

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ, ТРАНСПОРТУ ТА АРХІТЕКТУРИ
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти БАКАЛАВРА
Бакалавра (Магістра)

Вдосконалення технології відновлення колінчатого вала двигуна з метою підвищення довговічності

Назва теми

Галузь знань 13 Механічна інженерія
Шифр і назва галузі знань

Спеціальність 132 Матеріалознавство
Шифр і назва спеціальності

Освітня програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів
Назва

Шифр КвРМТВА. 22146.01.24.00

Виконав студент(ка) 4-го курсу
група МТВА 22-1
Шифр


Підпис

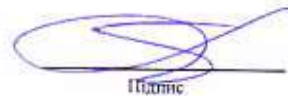
Денис ПРАВДІН
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник


Підпис

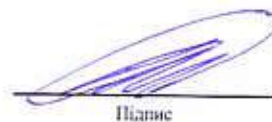
Михайло ГЕТЬМАН
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер доцент кафедри ТАМ
Посада


Підпис

Олег БАБАК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
Завідувач кафедри ТАМ
Назва


Підпис

Олександр ДИХА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Дата 10.06.2026

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства
Навчально-кваліфікаційний рівень бакалавр
Напрямок підготовки (спеціальність) 132 «Матеріалознавство»
Навчально-професійна програма «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТАМ
проф., д.т.н. Духа О.В.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Правдіну Денису

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи «Вдосконалення технології відновлення колінчатого вала двигуна з метою підвищення довговічності».

Рівень роботи Гетьман Михайло Володимирович
Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Відомо наказом університету від 20 січня 2026 р. № 7 (Д14)

Строк подання студентом роботи на кафедру 16.06.2026 р.

Вихідні дані до проекту (роботи) Матеріали практики; матеріали курсових робіт.

Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Об'єкт та методи досліджень;

2. Розрахунок і аналіз технології відновлення колінчатого вала;

3. Результати проведених досліджень.

Перелік графічного матеріалу (презентація)

Графічна частина роботи представлена у вигляді презентації на слайдах

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

7. Дата видачі завдання 15.04 2026р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Приміт
1	<i>Об'єкт та методи досліджень</i>	28.05.2026	
2	<i>Розрахунок і аналіз технології відновлення колінчатого валу;</i>	08.06. 2026	
3	<i>Результати проведених досліджень</i>	12.06. 2026	
4	<i>Висновки</i>	14.06. 2026	
5	<i>Захист дипломної роботи</i>	16.06. 2026	

Студент


Підпис

Денис ПРАВДІН
Ім'я, прізвище

Керівник роботи


Підпис

Михайло ГЕТЬМ.
Ім'я, прізвище

Реферат

Бакалаврську випускную роботу виконав студент 4 курсу, група МТВА-22-1 Правдін Денис на тему: «Вдосконалення технології відновлення колінчатого вала двигуна з метою підвищення довговічності».

У дипломній роботі розглянуто питання вдосконалення технології відновлення колінчатого валу двигуна з метою підвищення довговічності. Проведено аналіз основних факторів, що впливають на знос колінчатого валу під час роботи в двигуні, а також основні методивідновлення з метою підвищення довговічності роботи колінчатого валу двигуна.

У першому розділі проведено огляд основних конструктивних особливостей будови колінчатого валу . А також види зносу та основні види поломок колінчатого валу

У другому розділі було проведено огляд матеріалів, які використовуються для виготовлення колінчатого валу.

У третьому розділі було описано дослідження впливу підготовки поверхні на якість газотермічного покриття колінчастого вала.





Випускна робота складається з 63 сторінок, містить у собі 3 ілюстрацій, 7 таблиць та 20 джерел.

Ключеві слова: КОЛІНЧАТИЙ ВАЛ, ВЛАСТИВОСТІ, ЗНОС, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, МАТЕРІАЛИ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС.

с, дата	
завдання прийняв	
ання	Примі
йної	
26	
26	
26	
26	
26	
<u>ПРАВДІН</u>	
йло ГЕТЬМ.	

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	7
1.1 Конструктивні особливості колінчатого валу.....	7
1.2 Умови роботи колінчатого валу.....	12
1.3 Види зносу колінчатого валу і типові дефекти.....	14
1.4 Основні способи відновлення колінчатого валу двигуна	17
2 РОЗРАХУНОК І АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ КОЛІНЧАТОГО ВАЛУ.....	26
2.1 Матеріали що використовуються для виготовлення деталі.....	26
2.2 Матеріали порошка, який використовувався.....	28
2.3 Детоначійна установка.....	31
2.4 Обробка поверхонь за допомогою абразивного струменя.....	34
2.5 Розробка технологічного процесу відновлення.....	39
2.6 Встановлення норм технологічного процесу.....	42
2.7 Оцінка трудомісткості виконаних робіт.....	47
3. РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	51
3.1 Дослідження впливу підготовки поверхні на якість газотермічного покриття колінчастого вала.....	51
3.2 Аналіз ефективності відновлення колінчастого вала методом газотермічного напилення.....	54
ВИСНОВКИ	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	61
ДОДАТКИ.....	63

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>			
Змін	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	Вдосконалення технології відновлення колінчатого вала двигуна з метою підвищення довговічності*	Літ.	Арк.	Акрюшів
Розроб.		Правдін						
Перевір.		Гетьман					4	63
Реценз.						<i>ХНУ група МТВА 22-1</i>		
Н. Контро.		Бабак						
Затверд.		Диха						

ВСТУП

Основним завданням автомобільного транспорту є повне, якісне та своєчасне задоволення потреб у перевезеннях за умови мінімізації витрат матеріальних, енергетичних і трудових ресурсів. Ефективність функціонування транспортної системи безпосередньо впливає на розвиток економіки, логістичні процеси та рівень забезпечення населення товарами й послугами.

У структурі вантажних перевезень автомобільний транспорт посідає провідне місце, забезпечуючи значну частку загального обсягу перевезень. Це пояснюється його мобільністю, гнучкістю маршрутів і можливістю доставки «від дверей до дверей». В умовах постійного зростання обсягів перевезень збільшується і кількість вантажних транспортних засобів, що, у свою чергу, підвищує вимоги до їх технічного стану, надійності та довговічності.

У процесі експлуатації транспортних засобів їхні деталі піддаються зношуванню, що призводить до погіршення технічних характеристик і необхідності проведення ремонтно-відновлювальних робіт. Існує широкий спектр методів відновлення деталей, серед яких є як традиційні, перевірені часом технології, так і сучасні інноваційні підходи. Відновлення передбачає повернення деталі її початкових розмірів, геометричної точності та експлуатаційних властивостей поверхні.

Методи відновлення умовно поділяють на основні та допоміжні. До основних належать: обробка під ремонтний розмір, використання додаткових елементів, пластична деформація, зварювання і наплавлення, металізація, а також нанесення спеціальних покриттів, зокрема хромування та залізнення. Кожен із цих методів має свої переваги, обмеження та сфери застосування залежно від умов роботи деталі.

Серед сучасних перспективних технологій особливу увагу

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		5

привертають газоплазмове та детонаційне напилення. Ці методи дозволяють формувати зносостійкі покриття з високими експлуатаційними характеристиками, що суттєво підвищує ресурс відновлених деталей. Детонаційне напилення, зокрема, вирізняється високою щільністю покриття, міцним зчепленням із основою та можливістю використання широкого спектра порошкових матеріалів. Подібні технології активно застосовуються на сучасних ремонтних підприємствах України та країн Європи.

Колінчастий вал двигуна є однією з найбільш відповідальних, складних і дорогавартісних деталей, що працює в умовах значних змінних навантажень, високих температур та інтенсивного тертя. Його технічний стан безпосередньо впливає на працездатність усього двигуна, тому питання відновлення цієї деталі має особливе значення.

Метою даної кваліфікаційної роботи є розроблення ефективної технології відновлення колінчастого вала дизельного двигуна, що використовується у вантажних автомобілях європейського виробництва, таких як MAN, Volvo або Scania. Основний акцент зроблено на підвищенні довговічності деталі шляхом застосування сучасних зносостійких порошкових матеріалів у технологічному процесі напилення. Запропонована технологія має забезпечити надійну роботу відновленого вала в умовах знакозмінних навантажень, абразивного зношування та дії підвищених температур, що є характерними для сучасних двигунів внутрішнього згорання.

У результаті впровадження такої технології очікується підвищення ресурсу деталей, зниження витрат на ремонт і обслуговування, а також покращення екологічних та економічних показників експлуатації транспортних засобів.

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		6

1. ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Конструктивні особливості колінчатого валу

Колінчастий вал (див. рисунок 1.1) є однією з ключових деталей двигуна внутрішнього згорання. Його основна функція полягає у сприйнятті зусиль, що передаються від поршнів через шатуни, та перетворенні цих зворотно-поступальних рухів у обертальний рух. Сформований у результаті цього процесу крутний момент через маховик передається до агрегатів трансмісії транспортного засобу, забезпечуючи його рух.

Конструкція колінчастого вала включає низку важливих елементів, кожен із яких виконує визначену функцію:

Корінна шийка — опорна частина вала, яка розміщується в корінних підшипниках, встановлених у картері двигуна. Вона забезпечує обертання вала з мінімальним тертям та сприймає основні радіальні навантаження.

Шатунна шийка — елемент, через який колінчастий вал з'єднується із шатунами. Саме на ці шийки передаються сили від поршнів. Для зменшення зношування та ефективного відведення тепла в них передбачені внутрішні масляні канали, що забезпечують подачу мастильного матеріалу до підшипників.

Щоки (кривошипи) — з'єднують корінні та шатунні шийки між собою, формуючи геометрію кривошипно-шатунного механізму. Вони забезпечують передачу зусиль і визначають радіус обертання шатунних шийок.

Передня частина вала (носок) — ділянка, на якій встановлюються елементи приводу допоміжних систем, зокрема зубчасті колеса або шківни для газорозподільного механізму, генератора, насоса охолоджувальної

					КвРМТВА. 22146.01.24.00	Днк
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		7

рідини та інших агрегатів.

Задня частина вала (хвостовик) — призначена для з'єднання з маховиком або іншими елементами передачі крутного моменту. Вона забезпечує передачу енергії від двигуна до трансмісії.

Противаги — спеціальні масивні елементи, які служать для часткового або повного врівноваження інерційних сил, що виникають під час обертання вала. Вони зменшують навантаження на підшипники, знижують рівень вібрацій і підвищують плавність роботи двигуна.

Конфігурація колінчастого вала значною мірою залежить від конструктивних особливостей двигуна, зокрема кількості циліндрів, їх розташування (рядне, V-подібне тощо), порядку роботи та кількості тактів. У сучасних автомобільних двигунах найчастіше застосовуються повноопорні колінчасті вали, у яких кожна шатунна шийка розміщена між двома корінними. Така конструкція забезпечує підвищену жорсткість і надійність, оскільки кількість корінних шийок на одну більша, ніж шатунних.

Виготовлення колінчастих валів здійснюється переважно методами гарячого об'ємного штампування з легованих сталей або литтям із високоміцного чавуну. У деяких випадках противаги виготовляються разом із валом як єдине ціле, або ж можуть кріпитися окремо. Після виготовлення деталь проходить механічну обробку, термічне зміцнення та фінішне шліфування, що забезпечує необхідну точність і зносостійкість робочих поверхонь.

Розташування шатунних шийок визначається таким чином, щоб робочі такти в різних циліндрах відбувалися рівномірно за кутом повороту колінчастого вала. Це дозволяє досягти більш рівномірного обертання, зменшити динамічні навантаження та частково компенсувати сили інерції, які виникають під час роботи двигуна. Завдяки цьому підвищується ефективність, довговічність і надійність силового агрегату в цілому.

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		8

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	Но докум	Пілпис	Дата		9



Рисунок 1.1 – Колінчатий вал двигуна внутрішнього згорання

Якщо конструктивне розташування кривошипів колінчастого вала не забезпечує повного взаємного врівноваження інерційних сил і моментів, що ними створюються, у таких випадках застосовують додаткові конструктивні рішення. Зокрема, на вал встановлюють противаги або використовують спеціальні балансувальні механізми, які дозволяють зменшити вібрації, підвищити плавність роботи двигуна та знизити навантаження на опорні елементи.

Для підвищення зносостійкості та довговічності корінних і шатунних шийок колінчастого вала застосовують термічне зміцнення, найчастіше методом загартування струмами високої частоти. Після цього виконують високоточне шліфування та полірування робочих поверхонь, що забезпечує необхідну шорсткість і точність розмірів. Перехідні ділянки між шийками та щоками, які називають галтелями, виконують із плавними

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		10

радіусами. Така форма дозволяє уникнути концентрації напружень і зменшує ймовірність утворення тріщин та руйнування деталі в процесі експлуатації.

З метою підвищення жорсткості та міцності колінчастих валів у конструкції часто передбачають перекриття шийок, тобто часткове накладання їхніх проєкцій. Це сприяє більш рівномірному розподілу навантажень і підвищує загальну надійність вузла.

У більшості сучасних двигунів у шатунних шийках передбачені спеціальні порожнини, що виконують функцію уловлювачів забруднень. Завдяки дії відцентрових сил у цих порожнинах відбувається додаткове очищення мастила від механічних домішок, що позитивно впливає на ресурс підшипників і всієї системи мащення.

Як опори колінчастого вала застосовують тонкостінні вкладиші корінних підшипників. Їх основне призначення полягає у зменшенні коефіцієнта тертя між шийками вала та опорними поверхнями, а також у запобіганні інтенсивному зношуванню контактуючих елементів. Використання таких вкладишів дозволяє забезпечити стабільну роботу вузла навіть за значних навантажень.

У процесі роботи двигуна виникають також осьові сили, які прагнуть змістити колінчастий вал уздовж його осі. Це пов'язано, зокрема, з роботою зчеплення та косозубих передач газорозподільного механізму. Найбільші осьові навантаження спостерігаються під час вимикання зчеплення. Для їх компенсації один із корінних підшипників виконують упорним — він сприймає осьові зусилля та запобігає небажаному переміщенню вала. Як правило, такі упорні елементи розташовують по обидва боки одного з корінних підшипників.

На передньому кінці колінчастого вала, окрім зубчастого колеса приводу газорозподільного механізму, встановлюються додаткові елементи: масло відбивач, маточина шківів приводу водяного насоса,

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		11

вентилятора та генератора. У торцевій частині вала може бути встановлений храповий механізм, який використовується для запуску двигуна вручну та одночасно фіксує встановлені деталі від осьового зміщення.

Передній кінець вала герметизується за допомогою самопідтискового гумового сальника, який розташований у кришці механізму приводу. Для додаткового захисту від витоків мастила та потрапляння забруднень застосовуються масло- та пиловідбивачі. Конструкція передбачає спеціальні захисні елементи, які перешкоджають попаданню пилу, піску та мастила безпосередньо на ущільнювальні поверхні.

Ущільнення заднього кінця колінчастого вала є більш складним і включає сальник, маслосгінну різьбу та спеціальний гребінь для відведення мастила. Різьба виконується у напрямку, протилежному обертанню вала, що сприяє ефективному поверненню мастила до піддона. Це дозволяє зменшити втрати мастильного матеріалу та підвищити герметичність вузла.

У задній частині колінчастого вала встановлюється підшипник, який забезпечує опору для первинного вала коробки передач. Фланець, виконаний як єдине ціле з валом, використовується для кріплення маховика за допомогою високоміцних болтів, що гарантує надійну передачу крутного моменту.

У даній кваліфікаційній роботі як об'єкт дослідження обрано колінчастий вал двигуна, що застосовується в автомобілях українського виробництва, зокрема вантажних транспортних засобах марки «Богдан» (рисунок 1.2). На прикладі цього вала розроблено технологію відновлення зношених поверхонь із використанням сучасних газотермічних методів напилення порошкових матеріалів. Запропонована технологія є універсальною та може бути адаптована для відновлення колінчастих валів інших типів двигунів, що експлуатуються в різних умовах.

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		12

Застосування таких інноваційних підходів дозволяє не лише відновити геометричні параметри деталей, але й суттєво покращити їх експлуатаційні характеристики, підвищити зносостійкість, надійність і загальний ресурс роботи двигуна.



Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд двигуна автомобіля марки “Богдан”

1.2 Умови роботи колінчатого валу

Колінчастий вал є одним із найбільш навантажених елементів двигуна внутрішнього згоряння, оскільки працює в складних умовах змінних механічних і теплових впливів. У вантажних автомобілях українського виробництва, зокрема марки «Богдан», експлуатаційні умови цієї деталі характеризуються високою інтенсивністю навантажень, що

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		13

обумовлено режимами роботи двигуна, дорожніми умовами та специфікою перевезень.

Під час роботи двигуна колінчастий вал сприймає зусилля від поршнів через шатуни, які виникають унаслідок згоряння паливно-повітряної суміші. Ці сили мають змінний характер і повторюються з великою частотою, створюючи циклічні навантаження. Внаслідок цього вал працює в умовах багаторазових знакозмінних напружень, що є основною причиною втомного зношування матеріалу. Особливо критичними є ділянки переходів між шийками та щоками, де можливе виникнення концентрацій напружень.

Крім згинальних і крутильних навантажень, колінчастий вал зазнає впливу інерційних сил, що виникають у процесі руху поршневої групи. Нерівномірність обертання, особливо на низьких обертах або при зміні режимів роботи двигуна, спричиняє додаткові динамічні навантаження. У вантажних автомобілях «Богдан», які часто працюють у режимах підвищеного навантаження (перевезення важких вантажів, рух у міських умовах із частими зупинками), ці фактори мають ще більший вплив.

Важливим аспектом є також температурний режим роботи колінчастого вала. У процесі експлуатації він піддається нагріванню як від гарячих газів у камері згоряння, так і внаслідок тертя в підшипникових вузлах. Перепади температур можуть викликати теплові деформації, що впливають на точність геометрії та зазори в з'єднаннях. Це, у свою чергу, може призводити до погіршення умов мащення та прискореного зношування.

Суттєву роль у забезпеченні надійної роботи колінчастого вала відіграє система мащення. У нормальних умовах між шийками вала та вкладишами підшипників формується гідродинамічна масляна плівка, яка зменшує тертя та запобігає прямому контакту металевих поверхонь. Однак при порушенні режимів мащення (наприклад, через недостатній тиск

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		14

масла, його забруднення або втрату в'язкості) можливий перехід до граничного тертя, що різко підвищує інтенсивність зношування.

Додатковим фактором, який впливає на умови роботи колінчастого вала, є наявність абразивних частинок у мастильному матеріалі. Вони можуть потрапляти в систему разом із повітрям або утворюватися внаслідок зношування деталей. Це призводить до появи подряпин на поверхнях шийок і поступового збільшення зазорів у підшипниках.

Не менш важливим є вплив осьових навантажень, які виникають унаслідок роботи зчеплення та зубчастих передач. Вони можуть викликати зміщення колінчастого вала вздовж осі, що компенсується застосуванням упорних підшипників. У разі їх зношування або неправильного регулювання можливе порушення положення вала та додаткові навантаження на інші елементи двигуна.

Таким чином, умови роботи колінчастого вала в автомобілях «Богдан» можна охарактеризувати як складні та багатофакторні. Деталь одночасно піддається дії змінних механічних навантажень, температурних впливів, сил тертя та впливу зовнішніх забруднень. Це обумовлює підвищені вимоги до матеріалу, технології виготовлення та методів відновлення колінчастих валів. Урахування зазначених факторів є необхідною умовою для підвищення надійності та довговічності двигуна в цілому.

1.3 Види зносу колінчастого валу і типові дефекти

Колінчастий вал двигуна працює в умовах періодично змінних навантажень, які виникають під дією тиску газів у циліндрах, а також сил і моментів інерції рухомих мас кривошипно-шатунного механізму. Сукупний вплив цих факторів призводить до виникнення значних крутильних і згинальних моментів, а також викликає поздовжні крутильні

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Анк
Змн	Анк	№ док.ум	Підпис	Дата		15

коливання вала. У разі наближення до резонансних режимів роботи двигуна амплітуда таких коливань різко зростає, що спричиняє додаткові напруження в матеріалі та підвищує ризик втомного руйнування.

Процес зношування колінчастого вала є складним і супроводжується комплексом фізико-хімічних явищ, які залежать від багатьох чинників. До них належать властивості матеріалу деталі, якість обробки поверхонь, характер контакту спряжених елементів, величина навантаження, швидкість ковзання та ефективність мащення. У двигунах автомобілів «Богдан», що часто експлуатуються в умовах змінних навантажень і міських режимів руху, вплив цих факторів є особливо відчутним.

Домінуючим механізмом руйнування поверхонь є механічне зношування, яке включає абразивний і втомний види зносу. Абразивне зношування виникає внаслідок потрапляння твердих частинок у зону тертя, тоді як втомне пов'язане з багаторазовими циклічними навантаженнями. Крім того, можуть проявлятися молекулярно-механічні та корозійно-механічні види зношування. За певних умов, наприклад при погіршенні якості мастила або підвищеній вологості, саме ці супутні процеси можуть стати визначальними у руйнуванні поверхонь.

До найбільш характерних дефектів колінчастих валів, що експлуатуються в двигунах автомобілів «Богдан», належать:

- викривлення (деформація) вала внаслідок перевантажень або порушення умов експлуатації;
- зношування посадкових поверхонь і шпонкових пазів під встановлення шестерень або шківів;
- пошкодження чи зношування різьбових з'єднань на торцевих ділянках;
- зношування отворів і різьб у фланці кріплення маховика;
- зношування корінних і шатунних шийок, що є найбільш поширеним дефектом.

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		16

Колінчасті вали підлягають вибракуванню у випадках виявлення тріщин, відшарування металу на робочих поверхнях, а також тоді, коли зношування шийок перевищує допустимі ремонтні розміри. Особливо небезпечними є тріщини в зоні щік, оскільки вони можуть призвести до раптового руйнування деталі.

У процесі експлуатації корінні та шатунні шийки, а також галтели піддаються інтенсивному контактному зношуванню. Зношування має нерівномірний характер: шатунні шийки часто набувають овальної форми по периметру та конусності по довжині. Найбільше зношування спостерігається на ділянках, орієнтованих у бік осі обертання вала. Корінні шийки, як правило, зношуються більш рівномірно по довжині, однак також можуть втрачати круглість.

Аналіз експлуатаційних пошкоджень колінчастих валів, що застосовуються в аналогічних за конструкцією дизельних двигунах вантажних автомобілів «Богдан», показує, що найбільш поширеними є такі дефекти:

- деформація вала, яка становить найбільшу частку відмов;
- провертання або задири шийок у підшипниках, що виникають через порушення умов мащення;
- поява тріщин у зонах концентрації напружень;
- послаблення посадок і пошкодження різьбових з'єднань у зоні кріплення маховика.

Середні значення зношування шийок за нормальних умов експлуатації становлять десятки мікрометрів, проте при аварійних режимах ці величини можуть суттєво зростати. Важливим показником технічного стану є також биття середньої шийки, яке при значному зношуванні може перевищувати допустимі межі та свідчити про деформацію вала.

Причинами виникнення задирів на поверхнях шийок найчастіше є

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		17

недостатнє мащення (так зване «масляне голодування»), а також відхилення геометричної форми шийок понад допустимі значення. У таких умовах відбувається руйнування мастильної плівки та перехід до граничного або сухого тертя.

Втомні руйнування колінчастих валів зустрічаються відносно рідше, однак є найбільш небезпечними. Вони зазвичай виникають унаслідок тривалого впливу змінних згинальних напружень, особливо в площині кривошипа. У більшості випадків руйнування супроводжується наявністю додаткових дефектів, таких як задири, мікротріщини або технологічні недоліки виготовлення. Особливу небезпеку становить поєднання кількох дефектів одночасно, що значно прискорює процес руйнування.

Таким чином, умови роботи колінчастого вала в автомобілях «Богдан» характеризуються високою складністю та багатофакторністю. Поєднання змінних механічних навантажень, впливу температури, умов мащення та можливих забруднень обумовлює необхідність застосування сучасних технологій зміцнення та відновлення цієї деталі для забезпечення її надійної та довготривалої експлуатації.

1.4 Основні способи відновлення колінчатого валу двигуна

Кожна деталь під час ремонту повинна відновлюватися таким чином, щоб витрати праці, матеріалів та енергії були мінімальними, а відновлений ресурс — максимально наближеним або навіть перевищував початковий. Досягнення такого результату можливе лише за умови обґрунтованого вибору технології відновлення, яка враховує конструктивні особливості деталі, характер її пошкоджень та умови подальшої експлуатації.

Важливо зазначити, що універсального способу відновлення не існує. Один і той самий технологічний метод у різних умовах може давати відмінні результати. Це пояснюється впливом багатьох чинників: ступеня

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		18

зношування, типу дефектів, матеріалу деталі, точності її обробки, а також вимог до експлуатаційних характеристик після ремонту. Тому вибір способу відновлення повинен базуватися на техніко-економічному аналізі, який дозволяє оцінити доцільність застосування того чи іншого методу.

Для колінчастих валів, що працюють у складних умовах змінних навантажень і підвищеного тертя, особливо важливо забезпечити не лише відновлення геометричних параметрів, а й покращення фізико-механічних властивостей поверхонь. Це включає підвищення зносостійкості, втомної міцності та стійкості до корозійних процесів. У сучасних умовах ремонту дедалі частіше застосовуються комбіновані технології, які поєднують механічну обробку з нанесенням зміцнювальних покриттів.

Крім того, при виборі методу відновлення необхідно враховувати економічну доцільність: вартість обладнання, складність технологічного процесу, витрати на матеріали та тривалість виконання робіт. У деяких випадках більш прості методи можуть бути ефективнішими, ніж високотехнологічні, якщо вони забезпечують необхідний рівень надійності за менших витрат.

У подальшому розділі буде розглянуто сучасні та традиційні методи відновлення працездатності колінчастих валів, які застосовуються в ремонтній практиці. Їх аналіз дозволить визначити найбільш доцільні технологічні рішення для відновлення даного типу деталей з урахуванням умов експлуатації та вимог до їх довговічності.

1. Викривлення (згин) колінчастого вала

Деформацію колінчастого вала усувають шляхом правки, яка може виконуватися як у холодному стані, так і з попереднім нагріванням деталі. Для проведення цієї операції вал встановлюють на призми за крайні корінні шийки, а середню шийку розміщують під штоком гідравлічного преса. При цьому вигин орієнтують у верхню сторону, щоб забезпечити ефективне прикладання зусилля.

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		19

У процесі правки вал піддають деформації, величина якої перевищує початковий прогин приблизно у декілька разів, що дозволяє компенсувати пружні властивості матеріалу. Після виконання холодної правки деталей піддають стабілізуючому термічному обробленню: її нагрівають до температури близько 400–450 °С з витримкою протягом 0,5–1,5 години. Така операція сприяє зняттю внутрішніх залишкових напружень і підвищує стабільність геометричних параметрів у процесі подальшої експлуатації.

2. Шліфування шийок під ремонтний розмір

Обробка шийок колінчастого вала до ремонтних розмірів є одним із найбільш поширених і економічно доцільних способів відновлення. Цей метод застосовується за умови, що зняття шару матеріалу не призводить до повного видалення зміцненого поверхневого шару, сформованого під час термічної обробки.

Суть методу полягає у видаленні дефектного шару металу шляхом механічної обробки до заданого ремонтного розміру з подальшим використанням вкладишів відповідного (збільшеного) типорозміру. Таким чином відновлюється необхідний посадковий зазор або натяг у підшипникових з'єднаннях, хоча геометричні розміри деталі відрізняються від номінальних.

Типові ремонтні розміри встановлюються виробником і, як правило, передбачають поетапне зменшення діаметра шийок на 0,25; 0,5; 0,75; 1,0 та 1,5 мм. Використання ремонтних вкладишів дозволяє значно знизити трудомісткість і вартість відновлювальних робіт, забезпечуючи при цьому належну якість і взаємозамінність вузлів у межах одного ремонтного розміру.

Шліфування виконується на круглошліфувальних верстатах із застосуванням абразивних кругів, підібраних залежно від матеріалу вала (сталь або високоміцний чавун). У процесі обробки необхідно

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		20

дотримуватися оптимальних режимів різання, що включають відповідну швидкість обертання круга, швидкість подачі та глибину різання. Особливу увагу приділяють збереженню радіусів галтелей, оскільки їх зміна може призвести до концентрації напружень.

Спочатку обробляють корінні шийки, встановлюючи вал у центрах верстата, після чого переходять до шатунних шийок, для чого використовують спеціальні пристрої зі зміщенням осі. Кожну наступну шийку шліфують після відповідного повороту вала. Після основної обробки виконується притуплення гострих кромek масляних каналів і доведення поверхні методом суперфінішування, що забезпечує необхідну шорсткість і підвищує зносостійкість.

До переваг цього способу належать відносна простота реалізації, доступність обладнання, зниження трудових витрат (порівняно з наплавленням або зварюванням) та висока економічна ефективність. Водночас недоліком є необхідність використання додаткової номенклатури ремонтних вкладишів, що ускладнює процеси зберігання, підбору та комплектування деталей.

У випадках, коли зношування шийок перевищує максимально допустимий ремонтний розмір, застосовують відновлення до номінальних параметрів. Для цього використовують наплавлення металу з подальшою термічною обробкою (нормалізацією), механічною обробкою, зміцненням галтелей методом поверхневого пластичного деформування, індукційним гартуванням, а також остаточним шліфуванням і поліруванням до розмірів, передбачених робочою документацією.

3. Наплавлення

Технології відновлення сталевих колінчастих валів методом наплавлення умовно поділяють на два основні напрями: з подальшою термічною обробкою та без неї (із застосуванням легованих флюсів). Вибір конкретного підходу залежить від ступеня зношування деталі, вимог до її

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докum	Пілпис	Дата		21

міцності та умов подальшої експлуатації, зокрема для двигунів автомобілів українського виробництва, таких як «Богдан».

До першої групи належать процеси, у яких після наплавлення проводиться комплексна термічна та механічна обробка. Суть такого підходу полягає у відновленні шийок вала наплавленням легованого металу з наступною нормалізацією, токарною обробкою, зміцненням поверхні методом індукційного гартування, а також фінішним шліфуванням і поліруванням. У результаті формується шар із необхідними механічними властивостями, який забезпечує достатню втомну міцність і зносостійкість. За правильно підібраних режимів обробки експлуатаційні характеристики відновленого вала можуть бути наближені до показників нової деталі.

До другої групи відносять технології наплавлення із застосуванням спеціальних флюсів, які дозволяють отримати необхідні властивості наплавленого шару без додаткової термообробки. У цьому випадку вал попередньо підігрівають до помірної температури, після чого виконують наплавлення з формуванням рівномірного шару металу. Далі проводиться чорнове шліфування, формування галтелей і остаточна механічна обробка до заданих розмірів. Такий підхід дозволяє скоротити тривалість ремонту та зменшити витрати енергії.

Сучасні технології також передбачають використання багатоелектродного наплавлення, при якому метал наноситься одночасно кількома електродами. У цьому випадку на поверхні шийки формуються паралельні валики металу, що поступово перекриваються в наступних проходах. Завдяки цьому забезпечується висока продуктивність процесу та рівномірність наплавленого шару. Додатковою перевагою є можливість комбінування матеріалів: робочі поверхні шийок можуть мати підвищену твердість, тоді як ділянки галтелей — більшу пластичність, що знижує ризик утворення тріщин.

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		22

4. Наплавлення під шаром флюсу

Наплавлення під шаром флюсу є одним із найпоширеніших способів відновлення колінчастих валів. Суть процесу полягає у горінні електричної дуги між електродом і поверхнею деталі під шаром гранульованого флюсу, який під дією високої температури розплавляється та утворює захисне середовище. Товщина шару флюсу зазвичай становить кілька десятків міліметрів, що забезпечує надійний захист зони зварювання від впливу повітря та сприяє формуванню якісного металевого покриття.

До основних переваг цього методу належать висока продуктивність, хороша якість наплавленого шару та можливість автоматизації процесу. Наплавлення під флюсом широко застосовується для відновлення шийок колінчастих валів у ремонтному виробництві, зокрема при обслуговуванні двигунів автомобілів «Богдан».

Водночас цей метод має і певні обмеження. До них належать висока вартість обладнання, значна зона термічного впливу, що може призводити до деформацій деталі, а також складність використання при відновленні виробів із малою масою або складною геометрією. Крім того, у деяких випадках можливе зниження втомної міцності відновленої деталі через вплив термічного циклу, особливо за відсутності додаткових зміцнювальних операцій.

З урахуванням зазначених особливостей, вибір технології наплавлення для відновлення колінчастих валів автомобілів «Богдан» повинен здійснюватися на основі аналізу технічного стану деталі, вимог до її довговічності та економічної доцільності застосування того чи іншого методу.

5. Вібродугове наплавлення

Цей спосіб відновлення базується на використанні електричної дуги, параметри якої змінюються під дією механічних коливань. Якість сформованого шару металу при цьому значною мірою залежить від

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		23

стабільності режимів наплавлення, складу електродного матеріалу та умов охолодження. Навіть за добре налагодженого процесу можливе виникнення внутрішніх дефектів, таких як пористість і мікротріщини, особливо при відновленні валів із чавуну.

Характерною особливістю є те, що кількість пор збільшується з глибиною наплавленого шару. У зв'язку з цим відновлені деталі піддаються обмеженій механічній обробці, після чого їх подальше використання стає недоцільним. Крім того, застосування вібродугового наплавлення, особливо в рідкому середовищі, призводить до істотного зниження втомної міцності — орієнтовно на 30–40 %. З огляду на це, для відповідальних деталей двигунів автомобілів українського виробництва, зокрема «Богдан», використання цього методу є обмеженим або взагалі недоцільним.

6. Електроконтактне приварювання стрічки

Суть даної технології полягає у локальному приварюванні металеві стрічки до зношеної поверхні за допомогою імпульсного електричного струму. У зоні контакту відбувається швидке нагрівання та часткове плавлення матеріалів, що забезпечує надійне з'єднання стрічки з основою.

Під час виконання процесу колінчастий вал встановлюють у центрах або затискному пристрої, а спеціальна головка з роликми притискає стрічку до поверхні за допомогою пневматичної системи. Електричний струм подається через роликми від трансформатора, а тривалість імпульсів регулюється відповідною системою керування.

Приварювання може здійснюватися як по всій поверхні шийки, так і за гвинтовою траєкторією при обертанні деталі. Швидкість обертання узгоджується з частотою імпульсів і переміщенням робочого інструмента.

До основних переваг методу належать:

висока продуктивність (суттєво перевищує деякі інші методи наплавлення);

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		24

незначний тепловий вплив на деталь, що мінімізує ризик деформацій;
економне використання матеріалу;
покращені умови праці.

Водночас існують і певні обмеження, зокрема складність налаштування обладнання та обмежена товщина відновлюваного шару. Властивості отриманого покриття (твердість, зносостійкість, адгезія) значною мірою залежать від складу стрічки. Для підвищення експлуатаційних характеристик зазвичай використовують леговані сталі з підвищеним вмістом хрому або марганцю. Товщина стрічки, як правило, становить від 0,3 до 1,5 мм.

7. Газополуменеве напилення

Газополуменеве напилення є ефективним способом відновлення та зміцнення поверхонь деталей, який широко застосовується в ремонтній практиці. Суть процесу полягає у нанесенні розплавленого або напіврозплавленого матеріалу на підготовлену поверхню з утворенням захисного шару.

Застосування цього методу дозволяє значно підвищити зносостійкість, жаростійкість, корозійну та ерозійну стійкість деталей. Це особливо важливо для колінчастих валів, які працюють у складних умовах тертя та змінних навантажень у двигунах автомобілів «Богдан».

Разом із тим, газополуменеве напилення має певні технологічні особливості. Зокрема, зі збільшенням товщини покриття понад приблизно 1 мм знижується міцність його зчеплення з основою. Тому цей метод доцільно застосовувати для відновлення деталей із невеликим ступенем зношування.

Серед переваг напилення варто відзначити мінімальний тепловий вплив на основу, що практично виключає деформації та небажані структурні зміни матеріалу. Це робить метод особливо ефективним для деталей із чавуну, які є чутливими до термічних навантажень.

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		25

Структура напиленого шару зазвичай є пористою, що може позитивно впливати на умови тертя за наявності мастильного матеріалу, сприяючи утриманню мастила. Як матеріали для покриттів використовують різні сплави та композиції, включаючи леговані сталі, оксидні матеріали та карбідні сполуки. Найвищу зносостійкість у складних умовах забезпечують композиції на основі карбідів, які ефективно протистоять абразивному зношуванню.

Метод газополуменевого напилення застосовується не лише для колінчастих валів, але й для інших відповідальних деталей машин: розподільчих валів, валів насосів, поршнів, клапанів, а також елементів турбін і вентиляторів.

Основним недоліком цього способу є відносно невисока адгезія покриття до основи. Для усунення цього недоліку застосовують більш сучасні технології високошвидкісного напилення, зокрема детонаційне напилення, яке забезпечує значно краще зчеплення та вищі експлуатаційні характеристики покриття.

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		26

2 РОЗРАХУНОК І АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ КОЛІНЧАТОГО ВАЛУ

2.1 Матеріали що використовуються для виготовлення деталі

У даній кваліфікаційній бакалаврській роботі як об'єкт дослідження для розроблення технології відновлення обрано колінчастий вал дизельного двигуна, що використовується у вантажних автомобілях українського виробництва, зокрема марки «Богдан». Вибір саме цієї деталі зумовлений її високою відповідальністю в конструкції двигуна, складними умовами експлуатації та значною вартістю виготовлення, що робить відновлення економічно доцільним.

Досліджуваний колінчастий вал піддається азотуванню — спеціальному хіміко-термічному процесу, внаслідок якого на поверхні формується зміцнений шар із підвищеною твердістю та зносостійкістю. Така обробка суттєво підвищує опір втомному руйнуванню, зменшує інтенсивність зношування шийок і покращує експлуатаційні характеристики деталі в умовах змінних навантажень.

Матеріалом виготовлення колінчастого вала є легована конструкційна сталь марки 42ХМФА, яка характеризується високими показниками міцності, в'язкості та стійкості до втоми. Завдяки оптимальному поєднанню легувальних елементів ця сталь добре піддається термічній і хіміко-термічній обробці, що дозволяє формувати необхідну структуру та властивості поверхневого шару. Саме ці характеристики роблять її придатною для виготовлення відповідальних деталей, які працюють в умовах значних динамічних навантажень.

Хімічний склад сталі 42ХМФА включає вуглець, хром, молібден, ванадій та інші елементи, що забезпечують необхідний рівень твердості, зносостійкості та опору пластичній деформації. Детальний склад матеріалу

					КвРМТВА. 22146.01.24.00	Днк
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		27

наведено у таблиці 2.1.

Таким чином, вибір колінчастого вала двигуна автомобіля «Богдан», виготовленого зі сталі 42ХМФА та зміцненого методом азотування, є обґрунтованим для дослідження та розроблення ефективної технології відновлення. Це дозволяє врахувати реальні умови експлуатації та забезпечити підвищення ресурсу деталі після ремонту.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталі 42ХМФА

C	S	P	Mn	Cr	Si	Ni	Fe	Cu	V
0,4-0,46	0,007-0,025	≤0,025	0,5-0,85	1-1,2	0,17-0,38	≤0,3	Остаток	≤0,3	0,08-0,13

Фізико-механічні властивості сталі 42ХМФА представлені в таблиці 2.2

Таблиця 2.2- фізико-механічні властивості сталі 42ХМФА

Таблиця 2.2 – Физико-механические свойства стали 42ХМФА

Назва	Умовне позначення	Значення
Межа міцності, [МПа]	σ_B	1040
Межа пропорційності, [МПа]	σ_T	940
Відносне розтягнення при розриві, [%]	δ_5	14
Відносне звуження, [%]	ψ	55

Ударна в'язкість , [кДж / м ²]	КСУ	890
Твердість за шкалою Бринеля , [МПа]	НВ	270

2.2 Матеріали порошка, який використовувався

Вибір матеріалу для нанесення покриття під час відновлення деталей повинен здійснюватися з урахуванням максимальної сумісності фізико-хімічних властивостей основного металу та напиленого шару. Такий підхід дозволяє забезпечити надійне зчеплення покриття з основою, зменшити внутрішні напруження в зоні контакту та підвищити загальну довговічність відновленої деталі.

У даній роботі, що присвячена відновленню колінчастого вала двигуна вантажного автомобіля українського виробництва «Богдан», для формування зносостійкого покриття корінних і шатунних шийок доцільно застосовувати метод детонаційного напилення. З огляду на умови роботи деталі, які включають змінні навантаження, абразивний вплив та підвищені температури, особливо важливим є використання матеріалів із високою твердістю та стабільністю властивостей.

Як напилюваний матеріал рекомендовано використовувати самофлюсуючий порошок на основі нікелю з легуючими елементами хрому, бору та кремнію, наприклад, типу Ni-Cr-B-Si (умовно аналог марки ПР-Н65Х25С3Р3). Такі порошкові матеріали характеризуються здатністю формувати щільні, зносостійкі покриття з високою адгезією до сталеві основи. Завдяки наявності бору та кремнію під час термічного впливу відбувається часткове самофлюсування, що сприяє зменшенню пористості та покращенню якості напиленого шару.

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		29

Хімічний склад і основні експлуатаційні характеристики обраного порошку наведено у таблиці 2.3. Він забезпечує поєднання високої твердості, достатньої пластичності та стійкості до абразивного зношування, що є критично важливим для умов роботи колінчастого вала двигуна автомобіля «Богдан».

Окрему увагу слід приділяти гранулометричному складу порошку. Для високошвидкісних технологій напилення оптимальним є використання частинок сферичної форми з розміром приблизно 15–50 мкм. Такий діапазон забезпечує стабільне транспортування матеріалу, рівномірне формування покриття та підвищену щільність напиленого шару.

Таким чином, правильний вибір порошкового матеріалу та його фракційного складу є одним із ключових факторів, що визначає якість відновлення колінчастих валів і подальший ресурс їх роботи у складі двигуна автомобіля «Богдан».

Таблиця 2.3 Хімічний склад порошку H65X25C3P3

Марка порошку	Хімічний склад, %						
	Fe	C	Cr	Ni	Mo	Si	B
ПР- H65X25C3P3	≥ 5, 0	1,6	25,0	решта	-	2,3	3,5
Характеристика покриттів				Галузі де застосовується			
Зносостійке, антикорозійне - стійке покриття з високими адгезійними показниками				Для відновлення деталей типу Вал			

Для забезпечення необхідної дисперсності порошкових матеріалів перед їх використанням проводять попереднє сортування. Підбір фракцій здійснюється шляхом просіювання через систему сит із розмірами комірок, що відповідають заданому гранулометричному діапазону. Така операція дозволяє отримати однорідний за розмірами порошок, що є важливою умовою стабільності процесу детонаційного або високошвидкісного напилення та формування рівномірного покриття на поверхні деталей.

Перед нанесенням покриття порошковий матеріал обов'язково проходить етап підготовки, який включає його сушіння. Це необхідно для видалення вологи, яка може негативно впливати на процес напилення, спричиняючи пористість або нестабільність формування шару. Сушіння проводять у спеціальних ємностях або на металевих піддонах при температурі приблизно 150–200 °С протягом 2–3 годин. Для досягнення рівномірного прогрівання та запобігання злежуванню порошку рекомендується періодичне перемішування матеріалу в процесі термічної обробки.

Порошкові сплави системи Ni–Cr–B–Si характеризуються зниженою температурою плавлення, яка зазвичай знаходиться в межах 1030–1150 °С. Така особливість дозволяє ефективно застосовувати їх у процесах напилення з подальшим оплавленням, що сприяє формуванню щільного, рівномірного та зносостійкого покриття. Після оплавлення поверхневий шар набуває високої адгезійної міцності до основного металу, що є критично важливим для деталей, які працюють в умовах інтенсивного тертя, зокрема колінчастих валів двигунів автомобілів типу «Богдан».

Крім того, такі покриття характеризуються зниженим коефіцієнтом тертя, що позитивно впливає на довговічність роботи підшипникових вузлів. Важливу роль у формуванні властивостей сплаву відіграють легуючі елементи кремній та бор. У процесі нагрівання вони взаємодіють з киснем, утворюючи тонку плівку боросилікатних сполук. Ця плівка

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		31

виконує захисну функцію, покриваючи поверхню як напиленого шару, так і основного металу, а також сприяє відновленню окислених ділянок, виконуючи роль своєрідного відновлювального середовища.

Завдяки таким фізико-хімічним процесам забезпечується підвищена якість зчеплення покриття з основою, зниження дефектності шару та покращення експлуатаційних характеристик відновлених деталей. Це особливо важливо для колінчастих валів двигунів автомобіля «Богдан», які працюють в умовах значних змінних навантажень і потребують високої надійності поверхневого шару.

2.3 Детонаційна установка

Для нанесення покриттів на зношені поверхні шийок колінчастого вала застосовується детонаційна установка, призначена для відновлення та зміцнення деталей машин, що працюють в умовах інтенсивних механічних і теплових навантажень. Таке обладнання використовується під час ремонтно-відновлювальних робіт для формування високоякісних захисних покриттів із підвищеною зносостійкістю та міцністю.

До складу детонаційного комплексу входять детонаційна гармата, автоматизована система керування процесом напилення, система охолодження, а також допоміжне обладнання, необхідне для забезпечення стабільної роботи установки. Принцип дії установки базується на використанні енергії детонаційного вибуху для прискорення порошкових частинок до високих швидкостей з подальшим їх нанесенням на поверхню деталі. У результаті формується щільне покриття з високими адгезійними характеристиками та мінімальною пористістю.

Технологія детонаційного напилення дозволяє отримувати зносостійкі, жаростійкі та антикорозійні покриття, що значно підвищують ресурс відновлених деталей. Під час ремонту колінчастих валів даний

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Дпк
Змн	Дпк	№ докум	Пілпис	Дата		32

метод забезпечує відновлення геометричних параметрів шийок і підвищення їх стійкості до абразивного та контактного зношування. Важливою перевагою технології є незначний тепловий вплив на основний метал деталі, що знижує ймовірність появи деформацій та зміни структури матеріалу.

Основні технічні характеристики детонаційної установки, яка використовується для нанесення покриттів на поверхні деталей, наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 Характеристики детонаційної установки.

Характеристики установки	Значення
Швидкість частинок порошку, м/с	1600
Кількість вистрілів за секунду	6-25
Продуктивність, кг/ч	до 2
Коефіцієнт використання порошку, %	до 80
Товщина, мкм	до 30
Пористість покриття, %	менше 1,0
Адгезія, МПа	до 160
Споживання електроенергії, кВт	2
Паливо	ацетилен, пропан, бутан и др.
Окислювач	кисень

Обертання деталі та переміщення ствола детонаційної гармати під час нанесення покриття здійснюються синхронно та координуються автоматизованою системою керування. Узгодження швидкості обертання відновлюваної деталі з поздовжнім переміщенням гармати забезпечується за допомогою керувального комп'ютерного комплексу, що дозволяє підтримувати стабільні параметри процесу напилення та рівномірно

формувати покриття по всій поверхні шийки колінчастого вала.

Автоматизація процесу дає можливість точно регулювати траєкторію руху обладнання, швидкість подачі та частоту детонаційних імпульсів залежно від технологічних вимог і характеристик відновлюваної поверхні. Завдяки цьому забезпечується висока точність нанесення матеріалу, зменшується нерівномірність товщини покриття та підвищується якість відновлення деталей. Крім того, використання автоматизованого керування дозволяє мінімізувати вплив людського фактора на результати технологічного процесу та підвищити повторюваність отриманих характеристик покриття.

Детонаційна гармата, механізм переміщення, маніпулятор і пристрій для обертання деталі розміщуються у спеціальній шумоізолюваній камері. Наявність такої камери необхідна для зниження рівня шуму та захисту обслуговуючого персоналу від впливу ударних хвиль, що виникають під час роботи установки. Внутрішній простір камери також забезпечує локалізацію продуктів згоряння та частинок порошкового матеріалу, які утворюються в процесі напилення.

Газові балони, система подачі робочих газів та блок керування комплексом розташовуються окремо від робочої зони установки. Таке конструктивне рішення підвищує рівень безпеки експлуатації обладнання, спрощує технічне обслуговування та зменшує вплив вібрацій і температурних навантажень на елементи системи керування. Окреме розміщення допоміжного обладнання також сприяє стабільності технологічного процесу та забезпечує більш надійну роботу детонаційного комплексу в умовах тривалої експлуатації.

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		34

2.4 Обробка поверхонь за допомогою абразивного струменя

Струминно-абразивна обробка належить до найбільш поширених методів підготовки металевих поверхонь перед нанесенням газотермічних покриттів. Даний спосіб широко застосовується під час відновлення та зміцнення деталей машин, оскільки забезпечує очищення поверхні від забруднень, слідів корозії, оксидних плівок і залишків старих покриттів. Крім очищення, струминно-абразивна обробка використовується для активації поверхневого шару металу та формування необхідної шорсткості, що сприяє покращенню адгезії напиленого матеріалу до основи деталі.

Суть процесу полягає у впливі потоку абразивних частинок, які з великою швидкістю спрямовуються на оброблювану поверхню стисненим повітрям або іншим робочим середовищем. У результаті такого впливу на поверхні утворюється розвинений мікрорельєф, який забезпечує надійне механічне зчеплення покриття з основним металом. Якість підготовки поверхні безпосередньо впливає на міцність з'єднання покриття з деталлю, а також на довговічність відновленого елемента в процесі експлуатації.

Параметри шорсткості після обробки визначаються матеріалом деталі, умовами її подальшої роботи та необхідною товщиною нанесеного покриття. Для різних способів газотермічного напилення встановлюються рекомендовані значення шорсткості поверхні відповідно до вимог нормативних документів. Оптимально підготовлена поверхня дозволяє підвищити міцність зчеплення покриття з основою та зменшити ймовірність його відшарування під час роботи деталі.

Рекомендовані значення шорсткості поверхні після струминно-абразивної обробки визначаються відповідно до вимог стандарту ГОСТ 2789–73. Дані щодо міцності зчеплення покриттів залежно від способу підготовки напилюваної поверхні наведені в таблиці 2.5.

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		35

Таблиця 2.5 Міцність зчеплення покриттів залежно від способу підготовки поверхні перед напиленням, МПа

Матеріал основи	Метод обробки поверхні			
	Обдувка кремнеземом	Обдувка корундом	Нанесення рваної різьби	Електроіскрова підготовка
Цинк	11	13	17	14
Алюміній	12	18	27	22
Латунь	7	18	31	25
Бронза	18	41	44	23
Мідь	14	26	25	21
Сталь 0,1% С	11	37	51	23
Сталь 0,8% С	15	35	38	21

Струминно-абразивна обробка виконується за допомогою абразивно-пневматичної установки, до складу якої входять кілька основних вузлів: струминний апарат для подачі абразивного матеріалу, система збору та регенерації абразиву для його повторного використання, система підготовки стисненого повітря, а також механізми для закріплення й переміщення оброблюваних деталей. Система підготовки повітря забезпечує регулювання робочого тиску, осушення повітряного потоку та очищення його від домішок мастила й вологи, що є необхідною умовою для стабільної роботи обладнання та отримання якісної поверхні після обробки.

Принцип роботи струминного апарата ґрунтується на перетворенні енергії стисненого повітря у кінетичну енергію потоку абразивних частинок. Під дією високошвидкісного потоку зерна абразиву

спрямовуються на поверхню деталі та здійснюють її механічну обробку. Інтенсивність впливу визначається тиском повітря, видом абразивного матеріалу, розміром зерен та відстанню від сопла до поверхні.

Під час взаємодії абразивних частинок із металевою поверхнею окремі зерна виконують різні функції. Частина зерен глибоко врізається в метал і видаляє мікрочастинки матеріалу, утворюючи дрібну стружку. Інші частинки, які мають меншу глибину проникнення, лише дряпають або шліфують поверхню без значного зняття металу. Деякі зерна при ударі викликають локальне пластичне деформування поверхневого шару, витісняючи метал у боки та формуючи новий мікрорельєф. У результаті такої дії на поверхні деталі утворюється розвинена шорсткість, необхідна для надійного зчеплення покриття з основним матеріалом.

У процесі струминно-абразивної обробки поверхневий шар металу зазнає значних фізико-механічних змін. Внаслідок пружної та пластичної деформації збільшується концентрація дефектів кристалічної решітки, виникають залишкові напруження та відбувається локальне руйнування окремих мікрооб'ємів матеріалу. Такі процеси призводять до зміни структури поверхневого шару та його механічних властивостей. Крім того, у місцях удару абразивних частинок спостерігається короткочасне локальне підвищення температури, що може спричинити молекулярну взаємодію між поверхнею металу та абразивом.

Під впливом багаторазових ударів абразивних зерен можливе виникнення явища наклепу, яке супроводжується зміцненням поверхневого шару металу та підвищенням його твердості. Наклеп сприяє збільшенню опору поверхні зношуванню, однак при надмірній інтенсивності обробки може викликати появу додаткових внутрішніх напружень. Саме тому параметри струминно-абразивної обробки повинні підбиратися з урахуванням матеріалу деталі, її геометричних розмірів і вимог до подальшого нанесення покриття .

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		37

Таблиця 2.6 Режими для обробки

Режими обробки	Значення
Тиск стисненого повітря, МПа	0,6
Кут абразива, град	95
Відстань від сопла до поверхні, мм	155
Витрата абразива, кг/ч	4
Кількість	3
Абразивний матеріал	Електрокорунд (ОСТ 2МТ793-80)
Зернистість абразивного матеріала	100-150 (ГОСТ 3647-80)

До недоліків струминно-абразивної обробки належить поступове зниження активності підготовленої поверхні після завершення процесу. Це пояснюється тим, що очищений металевий шар швидко взаємодіє з компонентами навколишнього середовища, унаслідок чого відбувається адсорбція газів та утворення тонких оксидних плівок. Такі зміни можуть негативно впливати на адгезію газотермічного покриття до основного металу, тому нанесення покриття рекомендується виконувати через мінімальний проміжок часу після підготовки поверхні.

Ще одним недоліком даного способу є можливість вкраплення або заклинювання абразивних частинок у поверхневий шар металу. Частина зерен абразиву під час удару може залишатися в мікронерівностях поверхні, що іноді призводить до погіршення якості покриття або появи локальних дефектів у зоні напилення. Крім того, абразивні матеріали в процесі роботи поступово зношуються та руйнуються, через що знижується ефективність обробки і виникає необхідність у періодичній

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		38

заміні або регенерації абразиву.

Під час ударної взаємодії абразивних частинок із поверхнею металу у поверхневому шарі можуть виникати мікротріщини та локальні пошкодження структури матеріалу. Такі дефекти є концентраторами напружень і за певних умов можуть негативно впливати на втомну міцність та довговічність деталі в процесі експлуатації. Особливо це важливо для деталей, які працюють під дією змінних навантажень, зокрема для колінчастих валів та інших відповідальних елементів машин.

Після завершення струминно-абразивної підготовки необхідно виконати ретельний контроль стану поверхні. Під час контролю перевіряють рівномірність сформованої шорсткості, відсутність забруднень, залишків оксидів та сторонніх включень. Однорідність мікрорельєфу має важливе значення для забезпечення стабільної міцності зчеплення покриття з основою та отримання якісного відновленого шару. У разі виявлення дефектних ділянок поверхню піддають повторній обробці до досягнення необхідних параметрів підготовки.

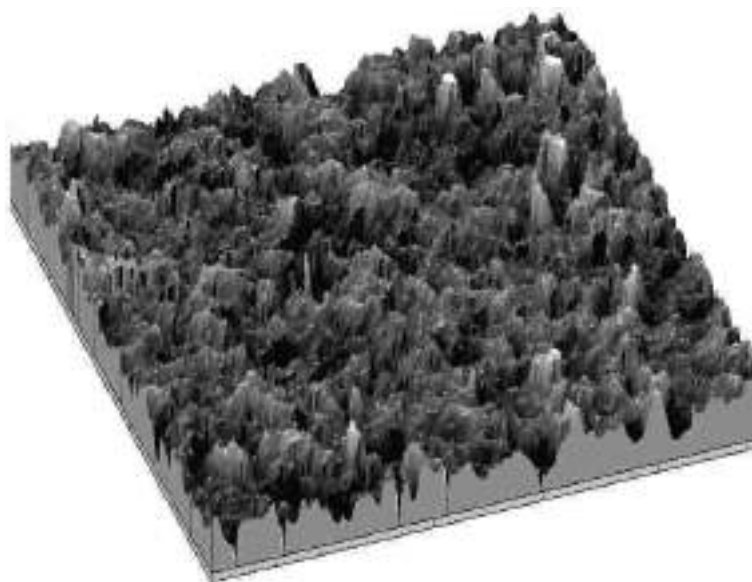


Рисунок 2.1 – Змодельована поверхня після струйно-абразивної обробки

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		39

2.5 Розробка технологічного процесу відновлення

Технологічний процес ремонту являє собою сукупність взаємопов'язаних технологічних операцій, які виконуються у визначеній послідовності з метою відновлення працездатного стану деталі та забезпечення її подальшої надійної експлуатації. Такий процес охоплює всі етапи ремонтно-відновлювальних робіт відповідно до прийнятого технологічного маршруту — від первинної діагностики й підготовки поверхонь до завершальної механічної обробки та контролю якості.

Основним завданням технологічного процесу ремонту є відновлення геометричних параметрів, фізико-механічних властивостей і функціональних характеристик деталі, які були втрачені внаслідок зношування, дії навантажень або тривалої експлуатації. Для досягнення необхідного результату кожна технологічна операція виконується з дотриманням встановлених режимів, вимог до обладнання та характеристик використовуваних матеріалів.

Під час розроблення технологічного процесу враховуються конструктивні особливості деталі, характер і ступінь її пошкоджень, умови подальшої роботи, а також економічна доцільність застосування певних способів відновлення. Важливу роль відіграє правильний вибір методів механічної обробки, підготовки поверхні, нанесення відновлювальних покриттів і фінішної обробки.

Раціонально побудований технологічний процес дозволяє забезпечити високу якість ремонту, підвищити ресурс відновлених деталей, зменшити витрати матеріалів і скоротити тривалість виконання ремонтних робіт. Крім того, дотримання послідовності технологічних операцій сприяє зниженню ймовірності виникнення дефектів та забезпечує стабільність експлуатаційних характеристик відремонтованої деталі.

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		40

Призначення технологічних операцій та послідовність їх виконання під час розроблення процесу відновлення зношених поверхонь колінчастого вала із застосуванням газотермічного напилення мають надзвичайно важливе значення для забезпечення високої якості ремонту та довговічності деталі. Ефективність відновлення значною мірою залежить від правильного дотримання всіх етапів технологічного циклу, починаючи від підготовки поверхні й закінчуючи фінішною механічною обробкою нанесеного покриття.

Технологічний процес повинен враховувати особливості конструкції колінчастого вала, умови його подальшої експлуатації, характеристики напилюваного матеріалу та режими роботи обладнання. Особлива увага приділяється параметрам газотермічного напилення, зокрема температурі, швидкості подачі порошкового матеріалу, відстані до поверхні деталі та режимам охолодження. Від правильності вибору та дотримання цих параметрів залежить якість сформованого покриття, його щільність, адгезійна міцність і стійкість до зношування.

Не менш важливим етапом є підготовка поверхні колінчастого вала перед нанесенням покриття. Неналежне очищення, недостатня шорсткість або наявність забруднень можуть суттєво знизити міцність зчеплення покриття з основним металом. Крім того, велике значення має технічний стан обладнання та якість використовуваних матеріалів, оскільки будь-які відхилення у роботі установки або властивостях порошкового матеріалу можуть призвести до виникнення дефектів напиленого шару.

Порушення встановленої послідовності виконання операцій, недотримання технологічних режимів або неякісне проведення окремих етапів процесу здатні спричинити утворення браку. До найбільш поширених дефектів належать відшарування покриття, нерівномірність товщини напиленого шару, поява тріщин, пористості та зниження

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Анк
Змн	Анк	№ докум	Пілпис	Дата		41

зносостійкості відновленої поверхні. Саме тому під час відновлення колінчастих валів необхідно суворо контролювати виконання кожної технологічної операції.

Технологічний маршрут відновлення колінчастого вала восьмициліндрового двигуна автомобіля «Богдан» методом газотермічного напилення включає послідовне виконання ряду операцій, спрямованих на відновлення геометричних параметрів деталі та забезпечення необхідних експлуатаційних властивостей поверхонь тертя.

На початковому етапі проводиться очищення колінчастого вала від залишків мастильних матеріалів, нагару, корозії та інших забруднень. Для цього застосовують мийні розчини, механічне очищення або спеціальні установки для знежирення деталей. Якість очищення має важливе значення, оскільки наявність сторонніх домішок може негативно впливати на подальше нанесення покриття та міцність його зчеплення з основним металом.

Після очищення здійснюється дефектація колінчастого вала. На даному етапі визначають ступінь зношування корінних і шатунних шийок, перевіряють наявність тріщин, залишкових деформацій та інших пошкоджень. Контроль виконується за допомогою вимірювального інструменту, а також неруйнівних методів контролю. За результатами дефектації приймається рішення щодо можливості відновлення деталі та вибору необхідних технологічних режимів.

Наступною операцією є механічна підготовка поверхонь під напилення. Зношені шийки попередньо проточуються для видалення дефектного шару металу та надання необхідної геометричної форми. Після механічної обробки поверхню піддають струминно-абразивній обробці, у результаті якої формується необхідна шорсткість та активується поверхневий шар металу. Це забезпечує підвищення адгезії покриття до основи та покращує умови формування напиленого шару.

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		42

Далі виконується процес газотермічного напилення. Порошковий матеріал подається у зону високотемпературного потоку, де частинки нагріваються та з великою швидкістю наносяться на поверхню шийок колінчастого вала. Напилення здійснюється рівномірними проходами з контролем товщини покриття та температурного режиму. Під час виконання операції забезпечується синхронне обертання деталі та переміщення напилювального пристрою для отримання однорідного шару по всій поверхні шийки.

Після нанесення покриття колінчастий вал піддається охолодженню та проміжному контролю. Перевіряється суцільність покриття, відсутність тріщин, відшарувань і видимих дефектів. За необхідності можуть виконуватися додаткові операції локального напилення або коригування товщини шару.

Завершальним етапом технологічного процесу є механічна обробка напилених поверхонь. Шийки колінчастого вала шліфуються до номінальних або ремонтних розмірів із забезпеченням необхідної точності, співвісності та шорсткості поверхні. Після шліфування проводиться остаточний контроль геометричних параметрів і якості відновлених поверхонь. Відновлений колінчастий вал повинен відповідати технічним вимогам та забезпечувати надійну роботу двигуна в експлуатаційних умовах.

2.6 Встановлення норм технологічного процесу

Нормування технологічного процесу здійснюється на основі розрахованих режимів виконання операцій та відповідно до встановлених нормативів часу для різних видів робіт. При цьому враховуються як технічні параметри процесу, так і організаційні умови виконання ремонтно-відновлювальних операцій, що дозволяє забезпечити

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		43

раціональне планування виробничого часу.

Основний та допоміжний час визначаються згідно з діючими нормативними документами з нормування праці, які регламентують витрати часу на виконання конкретних технологічних операцій. До основного часу відноситься період безпосереднього впливу інструменту або обладнання на деталь, тобто час, протягом якого здійснюється формоутворення або зміна властивостей поверхні. Допоміжний час включає операції, що забезпечують виконання основного процесу, такі як встановлення та закріплення деталі, налаштування обладнання, переміщення інструменту та контрольні вимірювання.

Тривалість окремих операцій технологічного процесу також залежить від рекомендованих значень основного часу, які визначаються для конкретних видів обробки з урахуванням режимів роботи обладнання, властивостей матеріалів та вимог до якості отримуваних поверхонь. Правильне визначення норм часу є важливим етапом технологічної підготовки виробництва, оскільки дозволяє забезпечити оптимальне завантаження обладнання, зменшити простої та підвищити ефективність ремонтних робіт.

Крім того, обґрунтоване нормування технологічного процесу сприяє точнішому плануванню виробничих витрат, визначенню трудомісткості ремонту та оцінці економічної доцільності застосування певних технологій відновлення деталей.

Визначення часу, який необхідний для газополуменевого напилення

$$t = \frac{b \cdot \pi \cdot D}{v} \cdot n_{np}$$

Де, b – ширина шийки колінчатого валу, мм,

D – Діаметр колінчатого валу, мм;

					КвРМТВА. 22146.01.24.00	Днк
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		44

$n_{пр.}$ – кількість проходів

v – швидкість напилення, мм/мин,

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ м/мин,}$$

Де, D – діаметр шийки, мм;

n – частота обертання шпинделя, $n = 100$ об/мін;

для шатунної шийки:

$$V = \frac{\pi \cdot 80 \cdot 100}{1000} = 25 \text{ м / мин}$$

для корінної шийки:

$$V = \frac{\pi \cdot 95 \cdot 100}{1000} = 30 \text{ м / мин}$$

а) Напилення шатунної шийки:

$$D = 80 \text{ мм,}$$

$$b = 67 \text{ мм,}$$

$$t_{ш} = \frac{D \cdot \pi \cdot b}{V} \cdot X = \frac{80 \cdot 3.14 \cdot 67}{25 \cdot 10^3} = 1,7 \text{ мин}$$

г) Корінна шийка:

					КвРМТВА. 22146.01.24.00	Днк
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		45

$$D = 95 \text{ мм,}$$

$$b = 36,2 \text{ мм,}$$

$$t_w = \frac{D \cdot \pi \cdot b}{V} \cdot X = \frac{95 \cdot 3,14 \cdot 36,2}{30 \cdot 10^3} = 1,1 \text{ мин}$$

д) Час необхідний для обробки:

$$T_0 = t_{III} \cdot 4 + t_K \cdot 3 + t_{1,K} + t_{5,K}$$

$$T_0 = (1,7 \times 4) + (1,1 \times 5) = 12,3 \text{ мин}$$

е) Додатковий час наплавки:

$$T_B = t_0 + t_1 + t_2 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_8$$

Де, t_0 – Час на встановлення і зняття, мін,

$$t_0 = 3,6 \text{ мін,}$$

t_1 – Час на встановлення і зняття деталі, мін, $t_1 = 0,35 \text{ мін,}$

t_2 – Час пов'язаний з переходом, мін, $t_2 = 0,27 \text{ мін,}$

t_4 – Час на заглушку отворів, мін, $t_4 = 6,5 \text{ мін,}$

					КвРМТВА. 22146.01.24.00	Днк
Змін	Днк	№ док.м	Підпис	Дата		46

t_5 – час на нагрів, мін, $t_5 = 4$ мін,

t_6 – час на підвід шатунної шийки, мін, $t_8 = 0,6$ мін.

$$T_B = 3,6 + 0,35 + 0,27 + 6,5 + 4 + (4 \cdot 0,6) = 17,12 \text{ мін}$$

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Дпк
Змн	Дпк	№ докум	Підпис	Дата		47

Таблиця 2.7 Результати формування

Назва операції	T _о , мин	T _в , мин	T _{шт} , мин
005 Очистка	26	2	28
010 Дефектація	5	2	9
015 Шліфування	7	5,6	11,6
020 Слесарна	11	3	15
025 Струйно-абразивна	4	2	5
030 Контрольна	1,8	3	3,8
035 Напилення	12,2	17,2	22,85
040 Термообробка	59	3	63
045 Контрольна	2,3	3	4,4
050 Шліфовка	13,3	5,6	18,7
055 Контрольна	3,5	3	5,7
060 Консервація	0,9	1,2	1,8
ВСЬОГО	191,3 мін		

2.7 Оцінка трудомісткості виконаних робіт

Трудомісткість відновлення одного колінчастого вала автомобіля «Богдан» є одним із ключових показників, що характеризує складність виконання ремонтно-відновлювальних робіт та загальні витрати часу на реалізацію технологічного процесу. Вона визначається як сумарні витрати робочого часу на виконання всіх технологічних операцій, починаючи з приймання деталі у ремонт і завершуючи остаточним контролем її геометричних та експлуатаційних параметрів.

Колінчастий вал двигуна автомобіля «Богдан» належить до найбільш

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		48

навантажених деталей кривошипно-шатунного механізму, тому його відновлення потребує високої точності виконання операцій та застосування спеціалізованого обладнання. У процесі експлуатації така деталь зазнає значних циклічних навантажень, тертя та температурного впливу, що призводить до зношування шийок, появи мікрodefектів та втрати початкової геометрії. Саме тому процес відновлення є багатостадійним і трудомістким.

Першим етапом формування трудомісткості є підготовчі операції. До них відноситься очищення колінчастого вала від мастильно-забруднюючих відкладень, демонтаж залишкових елементів, а також первинна дефектація. На цьому етапі витрати часу залежать від ступеня забруднення деталі та її технічного стану. Для двигунів автомобіля «Богдан» характерним є значне накопичення продуктів зносу, що збільшує тривалість підготовчих робіт.

Далі виконується контроль і вимірювання геометричних параметрів. Операції дефектації включають перевірку овальності та конусності шийок, виявлення тріщин, а також оцінку ступеня зношування поверхонь тертя. Для цього використовуються як стандартні вимірювальні інструменти, так і методи неруйнівного контролю. Час на виконання цих операцій залежить від кількості контрольованих поверхонь і вимог до точності діагностики.

Наступним етапом є механічна обробка зношених поверхонь. Зазвичай виконується попереднє шліфування або проточування шийок колінчастого вала з метою видалення пошкодженого шару металу. Цей етап є одним із найбільш трудомістких, оскільки вимагає високої точності та дотримання жорстких допусків. Тривалість операції залежить від величини зносу та вибраного ремонтного розміру.

Після механічної підготовки поверхні виконується струминно-абразивна обробка, яка забезпечує формування необхідної шорсткості та активацію поверхневого шару металу. Хоча ця операція відносно короткочасна, вона є технологічно важливою, оскільки безпосередньо

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		49

впливає на якість адгезії подальшого покриття.

Основною складовою трудомісткості є процес газотермічного напилення відновлювального шару. Для колінчастих валів автомобіля «Богдан» застосування даної технології дозволяє відновити номінальні розміри шийок та підвищити їх зносостійкість. Напилення виконується у декілька проходів із постійним контролем товщини шару, температурних режимів та рівномірності покриття. Час цієї операції залежить від площі оброблюваної поверхні, типу напилюваного матеріалу та продуктивності обладнання.

Після нанесення покриття виконується його охолодження та проміжний контроль якості. На цьому етапі перевіряється відсутність дефектів, таких як пористість, тріщини або відшарування. У разі необхідності можуть виконуватися додаткові коригувальні операції, що також впливають на загальну трудомісткість процесу.

Завершальним етапом є фінішна механічна обробка відновлених шийок колінчастого вала. Шліфування виконується до отримання необхідних геометричних параметрів, шорсткості поверхні та забезпечення співвісності всіх опорних шийок. Саме ця операція часто займає значну частину загального часу ремонту через необхідність досягнення високої точності обробки.

Підсумовуючи, трудомісткість відновлення одного колінчастого вала автомобіля «Богдан» формується як сукупність витрат часу на всі технологічні етапи: підготовку, дефектацію, механічну обробку, нанесення покриття, контроль та фінішну обробку. Її величина залежить від ступеня зношування деталі, вибраної технології відновлення, рівня автоматизації обладнання та кваліфікації персоналу. Раціональна організація технологічного процесу дозволяє суттєво зменшити загальну трудомісткість без втрати якості відновлення, що є важливим фактором підвищення ефективності ремонтного виробництва.

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		50

Трудомісткість відновлення одного колінчатого валу :

$$T = \frac{T_{\text{ОБЩ.К.В.}}}{60} ,$$

$$T = \frac{191.3}{60} = 3.1 \text{ чел/час}$$

Загальна річна трудомісткість :

$$T_{\text{ОБ}} = T \cdot П$$

Де , П – річна програма ділянки з відновлення колінчатих валів,

$$П = 1000 \text{ шт.}$$

$$T_{\text{ОБ}} = 3,1 \cdot 1000 = 3100 \text{ чел/час}$$

					КвРМТВА. 22146.01.24.00	Днк
Змн	Днк	№ докum	Пілпис	Дата		51

3. РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Дослідження впливу підготовки поверхні на якість газотермічного покриття колінчастого вала

Однією з найважливіших умов отримання якісного газотермічного покриття під час відновлення колінчастих валів є правильна підготовка поверхні перед нанесенням напиленого шару. Від стану поверхневого шару металу значною мірою залежить міцність зчеплення покриття з основою, рівномірність формування напиленого шару та довговічність відновленої деталі в умовах експлуатації. Саме тому під час проведення досліджень особливу увагу було приділено аналізу впливу струминно-абразивної обробки на фізико-механічні характеристики поверхні шийок колінчастого вала автомобіля «Богдан».

У процесі експлуатації колінчастий вал піддається дії значних циклічних навантажень, тертя та температурних перепадів, унаслідок чого на поверхнях шийок виникають сліди зношування, мікропошкодження та локальні дефекти. Перед нанесенням газотермічного покриття необхідно забезпечити ретельне очищення поверхні від залишків мастильних матеріалів, продуктів окиснення та дрібних частинок зношеного металу. Недостатня якість підготовки поверхні може призвести до погіршення адгезії покриття та виникнення дефектів у процесі подальшої експлуатації деталі.

Для підготовки поверхонь шийок колінчастого вала застосовувалась струминно-абразивна обробка, яка забезпечує не лише очищення металу, але й формування необхідного мікрорельєфу поверхні. Під час обробки потік абразивних частинок, що подається під тиском стисненого повітря, взаємодіє з поверхневим шаром металу та створює розвинену систему мікронерівностей. Наявність такого мікрорельєфу сприяє покращенню

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		52

механічного зчеплення газотермічного покриття з основним металом і забезпечує більш надійну фіксацію напиленого шару.

У ході досліджень було встановлено, що параметри шорсткості поверхні після струминно-абразивної обробки значною мірою залежать від режимів виконання процесу. Найбільший вплив на формування мікрорельєфу мають розмір абразивних зерен, тиск повітря, кут подачі потоку та тривалість обробки. При недостатній інтенсивності обробки поверхня не набуває необхідної шорсткості, що негативно впливає на міцність зчеплення покриття. У той же час надмірна інтенсивність процесу може спричинити утворення глибоких мікродефектів та локальних пошкоджень поверхневого шару металу.

Після виконання струминно-абразивної підготовки спостерігалось суттєве збільшення шорсткості поверхні шийок колінчастого вала порівняно з поверхнею після механічної обробки. У результаті взаємодії абразивних частинок із металом на поверхні утворювався однорідний мікрорельєф із великою кількістю западин та виступів, які забезпечували сприятливі умови для закріплення напиленого матеріалу. Отримані результати підтвердили, що саме наявність рівномірно сформованої шорсткості є одним із головних факторів забезпечення високої адгезійної міцності газотермічного покриття.

Під час дослідження поверхневого шару після струминно-абразивної обробки також було встановлено наявність пластичної деформації металу. У місцях удару абразивних зерен відбувалося локальне ущільнення поверхневого шару, що супроводжувалося зміною мікроструктури металу та виникненням залишкових напружень. Такі процеси сприяли утворенню явища наклепу, яке характеризується підвищенням твердості поверхні та зростанням її опору механічному зношуванню.

Разом із позитивним впливом струминно-абразивної обробки було встановлено й певні негативні фактори, які необхідно враховувати під час

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Анк
Змн	Анк	№ докум	Підпис	Дата		53

підготовки поверхні. При надмірній енергії удару абразивних частинок у поверхневому шарі металу можуть виникати мікротріщини та локальні концентратори напружень. Такі дефекти здатні знижувати втомну міцність колінчастого вала та погіршувати довговічність відновленої деталі. Крім того, в окремих випадках спостерігалось часткове вкраплення абразивних зерен у поверхневий шар металу, що також може негативно впливати на якість покриття.

У процесі дослідження було проведено порівняння поверхонь до та після струминно-абразивної обробки. Поверхня після механічної обробки характеризувалася відносно низькою шорсткістю та наявністю слідів різального інструменту, що не забезпечувало достатньої міцності зчеплення газотермічного покриття. Після виконання струминно-абразивної підготовки поверхня набувала більш розвиненого мікрорельєфу, а також підвищеної активності поверхневого шару, що позитивно впливало на процес формування напиленого покриття.

Дослідження показали, що своєчасне нанесення газотермічного покриття після завершення струминно-абразивної обробки має важливе значення для забезпечення високої якості відновлення. Після очищення поверхневий шар металу є хімічно активним, однак у процесі контакту з навколишнім середовищем на поверхні швидко утворюються оксидні плівки та адсорбуються гази, що може знижувати адгезійну міцність покриття. Саме тому проміжок часу між підготовкою поверхні та нанесенням покриття повинен бути мінімальним.

Отримані результати досліджень підтвердили, що струминно-абразивна підготовка є необхідним етапом технологічного процесу відновлення колінчастих валів методом газотермічного напилення. Використання даного способу дозволяє забезпечити необхідну шорсткість поверхні, підвищити міцність зчеплення покриття з основним металом та покращити експлуатаційні характеристики відновлених деталей.

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		54

Правильний вибір режимів струминно-абразивної обробки сприяє підвищенню довговічності колінчастого вала та ефективності всього процесу відновлення.

3.2 Аналіз ефективності відновлення колінчастого вала методом газотермічного напилення.

Одним із перспективних способів відновлення зношених деталей двигунів внутрішнього згоряння є застосування технології газотермічного напилення. Даний метод дозволяє не лише відновити геометричні параметри поверхонь тертя, але й підвищити їх експлуатаційні характеристики завдяки формуванню зміцненого поверхневого шару. У процесі проведення досліджень було виконано аналіз ефективності відновлення шийок колінчастого вала автомобіля «Богдан» із використанням газотермічного напилення та оцінено якість отриманих покриттів.

Колінчастий вал є однією з найбільш відповідальних деталей двигуна, оскільки в процесі роботи він сприймає значні змінні навантаження, що супроводжуються інтенсивним тертям та циклічними деформаціями. Під час тривалої експлуатації відбувається поступове зношування корінних і шатунних шийок, що призводить до порушення геометричних параметрів та погіршення умов роботи підшипникових вузлів. Використання газотермічного напилення дозволяє відновити розміри зношених поверхонь без необхідності виготовлення нової деталі, що суттєво знижує витрати на ремонт двигуна.

У ході досліджень особливу увагу було приділено оцінці якості сформованого покриття. Після нанесення напиленого шару поверхні шийок колінчастого вала характеризувалися рівномірним розподілом матеріалу та відсутністю значних зовнішніх дефектів. Встановлено, що

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		55

правильний вибір режимів напилення забезпечує формування щільного покриття з достатньо високими показниками адгезійної міцності. Отримане покриття мало однорідну структуру та добре утримувалося на поверхні основного металу навіть після подальшої механічної обробки.

Під час аналізу мікроструктури напиленого шару було встановлено, що покриття формується шляхом послідовного нашарування нагрітих частинок порошкового матеріалу. У результаті удару частинок об поверхню деталі відбувається їх пластична деформація та ущільнення, що сприяє утворенню міцного з'єднання між окремими шарами покриття. Разом із цим у структурі напиленого шару можуть бути присутні окремі пори та мікронерівності, величина яких залежить від параметрів процесу напилення.

Результати дослідження показали, що на якість покриття значною мірою впливають технологічні режими виконання процесу. Одними з найважливіших параметрів є температура потоку, швидкість подачі порошкового матеріалу, дистанція між соплом і поверхнею деталі, а також швидкість переміщення напилювального пристрою. При недостатній температурі частинки порошку не забезпечують необхідного рівня пластичної деформації, унаслідок чого знижується щільність покриття та погіршується його адгезія. Надмірне підвищення температури, навпаки, може призводити до окиснення матеріалу та виникнення внутрішніх напружень у напиленому шарі.

Важливим показником якості відновленої поверхні є товщина нанесеного покриття. У процесі досліджень встановлено, що рівномірність товщини шару безпосередньо залежить від стабільності режимів роботи обладнання та синхронізації обертання колінчастого вала з переміщенням напилювального пристрою. Нерівномірне нанесення покриття може призводити до появи локальних перевантажень під час роботи двигуна та прискореного зношування шийок.

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		56

Окрему увагу було приділено дослідженню пористості покриття. Наявність пор є характерною особливістю газотермічних покриттів, однак надмірна пористість негативно впливає на механічні властивості та зносостійкість відновленої поверхні. Проведений аналіз показав, що оптимальний вибір режимів напилення дозволяє суттєво зменшити кількість пор та забезпечити формування більш щільного покриття. Зменшення пористості позитивно впливає на контактну міцність поверхонь тертя та підвищує довговічність колінчастого вала в експлуатаційних умовах.

Під час проведення досліджень було також оцінено твердість напиленого шару. Встановлено, що після газотермічного напилення поверхня шийок колінчастого вала характеризується підвищеною твердістю порівняно з основним металом деталі. Це пояснюється особливостями структури покриття та наявністю зміцненого поверхневого шару, який формується під час швидкого охолодження частинок матеріалу після контакту з поверхнею. Підвищення твердості позитивно впливає на зносостійкість відновлених поверхонь і сприяє збільшенню ресурсу деталі.

Після завершення процесу напилення колінчастий вал піддавався механічній обробці. Основною метою фінішного шліфування було забезпечення необхідних геометричних параметрів шийок та досягнення нормативних значень шорсткості поверхні. У процесі дослідження встановлено, що напилене покриття добре піддається механічній обробці та забезпечує можливість отримання необхідної точності розмірів. Після шліфування поверхні характеризувалися рівномірною структурою та відповідали вимогам щодо точності та чистоти обробки.

Додатково було проведено оцінку трудомісткості процесу відновлення колінчастого вала методом газотермічного напилення. Встановлено, що найбільші витрати часу припадають на операції підготовки поверхні, нанесення покриття та фінішної механічної обробки.

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Анк
Змн	Анк	№ докум	Пілпис	Дата		57

Разом із тим використання даної технології дозволяє уникнути значних матеріальних витрат, пов'язаних із придбанням нового колінчастого вала або виконанням складних методів відновлення.

Порівняння газотермічного напилення з традиційними способами ремонту показало, що дана технологія має низку суттєвих переваг. До основних переваг належать можливість локального відновлення зношених поверхонь, відносно невеликий тепловий вплив на деталь, висока продуктивність процесу та покращення експлуатаційних характеристик поверхневого шару. Крім того, газотермічне напилення дозволяє використовувати різні порошкові матеріали, що дає можливість отримувати покриття з необхідними фізико-механічними властивостями залежно від умов роботи деталі.

Таким чином, результати проведених досліджень підтвердили ефективність застосування технології газотермічного напилення для відновлення шийок колінчастих валів автомобіля «Богдан». Використання даного способу забезпечує відновлення геометричних параметрів деталей, підвищення їх зносостійкості та збільшення ресурсу роботи двигуна. Правильний вибір режимів напилення та дотримання технологічної послідовності операцій дозволяють отримати якісне покриття з високими експлуатаційними характеристиками та забезпечити надійну роботу відновлених деталей у процесі експлуатації.

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		58

ВИСНОВКИ

У результаті виконання бакалаврської роботи було досліджено особливості відновлення зношених поверхонь колінчастого вала автомобіля «Богдан» із застосуванням технології газотермічного напилення. Проведений аналіз показав, що колінчастий вал є однією з найбільш відповідальних деталей двигуна внутрішнього згорання, яка в процесі експлуатації зазнає значних механічних та теплових навантажень. Унаслідок тривалої роботи відбувається зношування корінних і шатунних шийок, що призводить до погіршення технічного стану двигуна та необхідності проведення ремонтно-відновлювальних робіт.

У роботі було розглянуто основні причини та характер зношування поверхонь колінчастих валів, а також проаналізовано сучасні способи їх відновлення. На основі проведеного аналізу встановлено, що технологія газотермічного напилення є одним із найбільш ефективних методів відновлення деталей даного типу, оскільки дозволяє забезпечити відновлення геометричних параметрів поверхонь тертя та підвищити їх експлуатаційні властивості.

Під час виконання роботи було досліджено технологічні особливості підготовки поверхонь перед нанесенням покриття. Встановлено, що струминно-абразивна обробка відіграє важливу роль у забезпеченні високої адгезійної міцності напиленого шару. У результаті проведених досліджень підтверджено, що правильно підібрані режими струминно-абразивної підготовки дозволяють сформувати необхідний мікрорельєф поверхні, покращити умови закріплення покриття та підвищити довговічність відновлених деталей.

У роботі також було проаналізовано вплив технологічних режимів газотермічного напилення на якість сформованого покриття. Дослідження

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		59

показали, що температура потоку, швидкість подачі порошкового матеріалу, відстань між соплом і поверхнею деталі, а також швидкість переміщення напилювального пристрою суттєво впливають на структуру та властивості покриття. Встановлено, що дотримання оптимальних режимів напилення забезпечує отримання рівномірного шару з достатньою щільністю, високою твердістю та міцним зчепленням з основним металом.

У процесі досліджень було підтверджено, що після нанесення покриття та виконання фінішної механічної обробки відновлені шийки колінчастого вала відповідають вимогам щодо геометричної точності та шорсткості поверхні. Отримані результати свідчать про можливість ефективного використання газотермічного напилення для відновлення працездатності колінчастих валів без необхідності заміни деталі на нову.

Крім того, було проведено оцінку трудомісткості процесу відновлення. Встановлено, що найбільші витрати часу припадають на операції підготовки поверхні, нанесення покриття та фінішного шліфування. Разом із тим застосування газотермічного напилення дозволяє зменшити матеріальні витрати на ремонт та підвищити економічну ефективність відновлювальних робіт порівняно з традиційними методами ремонту.

Порівняльний аналіз показав, що технологія газотермічного напилення має низку переваг, серед яких висока продуктивність, можливість локального відновлення зношених поверхонь, незначний тепловий вплив на основний метал деталі та підвищення зносостійкості поверхневого шару. Завдяки цьому дана технологія може бути ефективно використана на ремонтних підприємствах для відновлення деталей двигунів автомобільної техніки.

Отже, результати виконаної бакалаврської роботи підтвердили доцільність застосування газотермічного напилення для відновлення колінчастих валів автомобіля «Богдан». Використання даного методу

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		60

дозволяє забезпечити високу якість відновлених поверхонь, підвищити ресурс роботи деталей та знизити витрати на ремонт двигунів у процесі експлуатації.

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		61

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технологія відновлення деталей машин / В. А. Лебедев, О. І. Сідашенко. – Київ : Аграрна освіта, 2010. – 368 с.
2. Відновлення та зміцнення деталей машин / М. А. Хрущов, В. М. Драгунов. – Львів : Новий Світ-2000, 2012. – 412 с.
3. Газотермічні покриття в машинобудуванні / І. М. Пастух, В. І. Похмурський. – Львів : Сполом, 2015. – 296 с.
4. Технологічні основи ремонтного виробництва / О. П. Канарчук, І. П. Курніков. – Київ : Либідь, 2011. – 352 с.
5. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів / Л. Р. Федорович, М. В. Карпець. – Львів : Магнолія 2006, 2014. – 488 с.
6. Ремонт машин та обладнання / В. С. Ловейкін, О. В. Ромасевич. – Київ : ЦП «Компринт», 2018. – 294 с.
7. Інженерія поверхні та зносостійкі покриття / В. І. Похмурський, М. М. Студент. – Львів : Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, 2016. – 376 с.
8. Основи трибології / Є. Д. Стадниченко, В. Г. Гуцалюк. – Київ : НУБіП України, 2013. – 240 с.
9. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство / Г. В. Левченко, Ю. Л. Назаренко. – Харків : НТУ «ХП», 2017. – 540 с.
10. Surface Engineering for Corrosion and Wear Resistance / J. R. Davis. – Materials Park, Ohio : ASM International, 2001. – 390 p.
11. Thermal Spray Technology / Joseph R. Davis. – ASM International, 2004. – 338 p.
12. Introduction to Surface Engineering and Functionally Engineered Materials / Peter Martin. – Hoboken : John Wiley & Sons, 2011. – 520 p.
13. Principles of Tribology / J. Halling. – London : Macmillan

					КвРМТВА. 22146.01.24.00	Днк
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		62

Education, 1978. – 420 p.

14. Wear of Materials / Kenneth G. Budinski. – New Jersey : Prentice Hall, 1997. – 384 p.

15. International Organization for Standardization. ISO 8501-1:2007. Preparation of steel substrates before application of paints and related products. – Geneva, 2007.

16. ДСТУ ISO 8503-1:2015. Підготовка сталевих поверхонь перед нанесенням фарб та подібної продукції. Характеристики шорсткості поверхні після струминного очищення. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.

17. ДСТУ 2823-94. Зносостійкість виробів тертя. Терміни та визначення. – Київ : Держстандарт України, 1995.

18. ДСТУ EN ISO 2063-1:2022. Теплове напилення. Металеві та інші неорганічні покриття. Цинк, алюміній та їх сплави. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.

19. ASM International. ASM Handbook. Volume 5: Surface Engineering. – Materials Park, Ohio, 2016. – 1024 p.

20. Advanced Thermal Spray Applications / L. Pawlowski. – Paris : Elsevier, 2008. – 626 p.

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докum	Пілпис	Лата		63

ДОДАТКИ

					<i>КвРМТВА. 22146.01.24.00</i>	Днк
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		64