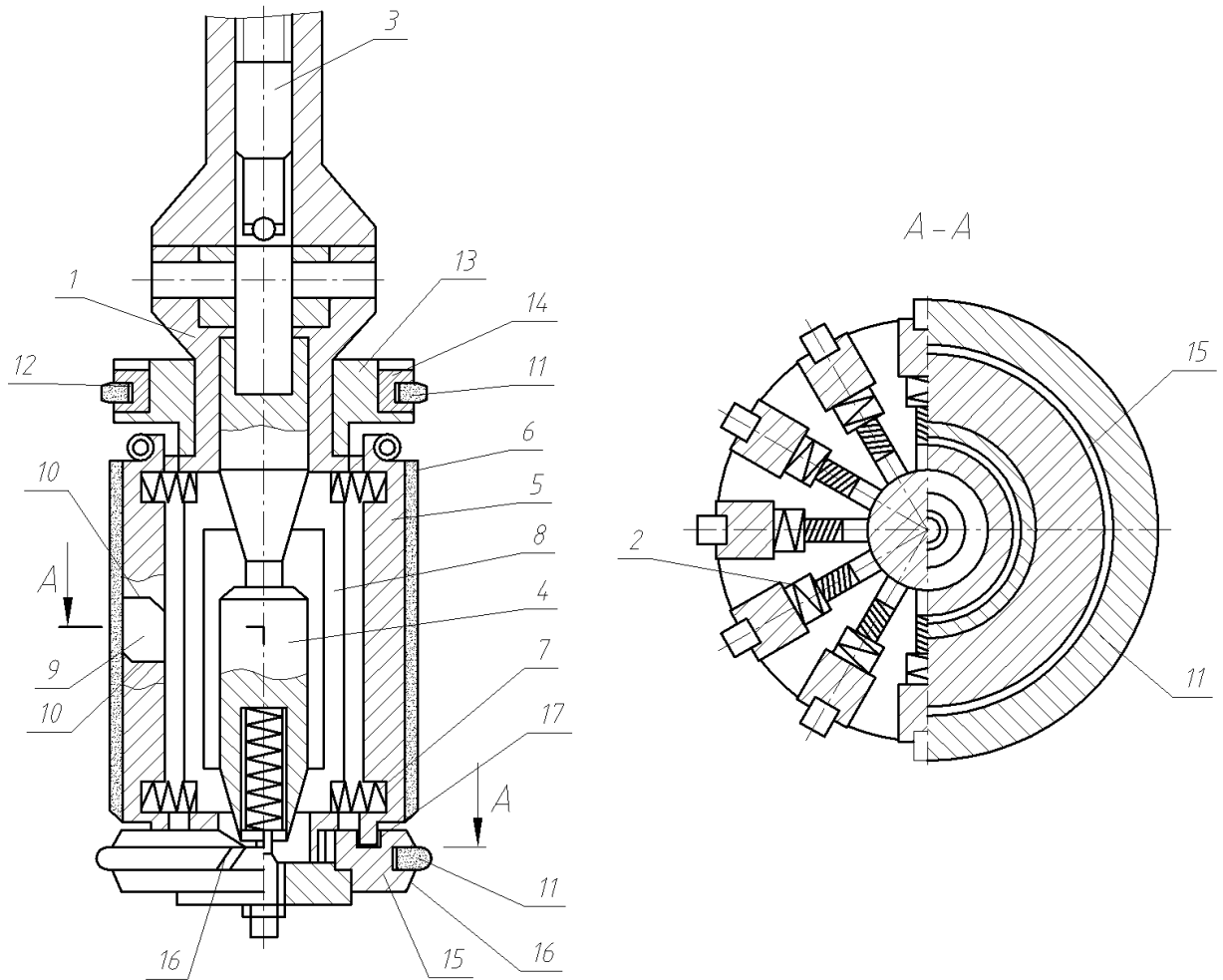


Рисунок 3.9 Конструкція хонінгувальної головки для шаржування поверхонь гільз циліндрів:

1 – корпус хонінгувальної головки; 2 – направляючі пази; 3 – силовий шток; 4 – напрямний конус; 5 – тормозні колодки, 6 – робочі бруски-притири; 7 – силові пружини; 8 – штовхачі; 9 – напрямна штовхача; 10 – зрізи; 11 – ущільнення кільцевих притирів; 12 – направляючі пази; 13 – напівкільця; 14 – робочий скребок; 15 – паз; 16 – конус; 17 – контурна виточка.

Перший етап шаржування характеризується значною площею гільзи циліндра (35...75%), яка не вкрита абразивним матеріалом. Технологічно абразивні зерна, які закріпились в поверхневому шарі матеріалу циліндра згладжуються та закруглюються для зменшення абразивного зношення поршневих кілець. З метою збільшення глибини залягання та площі накриття карбідів на поверхні гільзи циліндра здійснюється наступний етап

шаржування з використання карбідів кремнію і бору (зернистість 30...45мкм), при нижчих режимах обробки у порівнянні із першим етапом, з метою запобігання зниження міцнісних характеристик поверхневих шарів гільзи циліндра.

Завершальним етапом обробки гільзи циліндра являється полірування її робочої поверхні еластичними алмазними брусками, із зернистістю алмазів на 1...3 номери нижче від зернистості абразиву, який використовувався при шаржуванні.

3.4 Дослідження і вибір основних параметрів з рівним профілем технологічної поверхні циліндра

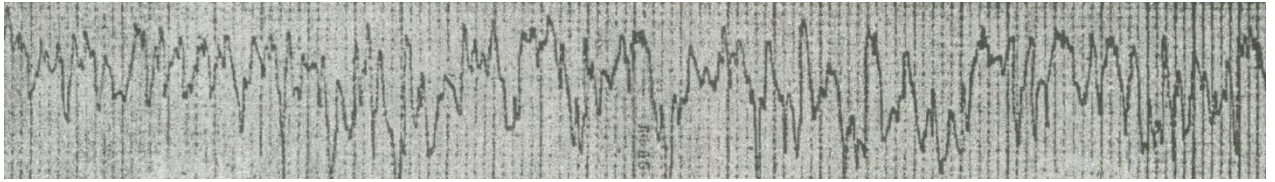
За рахунок збільшення маслоємності верхнього та нижнього ярусу технологічних профілів робочої поверхні гільзи циліндрів за рахунок форсування дизельного двигуна (підвищення літрової потужності більше 20 кВт/л відбувається надійне припрацювання гільз циліндрів та поршневих кілець. При рівновершинному хонінгуванні одержуються рівновершинний профіль, який не має явно виражених площадок (рис. 3.10).

Основні параметри профілограм на рис. 3.10 подані в таблиці 3.4

Таблиця 3.4 Основні параметри профілограф поверхні гільзи циліндра.

Основні параметри	Числове значення основних параметрів профілограм	
	<i>a</i>	<i>б</i>
Кут хонінгування циліндра, град.;	60	60
Відносна довжина профілю <i>B</i> , %	50	60
Середня глибина впадин <i>C</i> , мкм	3,6	3,12
Середня глибина рисок на плато <i>A</i> , мкм	1,60	1,12

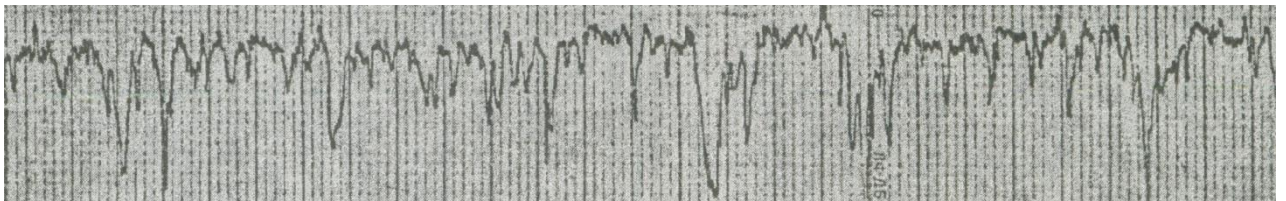
Шорсткість поверхні R_a , мкм	0,74	0,68
Питома масло ємність поверхні V_0 , мм ³ /мм ²	0,05	0,035



а

ВЗ = 5000

ГЗ = 100



б

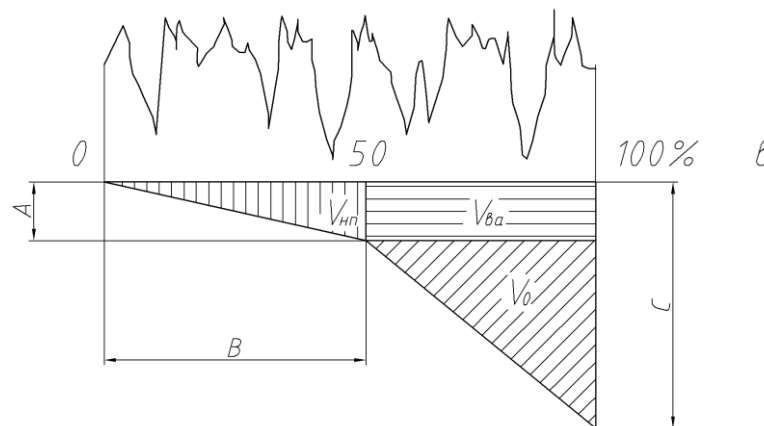


Рисунок 3.10 Плофілограми з рівним профілем (а і б) і схема (в) розрахунку основних його параметрів

Для створення такого профілю поверхні циліндра розроблена спеціальна технологія з рівним профілем хонінгування, яка має багато спільного з технологією плосковершинного.

Відмінність технології з рівним профілем хонінгування полягає в тому, що на основному хонінгуванні досягаються не лише необхідні геометричні розміри внутрішнього діаметра циліндра, але і формується профіль із маслорозподільних рисок і маслоутримуючих впадин одночасного різання металу грубозернистими і дрібнозернистими

алмазними брусками, які чергуються в головці. Різання металу здійснюється при тиску в гідравлічній системі розтискування брусків 1,2...1,8 МПа), швидкості обертання головки 80...120 хв⁻¹ і зворотно-поступального руху 40...50 подвійних ходів за хвилину.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників та заходів щодо забезпечення умов охорони праці

Технічне обслуговування та ремонт автомобілів виконуються, як правило, в приміщеннях, в призначених для цього місцях (на постах), обладнаних необхідними для виконання робіт пристроями (оглядовими канавами, естакадами, підйомниками та інш.), а також підйомнотранспортними механізмами, приладами, пристосуваннями і інвентарем. Розташування робочих місць в приміщенні технічного обслуговування автомобілів повинне виключити можливість наїздів транспортних засобів на робочий персонал. Канави і естакади повинні мати направляючі запобіжні реборди для запобігання можливості падіння автомобіля в канаву або з естакади під час його пересування. Майданчики естакад, на яких працюють робочі, повинні надійно захищатися поручнями. У приміщеннях для обслуговування автомобілів забороняється залишати порожню тару з-під палива і змащувальних матеріалів. Після закінчення кожної зміни і після виходу автомобілів на лінію необхідно прибирати з приміщень і оглядових канав сміття, відходи і т.п. Розлите масло або паливо необхідно негайно видаляти за допомогою піску або тирси, яка після вживання слід сипати в металеві ящики з кришками, встановлені зовні приміщення. Використані обтиральні матеріали повинні бути прибрані в металеві ящики з щільними кришками. Відпрацьоване масло дозволяється зберігати поза приміщеннями в залізних бочках, або в спеціальному вогнестійкому приміщенні. Дільниці для технічного обслуговування автомобілів і агрегатів повинні забезпечувати нормальні санітарні умови праці. До напряму на пости технічного обслуговування або ремонту автомобілі миють і очищають від грязі та снігу. Забороняється піднімати (навіть короткочасно) вантажі масою, більшою, ніж це вказано для даного

підйомного механізму. Забороняється знімати, 40 встановлювати і транспортувати агрегати при тому, що зачалоє їх пресом і канатами без спеціальних захоплень. Візки для транспортування повинні мати стійкі і упори, що оберігають агрегати об падіння і мимовільного переміщення по платформі. До зняття двигуна, коробки передач, заднього моста, радіатора і інших агрегатів і деталей, пов'язаних з системою охолодження і мастила автомобіля, обов'язковий попередній злив масла і води в спеціальну тару. Інструменти і пристосування для технічного обслуговування і ремонту машин повинні бути виправленими і відповідати своєму призначенню. Категорично заборонено користуватися несправними інструментами і пристосуваннями. Робоче місце слюсаря повинне міститися в чистоті і не захарашуватися деталями. Слюсарні верстаки повинні мати жорстку і міцну конструкцію і бути досить стійкими, для захисту слюсарюючи від відлітаючих осколків металу, інструменту, що зірвався, і т.п. з сусіднього робочого поста необхідно встановлювати на верстаках розділові сітки, що мають висоту не меншого 1 м. При роботі на бетонній підлозі слід користуватися дерев'яними настилами або ґратами. Рукоятки молотків і кувалд повинні бути гладкими, овальними і виготовлені з міцних і в'язких порід дерева. Напильники, шабери, викрутки, ножівки і інший ручний інструмент із заДСТУреним неробочим кінцем повинні бути міцно закріплені в гладкій, рівній зачищеній рукоятці. Ударні інструменти (зубила, просічення, керни і т.п.) не повинні мати скошених або збитих потилиць, задирка, вм'ятин, тріщин і наклепань. При роботі зубилом і іншими подібними інструментами необхідно користуватися захисними окулярами. Довжина зубила, борідка, керна не повинна бути менше 150 мм. Гайкові ключі повинні строго відповідати розмірам гайок і болтів і не мати вироблення зіву, тріщин, забоїн та задир. Слюсарні лещата повинні мати справні губки і затискний гвинт. Губки повинні мати неспрацьовану насічку. При роботі пневматичним інструментом подавати повітря дозволяється тільки після того, як інструмент встановлений в робоче положення. Шланги

41 повинні бути справними, кріплення їх до інструменту і трубопроводу повинно бути виконано способом, що не допускає зриву шланга тиском повітря. Ручні пневматичні інструменти повинні бути обладнані ефективними глушниками шуму і випуску стислого повітря. Всі електричний інструмент повинен зберігатися в інструментальній коморі і видаватися робочим тільки після попередньої перевірки спільно із захисними пристосуваннями. Приєднання електричного інструменту до електромережі вирішується тільки за допомогою штепсельних з'єднань. Електричні інструменти, що працюють при напрузі зверху 36 В, повинні мати штепсельні з'єднання з контактами примусового і випереджаючого включення заземлюючого дроту. Перевірка відсутності замикання на корпусі і стану ізоляції проводів, відсутність обриву заземлюючого дроту повинна проводитися мегаметром не рідше 1 раз на місяць спеціально виділеними працівниками. До роботи з електричним інструментом допускаються особи, що пройшли спеціальне навчання і інструктаж по техніці безпеки. Для усунення небезпеки поразки людей електричним струмом при дотику до металевих частин електроустаткування, що не входять в електричний ланцюг, які можуть опинитися під напругою в результаті пошкодження електричної ізоляції, металоконструкції, корпусу електродвигунів, кожуха апаратів і т.п. повинні бути заземлені. Заходи пожежної безпеки. Всі працівники зони ТО та ПР повинні бути ознайомлені з правилами пожежної безпеки, як із загальними, так і з властивими зони ТО-1. В зоні ТО-1 забороняється: – користуватися відкритим вогнем; – берегти замаслене дрантя; – заборонено куріння в зоні ТО-1. Зону ТО необхідно забезпечити протипожежними засобами по існуючих нормах (пожежні щити, ящики з піском, вогнегасники). Необхідно скласти план протипожежних заходів, в якому передбачають: – порядок сповіщення; – обов'язки кожного працівника; 42 – час проведення лекцій і інших протипожежних заходів; – відповідальних за ці заходи. Всі приміщення ТО повинні міститися в чистоті. Використані обтиральні засоби збирають в спеціальні металеві ящики. Зварювальні і

ковальські роботи слід проводити в спеціально обладнаних приміщеннях. Протипожежні щити повинні бути укомплектовані лопатами, баграми, сокирами, відрами. Запас води у водоймищі завжди повинен бути в достатній кількості і її використання дозволяється тільки в цілях гасіння пожежі. В зоні ТО також забороняється захарашувати проходи і проїзди, встановлювати в зону автомобілі понад нормативну кількість. По ступеню пожежної безпеки зона ТО-1 відноситься до категорії В. На території стоянки автомобілів не можна виконувати роботи із застосуванням відкритого полум'я, зарядку акумуляторних батарей, берегти паливо або тару з-під нього. Водій повинен ретельно стежити за справністю електроустаткування і стежити за герметичністю паливо проводів. При загорянні автомобіля його необхідно негайно видалити із зони стоянки і вжити заходів до гасіння полум'я. Для гасіння пожежі потрібно застосовувати густо пінний або углекислотний вогнегасник, пісок або покрити вогнище пожежі щільним матеріалом. У разі виникнення пожежі, незалежно від заходів, що вживаються, по його гасінню викликати пожежну частину. Запропоновані заходи по забезпеченню відповідних умов охорони праці для зони ТО-1 автомобілів ГАЗ-2410 дозволяють поліпшити умови праці робочих і забезпечити їх безпеку, а також збереження здоров'я трудящої людини. Крім того, ефективність мір по охороні праці, дає можливість усунути причини виробничого травматизму, професійних захворювань, що відбивається на економічних показниках підприємства, аналізі виробничо-технічної діяльності. 43

4.2 Правила техніки безпеки під час ремонту двигунів

Агрегати, що ремонтуються повинні бути ретельно вимиті і очищені від бруду. Забороняється мити двигун та інші вузли та агрегати бензином, так як це може привести до пожежі. Двигун необхідно мити гарячою водою з мийними розчинами, в які входять їдкий натрій і каустична сода. Для зливу відпрацьованих мастил з картеру двигуна необхідно завчасно підготувати

герметичну посудину достатньої ємності, і підставити її під зливний отвір в картері з таким розрахунком, щоб повністю виключити розбризкування масла. Зливні і заливні пробки потрібно відкручувати тільки призначеними для цього ключами. Демонтаж двигуна і елементів системи охолодження виконується після видалення води з системи. Після зливу води всю систему охолодження потрібно промити чистою гарячою водою. Всі розбирально-складальні роботи, а також регулювальні необхідно виконувати в послідовності вказаній в технологічних картах. Раціональний розподіл робіт зменшує надлишкове переміщення працівника. Розбиральні роботи в основному виконуються з допомогою гайкових ключів. Там, де це можливо, безпечніше користуватись накидними і торцевими ключами, які краще тримаються на гайках або головках болтів і зручні в роботі. При відкручуванні і закручуванні гайок або болтів в важкодоступних місцях, при обмеженому куті можливого повороту ключа доцільно користуватись ключами з храповим механізмом. Вони уникають необхідності знімати і встановлювати головку ключа на болт або гайку після кожного повороту. При роботі в незручному положенні, потрібно особливу увагу звертати на вірне встановлення ключа на гайку, головку блока. Падаючий інструмент може нанести травму. Не можна збільшувати довжину ключа іншим ключем або трубою. Якщо гайка заржавіла і її неможливо відкрутити ключем, необхідно спочатку постукати по гранях гайки молотком, змочити її гасом, закрутити на $\frac{1}{4}$ оберту, а потім помалу відкручувати. 44 Агрегати і вузли, які мають значну масу необхідно знімати, транспортувати і встановлювати за допомогою підйомно-транспортних засобів. Виконувати таку роботу необхідно при допомозі інших осіб. При збиранні агрегатів і вузлів не можна перевіряти спів падання отворів в з'єднаних деталях пальцем руки, так як не велике зміщення може привести до травми. Це виконують металевим стержнем.

4.3 Розосередження робітників та службовців підприємства під час надзвичайної ситуації військового часу

Розосередження називається організований вивіз (вивід) і розміщення в приміській зоні працюючих і службовців підприємства. Працюючі і службовці, які були розосереджені, після вивозу і розселення в приміській позмінно в'їжджають в місто для роботи на своїх підприємствах, а по закінченні зміни повертаються в приміську зону. Приміською зоною в даному випадку називається територія за межами зон можливих руйнувань, призначена для міст і важливих об'єктів, розміщених за межами цих міст. Евакуацією називається організований вивіз робітників та службовців підприємства, яке припиняє або переносить свою діяльність в приміську зону із зон можливих сильних руйнувань міст і важливих об'єктів, розміщення за межами цих міст. В умовах небезпеки нападу ворога особливо велике значення мають строки евакуації людей за межі зон можливих руйнувань. В найбільш стислі терміни евакуацію можна провести комбінованим способом. Комбінований метод евакуації заключається в тому, що при його застосуванні масовий вивід населення із міст пішим порядком поєднується з вивозом деяких категорій населення всіма видами наявного транспорту. Транспорт вивозяться робочі зміни підприємств, які продовжують виробничу діяльність в містах, населення яке не може переміщатися пішим порядком. Решта населення виводиться організовано пішим порядком. Робочі зміни виводяться, щоб забезпечити безперервність процесу виробництва підприємств, які продовжують виробництво в містах, а 45 формування - щоб підтримати їх в готовності до негайного ведення рятувальних робіт. Першим виводяться робітники та службовці підприємств, організацій та установ згідно з розробленим планом та населення, яке не зайняте у виробництві. До цього населення можна віднести непрацюючих членів сімей, учнів шкіл, студентів та інше населення, яке в змозі евакуювати негайно. При недостатній кількості транспортних засобів частина працюючих змін також

може виводитися в першу чергу із членами їхніх сімей. Розосередження і евакуація населення комбінованим методом здійснюється згідно територіально-виробничого принципу. Це означає, що вивід у приміську зону організовується підприємствами, організаціями та навчальними закладами. Інше населення евакуюється, як правило, через ЖЕКи по місцю проживання. При цьому населення, яке евакуюється в ближні від міста райони приміської зони, виводиться в першу чергу безпосередньо у відведені йому місця для розселення, а те населення, що евакуюється у віддалені райони. Евакуація населення, не зв'язаного з підприємствами, установами та навчальними закладами, приводиться згідно з територіальним принципом: населення одного району міста розселяється на території одного або декількох прилеглих сільських районів. Робітники та службовці об'єктів народного господарства, які переносять свою виробничу діяльність, розміщуються поблизу створених виробничих баз, за районами розміщення робітників та службовців робітників та службовців підприємств, які продовжують діяльність в місті. Населення, яке не зв'язане з виробничою діяльністю і не являється членами сімей розосереджених робітників та службовців, розміщуються в більш віддалених районах приміської зони, а населення, що евакуйоване із зон можливого затоплення, - в населених пунктах, що знаходяться поблизу цих зон. Для розселення розосереджених і евакуйованих планується використовувати будинки місцевих жителів, а для розміщення установ - туристичні і спортивні бази, школи, будинки культури, санаторії і пансіонати, розміщені в приміській зоні. 46 В результаті, після завершення розосередження і евакуації в місті будуть знаходитись тільки робітники зміни підприємства і організацій, які продовжують свою виробничу діяльність, а це значно скоротить втрати і створить сприятливі умови для виконання завдання з укриття цих змін в захисних спорудах у випадку нападу ворога з повітря. Основний документ, який визначає об'єм, склад, терміни проведення заходів із розосередження та евакуації працюючих підприємства і порядок їх виконання - це план цивільної оборони. Вихідними

даними для планування розосередження та евакуації працюючих підприємства являється: загальна кількість працюючих; кількість населених пунктів у приміській зоні; наявність залізничних, автомобільних шляхів; наявність медичних закладів; наявність і розміщення запасів продуктів; наявність захисних споруд, та інші. Штаб ЦО підприємства одержує вказівку штабу ЦО міста і розробляє план розосередження працюючих. На базі підприємства створюються об'єктова евакуаційна комісія за вказівкою керівника ЦО підприємства. В склад евакуаційної комісії входять представники відділу штабу і служб ЦО підприємства, начальники цехів. Керівником евакуаційної комісії призначається один із замісників директора підприємства. Евакуаційна комісія підприємства займається: – розрахунком кількості працюючих, службовців та членів їхніх сімей, які підлягають розосередженню; – визначенням складу піших колон та уточнення маршрутів; – вирішенням питань транспортного забезпечення; – підготовкою проміжних пунктів евакуації; – організацією зв'язку і взаємозв'язаних дій Розосередження та евакуація проводяться згідно вказівки владних структур. Штаби ЦО підприємств одержують цю вказівку встановленим 47 порядком. Одержавши вказівки, штаби ЦО підприємств разом із евакуаційними комісіями: – уточнюють чисельність працюючих, службовців та членів їхніх сімей; – оповіщають та організують збір працюючих та їхніх сімей; – проводять реєстрацію та посадку на транспорт; – допомагають місцевим органам в районах розосередження та евакуації розміщати населення. Під час розосередження та евакуації повинні бути наступні види забезпечення: транспортне; матеріальне забезпечення; медичне забезпечення; інженерне забезпечення; протирадіаційне забезпечення. Отже, від злагоджених дій евакуаційних комісій, штабів ЦО підприємств, штабів ЦО міст залежить кількість жертв серед працюючих та цивільного населення під час надзвичайної ситуації воєнного характеру. Тому ці служби ЦО завжди повинні знаходитись у працездатному стані, повинні мати необхідне

матеріальне та фінансове забезпечення, адже від стану їхньої готовності залежить хід евакуації та розосередження працюючих

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1: Застосування процесу хонінгування є ефективним способом відновлення та поліпшення якості гільз циліндрів. Він дозволяє досягти більш точної геометрії та гладкості поверхні, що позитивно впливає на роботу двигуна та підвищує його ефективність.

2: Вибір відповідного інструменту та матеріалу для хонінгування гільз циліндрів має велике значення. Правильно підібраний інструмент дозволяє досягти необхідної якості обробки, а використання високоякісних абразивних матеріалів забезпечує довговічність та стабільність процесу.

3: Оптимальна послідовність операцій хонінгування гільз циліндрів включає попередню обробку поверхні, основну фазу хонінгування та післяобробку для досягнення необхідної якості. Правильно вибрана послідовність дозволяє уникнути пошкоджень та забезпечити оптимальну геометрію гільз.

4: Під час процесу хонінгування гільз циліндрів важливо контролювати параметри, такі як тиск, швидкість руху інструменту, концентрація охолоджуючої рідини тощо. Це дозволяє досягти стабільності процесу та отримати якісний результат.

5: Результати дослідження показують, що оптимізація процесу хонінгування гільз циліндрів сприяє поліпшенню якості та тривалості їхньої роботи.

БІБЛІОГРАФІЯ

Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра за освітнім рівнем «бакалавр» галузі знань 27 «Транспорт» спеціальність 274 «Автомобільний транспорт» / Укладачі : О.Л. Ляшук, Ю.І. Пиндус, М.Г. Левкович, А.Б. Гупка, Р.В.Хорошун. – Тернопіль : ФОП «Паляниця В.А.», 2022. – 61 с

2. Техніко – економічне обґрунтування інженерних рішень на СТО та АТП : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Ляшук О.Л., Луциків І.В., Плекан У.М., Клендій В.М. – Тернопіль : Вид – во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 276 с.

3. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Гудь В.З., Левкович М.Г., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. – Тернопіль : Вид – во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 544 с.

4. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Левкович М.Г., Гудь В.З., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. – Тернопіль : Вид – во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 544 с.

5. Sokil, B., Lyashuk, O., Sokil, M., Vovk, Y., Dzyura, V., Aulin, V., Khoroshun, R. Interpreting the main power characteristics choice of the wheel vehicles guided cushioning system (2021) Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, 23 (2), pp. B139-B149. (Scopus).

6. Oleg Lyashuk ,Andrii Gupka, Yuriy Pyndus , Vasily Gupka, Mariia Sipravska, Andrzej Wozniak, Mikola Stashkiv The tribology of the car: Research methodology and evaluation criteria ICCPT 2019: Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference, May 28-29, 2019, Ternopil, Ukraine (ICCP 2019), Ternopil, Ukraine, May 28-29, 2019.

7. О.Л. Ляшук, А.Б. Гупка , В.О. Тесля Експлуатаційні методи підвищення зносостійкості пар тертя автомобіля Інноваційні технології

розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту: Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., 14-15 листоп. 2018 р., м. Кропивницький: зб. наук. матер./ М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. експлуатації та рем. машин.-Кропивницький: ЦНТУ, 2018.-С. 212-217.

8 O. Liashuk O. Livitskyi, V. Aulin , S. Lysenko , A. Hrynkiv, A.Gypka Parameters of the lubrication process during operational wear of the crankshaft bearings of automobile engines Problems of Tribology, V. 27, No 4/106-2022, 69-81.

9. Конспект лекцій (частина I) з дисципліни «Транспортні засоби» для студентів усіх форм навчання першого рівня освіти за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт», 275 «Транспортні технології» галузі знань 27 «Транспорт» / О.Л. Ляшук, Т.Д.Навроцька., Р.Р. Заверуха., Л.М. Слободян., Р.В. Хорошун. – Тернопіль, ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 132 с