



ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА
ЕНЕРГЕТИКИ



КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

КВАЛІФІКАЦІЙНА ДИПЛОМНА РОБОТА

на тему:

«Дослідження шляхів відновлення корінних опор чавунних блоків циліндрів
автомобільних двигунів у ДП «Кіровоградський облавтодор» ВАТ ДАК
«Автомобільні дороги України» філія «Кіровоградська ДЕД» м. Кропивницький»

Виконав:

магістрант групи ТС-23М Юрій РАКУЛЕНКО
(шифр групи) (підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник:

канд. техн. наук, доц. Михайло КРАСОТА
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

«ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри:

канд. техн. наук, доц. Сергій МАГОПЕЦЬ
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2024 р.

Рецензент:

_____, _____
(науковий ступінь, вчене звання) (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)

Галузь знань: 20 «Аграрні науки та продовольство»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

Освітньо-професійна програма: «Технічний сервіс сільськогосподарської техніки»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри «Експлуатація та ремонт машин»

_____ Сергій МАГОПЕЦЬ

«__» _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ**

_____ Ракуленку Юрію Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Дослідження шляхів відновлення корінних опор чавунних блоків циліндрів автомобільних двигунів у ДП «Кіровоградський облавтодор» ВАТ ДАК «Автомобільні дороги України» філія «Кіровоградська ДЕД» м. Кропивницький»

керівник роботи Красота Михайло Віталійович, канд. техн. наук. доц.,

(прізвище, ім'я, по батькові)

(науковий ступінь)

(вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «__» _____ 20__ року

№ _____

2. Строк подання здобувачем роботи «__» _____ 20__ р.

3. Вихідні дані до роботи

матеріали переддипломної практики, літературні джерела наукової інформації, патенти, нормативні акти з технічного обслуговування автомобілів

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

4.1 Розділ 1 Аналіз виробничої діяльності бази дослідницької практики

4.2 Розділ 2 Дослідження за тематикою магістерської роботи

4.3 Розділ 3 Методика експериментальних досліджень

4.4 Розділ 4 Результати експериментальних досліджень

5. Перелік ілюстративного матеріалу комплект

1. Мета, об'єкт та задачі досліджень; 2. Існуючі методи ремонту блоків циліндрів; 3. Методика досліджень; 4. Результати експериментальних досліджень властивостей покриттів; 5. Вибір раціональних параметрів контактного наварювання.

ГРАФІК ВИКОНАННЯ ЕТАПІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

з/п	Назва етапів кваліфікаційної магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	П примітка
	Розділ 1	25.10.2024	
	Розділ 2	15.11.2024	
	Розділ 3	5.12.2024	
	Оформлення ілюстративного матеріалу	15.12.2024	

Магістрант _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис) (ім'я та прізвище)

Реферат

Магістерська робота виконана на базі підприємства ВАТ ДАК «Автомобільні дороги України» ДП «Кіровоградський облавтодор» філії «Кіровоградський райавтодор» м. Кропивницький.

Робота складається з 56 аркушів пояснювальної записки, яка включає 4 розділи, ілюстративний матеріал.

В роботі досліджено конструктивні особливості блоків циліндрів, умови їх експлуатації та дефекти, які блоки отримують в процесі експлуатації

Для вибору ефективної технології відновлення чавунних корінних опор досліджено існуючі методи їх ремонту. Встановлено, що існуючі методи не завжди можливо застосувати для відновлення чавунних блоків циліндрів, зокрема через погані зварювальні властивості чавуну. Основною проблемою при використанні термічних методів є погане зчеплення покриттів з основою та значний термічний вплив, який приводить до деформації опор.

Було запропоновано для відновлення отворів корінних опор метод контактного наварювання порошків через проміжний шар.

Для проведення досліджень підібрано обладнання та матеріали, а також методики експериментальних досліджень.

Результатами досліджень свідчать про можливість підвищення міцності зчеплення до 20% та зниження залишкових напружень до 35 %.

Метою дослідження є розробка наукових та технічних основ відновлення отворів корінних опор чавунних блоків циліндрів двигунів контактним наварюванням порошку.

Об'єкт дослідження – процеси відновлення отворів корінних опор чавунних блоків циліндрів.

Предмет дослідження – зношені поверхні отворів корінних опор чавунних блоків циліндрів автомобільних двигунів.

Зміст

Вступ.....	
1. Аналіз діяльності підприємства бази практики	
2. Аналіз стану питання.....	
2.1 Конструктивні особливості блоків циліндрів автомобільних ДВЗ	
2.2 Особливості застосування у ДВЗ чавунних блоків циліндрів.....	
2.3 Особливості конструкції корінних опор блока циліндрів.....	
2.4 Аналіз сучасних способів ремонту опор чавунних блоків автомобільних ДВЗ.....	
2.5. Розробка методу відновлення опор чавунних блоків автомобільних ДВЗ.....	
3. Обладнання та методика експериментальних досліджень.....	
3.1 Обладнання та матеріали для відновлення опор чавунних блоків циліндрів.....	
3.2 Методика експериментальних досліджень.....	
4. Результати досліджень фізико-механічних властивостей відновлених поверхонь	
Висновки.....	
Список використаних джерел.....	

Вступ

Вирішення проблеми підвищення довговічності відремонтованих двигунів значною мірою визначається забезпеченням якості відновлення їх блоків циліндрів. Однак, ремонтні підприємства стикаються з великими технічними та технологічними труднощами при відновленні даних деталей, особливо в питанні забезпечення розмірної та геометричної точності, мікро- та макроеометрії поверхонь отворів корінних опор, а також просторових відхилень їхньої загальної осі щодо технологічних баз корпусної деталі.

З іншого боку, застосовувані методи відновлення посадкових отворів, особливо чавунних блоків циліндрів, найчастіше не задовольняють вимогам за якісними критеріями нанесених покриттів.

Перспективним напрямом у ремонтному виробництві, зокрема для відновлення чавунних деталей, є застосування методу контактного наварювання, який дозволяє наносити на поверхні деталей різні зносостійкі покриття без істотної зміни у структурі основного матеріалу. Однак досвід застосування контактеного наварювання для відновлення отворів корінних опор блоків циліндрів двигунів показав, що контактні покриття мають незадовільну міцність зчеплення з чавуном, що обумовлюється поганими зварними властивостями металевих порошків з чавуном.

Вирішити проблему підвищення міцності зчеплення порошкового покриття з основою можливо введенням проміжних шарів, що мають більш високу пластичність та задовільну зварюваність з чавуном.

Метою дослідження є розробка наукових та технічних основ відновлення отворів корінних опор чавунних блоків циліндрів двигунів контактним наварюванням порошку.

Об'єкт дослідження – процеси відновлення отворів корінних опор чавунних блоків циліндрів.

Предмет дослідження – зношені поверхні отворів корінних опор чавунних блоків циліндрів автомобільних двигунів.

Для реалізації поставленої мети у роботі вирішено такі *завдання* дослідження:

- дослідити технічний стан блоків циліндрів двигунів, що надійшли в ремонт, виявити характерні дефекти та причини їх виникнення
- розробити ефективну технологію відновлення корінних опор чавунних блоків циліндрів, що забезпечує високі фізико-механічні властивості їх поверхонь;
- дослідити фізико-механічні властивості відновлених поверхонь, виявити існуючі закономірності та розробити принципи управління цими властивостями;
- визначити оптимальні склади порошкових матеріалів для відновлення поверхонь.

Наукова новизна роботи полягає у проведенні структурного аналізу технологічних та експлуатаційних похибок поверхонь корпусних деталей, розробці технології відновлення корінних опор блоків циліндрів контактним наварюванням; в обґрунтуванні режимів контактного наварювання корінної опори.

Практична цінність досліджень полягає у:

- визначенні характерних дефектів корінних опор блоків циліндрів двигунів КамАЗ-740, їх характеристик та причин виникнення;
- розробці нового ресурсозберігаючого технологічного процесу відновлення поверхонь отворів корінних опор блоку циліндрів двигуна КамАЗ-740 контактним наварюванням, що дозволяє забезпечити необхідну розмірну, геометричну та частину деталей.

1. Аналіз діяльності підприємства бази практики

«ДП «Кіровоградський облавтодор» ВАТ ДАК «Автомобільні дороги України» філія «Кіровоградський райавтодор» м. Кропивницький» розташоване за адресою: 27602, Кіровоградська область, Кропивницький район, село Созонівка, вулиця Паркова, будинок 5. Код ЄДРПОУ – 26177307. Дата реєстрації 05 березня 2007 року. Керівник – Довгополюк Сергій Петрович. 20 січня 2005 року анульоване свідоцтво платників ПДВ» [1].

«Основний вид діяльності згідно КВЕД – 42.11 Будівництво доріг і автострад. Інші види діяльності згідно КВЕД: 41.20 Будівництво житлових і нежитлових будівель; 46.13 Діяльність посередників у торгівлі деревиною, будівельними матеріалами та санітарно-технічними виробами; 52.21 Допоміжне обслуговування наземного транспорту; 71.12 Діяльність у сфері інжинірингу, геології та геодезії, надання послуг технічного консультування в цих сферах; 77.39 Надання в оренду інших машин, устаткування та товарів, н.в.і.у.

На даний момент підприємство виконує роботи згідно заявлених видів діяльності. В 2023 році виробничі потужності підприємства задіяні більше ніж в попередньому році» [1].

Загальний огляд можливих операційних процесів на підприємстві.

Проектування і розробка:

- Розробка проектів будівництва та реконструкції доріг.
- Визначення оптимальних маршрутів та характеристик доріг.
- Вивчення технічних аспектів та вимог до якості дорожнього покриття.

Будівництво та реконструкція:

- Здійснення будівельних робіт з влаштування доріг, включаючи дорожнє покриття, мости, переходи та інфраструктурні об'єкти.
- Координація постачання матеріалів та обладнання.

- Виконання робіт у відповідності до проектних документацій та нормативів.

Утримання та ремонт:

- Забезпечення регулярного утримання доріг для забезпечення безпеки та комфорту користувачів.

- Виявлення та усунення дефектів дорожнього покриття.

- Організація робіт з поточного та капітального ремонту.

Логістика та транспортування:

- Планування та координація транспортних потоків для доставки матеріалів та обладнання на місце будівництва.

- Оптимізація логістичних процесів для забезпечення ефективності використання ресурсів.

Технічне обслуговування та ремонт техніки:

- Здійснення технічного обслуговування та ремонту автомобільної техніки (будівельно-дорожньої техніки, автотранспорту).

- Ведення систематичного контролю за технічним станом обладнання.

Безпека та спеціальні вимоги:

- Впровадження заходів для забезпечення безпеки під час будівництва та обслуговування доріг.

- Дотримання вимог щодо охорони праці та сертифікації обладнання.

Контроль якості:

- Ведення контролю якості матеріалів, їх застосування та виконання робіт.

- Проведення вимірювань та тестувань для перевірки дотримання стандартів.

Ці аспекти допоможуть отримати повний обсяг операційних процесів підприємства та визначити можливість покращення та оптимізації його діяльності.

2. Аналіз стану питання

2.1 Конструктивні особливості блоків циліндрів автомобільних ДВЗ

Блок циліндрів двигуна є базовою деталлю всього двигуна. Після виготовлення відливанням чавунний або алюмінієвий блок циліндрів піддають необхідній механічній обробці, і кріплять на нього всі інші деталі двигуна.

Блок циліндрів сучасного автомобіля може бути виготовлений з наведених нижче матеріалів [2, 3]:

- сірого чавуну;
- литого під тиском алюмінієвого сплаву;
- литого магнієвого сплаву.

Блок циліндрів двигуна часто мають моноблочну конструкцію, яка включає циліндри, сорочку охолодження, опори корінних підшипників (сідла або ліжка), і всі необхідні масляні канали, розташовані всередині блокової структури рис. 2.1.

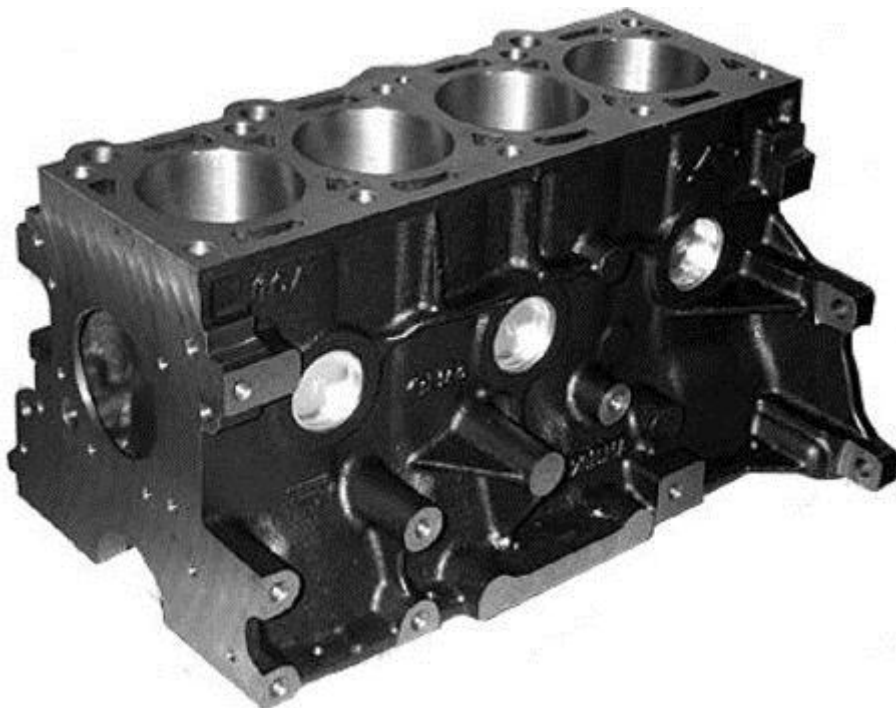


Рисунок 2.1 – Моноблочна конструкція блоку циліндрів

Це забезпечує високу жорсткість конструкції і гарантують точну орієнтацію деталей усередині блоку циліндрів. Найбільші отвори в литому блоці розточуються під розмір циліндра, в якому будуть здійснювати поворотно-поступальні рухи поршні двигуна. Циліндровий отвір в іноземній технічній літературі називають словом «bore» = висвердлений отвір (свердловина), оскільки циліндровий отвір одержують у результаті механічної обробки.

Блоки двигунів вантажної техніки, комерційного транспорту мають конструкції блоків циліндрів із вставними гільзами, виготовленими окремо від блоків (рис. 2.2). В таких конструкціях гільза є окремою деталлю та запресовується у блок при складанні двигуна [3, 4].



Рисунок 2.2 – Блок циліндрів із вставною гільзою.

Навантаження від тиску газів, що горять, поширюються від головки циліндрів до картера кріплення колінчастого валу через всю структуру блоку циліндрів. Блок містить ребра жорсткості, стінки та канали для проходу охолоджуючої рідини та мастила, але ці канали повинні бути ізольованими один від одного. Монтажні лапи або виступи на блоці циліндрів призначені для перенесення реакції моменту, що крутить, на раму автомобіля через подушки

опорних елементів конструкції. Велика опорна поверхня у задній частині блоку циліндрів використовується для кріплення дзвону зчеплення або трансмісії. Головка циліндрів та інші компоненти кріпляться до блоку циліндрів двигуна.

Стики між компонентами герметизуються прокладками або герметичними ущільненнями (герметиками). Прокладки та герметики покликані компенсувати неточності та нерівності, що виникають при механічній обробці корпусних деталей, та їх деформацій, що виникають внаслідок механічних чи температурних навантажень.

Виробництво блоків циліндрів. Технологія виготовлення чавунних блоків циліндрів постійно вдосконалюється. Існуюча тенденція передбачає виготовляти блоки з масивною базовою частиною, виключивши використання дрібних окремих частин [4, 5].

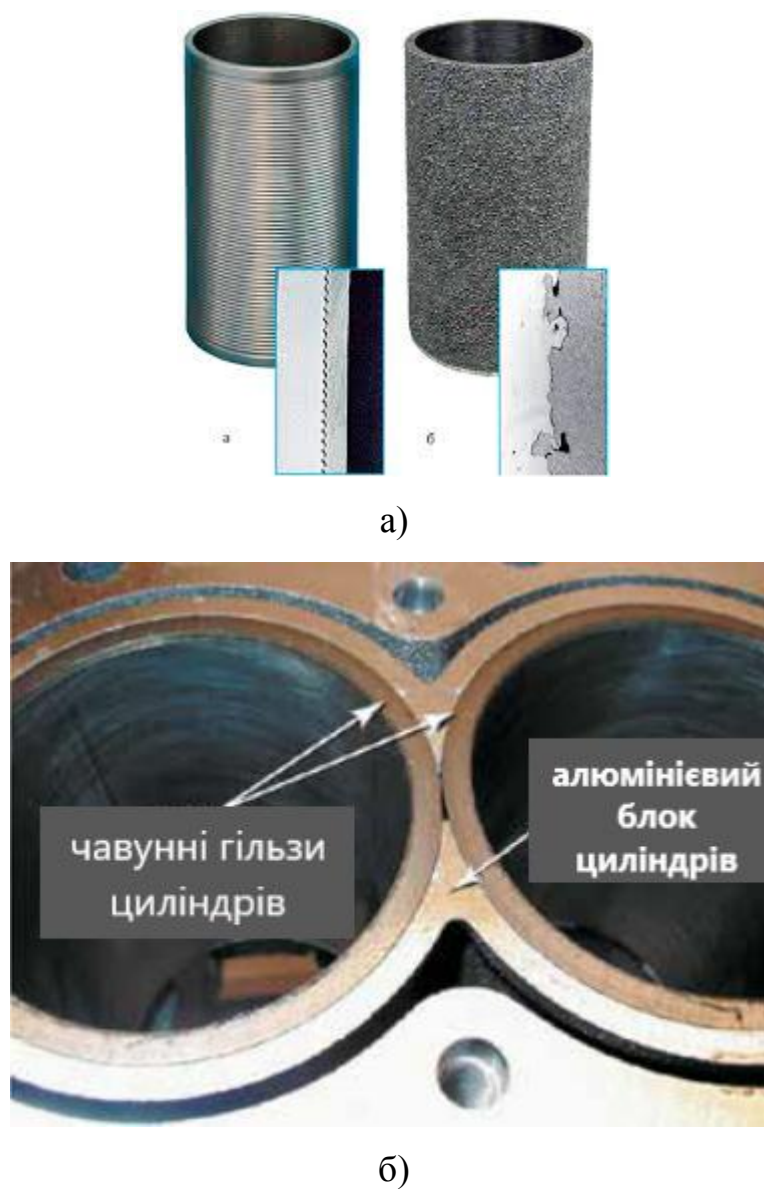
Піщано-клеєві стрижні формують внутрішні отвори та проходи в блоці двигуна. Піщано-клеєві стрижні виготовляються в стрижневих ящиках. Потім готові піщано-клеєві стрижні укладають у раніше приготовлену ливарну форму (опоку), яка копіює зовнішні поверхні блоку циліндрів, і заривають другою половиною опоки, в якій виконана друга половина зовнішнього контуру блоку. Розплавлений метал заливають у підготовлену ливарну форму через литникову вирву, і рідкий метал заповнює простір між формою, що описує зовнішній контур блоку, і стрижнями, що формують внутрішні порожнини та канали блоку циліндрів. Для виведення газів, контролю заповнення форми розплавленим металом, та підживлення виливки рідким металом при її твердінні служать спеціально виконані канали, які називають прибутками або випором.

У міру остигання металу, піщано-клеєві стрижні, що формують внутрішні порожнини, руйнуються. Коли чавун твердіє, виріб витягають з форми, очищають і витрушують залишки зруйнованих стрижнів через відкриті отвори шляхом енергійного струшування виливки.

Частина відкритих отворів надалі закриваються заглушками та різьбовими пробками. В іноземній технічній літературі ці заглушки та пробки називають "Freeze plugs" або "Frost plugs" (пробками розморожування). У цю назву

закладено сенс, що заглушки чи пробки будуть видавлені з блоку, якщо станеться замерзання охолоджуючої рідини, цим блок буде захищений від руйнації. Треба сказати, що застосування незамерзаючих рідин як теплоносій виключають замерзання рідини всередині блоку, і його руйнування, але старе назва залишилося.

Для забезпечення довговічності та зносостійкості у процесі підготовки до лиття в одноразову полістирольну модель блоку циліндра часто встановлюється чавунна гільза циліндрів рис. 2.3.



а – гільза перед заливанням; б – гільза в алюмінієвому блоці.

Рисунок 2.3. Гільза залита в блоці

Алюмінієвий блок циліндрів може мати різні типи стінок циліндрових гільз. Більшість недорогих моделей алюмінієвих блоків циліндрів використовують чавунні гільзи циліндрів (рис. 2.3). Чавунні гільзи можуть бути встановлені в блок циліндрів не тільки при його виливку, але частина чавунні гільзи запресовуються в виливок блоку циліндрів. Чавунні гільзи, що запресовуються в алюмінієвий блок циліндра, не мають прямого контакту з охолоджувальною рідиною, тому ці гільзи отримали назву «сухих» гільз циліндра.

2.2 Особливості застосування у ДВЗ чавунних блоків циліндрів

Чавун містить близько 3% вуглецю (графіту), що надає йому сірого кольору. Наявність вуглецю в чавуні робить його твердим, але водночас ламким [6, 7].

Чавун використовується для виготовлення блоку циліндрів та головок циліндрів з наступних причин:

- Вуглець у чавуні робить його легкообробним навіть без застосування охолоджуючої рідини.
- Графіт у чавуні грає роль мастила, оскільки графіт має досить високі змащувальні властивості.
- Чавун має достатню твердість, і він, як правило, має магнітні властивості.

Сучасне виробництво блоків циліндрів двигунів передбачає заливку рідкого чавуну заливають у піщану форму, в якій встановлена модель, що випалюється (в основному, що виготовляється з пінопласту).

Жорсткі перегородки, що отримуються в процесі лиття, використовуються для виготовлення опор колінчастого валу і розподільчого валу (у разі його установки в блоці циліндрів). Сучасні чавунні блоки мають тонкостінну конструкцію для полегшення ваги [7, 8].

Блок циліндрів, як відомо, – основа будь-якого двигуна. І деталь ця

корпусна, тобто в неї встановлюється або на ній кріпиться безліч інших деталей та вузлів. А це означає, що дуже важливу роль відіграє взаємне розташування різних робочих та допоміжних поверхонь блоку циліндрів. Йдеться насамперед про їхню взаємну паралельність, перпендикулярність і співвісність.

Дефекти блоку циліндрів. Дефекти блоку циліндрів виникають внаслідок дії механічних та температурних навантажень на його елементи. Навантаження на корінну опору має вигляд представлений на діаграмі рис. 2.4 [9].

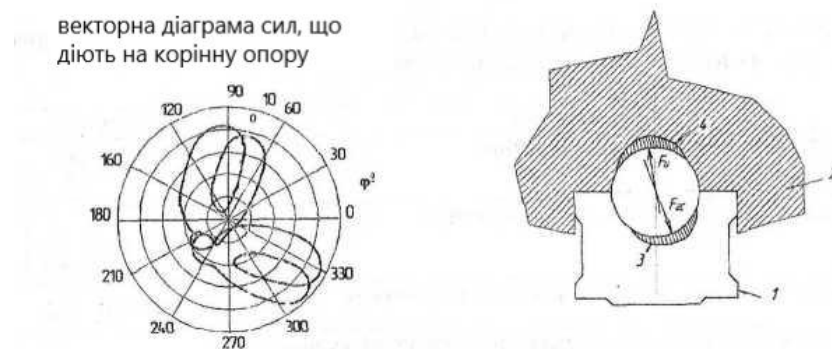


Рисунок 2.4 - Розподіл навантажень у корінній опорі:

1 - кришка; 2 - блок циліндрів; 3 - напруги від рівнодіючої газових сил $F_{gc}=55...60$ МПа; 4 - напруги від рівнодіючої сил інерції $F_i=37...45$ МПа.

Список можливих дефектів блоків дуже великий і не обмежується зносом поверхонь циліндрів рис. 2.5.

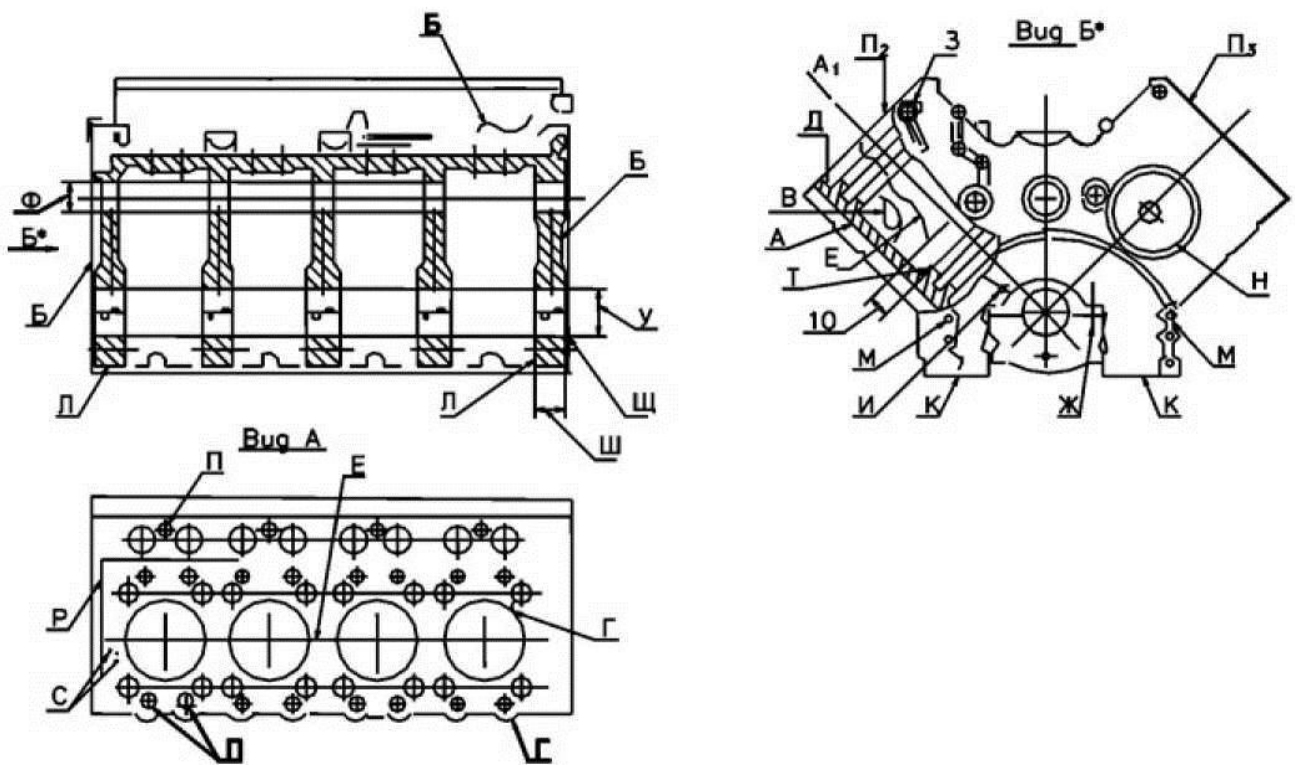


Рисунок 2.5 – Дефекти блоку циліндрів.

«Дуже часто – при зносі самого блоку дефекти з'являються не тільки на циліндрах, але й на інших робочих поверхнях блоку» [10]. «Наприклад, після лиття на стадії виготовлення блоку в ньому завжди залишаються внутрішні напруження (що особливо характерно для чавунних блоків). Згодом це призводить до деформацій, уникнути яких допомагає штучне старіння - нагрівання та витримка блоку в печі за певної температури. Тільки після цього блок можна механічно обробляти – фрезерувати площини, розточувати циліндри, постелі колінчастого валу. Але повністю деформацію штучним старінням не можливо усунути: при роботі двигуна блок нагрівається нерівномірно, та ще й навантажується змінними силами (зовсім не ті умови, що були в печі). І, як наслідок, блок циліндрів поступово коробиться вже на автомобілі, тобто, відбувається так зване природне старіння.

Через деформування площин, включаючи привалочну площину під головку, порушується співвісність корінних опор колінчастого валу.

Неспіввісність опор може призвести до помітного зниження ресурсу і навіть

нового капітального ремонту вже за кілька десятків тисяч кілометрів» [10, 11].

Блоки циліндрів з сильно деформованими і пошкодженими опорами підшипників нерідко викидали, а на невеликими дефектами постелей зазвичай нехтували. На сьогоднішній день існує обладнання, що дозволяє виконувати точну обробку поверхонь.

Неспіввісність корінних опор у блоці виникає з низки причин. Поряд з природною деформацією зустрічаються задири поверхні в результаті перегріву та повертання вкладишів корінних підшипників колінчастого валу, деформація кришок підшипників, а також випадки заміни кришки на іншу через її втрату або неможливість відновлення. Явні дефекти, такі як задирання або розбіжність півкола в блоці та кришці, зазвичай легко виявити навіть при візуальному огляді. Навпаки, приховані дефекти можна визначити лише за допомогою відповідних вимірів.

Починають зазвичай з того, що для даного блоку виготовляється так звана «качалка», довгий шліфований стрижень, зовнішній діаметр якого на 0,01...0,02 мм менше діаметра корінних опор. Далі вимірювання проводять у наступному порядку. Кришки опор встановлюються в блок та затягуються за допомогою динамометричного ключа монтажним моментом.

У разі коли вимірювані за допомогою нутроміра діаметри опор знаходяться в полі допуску, в блок укладається качалка для перевірки корінних опор на співвісність. Якщо качалку підклинює або її неможливо повернути, значить опори в блоці деформовані та вимагають ремонту. Іноді на качалку наносять гвинтову канавку по всій довжині. Тоді її можна використовувати як притирання доводу, якщо неспіввісність або деформація опор невеликі.

Викривленням опор більше страждають рядні багатоциліндрові двигуни з числом циліндрів 5-6. Але і звичайні чотирициліндрові також схильні до цього дефекту. Особливо, це стосується вітчизняних двигунів, тому що на деяких заводах операція штучного старіння блоку відсутня - з усіма наслідками, що

впливають для механіків. А тоді, традиційними технологічними операціями – розточуванням та хонінгуванням – блок циліндрів, та й повністю двигун, якісно не можливо відремонтувати. Необхідно додатково виконати обробку площини блоку та постелі підшипників корінних опор колінчастого валу, в противному випадку відремонтований мотор довго не буде працювати.

Постелі підшипників корінних опор колінчастого валу в блоці циліндрів досить часто потребують ремонту не лише через природну деформацію. Має місце пошкодження опор через брак оливи та перегрівання корінних опор підшипників. В такому разі випадках часто вкладиші повертаються в постелі і пошкоджують її поверхню. Однак, навіть у випадку не провертання вкладишів, без ремонту постелей вже не можливо обійтися - перегріті корінні опори та кришки блоку, часто стискаються по площині роз'єму з блоком циліндрів таким чином, що отвір постелі набуває еліпсності, причому ця еліпсність може досягати 0,1 мм і більше.

Іноді випадково замінюються місцями кришки опори. Навіть у випадку підбирання кришок від аналогічного блоку циліндрів, вони не підійдуть по посадочному місцю, оскільки їх механічна обробка здійснюється за одне ціле зі рідним блоком і кришки є незамінні. Тоді без ремонту постелей знову нічого не виправити.

Зустрічаються також і інші, дрібніші дефекти блоків. Серед них зривання різьби під болт або шпильку кріплення кришки опори. У випадку зривання різьби, слід виконувати ремонт гнізда [8, 9].

Наприклад, відхилення від перпендикулярності осей циліндрів і колінчастого валу всього на 0,05 мм вже викликає прискорене зношування підшипників колінчастого валу, складових циліндро-поршневої групи і підвищене вигорання оливи, а при вдвічі більшому відхиленні двигун навряд чи пропрацює і

десяту частину свого потенційного ресурсу. Те саме трапиться і при порушенні співвісності корінних опор колінчастого валу.

Отже, для якісного ремонту блоку циліндрів необхідно провести точні вимірювання взаємного розташування поверхонь.

На жаль, подібні вимірювання часто є серйозною проблемою навіть для порівняно добре оснащених технічних центрів, що спеціалізуються на механічній обробці деталей двигунів, не кажучи вже про звичайні СТО. Справа в тому, що для таких вимірювань потрібні спеціальні прилади, пристрої та обладнання. А вони досить дорогі.

Таким чином, основними дефектами блоків циліндрів є зношування гільз циліндрів або посадкових поверхонь, зношення корінних опор, короблення площин прилягання інших вузлів двигуна, наприклад головки блоку циліндрів, зривання різьбових поверхонь, тріщини, розломи і т інш.

Найменш вивченим з технологічної точки зору є методи ремонту корінних опор колінчастого валу, тому зупинимося більш детально на умовах роботи та способах відновлення колінчастого валу.

2.3 Особливості конструкції корінних опор блока циліндрів

При встановленні колінчастого валу у блок циліндрів його фіксація виконується кришками корінних опор.

Кришки корінних підшипників виготовляють литтям, спіканням або куванням окремо від блоку циліндрів. Провівши попередню обробку прилеглих поверхонь і отворів під кріплення кришок до блоку циліндрів, проводиться остаточна обробка отворів під корінні підшипники в зібраному вигляді, тобто кришки повинні бути встановлені на місця і з'єднання повинні бути затягнуті з рекомендованим моментом [8, 10].

Якщо у двигуні передбачене встановлення розподільного валу в блоці

циліндрів, отвори під шийки колінчастого валу обробляються слідом за обробкою отворів під корінні підшипники колінчастого валу, не змінюючи позиціонування блоку циліндрів в обробному верстаті. На всіх двигунах отвори під корінні підшипники та отвори під опорні шийки розподільного валу обробляються з високою точністю. Кришки корінних підшипників не взаємозамінні і не оборотні, оскільки вони обробляються спільно з блоком циліндрів, і кожна кришка корінного підшипника розточена за індивідуальним місцем її кріплення (рис. 2.6).

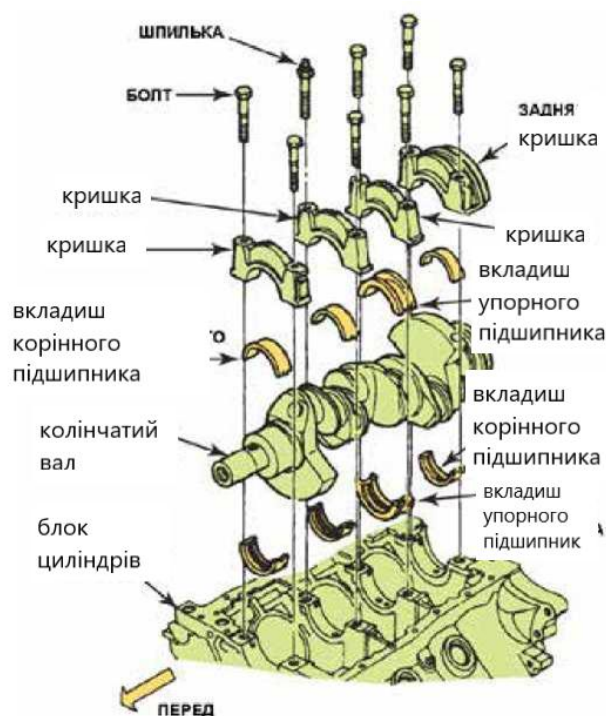


Рисунок 2.6 - Кріплення кришки корінних підшипників двома болтами.

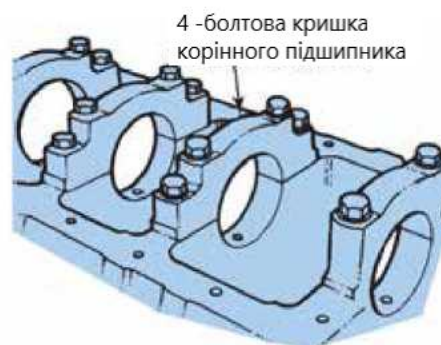


Рисунок – 4-х болтове кріплення кришок корінних опор.

Кришки корінних підшипників можуть мати литий номер, що вказує на приналежність і позицію кришки щодо блоку циліндрів. Якщо литого номера

немає, то кришки підшипників повинні бути позначені стрілками та порядковим номером щодо передньої частини блоку циліндрів. У більшості двигунів кришки корінних підшипників, як правило, кріпляться до блоку циліндрів двома болтами.

Надпотужні та високопродуктивні двигуни часто використовують додаткові болти кріплення кришок корінних підшипників. Чотири болти, або навіть шість болтів утримують кришку корінного підшипника на її місці. Вибір способу кріплення кришки залежить від глибини блоку циліндра та матеріалу його виготовлення.

Додаткові болти кріплення кришок корінних підшипників допомагають утримувати колінчастий вал при високій інтенсивності горіння суміші, особливо при високих швидкостях обертання колінчастого валу двигуна.

Сила розширення газів, що горять, прагне підняти вгору головку циліндрів і відштовхнути донизу колінчастий вал двигуна. Болти кріплення головки циліндрів і корінних підшипників вкручуються в ребра блоку циліндрів, які повинні мати необхідну міцність. Якщо блок циліндрів зроблений з легкого сплаву, забезпечити надійність кріплення корінних підшипників дозволяють довгі стяжні болти, які вкручуються в сталеві різьбові втулки, залиті в блоці циліндрів при його виготовленні. У ці втулки з двох сторін вкручуються болти кріплення корінних підшипників та болти кріплення головки циліндрів, надаючи додаткової жорсткості конструкції двигуна рис. 2.7.

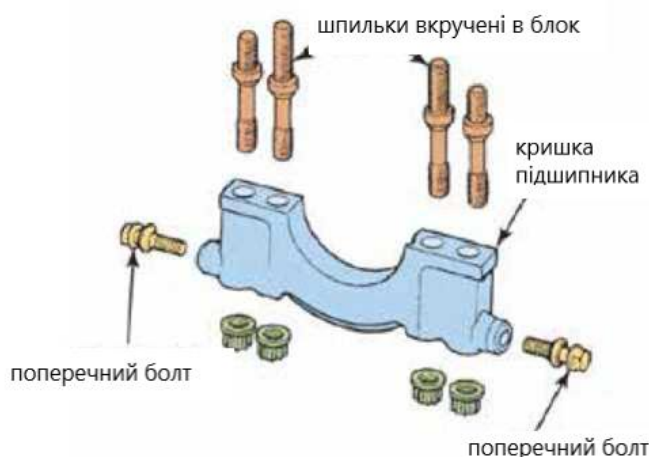


Рисунок 2.7 - Додаткові болти кріплення кришок корінних підшипників.

В блоках циліндрів можуть застосовуватися чавунні кришки корінних підшипників, щоб надати кріпленню колінчастого валу необхідну міцність.



Рисунок 2.8 – Опорна плита

Опорна плита блока циліндра (рис. 2.8) - це елемент його конструкції, який кріпиться до нижньої частини блока і є опорною для колінчастого вала двигуна. Масляний піддон кріпиться до нижньої частини опорної плити, і разом з нею складає частину структури, що надає блоку циліндрів необхідну жорсткість конструкції.

2.4 Аналіз сучасних способів ремонту опор чавунних блоків автомобільних ДВЗ

Для відновлення працездатності корінних пор блоку циліндрів застосовується ряд технологічних методів.

Підрізання товщини прилягання кришки з наступним розточуванням під номінальний розмір та хонінгуванням. Серед методів відновлення отворів корінних опор блоку циліндрів найбільшого поширення на ремонтних підприємствах набув метод, який заснований на розточуванні в номінальний

розмір отворів корінних опор зі зміщенням їхньої осі на 0,15...0,20 мм до верхньої площини прилягання [8, 10].

Попередньо проводиться фрезерування поверхні роз'єму кришок на 0,4...0,5 мм. Поряд з явними перевагами, цей метод має ряд суттєвих недоліків: потрібно високоточне спеціалізоване обладнання (агрегатно-розточувальні верстати), не забезпечується задана технічними умовами точність форми гнізд корінних опор, яка повинна становити 2/3 допуску на їх розмір, не забезпечується задана технічними умовами шорсткість відновлених гнізд корінних опор, яка повинна становити в середньому Ra - 0,63 мкм.

Технологія відновлення корінних опор вибирається в залежності від того, який з перерахованих вище дефектів виявлений. Якщо через деформацію кришок або задирання поверхні отвір опори став некруглим і його максимальний розмір збільшився більш ніж на 0,4...0,5 мм, то без попередньої розточування вже не обійтись. Тоді кришки опор занижуються площиною роз'єму з блоком. Припуск на обробку площини кришок визначається за такою формулою:

$$h = Dd + x,$$

де Dd - різниця між малою та великою віссю еліпса ($Dd = Dd$);

x - припуск на обробку. Зазвичай приймають $x = 1/2 Dd$, якщо потрібно розточування, і $x = Dd$, коли можна обійтись лише хонінгуванням [11, 12].

Обробка кришок може проводитись на плоскошліфувальному або фрезерному верстаті. При невеликому (0,05-0,10 мм) зніманні металу можна використовувати притиральну плиту з абразивною пастою. Однак найпростіше і найшвидше ця операція виконується на спеціалізованому шліфувальному верстаті.

Далі кришки встановлюються в блок, їх болти затягуються необхідним моментом, і виробляється розточування.

Щоб досягти високої точності та витратити мінімум часу, цю операцію

найкраще виконати на спеціалізованому горизонтально-розточувальному верстаті. Щоправда, вартість цього обладнання чимала. Розумною альтернативою можуть бути універсальні верстати різних типів, що оснащені спеціальними пристроями. Однак у будь-якому разі після розточування слід хонінгувати поверхню опор. І тому є кілька причин.

Так, після розточування поверхня зазвичай виходить шорсткою. Корінні вкладиші тоді прилягають до неї виступами мікронерівностей. А це означає, що у місцях контакту утворюється так званий термічний опір. Коли під час роботи двигуна підшипники нагріються, відведення тепла від нього погіршиться. Це загрожує перегріванням та підплавленням вкладишів, особливо на режимах максимальних частот обертання та навантажень.

Іншою особливістю розточування є неможливість або значні труднощі забезпечення високої точності обробки, адже всі відхилення форми та взаємного розташування отворів опор не повинні перевищувати 0,01 мм. Особливо це проявляється в блоках, де окремі опори мали задираки через провертання вкладишів. У таких опорах поверхня може набувати високої твердості через перегрівання і загартування при надходженні масла до пошкодженого підшипника. І різець «віджиматиме» від загартованої поверхні.

Саме тому остаточна обробка опор проводиться хонінгуванням. Для цього після розточування залишають невеликий припуск – близько 0,05 мм. Його, як правило, цілком достатньо, щоб забезпечити якість поверхні та точність не гірше, ніж у нового блоку, навіть якщо блок перед ремонтом мав значні пошкодження опор.

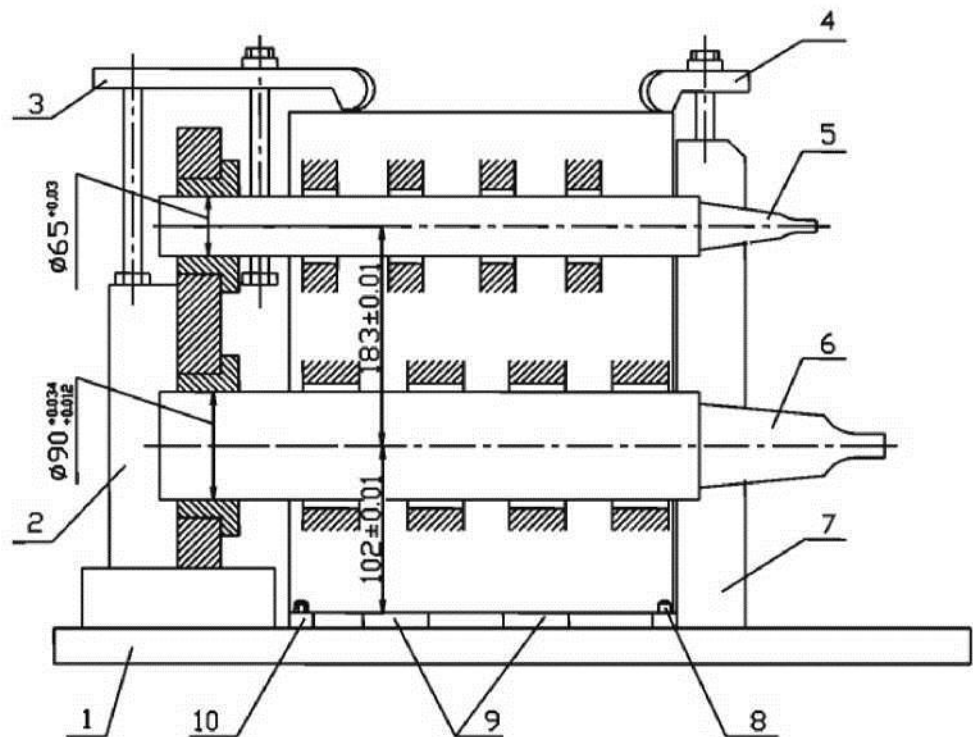
Хонінгування (рис. 2.9) виконується за допомогою спеціального інструменту - хонінгувальної головки, що має 8...10 встановлених до ряду абразивних брусків з жорсткою подачею їх на розтискання. Саме за рахунок такої конструкції інструменту вдається усунути неспіввісність та некруглість корінних опор. Про високу якість обробки свідчить той факт, що згадана вище «качалка» легко

входить в отвір всіх опор відремонтованого блоку і рухається від руки навіть при зазорі всього в 0,01 мм [8, 9].



Рисунок 2.9 - Хонігування корінних опор.

У разі, коли відбувається заміна кришки, перед ремонтом необхідно визначити спосіб її центрування в блоці. Існують два основних способи центрування кришок - по бічних поверхнях і по центруючих втулках. У першому випадку для суміщення півкола в кришці і блоці може знадобитися доробка бічних торців кришки - шліфування з одного боку і накочування - з іншого.



1 - основа; 2 - плита задня .

Рисунок 2.10 - Пристосування для розточування постелі корінних підшипників та опор розподільчого валу.



Рисунок 2.11 - Борштанга для розточування отворів корінних опор

Виконуючи ремонт корінних опор блоку, необхідно враховувати, що вісь колінчастого валу після обробки зміщується у бік верхньої площини блоку на

величину приблизно $1/2h$. При серйозних пошкодженнях опор і більших значеннях (більше 1 мм) після складання шатунно-поршневої групи поршні можуть виступати над площиною роз'єму блоку з головкою. Цю особливість важливо пам'ятати, щоб поршні, наприклад, не стали "стукати" по головці блоку або клапанам. У дизельних двигунів виступ поршнів взагалі регламентується досить суворо, а відповідно до нього підбирається товщина прокладки головки. І якщо не обробити днище поршнів на величину зміщення осі колінвала, то можлива ситуація, коли в момент пуску двигуна поршень "ризикуює" зустрітися з клапанами.

Ще більш серйозні проблеми можуть виникнути у двигунів, що мають привід розподільчого валу або агрегатів (деякі дизелі) за допомогою шестерень. Тут навіть невелике зміщення осі колінчастого валу (0,10-0,15 мм) цілком може призвести до неможливості збирання приводу.

Не слід забувати, що зміщення колінчастого валу порушує його центрування з первинним валом коробки передач. Коли зміщення більше 0,5 мм зростає навантаження на підшипники первинного валу коробки, і вона швидше за все швидко вийде з ладу. Щоб цього уникнути, іноді доводиться змінювати центрування коробки передач на двигуні аналогічно тому, як це робиться для кришок корінних опор блоку циліндрів (розсвердлюванням отворів центрувань і їх відновленням за допомогою «холодного зварювання»).

Розточування корінних опор з встановлення додаткових деталей.. При зношуванні корінних постелей більш ніж на 100,3 мм (на прикладі двигуна КамАЗ-740) відновити їх розточуванням у ремонтний розмір не вдається [8].

Тоді, постелі з глибоким повертанням вкладишів розточуються на розмір $104+0,03$ мм. У підготовлені постелі встановлюються проміжні вкладки з підтисканням перед зварюванням зусиллям близько 50 кН (5000 кгс) і приварюються відповідно до рис. 2.12.



Рисунок 2.12 - Схема проміжного приварювання вкладишів.

Далі постіль розточується у розмір $100+0,03$ мм при встановленні кришок 740.1005 152/140 номінального розміру або розмір $100,5+0,03$ мм при встановленні ремонтних кришок. Виступ торців Т проміжних вкладишів під площиною роз'єму не допускається.

Накатка. Накатка в даному випадку дозволяє «підняти» метал та усунути зазор між бічною поверхнею кришки та блоком. В результаті таких операцій кришку можна змістити набік на 0,3-0,4 мм (граничне збільшення розміру після накатки становить 0,4 мм).

При centruванні кришок по втулках змінити положення в блоці важче. З цією метою іноді застосовують селективний підбір кришок на місце. Інший варіант - розсвердлити отвори центру в кришці, нанести на них клейову композицію типу «холодного зварювання», потім встановити качалку, кришку і затягнути болти. Тоді після затвердіння композиції виходять нові «правильні» отвори centruвання.

У деяких випадках відновити centruвання кришки не вдається. Важливо правильно за допомогою нутроміра вивірити положення кришки в блоці перед обробкою та затягнути болти. Після розточування та хонінгування опор, коли

кришку буде знято з блоку, центрування вона втратить. Але тільки до складання. При складанні двигуна, коли в блок будуть встановлені вкладки корінних підшипників і колінчастий вал, кришка сама знайде своє місце і автоматично зцентрується по валу.

Газодинамічне напилювання поверхні блоку. Для відновлення постелей блоку до номінального діаметру може бути використаний метод холодного газодинамічного напилювання. «Метод холодного газодинамічного напилювання металу (англ. cold spray, cold gas dynamic spraying) полягає в тому, що тверді частинки металу, температура яких значно менше їх температури плавлення, розганяються до надзвукової швидкості і закріплюються на поверхні при зіткненні з нею» [12, 13].

«Сутність методу холодного газодинамічного напилювання (рис. 2.13) металу включає формування в соплі надзвукового газового потоку, подачу в цей потік порошкового матеріалу з розмірами частинок 0,01...50 мкм, його надзвукове прискорення в соплі і напрямок частинок порошку на поверхню виробу. Прискорення частинок можливе серед холодних або підігрітих газів, таких як: повітря, гелій, азот. Значення температури істотно нижчі за температуру плавлення матеріалу порошку (0,4...0,7 Тпл). Технологія холодного газодинамічного напилювання дозволяє наносити металеві покриття не тільки на метали, а й на скло, кераміку, камінь, бетон. Покриття, нанесені цим методом, механічно міцні та мають високу адгезію до підкладки» [12, 13].

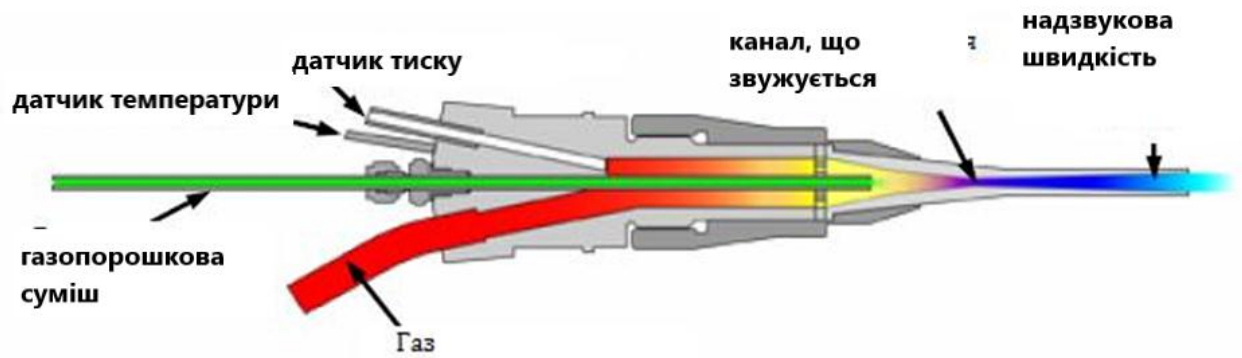


Рисунок 2.13 - Нанесення покриття методом холодного газодинамічного напилювання

Встановлено, «що для формування покриття необов'язково, щоб частинки перебували в розплавленому або передрозплавленому стані, а покриття можна отримувати з частинок з температурою значно нижчою за температуру плавлення, на відміну від традиційних методів напилювання» [12].

«Основні експериментальні факти:

1. Найбільш важливим параметром при холодному напилюванні є швидкість частинок, саме від її величини залежать адгезія, пористість, мікротвердість покриттів та ін. Для всіх частинок з діаметром $d=50$ мкм існує «порогова» величина швидкості їх взаємодії з підкладкою (500...600 м/с). Якщо швидкість нижча від цього значення, то спостерігається процес ерозії. При швидкості вище «пороговий» процес ерозії перетворюється на напилювання» [12].

«2. Існує критична величина витрати частинок, у якому напилювання немає незалежно від часу впливу потоку» [12].

«3. При витраті частинок вище критичної величини частинки міцно зчіплюються з поверхнею виробу і між собою, утворюючи щільну упаковку в

напиленому шарі. Зовнішня частина покриття являє собою сукупність деформованих частинок матеріалу, що напилюється, з характерним розміром $d=20\ldots40$ мкм і слідами (кратерами) від ударів бомбардуючих частинок. Поперечний розріз (шліф) покриття показує, що воно відрізняється малою пористістю та хорошою однорідністю по всій товщині шару. Наявність шорсткої межі між напиленим шаром і поверхнею тіла, яка попередньо оброблялася по 10 класу чистоти, свідчить про те, що перед утворенням напилювання також має місце пластична деформація та ерозія поверхні тіла» [12].

«4.Тільки мінімальна частка частинок, розганяється надзвуковим потоком, у результаті напилюється на виріб, основна частка відбивається і відноситься потоком газу. Маса напилених частинок збільшується зі зростанням витрати порошкового матеріалу» [12].

«5.При формуванні покриття нагрівання поверхні виробу незначне. Різниця температур на поверхні тільки обтічної потоком газу і при напилюванні покриття становить близько 45 градусів» [12].

На рис. 2.14 показана загальна схема напилювання покриттів технологією холодного напилювання шляхом застосування високого тиску. Газ, що знаходиться під високим тиском піддається нагріванню і змішується з металевим порошком, потім газопорошкова суміш поступає у сопло, де її швидкість підвищується до надзвукового значення та прямує на деталь, створюючи покриття.

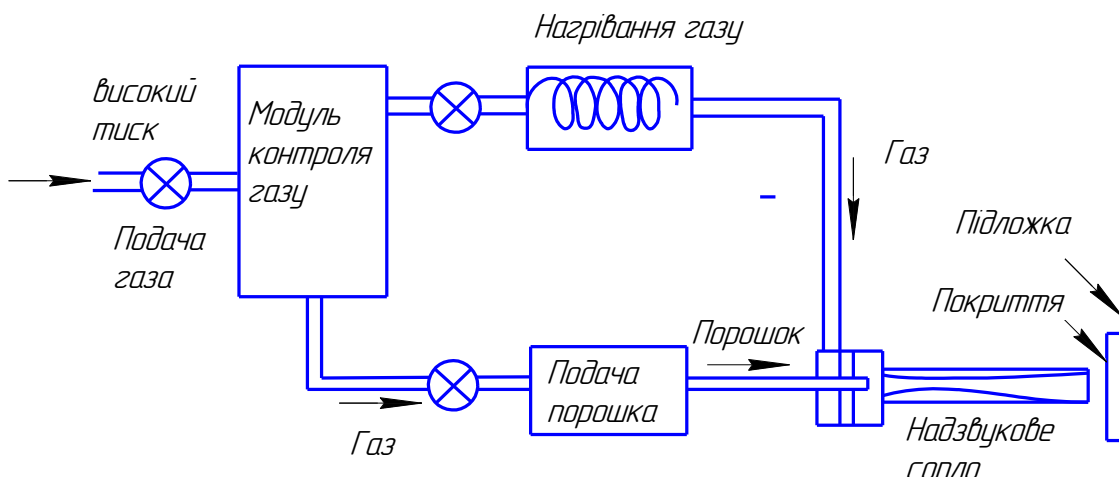


Рисунок 2.14 - Принципова схема процесу холодного газодинамічного напилювання

«При методі холодного напилювання низького тиску зазвичай напилюють різні металеві порошки разом із добавкою керамічних частинок (Al_2O_3 , SiC). Вважається, що ці добавки активують поверхню підкладки, покращуючи адгезію і завдяки їм прочищається сопло» [12].

Холодний метод нанесення покриттів, переважно, застосовують відновлення різних металевих деталей у разі тріщин, сколів, стирання. Також у них високий потенціал як антикорозійні, теплопровідні покриття.

Методи наплавлення та наварювання. В даний час для відновлення зношених поверхонь блоків циліндрів розроблено значну кількість способів, найчастіше заснованих на зварювально-наплавних заходах, нанесення гальванічних покриттів та полімерних матеріалів, встановлення додаткових деталей [12].



Рисунок 2.15 - Наплавлення корінних опор.

Для відновлення гнізд корінних опор з аварійним зносом, отриманим в результаті прокручування вкладишів корінних підшипників, використовуються способи наплавлення різних матеріалів.

Відмінною особливістю наплавочних способів є нагрівання деталі до високої температури, що призводить до жолоблення блоків, зміни кристалічної решітки матеріалу, виникнення мікротріщин, до того ж нанесений матеріал має фізико-механічні властивості, що значно відрізняються від вихідного матеріалу корпусної деталі, що відновлюється.

Способи з використанням наплавлення відрізняються також високою трудомісткістю робіт, низьким рівнем механізації процесу, відсутністю простого та ефективного технологічного обладнання. До таких способів відносяться ручне газове наплавлення латунню марки Л-62, чавунними електродами марок АНЧ-1, ЦЧ-3 або ЦЧ-4, напівавтоматичне наплавлення дротом ПАНЧ-11 у вуглекислому середовищі [12].

Сутність контактного приварювання сталевий стрічки полягає в тому,

що на зношену поверхню деталі після попередньої обробки накладають сталеву стрічку і приварюють її контактним шовним зварюванням [14, 15, 16]. Однак цей спосіб має суттєві недоліки: приварені стрічки зі сталей 10, 20, 30ХГСА мають низьку оброблюваність, що веде до зниженої стійкості ріжучого інструменту і значних труднощів у забезпеченні заданої точності обробки гнізд корінних опор, що відновлюються, і якості їх поверхні.

Основна складність реалізації способів відновлення наплавленням пов'язана з механічною обробкою поверхонь деталей. Відповідно до ремонтно-технологічної документації допуски на розміри, шорсткість поверхні, геометричні та просторові відхилення параметрів відновленої корпусної деталі в основному повинні суворо відповідати аналогічним параметрам нових деталей. Однак ремонтне виробництво в даний час оснащене в більшості своїм універсальним металорізальним обладнанням, що має клас точності нижче обладнання заводу-виробника, і часто не в змозі виконати дані технічні вимоги.

Хороші перспективи в умовах потокового відновлення корпусних деталей певної номенклатури має контактний спосіб приварювання металевих порошків на зношену поверхню отвору посадкового [17, 18].

Незважаючи на різноманіття різних способів нанесення електролітичних покриттів (місцеве залишення, залишення в проточному електроліті і т.д.), жоден з них не знайшов широкого практичного застосування відновлення отворів корінних опор блоків циліндрів. До недоліків цих способів можна віднести високу складність підготовки поверхні деталі до покриття, погану оброблюваність покриттів механічним способом, недостатню міцність зчеплення з основним матеріалом, низьку стабільність процесу і особливо екологічну шкідливість.

2.5 Розробка методу відновлення опор чавунних блоків автомобільних

ДВЗ

Зважаючи на проведений аналіз умов роботи, конструктивних особливостей та існуючих технологій відновлення, пропонується виконувати відновлення посадочних поверхонь корінних опор методом контактного наварювання порошкових матеріалів.

Дослідження, які проведені в роботах [18, 19, 20] доводять доцільність застосування контактної нагрівки для одержання покриттів в режимі спікання і наварювання. В основі цієї технології покладено наукові принципи і технологічні прийоми порошкової металургії.

Контактне наварювання (КН) є одним з найбільш продуктивних і економічних способів нанесення покриттів.

«При контактному наварюванні покриттів з порошкових матеріалів процес утворення покриття відбувається в результаті взаємного розплавлення і кристалізації деталі і матеріалу, що наварюється (дріт, стрічка)» [18, 19, 20].

«На теперішній час наварювання покриттів з компактних матеріалів, що відрізняється високою продуктивністю і забезпечує стабільну якість з'єднань, застосовується в автомобільному, сільськогосподарському машинобудуванні та інших галузях при відновленні та зміцненні деталей.

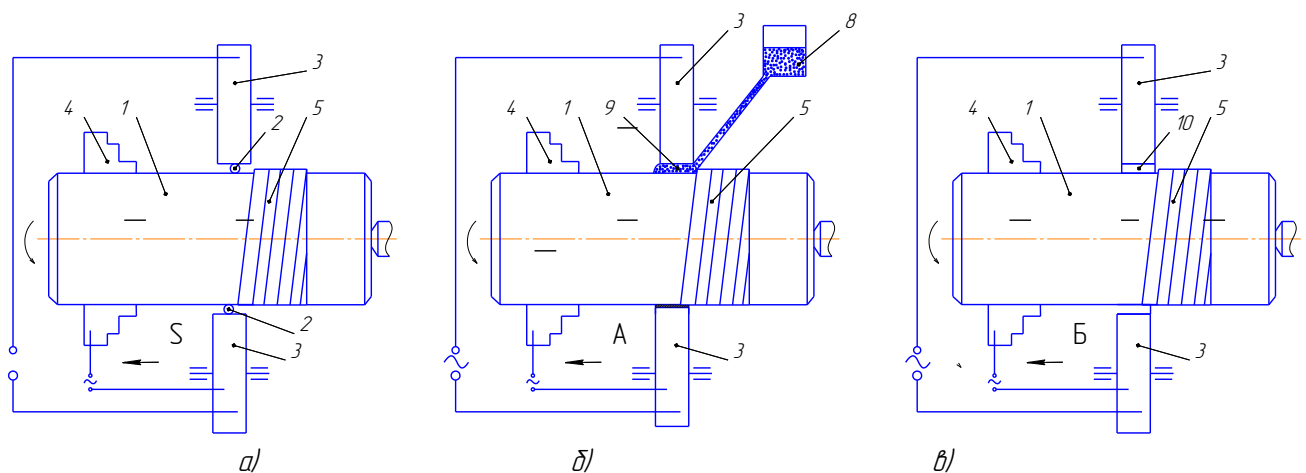
Якість наварювання покриттів з компактних матеріалів забезпечується виконанням повного технологічного циклу, що складається з окремих операцій: попереднього стискування зварювальних деталей електродами машини, нагрівання металу з утворенням литої зони, проковування навареного з'єднання після виключення зварювального струму і охолодження з'єднання після зварки» [18, 19, 20].

Спосіб контактної наварювання, ефективно застосовується для відновлення більшості валів автомобільної, сільськогосподарської техніки, дорожніх машин, що працюють як на зношування, так і при динамічних і повторно-змінних навантаженнях. Виключення становлять важко навантажені колінчасті вали, особливо великі, тобто діаметром більш 120...150 мм, а також

деталі із зносами робочих поверхонь більш 0,8-1 мм на сторону. Собівартість реновації виробів за допомогою контактного наварювання не перебільшує 20...40 % від нових при тому ж самому ресурсі [8]. Формування покриття на поверхні виробу відбувається у наступний спосіб. Присадочний матеріал подається між закріпленою в патроні наплавочної установки деталлю й роликом-електродом, розігрівається до пластичного стану й осаджується. При приварюванні присадочного матеріалу по гвинтовій лінії утворюється суцільне металопокриття. Імпульси електричного струму мають тривалість 0,04–006 с і створюються зварювальним трансформатором та переривачем електричного струму.

Даний метод контактного наварювання здійснюється на наплавочних установках типу 011-1-02, 011-1-02Н, 011-1-05, 011-1-07 і інших. Однак, установка для контактного наварювання може бути виконана власними промисловими потужностями на основі токарного верстату або шляхом модернізації шовної контактної машини. Найважливішим елементом наплавочного устаткування є основний робочий інструмент — електрод у вигляді ролика [21].

В якості матеріалів для наварювання можуть використовуватися дроти, порошки та стрічки. На рис. 2.16. представлено схему наварювання дротом (а), порошковим матеріалом (б) та стрічкою (в).



а — наварювання дротом; б — наварювання порошком; в — наварювання

стрічкою. 1 — деталь; 2 — присадочний дріт; 3 — ролик-електрод; 4 — патрон; 5 — металопокриття; 6 — зварювальний трансформатор; 7 — переривник струму

Рисунок 2.16 – Технологічні схеми контактного наварювання.

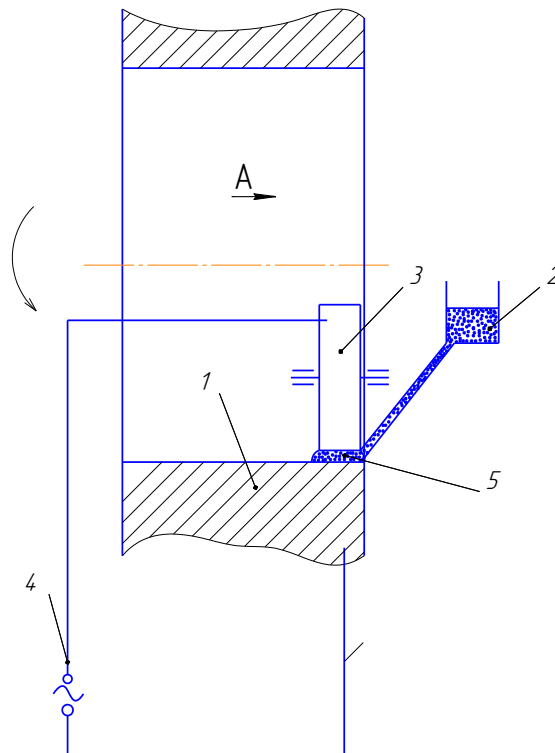


Рисунок 2.17 - Схема контактної наварювання порошку на внутрішні циліндричні поверхні

Для здійснення контактної наварювання необхідно відповідально підійти до вибору самого присадочного матеріалу. Його хімічний склад повинен повністю відповідати або суттєво не відрізнятися від складу металу деталі. Більшість валів автомобілів виготовляються з конструкційних або легованих сталей, тому для відновлення подібних деталей найчастіше застосовують дроти видів НП-50, НП-65, НП-80 з вуглецевих сталей, а також металеві порошки та стрічки.

Наварювання порошковим матеріалом має ряд переваг:

- можливість отримання покриттів з високими фізико-механічними властивостями;
- можливість отримання пористих маслоємких покриттів;
- можливість змішування різних матеріалів та отримання композиційних покриттів.

При необхідності перед наварюванням можуть проводитися наступні підготовчі операції: підготовка відновлюваної поверхні, що полягає в чищенні й знежирюванні; виправленні центрових фасок; попереднє шліфування поверхонь із однобічним зношуванням і зняття дефектного шару, що важливо для якісного проведення КН.

Для зняття дефектного шару й виведення нерівномірного зношування робочі поверхні валів перед наварюванням звичайно шліфують на глибину порядку 0,1 мм на сторону. Мінімальний припуск на наступну механічну обробку поверхонь рівний 0,15-0,2 мм на сторону. Таким чином, при застосуванні присадочного матеріалу зазначеного діаметра можна відновлювати деталі із зносами до 0,2-0,3 мм.

З'єднання присадочного й основного металів при контактному наварюванні формується у твердій фазі й без оплавлення контактуючих поверхонь. «При цьому міцність наварювання покриття визначається ступенем пластичних змін присадочного матеріалу. При максимально досяжній її осьовій деформації в 44-46 % міцність зварювання дорівнює міцності основного металу вала» [14-18].

Наступна після контактного наварювання механічна обробка поверхні здійснюється шліфуванням. Контроль якості відновлення містить у собі періодичні вимірювання твердості, а також вимірювання осьової пластичної деформації присадочного дроту при його наварюванні.

При наварюванні покриттів з за рахунок притискання їх електродами відбувається контакт на границі деталь-покриття окремими мікровиступами. При недо-триманні технологічних параметрів наварювання може відбуватися їх розплавлення та деформація при проходженні електричного струму, що спричиняє виплески і відхилення процесу наварювання.

Після ввімкнення зварювального струму відбувається пластична деформація біляшовної зони. Внаслідок нерівномірного нагрівання металу біля міжелектродної області утворюється зона з різним ступенем рекристалізації.

«У процесах деформації і рекристалізації можна виділити інкубаційний період, що характеризується лінійним зростанням зерна. Починаючи з деякої

температури спостерігається утворення осередків, що інтенсифікують процес рекристалізації. При цьому пластичність металів знаходиться в складній залежності від температури процесу» [18]. В результаті нерівномірного нагріву біляшовної зони і деформації її при стискуванні електродами можливе утворення тріщин і надривів. В роботі [21] показано, що такі тріщини виникають при швидкості деформації в температурному інтервалі крихкості, більшої деякого граничного «темпу» деформації.

При контактному наварюванні покриттів частина зусилля, що створюється на електроді, здійснює пресування порошку, дроту або стрічки в місці наварювання. Отже, технологічні параметри наварювання зносостійких покриттів з компактних матеріалів необхідно враховувати властивості матеріалів деталей та покриттів [22, 23].

Параметри якості покриття, отриманого контактним наварюванням, визначаються статичною міцністю зварного з'єднання, яка залежить від розмірів литого ядра точки. Через недостатньо обгрунтовані розрахунки величини литого ядра з метою отримання оптимальної міцності зчеплення розрахунків параметрів виконується на підставі емпіричних формул, пов'язаних з товщиною покриттів.

Попередні дослідження показали, що необхідну твердість в процесі КН можна отримати, використовуючи той чи інший матеріал.

Технологія контактного наварювання (КН) найбільш конкурентоспроможна, в порівнянні з іншими відомими способами нанесення покриттів, при усуненні зносу зовнішніх поверхонь виробів наварюванням одного шару металу. Значно менший ефект від застосування технології КН спостерігається при наварюванні другого і особливо наступних шарів.

З цієї причини найдоцільніше прагнути виконувати КН за один прохід, забезпечуючи максимальну товщину шару навареного металу на режимах із застосуванням мінімально допустимих струмів наварювання I_n при постійних інших параметрах технології. Однак, застосовувати струм наварювання I_n як основний параметр режиму недоцільно через сильну залежність його від розмірів відновлюваних деталей і необхідністю мати спеціальні прилади для вимірювання.

3. Обладнання та методика експериментальних досліджень

3.1 Обладнання та пристосування для відновлення опор чавунних блоків циліндрів.

Для досягнення поставленої мети використовувалися експериментальні методи дослідження. Проводилися дослідження фізико-механічних властивостей навареного покриття.

Установка для КН. При нанесенні покриття КН використовувалася установка для контактного наварювання МШ-1601 рис. 3.1, основні характеристики якої представлені в табл. 3.1.

Шовна машина МШ-1601 призначена для контактного наварювання на поверхні що мають форму тіла тіл обертання, а також отримання зварних швів на плоских поверхнях при виконанні шовного контактного зварювання. В якості присадкового матеріалу на даній установці можливо використовувати порошки, дроти та стрічки.

Для здійснення процесу КН на каретці установки монтується бункер для подачі порошку в зону наварювання.

Таблиця 3.1 - Основні характеристики та параметри машини МШ 1601

1. Найбільший вторинний струм, кА	202,0
2. Найбільше значення змінного струму підігріву, кА, не менше	3,0
3. Найбільше значення змінного струму відпалювання, кА, не менше	3,0
4. Номінальний тривалий вторинний струм, кА, не менше	2,0
5. Зусилля стиснення електродів, кН	100
найбільше, не менше	8
найменше, не більше	540
6. Номінальний виліт верхнього електроду, м	0,2
7. Номінальне розкриття електродів, м	0,055
8. Хід верхнього електроду, м	152,0
9. Тривала потужність при заряджанні, кВА, не більше	2,7



Рисунок 3.1 – Шовна машина МШ-1601 для контактного наварювання електродами роликами.

Вибір порошкового матеріалу. Для формування зносостійких покриттів використовували самофлюсуючі порошки на нікелевій і залізній основі [18-20].

Для підвищення зносостійкості, твердості і інших властивостей покриттів доцільно використовувати порошки на основі заліза. Вони є найбільш масовим продуктом порошкової металургії. До того ж механічна оброблюваність матеріалів на основі заліза значно вища, ніж на нікелевій основі.

Чавун, як матеріал, має погані зварювальні властивості. Тому відновлення корінних опор з використанням мало пластичних порошків на залізній основі приведе до їх швидкого викришування та відшарування в процесі експлуатації двигуна [29, 30, 31].

«Нанесення прошарку (підшару) є способом підготовки деталі перед нанесенням основного покриття.

Напилювання прошарку рекомендується у випадках нанесення покриттів, в яких коефіцієнт термічного розширення відрізняється від матеріалу деталі, яка працює в умовах змінного динамічного або теплового навантаження, а також в умовах корозійного середовища.

Для прошарку необхідно використовувати метали та сплави, які характеризуються пластичністю та високою міцністю зчеплення з основою та основним шаром покриття.

При виборі матеріалу прошарку необхідно враховувати граничні температури експлуатації в окислюючому середовищі (табл. 3.2).

Комбінації матеріалів прошарку, основи та основного шару покриттів необхідно вибирати таким чином, щоб уникнути корозії.

Прошарок необхідно наносити на попередньо знежирену активовану поверхню. Товщина шару повинна бути в межах 0,05...0,15 мм» [29, 30, 31].

«Таблиця 3.2. Матеріали для нанесення прошарку» [29, 30, 31].

Матеріал прошарку (марка порошку)	Орієнтовні граничні температури експлуатації покриттів, °C
«ПН55Т45	200
МПЧ(молібден)	315
ПТ88Н12	500
ПРХ18Н9	500
ПГ-СР4	950
ПТ-НА-01	1000
ПТ-Ю5Н	1000
ПХ20Н80	1200
ПН82Ю15	1300
ПН65Ю35	1300
ПН70Ю30	1500» [29, 30, 31]

Температури плавлення самофлюсуючих порошків на нікелевій основі складають 980-1150 ° C [18-20]. Самофлюсуючі порошки на залізній основі мають на 50-80 ° C вищу температуру плавлення. Дані, отримані авторами [21-23], дозволили вибрати порошок ПГ-СР4 на нікелевої основі і ПГ-СІ на залізній основі, як найпоширеніші матеріали, що володіють високим комплексом експлуатаційних характеристик (зносостійкість, теплостійкість, корозійну стійкість. Для досліджень в якості матеріалу покриття використовувалися

порошки ПГ-СР4 ГОСТ 21448-76 (порошок на нікелевій основі) і ПГ-СІ (порошок на залізній основі) ГОСТ 21448-75.

Покриття наносилось на зразки методом електроконтактного наварювання на спеціально розробленому обладнанні під тиском при імпульсному пропусканні електричного струму при наступних параметрах процесу: силі струму - 8...30 кА, вторинній напрузі 1...6 В, тиску до 100 МПа, часу імпульсу 0,04...0,2 с, часу паузи 0,04...0,2 с. Швидкості нагрівання досягали 103...104 К/с.

3.2 Методика експериментальних досліджень

При дослідженнях фізико-механічних та експлуатаційних характеристик покриттів вимірювалися мікротвердість зразків, мікроструктура розрізу покриттів за методиками ГОСТ 9012-59, міцність зчеплення покриття з основою.

Для дослідження були представлені зразки, вирізані з циліндричної заготовки, на яку наносилися покриття. Зразки вирізалися з таким розрахунками, щоб поперечний переріз становив 250...300 мм².

Дослідження мікроструктури. Дослідження мікроструктури металу зразків проводилися на горизонтальному металографічному мікроскопі МІМ-8М. При збільшенні $\times 100$ визначалася величина дійсного зерна відповідно до вимог ГОСТ 5639-82. При збільшенні $\times 300$ і $\times 500$ визначалися основні складові й характер мікроструктури.

Міцність зчеплення. Міцність зчеплення отриманих у роботі з'єднань контактного наварювання визначали за допомогою стандартних методик випробувань шляхом відривання сталевого конічного штифта [18].

Дослідження міцності зчеплення проводили за штифтовою методикою на розривній машині Р-5. Зразки з покриття встановлювали в розривну машину і здійснювали їх протилежно направлене переміщення. В результаті відбувалося відділення покриття від поверхні штифта.



Рисунок 3.2 - Розривна машина Р -5.

При дослідженні використовувався конусний штифт діаметром 4 мм. Схема випробовування зразків на міцність зчеплення показана на рис. 3.3.

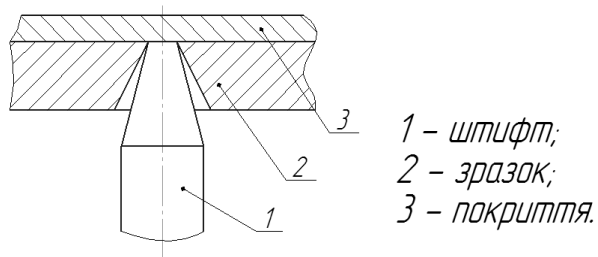


Рисунок 3.3 - Дослідження зразку на міцність зчеплення.

Залишкові напруження. Залишкові напруження визначаємо з використанням портативного дифрактометра (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 – Портативний дифрактометр

Мікротвердість. Твердість визначали по ГОСТ 2999-75 методом Вікерса, так як вимірювальна алмазна піраміда має великий кут при вершині і діагональ її відбитку приблизно в сім раз більше глибини відбитку, що підвищує точність вимірювання. Твердість по Вікерсу визначається як зусилля, що приходить на одиницю поверхні відбитку [24, 25].

При обчисленні твердості користувались таблицями (додаток до ГОСТ 2999-75), в яких приведені значення макротвердості в залежності від залежного навантаження і довжини діагоналі відбитка (чим більша довжина діагоналі, тим менша твердість матеріалу).

Мікротвердість покриттів вимірювалася на твердомірі марки ПМТ - 3 по ГОСТ 9450-76.

При вимірюванні мікротвердості визначають твердість окремих фаз і структурних складових покриття, а не “середню” твердість, тому залежне навантаження відмітилось від вимірювання твердості дуже малими значеннями від 15 до 1000 гс і малими розмірами відбитка (ГОСТ 9450-76). Процес випробовування на приборі автоматизований, передбачена можливість підключення цифроводрукуючого пристрою, тривалість витримки, під навантаженням від 5 до 45 с. Модель має таймери аналогового типу, які включають в себе програмований транзистор. Мікротвердість визначали по Вікерсу (рис. 3.5) на твердомірі марки ПМТ-3 (рис. 3.6).

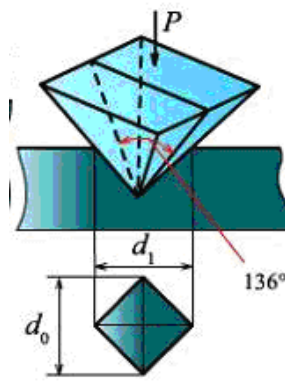


Рисунок 3.5 - Схема вимірювання мікротвердості по Вікерсу.



Рисунок 3.6 - Твердомір марки ПМТ – 3.

Шорсткість. Вимірювання шорсткості виконували за допомогою профілографа-профілометра TS-7 (рис. 3.7).

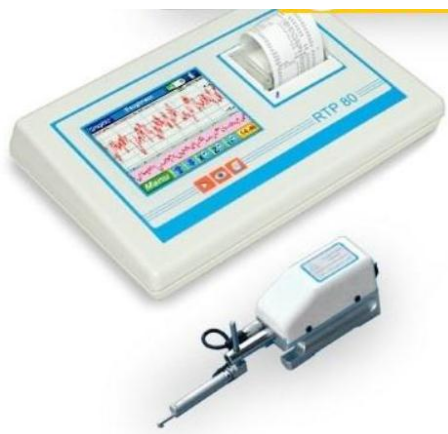


Рисунок 3.7 – Профілограф-профілометр TS-7.

4. Результати досліджень фізико-механічних властивостей відновлених поверхонь

Аналіз методів відновлення корінних опор показав, що однією з альтернатив існуючим методам є електроконтактне наварювання покриття (КНП) з порошкового матеріалу з фізико-механічними властивостями не гіршими ніж у основного матеріалу через проміжний нікелевий шар, який має кращі зварювальні властивості порівняно з матеріалами на основі заліза [26].

Технологія контактного наварювання має низку переваг: високу продуктивність; високу стабільність процесу, яка залежить від кваліфікації виконавця; порівняно низьку енергоємність; відсутність втрат присадного матеріалу; зменшує зону термічного впливу; не супроводжується світловим випромінюванням та газовиділенням, зберігає початкові властивості матеріалу основи при забезпеченні високої міцності з'єднання.

Для оцінки довговічності корінних опор блоків циліндрів, відновлених методом КНП покриттів через проміжний шар необхідно порівняти властивості отриманих покриттів з матеріалом блоку циліндрів і кришок (наприклад сірого чавуну СЧ-25, з якого виготовлений блок циліндрів двигунів сімейства КАМАЗ та кришок корінних опор, виготовлених із високоміцного чавуну ВЧ-60.

В експериментах пошуку оптимального режиму контактного наварювання покриття через проміжний шар, як основні фактори, що впливають на процес, були вибрані: потужність джерела теплоти Q , кДж; зусилля на електрод P , кН; шорсткість поверхні h мкм.

Як параметри оптимізації прийняті: міцність з'єднання покриття з основою τ , МПа; величина деформації покриття після приварювання $\epsilon\%$.

Дослідження проводились на зразках з СЧ-25 (ДСТУ 8833:2019), що використовується для виготовлення блоків циліндрів двигунів КАМАЗ. Як присадний матеріал використовувався порошок ПГ-С1 (вкладиші товщиною 2 мм).

Для активізації адгезійних процесів застосовували проміжний шар із порошку марки ПГ-СР4 [27].

Для дослідження впливу шорсткості поверхонь, що з'єднуються на міцність зварного з'єднання, поверхні піддавали різним видам механічної обробки.

Значення міцності зчеплення τ залежно від деформації матеріалу покриття показано на (рис. 4.1).

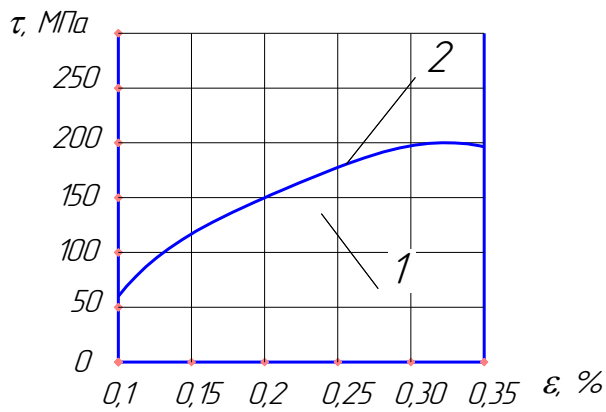


Рисунок 4.1 - Залежність міцності з'єднання з основою від величини деформації порошкового покриття на зразку з високоміцного чавуну з кулястим графітом при контактному приварюванні без проміжного шару (1) і через проміжний шар з нікелевого порошку (2).

Проведена оцінка рівня залишкових напружень в покритті після КНП та подальшого шліфування показала, що застосування проміжного шару з нікелевого порошку знижує в 3,35 рази рівень залишкової напруги порівняно зі зразком без проміжного шару (рис. 4.2).

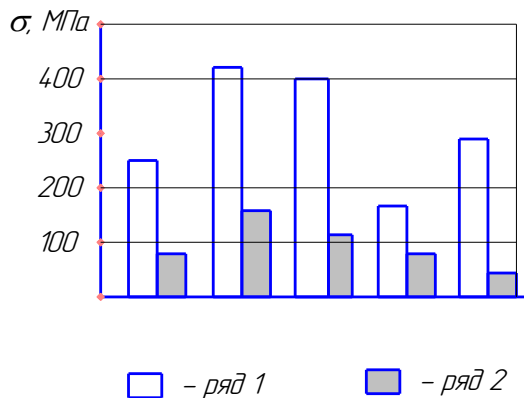


Рисунок 4.2 - Розподіл залишкових напружень у досліджуваних зразках: ряд 1 - зразок із покриттям з чавуну ВЧ-60 без проміжного шару;
Ряд 2 - зразок з покриттям з чавуну ВЧ-60 через проміжний шар з нікелевого порошку;
1 - 3мм; 2-5 мм; 3-8 мм; 4-12 мм; 5 - 16 мм від краю опори.

Міцність отриманого КНП зварного з'єднання визначали за даними випробувань на відрив та зсув. Відрив привареного зразка здійснювали на універсальній випробувальній машині Р-5. Результати випробувань наведені в табл. 4.1 та на рис. 4.3.

Таблиця 4.1 - Міцність з'єднання залежно від шорсткості за різних умов проведення випробувань

Шорсткість зварюваних поверхонь, мкм	Міцність з'єднання τ , МПа	
	Випробовування на розривання	Випробовування на зсув
0,8	205	198
40	180	202

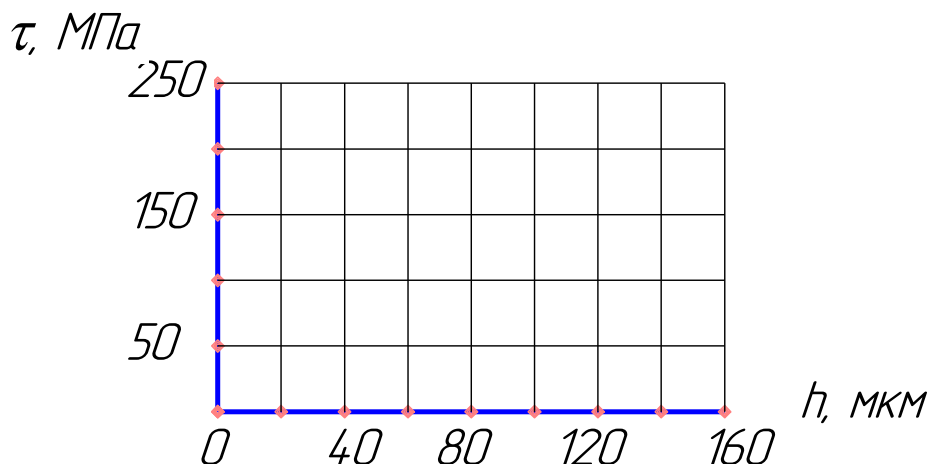


Рисунок 4.3 - Вплив шорсткості поверхонь, що зварюються на міцність з'єднання порошку з основою через проміжний шар з нікелевого порошку при $I=16\text{кА}$, $F^\circ=1,4\text{ кН}$, $t=0,04\text{ с}$.

Зростання площі контакту поверхонь, що з'єднуються при КНП через проміжний шар відбувається завдяки активній деформації, в результаті повзучості матеріалу проміжного шару і дифузійного заростання матеріалом проміжного шару несучільностей, що збереглися в поверхні контакту.

Аналіз результатів випробувань на зсув (табл. 4.1) показує, що з'єднання приварюваного (при оптимальних параметрах режиму зварювання) металу та

основи рівномірно основному металу.

З метою теоретичної оцінки післяремонтного напрацювання відновлених корінних опор був проведений металографічний аналіз зони з'єднання покриття з основою. Для проведення металографічних досліджень використовувалися зразки, з яких виготовлялися шліфи для дослідження макро- та мікроструктури зони з'єднання.

Дослідження мікроструктури з'єднання проводили на мікроскопі МІ8М.

Для виявлення макроструктури зразки трюїли в 5% розчині азотної кислоти протягом 15-20 с.

Дослідження залишкових напруг у покритті після КНП проводили за розробленою методикою на зразках, отриманих КНП пластин з високоміцного чавуну ВЧ-60 товщиною 2 мм до пластин з чавуну СЧ-25 товщиною 2 мм через проміжний шар з нікелевого порошку (20...22 мкм) та без нього.

Для рентгенівської зйомки використовували портативний дифрактометр Aeris, який забезпечує можливість визначення залишкової напруги в деталях при їх виготовленні, експлуатації та ремонті.

Результати металографічних досліджень поверхонь корінних опор, відновлених КНП високоміцного чавуну ВЧ-60 через проміжний шар із нікелевого порошку, проведених з метою оцінки післяремонтного напрацювання.

Післяремонтне напрацювання корінних опор залежить від ступеня наближення фізико-механічних властивостей відновлених поверхонь до фізико-механічних властивостей корінних опор поверхонь нового блоку циліндрів двигуна КАМАЗ, прийнятого за еталон.

Фізико-механічні властивості відновлених поверхонь характеризуються міцністю з'єднання покриття та основи, залишковою напругою, величиною зони термічного впливу, фактичною площею контакту покриття з основою.

Вплив зусилля стиснення на формування покриття та міцність з'єднання його з основою (рис. 6) оцінювали при $I=16$ кА та $I=12$ кА; $t_i = 0,04$ с і $t_n = 0,02$ с.

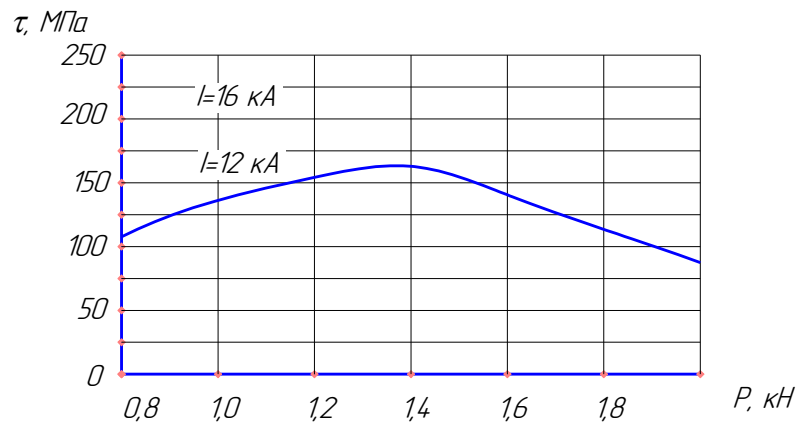


Рисунок 4.5 - Вплив зусилля P на електроді на міцність з'єднання покриття з ВЧ-60 - СЧ-25 при КНП через шар нікелевого порошку ($t_i = 0,04$ с і $t_f = 0,02$ с.)

Видно, що залежність міцності з'єднання τ покриття з основою у розглянутому інтервалі P від 0,8 до 2,0 кН має нелінійний характер з максимумом, причому максимальна міцність сполуки спостерігається при $P = 1,4$ кН. Тому дослідження впливу інших основних технологічних параметрів режиму (I , t_i , t_n) на формування покриття та якість з'єднання його з основою проводили при цьому значенні P .

На рис. 4.6 представлено вплив величини струму I в імпульсі та тривалості його протікання t_n на міцність τ з'єднання «порошок-основа». Видно, що при значеннях $I = 10-16$ кА найбільша міцність з'єднання досягається при t_i , що дорівнює 0,04 с.

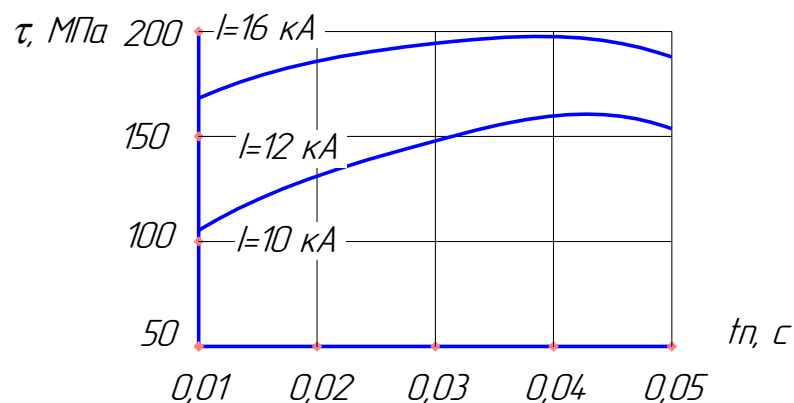


Рисунок 4.6 - Залежність міцності τ з'єднання «порошок - основа» від сили струму та тривалості його протікання при КНП через шар нікелевого порошку при

$$P=1,4 \text{ кН.}$$

Металографічні дослідження показали, що при використанні проміжного шару з нікелевого порошку найбільша мікротвердість спостерігається поблизу зони з'єднання, що зумовлено найбільшим впливом процесу КНП на цю область.

Глибина зони термічного впливу становить 0,08...0,1 мм, мікротвердість цієї зони $H = 4940...3670 \text{ Н/мм}^2$ (рис. 8).

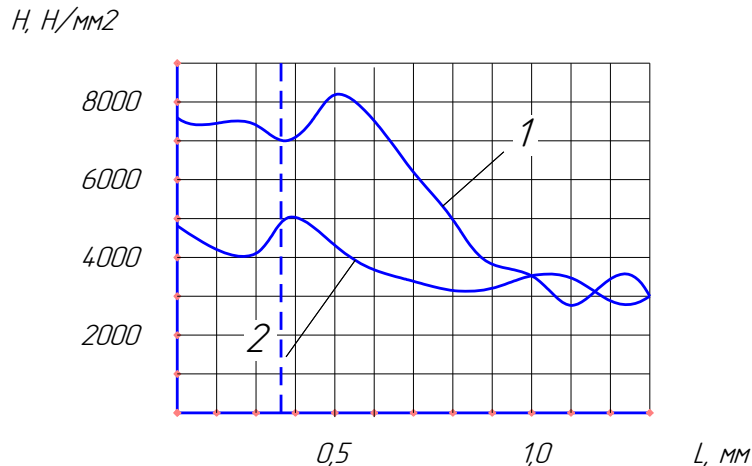


Рисунок 4.7 - Мікротвердість зони з'єднання «ВЧ-60-СЧ-25»:

1 - без проміжного шару; 2 - через проміжний шар з нікелю.

За зоною термічного впливу основний метал має вихідну структуру та мікротвердість $H_{1,0}=2280...2870 \text{ Н/мм}^2$.

При утворенні сполуки «ВЧ-60-СЧ-25» без проміжного шару мікротвердість зони з'єднання має досить високе значення: $H_{1,0}=6930...7070 \text{ Н/мм}^2$ (HRC 57...59), що суттєво знижує характеристики міцності зони з'єднання через можливість крихкого руйнування.

Дані металографічних досліджень і встановлені значення мікротвердості дозволяють зробити висновок, що при однаковій міцності з'єднання з міцністю матеріалу основи має місце суттєве поліпшення властивостей міцності відновлених чавуном ВЧ-60 поверхонь, що забезпечує експлуатаційні властивості відновлених корінних опор на рівні не нижче нових.

Дослідження несучої здатності відновлених пропонованим способом

корінних опор проводилися згідно протягом 1000 годин. Через кожні 250 годин роботи двигун розбирали виявлення стану корінних опор та їх мікрометрування. Результати дослідження подано на рис. 4.8 (крива 3).

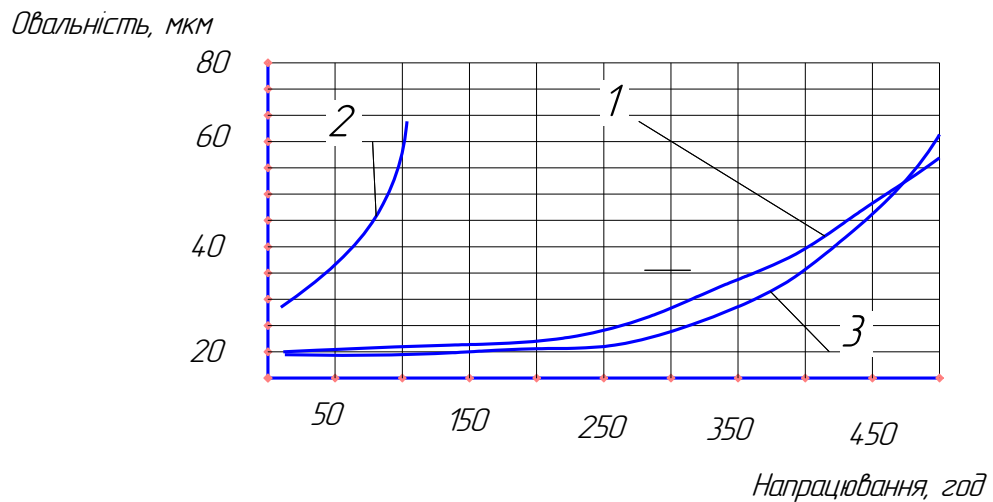


Рисунок 4.8 - Зміна овальності корінних опор залежно від напрацювання:

- 1 – блоки циліндрів до першого ремонту;
- 2 – блоки циліндрів після ремонту;
- 3 - блок циліндрів після відновлення КНП;

Пропонований метод відновлення дозволив зменшити швидкість накопичення ушкоджень корінних опор на 16% порівняно з корінними опорами нового блоку циліндрів при аналогічному напрацюванні.

На основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень розроблено технологію відновлення корінних опор блоку циліндрів двигуна КАМАЗ КНП залізного порошку через проміжний шар з нікелевого порошку. Встановлено, що оптимальним режимом ЕКП вкладиша з ВЧ-60 товщиною 2 мм до корінних опор є: $P=1,4$ кН; $I=16$ кА; $t_i=0,04$ с. Відновлені КНП покриття корінні опори забезпечують збільшення ресурсу блоку циліндрів у 1,16 разів.

Висновки

1. Основними дефектами блоків циліндрів автомобільних двигунів є зношування гільз, отворів корінних опор, отворів під розподільний вал та деформації блоку.
2. Встановлено, що при ремонтів блоків циліндрів використовуються хонінгування, розточування, наплавлення, напилювання, приварювання проміжного вкладишу та накатування. Зазначені технології не забезпечують достатніх фізико-механічних властивостей, через погану зварюваність чавуну та значний термічний вплив, який приводить до деформації опор.
3. Було запропоновано для метод контактного наварювання порошків на залізній основі через проміжний шар з порошків на нікелевій основі.
4. Для проведення досліджень підібрано обладнання та матеріали, а також методики експериментальних досліджень.
5. Результатами досліджень свідчать про можливість підвищення міцності зчеплення до 20% та зниження залишкових напружень до 35 %.

Список використаних джерел

1. → <https://kirovogrdded.at.ua/>
2. → Круглов С.М. Будова, технічне обслуговування і ремонт легкових автомобілів — К. — 1986. — 238 с.
3. → Автомобілі: тягово-швидкісні властивості та паливна економічність: навч. посібник / В. П. Сахно, Г. Б. Безбородова, М. М. Маяк, С. М. Шарай. — К.: Видавництво КВІЦ, 2004. — 174 с.
4. → Волков В. П. Теорія руху автомобіля: підручник / В. П. Волков, Г. Б. Вільський. — Суми: Університетська книга, 2010. — 320 с.
5. → Солтус А. П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля: навч. посібник / А. П. Солтус. — К.: Арістей, 2006. — 176 с.
6. → Кисликов В. Ф., Лущик В. В. Будова й експлуатація автомобілів: Підручник. — 6-те вид. — К.: Либідь, 2006. — 400 с.
7. → Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. — К.: Знання, 2003. — 511 с.
8. → Чабанний В.Я. Практикум з експлуатації вантажних автомобілів. Навчальний посібник. Уклад.: Чабанний В.Я., Магопєць С.О., Мажейка О.Й. та ін. — Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2011. — 456 с.
9. → Дяченко В.Г. Розрахунок автомобільних двигунів. Навчальний посібник до курсового проектування / Дяченко В.Г., Саловський В.С., Кропівний та ін. — Кіровоград: КДТУ, 2003. — 266 с.
10. Канарчук В.Є., Лудченко О.А., Чигиринець А.Д. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів: Підручник. — К.: Вища шк., 1994. — (у 3-х кн.): Кн. 1: Теоретичні основи: Технологія. — 342 с.; Кн. 2: Організація, планування і управління. — 383 с.; Кн. 3: Ремонт автотранспортних засобів. — 599 с.
11. Клімов С. В. Експлуатація і обслуговування машин: навч. посіб. / С. В. Клімов. — Рівне: НУВГП, 2010. — 218 с. / [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/5573>.

12. Рожков О.Д. Технологія нанесення покриттів. Частина II. Навч. посібник. — Дніпропетровськ: НМетАУ, 2008. — 38 с. ¶
13. Корас В.М. Технологія та обладнання для напильня. Навч. посібник. — К.: НМЦ ВО, 2000. — 152 с. ¶
14. Лопата Л.А., Красота М.В. Застосування композиційних дифузійно-легованих порошків при відновленні деталей машин електроконтактним припіканням. /Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. — Кіровоград, КДТУ, 2001 — Вип. 30. — с. 165-169. ¶
15. Лопата Л.А., Красота М.В. Поєднання процесів електроконтактного припікання порошків і теплового пластичного деформування/ Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту та експлуатації автомобілів. Київ, НТУ, 2001. — вип. 12, с. 73-79. ¶
16. Лопата Л.А., Красота М.В. Дослідження працездатності спряження при відновленні валу електроконтактним припіканням фасонним електродом з одночасним пластичним деформуванням поверхні/ Проблеми трибології. — Хмельницький, — ТУП, 2001. — с. 125-128. ¶
17. Красота М.В., Шепеленко І.В., Соколенко І.М. Теоретико-експериментальне дослідження параметрів електроконтактного наварювання порошків/Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. — Кіровоград, КНТУ — 2004. Вип. 34, с. 225-229. ¶
18. Василенко І.Ф., Красота М.В., Шепеленко І.В. Дослідження покриттів, отриманих контактним наварюванням композиційних порошкових дротів з борвмісним матеріалом. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник "Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин", КНТУ 2007, вип. 18. — с. 295-298. ¶

19. Красота М.В., А.М. Артюхов, І.В., Шепеленко І.В., В.О., Дубовик. Дослідження впливу параметрів циліндричних електродів на формування покриттів при контактному наварюванні порошків. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. — Кіровоград, КНТУ, 2010-р. Вип. 40. — С. 179-185. ¶
20. Канарчук В.Є., Посвятенко Е.К., Лопата Л.А. Електроконтактне зміцнення як метод інженерії поверхні деталей транспортних засобів при їх виготовленні і відновленні. Вісник /36. наук. праць транспорт. ун-ту та транспорт. академії України. — Вип. №4, — К., РВВ-НТУ, 2001, — С.3–6. ¶
21. Красота М.В. Технологія електроконтактного наварювання порошків з отриманням рівномірних властивостей по перерізу покриття. Автореф. дис. канд. техн. Наук. — К., 2002. — 20 с. ¶
22. Пат. України 37465А, МКИ В22F 1/00. Електрод для електроконтактного припикання порошків / Л.А.Лопата, Ф.Й.Златопольський, М.В.Красота Заявл. 14.01.99, опубл. 15.05.2001, Бюл. №4. ¶
23. Василенко І.Ф. Дослідження властивостей композиційних покриттів, нанесених контактним наварюванням порошкових дротів / І.Ф.Василенко // Збірник наукових праць КНТУ «Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація». — 2014. — Вип. 27. — С. 60-67. ¶
24. Закалов О. В. Основи тертя і зношування в машинах: Навчальний посібник / О. В. Закалов, І. О. Закалов. — Тернопіль: Видавництво ТНТУ ім. І.Пулюя, 2011. — 322 с. 20. Кіндрачук М. В. Трибологія: підручник / Кіндрачук М. В., Лабунець В. Ф., Пашечко М. І., Корбут Є. В. // МОН. — Київ: НАУ-друк, 2009. — 392 с. ¶
25. Лисенко В. Ф. Матеріалознавство [Текст] : навч. посіб. : навч.-метод. комплекс для студентів ден. і заоч. форм навчання / Кіровогр. нац. техн.

- ун-т, Каф. матеріалознавства та ливар. вир-ва; [уклад.: Галико А. В. та ін.]. – Кіровоград.: Лисенко В. Ф. [вид.], 2015. – 167 с.¶
26. Швець Л.В. Особливості структуроутворення при електроконтактному припіканні. / Л.В. Швець, Д.С. Максимчук. / «Сучасні проблеми виробництва, переробки с.-г. продукції, машинобудування та енергетичних систем АПК»: матеріали IV магістерської науково-технічної конференції, 23-24 листопада 2016 року. – Вінниця: Вид-во ВНАУ, 2016. – С. 102-104.¶
27. Ющенко К.А. Інженерія поверхні. / К.А. Ющенко, Ю.С. Борисов, В.Д. Кузнєцов, В.М. Корж. – К.: НВП Видавництво «Наукова думка України», 2007. – 557 с.¶
28. Goetzel G.G., De Macchi W.S. Powder Metallurgy Inten., 1971, 3, № 2, p. 80-84. Jones W.D. The metal Industry, 1, 1940, p. 69; and 3, 1980, p. 225.¶
29. Kotsehy J., Sposob wytwarzania kształtek o przekroju kołowym z proszkow metali lub ich stopow. Пат. ПНР, № 92501.¶
30. Lenel F.V. Resistance sintering under pressure. – Guornal of Metals, 1955, 1, p. 158-167.¶
31. Preston L.G. et James L.R. Objet de metal en poudre possedant une surface resistant a l'usure. Francaise patent № 2 327 009 (B 22F 7/00).¶