


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


КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА


на тему: «Відновлення колінчастого валу лазерною наплавкою»


Шифр КВАТ 26 22099.000. ПЗ

Рівень вищої освіти:	<u>Перший бакалаврський</u>
Галузь знань:	<u>27 Транспорт</u>
Напрямок підготовки (спеціальність):	<u>274 «Автомобільний транспорт»</u>
Освітньо-професійна програма	<u>Автомобільний транспорт</u>

Виконав: студент 4-го курсу, група АТ-22-1  Назар ПОДУН

Керівник к.т.н., доц. каф ТАМ.  Володимир ГОНЧАР

Нормоконтролер к.т.н., доц. каф ТАМ.  Олег БАБАК

До захисту допускаю:
зав. кафедри ТАМ д.т.н., проф.  Олександр ДИХА

15 06 2026 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітній рівень *бакалавр*

Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт».

Спеціалізація «Автомобільний транспорт»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТАМ



Духа О.В.

10.01.2026 року

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Подуну Назару Олеговичу

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи: *Відновлення колінчастого валу лазерною наплавкою*

керівник роботи: *Гончар Володимир Антонович, к.т.н., доц. каф. ТАМ.*

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом університету від 20.01.2026 р. № 7, дод 26

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 10.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) *Матеріали переддипломної практики.*

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

- 1) провести літературний огляд із проблеми;*
- 2) виконати детальний аналіз конструкції колінчатих валів;*
- 3) Провести аналіз дефектів та зношування валів;*
- 4) підібрати раціональний спосіб відновлення.*

5. Перелік графічного матеріалу (презентація):

Розробити презентацію у вигляді слайдів з розкриттям питань відповідно до мети роботи.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання 04 березня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Провести літературний огляд із проблеми	3.05.2026	вик
2	Виконати аналіз конструкції валів	15.05.2026	вик
3	Провести аналіз дефектів та зношування валів, способи відновлення	20.05.2026	вик
4	Оформлення роботи	1.06.2026	вик
5	Захист роботи	.06.2026	

Студент		<u>Н.О. Подун</u>
	Підпис	Ініціали, прізвище
Керівник роботи		<u>В.А. Гончар</u>
	Підпис	Ініціали, прізвище

РЕФЕРАТ

Студент гр. АТ-22-1 Подун Назар Олегович

Структура та обсяг пояснювальної записки. Кваліфікаційна робота на тему «**Відновлення колінчастого валу лазерною наплавкою**» складається зі вступу, двох розділів, висновків, списку використаних джерел, який налічує 31 найменувань, розміщених на 4 сторінках, та одного додатку розміщеного на 11 сторінках. Роботу викладено на 107 сторінках, з них 87 сторінок основного тексту, на яких розміщено 28 рисунків і 1 таблиця.

У роботі розроблено відновлення колінчастого валу із застосуванням сучасної технології лазерного наплавлення. Проведено комплексний аналіз конструкції колінчастого валу, умов його експлуатації та основних видів пошкоджень, що виникають у процесі роботи двигуна. Встановлено основні причини зношування шийок колінчастого валу та визначено шляхи підвищення їх довговічності й експлуатаційної надійності. У роботі спроектовано спеціалізовану дільницю ремонтного цеху, обґрунтовано вибір необхідного обладнання та розроблено технологічний маршрут відновлення деталі. Досліджено особливості лазерного наплавлення та гартування поверхонь, визначено вплив технологічних параметрів на якість покриття, структуру матеріалу та механічні властивості відновлених поверхонь.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка технології відновлення корінних і шатунних шийок колінчастого валу.

- **Завдання кваліфікаційної роботи** полягає у вдосконаленні технології лазерної обробки з метою створення технологій відновлення колінчастого валу, з попередньою перевіркою придатності до подальшої експлуатації.

Перелік ключових слів: *відновлення, вал, лазер, обробка.*

Зміст

Вступ.....	6
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	8
1.1 Загальні характеристики колінчастого валу.....	8
1.2 Характеристика зношування шийок.....	11
1.3 Способи відновлення колінчастого вала та їх обмеження.....	17
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	25
2.1 Теорії відновлення та укріплення шийок колінчастих валів.....	25
2.2 Операції з підготовки колінчастого валу до відновлення.....	32
2.3 Встановлення ступеня зношування опорних шийок.....	43
2.4 Оцінка зносу місць для монтажу розподільної шестірні.....	45
2.5 Реставрація колінчастого валу.....	48
2.6 Теплова обробка колінчастого валу.....	49
2.7 Теплова обробка опор колінчастого валу.....	52
2.8 Лазерне відновлення колінчастих валів.....	54
2.9 Перевірка колінчастого валу після ремонту.....	87
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	91.
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	93
ДОДАТКИ	

					КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ			
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	Відновлення колінчастого валу лазерною наплавкою	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.	Подун		<i>[Підпис]</i>				5	108
Перевір.	Гончар		<i>[Підпис]</i>			ХНУ група АТ 22-1		
Реценз.								
Н. Контр.	Бабак		<i>[Підпис]</i>					
Затверд.	Диха		<i>[Підпис]</i>					

ВСТУП

У кваліфікаційній роботі розроблено проєкт для відновлення колінчастого валу із застосуванням технології лазерного наплавлення. Проведено аналіз конструктивних особливостей деталі, умов її експлуатації та характерних дефектів, що виникають у процесі роботи двигуна. Встановлено основні причини втрати працездатності колінчастих валів, серед яких найбільш поширеними є зношування корінних і шатунних шийок, виникнення задирів, мікротріщин та втомних пошкоджень поверхневого шару металу.

У технологічному розділі обґрунтовано вибір способу відновлення колінчастого валу, розроблено маршрутний та операційний технологічні процеси ремонту деталі. Визначено послідовність виконання операцій очищення, дефектації, механічної обробки, контролю геометричних параметрів та зміцнення робочих поверхонь. Особливу увагу приділено використанню лазерного гартування як сучасного методу поверхневого зміцнення, що забезпечує підвищення твердості, зносостійкості та втомної міцності шийок колінчастого валу при мінімальному тепловому впливі на основний матеріал деталі. Застосування даної технології дозволяє отримати високоякісний зміцнений шар із заданими властивостями та мінімізувати ризик деформації деталі під час ремонту.

У конструкторській частині виконано підбір та технічне обґрунтування необхідного технологічного обладнання, інструменту, контрольно-вимірювальних засобів і спеціального оснащення для реалізації процесу відновлення. Розроблено планувальне рішення дільниці ремонтного цеху з урахуванням вимог технологічного процесу, раціонального розміщення обладнання, організації транспортних потоків та забезпечення безпечних умов праці персоналу. Передбачено заходи щодо дотримання вимог виробничої санітарії, пожежної безпеки та охорони навколишнього середовища.

					КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Результати виконаної роботи свідчать, що застосування лазерного гартування в технологічному процесі відновлення колінчастого валу 96350171 забезпечує суттєве підвищення експлуатаційної надійності деталі, збільшення міжремонтного ресурсу двигуна та покращення його технічних характеристик. Запропоновані технічні та організаційні рішення можуть бути використані на підприємствах автомобільного транспорту та ремонтного виробництва для підвищення ефективності відновлення відповідальних деталей двигунів внутрішнього згоряння.

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		7

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Загальні характеристики колінчастого валу

Колінчастий вал є однією з основних деталей кривошипно-шатунного механізму двигуна внутрішнього згорання та розташовується в нижній частині блока циліндрів. Він забезпечує перетворення зворотно-поступального руху поршнів у обертальний рух, який передається на трансмісію автомобіля. Колінчастий вал взаємодіє з поршнями через шатуни, а також з'єднується з маховиком і демпфером крутильних коливань.

Конструкція колінчастого валу складається з головних і шатунних шийок, кривошипів, щік, противаг, фланця для кріплення маховика та носка валу для встановлення демпфера і приводу допоміжних агрегатів (рисунок 1.1). Для забезпечення надійної роботи та зменшення інтенсивності зношування в тілі валу виконана система внутрішніх масляних каналів, через які мастильний матеріал подається до поверхонь тертя підшипникових вузлів.

Головні шийки слугують опорними поверхнями колінчастого валу та встановлюються в корінних підшипниках блока циліндрів, визначаючи вісь його обертання. Фіксація валу здійснюється за допомогою кришок корінних підшипників. Шатунні шийки розташовані ексцентрично відносно осі обертання та призначені для з'єднання з шатунами. Під дією тиску газів, що утворюються в циліндрах під час згорання паливно-повітряної суміші, через поршні та шатуни на шатунні шийки передаються значні змінні навантаження, які забезпечують обертання колінчастого валу.

Для врівноваження інерційних сил і зменшення вібрацій під час роботи двигуна на колінчастому валу передбачені противаги. Така конструкція забезпечує плавність роботи двигуна, зниження динамічних навантажень на підшипникові вузли та підвищення довговічності деталей кривошипно-шатунного механізму.

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8



Рис. 1.1. Компоненти колінчастого валу.

Колінчастий вал призначений для перетворення зворотно-поступального руху поршнів у обертальний рух та передачі крутного моменту від двигуна до трансмісії автомобіля через маховик. У процесі роботи двигуна на вал діють значні циклічні механічні та динамічні навантаження, зумовлені тиском газів у циліндрах та силами інерції рухомих деталей кривошипно-шатунного механізму. Маховик, закріплений на фланці колінчастого вала, виконує функцію акумулювання енергії та забезпечує рівномірність обертання, зменшуючи нерівномірність крутного моменту протягом робочого циклу двигуна.

Високі навантаження, що виникають під час експлуатації, висувають підвищені вимоги до міцності, жорсткості та зносостійкості колінчастого вала. Особливе значення має забезпечення високої втомної міцності деталі, оскільки її робота супроводжується багаторазовим повторенням змінних навантажень. Для підвищення довговічності робочі поверхні шийок повинні мати високу твердість, низьку шорсткість та стійкість до утворення задирів і втомних пошкоджень.

Технологічний процес виготовлення колінчастого вала є складним і багатостадійним. На початковому етапі здійснюється механічна обробка

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

заготовки з формуванням основних конструктивних елементів: головних і шатунних шийок, щік, противаг та приєднувальних фланців. Після цього виконують свердління внутрішніх масляних каналів і технологічних отворів для забезпечення подачі мастильного матеріалу до поверхонь тертя.

Наступною операцією є зачищення поверхонь, під час якого усуваються задирки, гострі кромки та інші дрібні дефекти, що виникають у процесі механічної обробки. Після підготовки деталі проводиться термічне зміцнення шийок методом індукційного гартування з подальшим відпуском. Така обробка забезпечує формування зміцненого поверхневого шару з високою твердістю та необхідними механічними властивостями при збереженні в'язкої серцевини деталі.

Для контролю якості термічної обробки та виявлення можливих поверхневих дефектів застосовується магнітопорошковий контроль, який дозволяє своєчасно виявити тріщини та інші пошкодження. Після завершення контролю виконуються операції свердління та нарізання різьби в отворах, призначених для кріплення допоміжних вузлів і агрегатів.

Завершальними етапами технологічного процесу є шліфування та полірування робочих поверхонь. Особлива увага приділяється обробці головних і шатунних шийок, для яких забезпечуються необхідні геометричні параметри, точність форми та низька шорсткість поверхні. У ряді випадків додатково застосовуються операції суперфінішної обробки, що дозволяють покращити експлуатаційні характеристики деталі та підвищити ресурс підшипникових вузлів.

Виготовлення колінчастого вала характеризується значною трудомісткістю та потребує використання високоточного обладнання, спеціальних технологій термічної обробки й багатоступеневого контролю якості. Це суттєво впливає на собівартість нової деталі. Саме тому відновлення зношених колінчастих валів є економічно доцільним напрямом, який дозволяє

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

значно зменшити витрати на ремонт двигунів та раціонально використовувати матеріальні ресурси.

Основними нормативними документами, що визначають вимоги до колінчастого вала, є конструкторські креслення, технічні умови на матеріал та технологічна документація на процеси термічної обробки. Для забезпечення необхідних експлуатаційних характеристик застосовуються конструкційні сталі типу С38/45 або їх аналоги, які після відповідної термічної обробки забезпечують необхідне поєднання міцності, твердості та втомної довговічності деталі.

1.2 Характеристика зношування шийок

Переважаючою причиною пошкодження шийок колінчастого вала є утворення поверхневих подряпин різної глибини та ширини. Такі дефекти, як правило, розташовуються вздовж напрямку обертання шийки та можуть охоплювати всю її окружність (до 360°) або значну частину поверхні, зазвичай не менше 120°. Наявність подряпин призводить до порушення геометрії робочої поверхні, погіршення умов мащення та прискореного зношування як самої шийки, так і підшипникових вкладишів.

Основною причиною виникнення подряпин є потрапляння твердих сторонніх частинок у мастильний шар, який утворюється в зазорі між шийкою колінчастого вала та підшипником ковзання. Незважаючи на незначну товщину мастильної плівки, вона забезпечує розділення контактуючих поверхонь. Проникнення навіть дрібних абразивних частинок у цю зону призводить до локального пошкодження поверхневого шару металу та утворення характерних слідів зношування.

Джерела появи таких частинок можуть бути різноманітними. До них належать залишки формувального піску після лиття блока циліндрів або

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

головки блока, продукти забруднення моторної оливи, тверді частинки нагару та зношування деталей двигуна, а також металеві задирки й мікрочастинки, що утворюються внаслідок неякісної механічної обробки поверхонь або неправильного виконання фасок масляних отворів. У разі недостатньої фільтрації мастила ці частинки потрапляють у зони тертя та стають причиною інтенсивного зношування поверхонь.

Зношування шийок колінчастого вала, спричинене дією сторонніх твердих частинок, належить до абразивного виду зношування. Абразивне зношування являє собою процес руйнування поверхневого шару матеріалу внаслідок механічної дії більш твердих частинок або нерівностей, які переміщуються відносно поверхні деталі. При цьому на поверхні утворюються подряпини, риски та борозни, що поступово збільшують шорсткість і погіршують експлуатаційні характеристики деталі.

Залежно від умов взаємодії абразивних частинок із поверхнями тертя розрізняють абразивне зношування під високим і низьким навантаженням, а також абразію двох або трьох тіл, схематично представлену на рисунку 1.2. Абразивне зношування під високим навантаженням виникає в тому випадку, коли тверді частинки затискаються між двома контактуючими поверхнями та під дією значних контактних напружень вриваються в матеріал. Такий механізм зношування належить до абразії трьох тіл, оскільки в процесі беруть участь дві поверхні тертя та проміжна абразивна частинка.

Абразивне зношування під низьким навантаженням, яке відносять до абразії двох тіл, спостерігається тоді, коли тверда частинка або виступ поверхні жорстко закріплені на одній із контактуючих деталей і під час відносного переміщення здійснюють мікрорізання або пластичне деформування поверхні іншої деталі. У результаті такого впливу на поверхні шийок утворюються характерні поздовжні риски та канавки, які з часом

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

можуть призвести до втрати точності посадкових розмірів та необхідності проведення відновлювального ремонту колінчастого вала.



Рис. 1.2. Графічне зображення абразивного зношування за участю двох і трьох тіл

Абразивне зношування шийок колінчастого вала в більшості випадків відноситься до абразії трьох тіл. Такий механізм зношування виникає внаслідок потрапляння твердих сторонніх частинок у зазор між шийкою колінчастого вала та підшипником ковзання. Під час роботи двигуна ці частинки знаходяться в мастильній плівці та під дією контактних навантажень переміщуються між поверхнями тертя, спричиняючи механічне пошкодження поверхневого шару металу. У результаті на робочих поверхнях шийок утворюються подряпини, риски та мікроканавки, які поступово збільшують інтенсивність зношування і можуть призводити до порушення геометричних параметрів деталі.

Інтенсивність абразивного зношування визначається сукупністю факторів, пов'язаних як із властивостями матеріалів контактуючих поверхонь, так і з умовами їхньої роботи. Одним із найважливіших чинників є хімічний склад і структура матеріалу шийок колінчастого вала, які визначають його механічні характеристики та здатність протистояти руйнуванню поверхневого шару. Значний вплив також має твердість матеріалу, оскільки зі збільшенням

					КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

твердості підвищується опір поверхні до утворення подряпин і пластичних деформацій.

Важливим параметром є швидкість ковзання між шийкою та підшипником. Зі збільшенням швидкості змінюються умови мащення, температура контакту та характер взаємодії абразивних частинок із поверхнями тертя. На процес зношування також впливає модуль пружності матеріалу, який характеризує його здатність чинити опір пружним деформаціям під дією зовнішніх навантажень.

Суттєву роль відіграє нормальне навантаження в зоні контакту. Зі збільшенням контактного тиску абразивні частинки глибше впроваджуються в поверхневий шар металу, що призводить до інтенсивнішого руйнування матеріалу та прискорення процесу зношування. Крім того, на характер абразивного зношування впливає температура контакту, яка змінює фізико-механічні властивості матеріалу, в'язкість мастильного матеріалу та умови формування мастильної плівки.

Таким чином, абразивне зношування шийок колінчастого вала є складним процесом, інтенсивність якого залежить від поєднання конструктивних, матеріалознавчих та експлуатаційних факторів. Для підвищення довговічності колінчастих валів необхідно забезпечувати високу чистоту мастильного матеріалу, ефективну роботу системи фільтрації, оптимальні умови мащення та застосування зміцнювальних технологій, що підвищують твердість і зносостійкість робочих поверхонь.

Поверхня шийки колінчастого вала, яка відповідає встановленим технічним вимогам щодо якості обробки та геометричної точності, наведена на рисунку 1.3. Для порівняння на рисунку 1.4 представлено поверхню з характерними дефектами у вигляді подряпин та відхилень від нормативних параметрів. Аналіз наведених зображень дозволяє оцінити вплив поверхневих пошкоджень на геометричні характеристики робочої поверхні шийки.

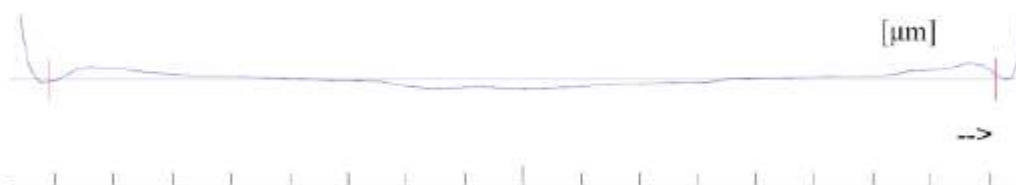
					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14



а



б



в

Рис. 1.3. Поверхні шийок колінчастого вала без подряпин та їх крива прямолінійності: (а) Референсна поверхня шийки. (б) Референсна поверхня шийки, зближений вигляд. (в) Крива прямолінійності для референсної шийки.

Порівняння кривих прямолінійності показує, що еталонна поверхня характеризується рівномірною мікрогеометрією та відсутністю значних відхилень від заданої форми. Профіль такої поверхні має плавний характер без

різких змін висоти нерівностей, що свідчить про високу якість механічної обробки та відповідність вимогам експлуатації. Забезпечення необхідної прямолінійності та низької шорсткості є важливою умовою формування стабільної мастильної плівки в зоні контакту шийки з підшипником ковзання.

На відміну від еталонної поверхні, на рисунку 1.4 спостерігаються характерні дефекти у вигляді подряпин і локальних пошкоджень поверхневого шару. Більшість таких дефектів добре помітна внаслідок особливостей роботи вузла тертя. Під час обертання колінчастого вала тверді сторонні частинки, що потрапляють у мастильний шар, залишають на поверхні характерні сліди у вигляді поздовжніх рисок і канавок. Наявність подібних пошкоджень призводить до збільшення шорсткості, порушення геометричної точності та погіршення умов мащення.

Крива прямолінійності, наведена на рисунку 1.4, в, демонструє суттєві коливання профілю поверхні порівняно з еталонним зразком. На графіку чітко простежуються локальні відхилення, що відповідають місцям найбільш інтенсивного пошкодження поверхні. Особливу увагу привертають два найглибші заглиблення, розміри яких визначаються в мікрометрах і характеризують ступінь зношування робочої поверхні. Подібні дефекти можуть негативно впливати на розподіл навантажень у підшипниковому вузлі та прискорювати подальший розвиток процесів зношування.

Для оцінювання відповідності поверхні встановленим вимогам на графіку нанесено вертикальні маркери червоного кольору, які позначають гранично допустимі значення відхилення від прямолінійності. Вихід профілю поверхні за межі цих значень свідчить про невідповідність деталі технічним вимогам та необхідність виконання відновлювальних операцій. Таким чином, аналіз параметрів прямолінійності є важливим етапом контролю технічного стану шийок колінчастого вала та дозволяє своєчасно виявляти дефекти, що можуть впливати на надійність і довговічність роботи двигуна.

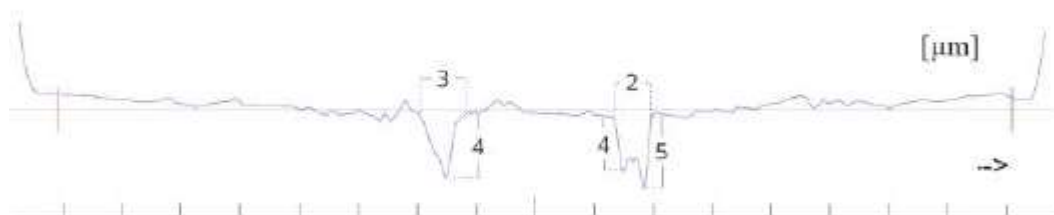
					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16



а



б



в

Рис. 1.4. Відхиляюча поверхня шийки з подряпинами та її крива прямолінійності: (а) Відхиляюча поверхня шийки з подряпинами. (б)

1.3 Способи відновлення колінчастого валу та їх обмеження

На сьогоднішній день для відновлення колінчастих валів найбільш поширеними є два основні методи ремонту: термічне напилення та гальванічне нанесення покриттів. Застосування зазначених технологій дозволяє відновлювати зношені поверхні, коригувати посадкові розміри та забезпечувати необхідні експлуатаційні характеристики окремих елементів

					КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

колінчастого вала. Найчастіше ці методи використовуються для відновлення поверхонь у місцях встановлення демпфера крутильних коливань, шківів приводу допоміжних агрегатів, переднього фланця та інших менш навантажених ділянок деталі, що показані на рисунку 1.5.

Разом із тим можливості ремонту найбільш відповідальних елементів колінчастого вала, а саме головних і шатунних шийок, є суттєво обмеженими. Відповідно до діючих ремонтних вимог єдиною дозволеною технологічною операцією для відновлення шийок є механічне шліфування до одного з ремонтних розмірів із подальшим поліруванням поверхні. Максимально допустиме зменшення діаметра шийок становить 1,0 мм від номінального розміру. При цьому передбачені проміжні ремонтні розміри зі зменшенням діаметра на 0,25 мм, 0,50 мм та 1,00 мм. Після виконання шліфування обов'язково здійснюється полірування поверхні для забезпечення необхідної шорсткості та формування сприятливих умов роботи підшипників ковзання.

Зазначений спосіб ремонту має суттєві обмеження. Якщо глибина подряпин, задирів, вм'ятин або інших дефектів перевищує допустиму величину, яка може бути усунена шляхом шліфування до останнього ремонтного розміру, подальше відновлення колінчастого вала стає неможливим. У таких випадках деталь підлягає вибракуванню та заміні. Аналогічна ситуація виникає для валів, які раніше вже були відшліфовані до граничного ремонтного розміру, оскільки подальше зменшення діаметра призводить до порушення вимог міцності та неможливості встановлення стандартних ремонтних вкладишів.

Використання термічного напилення для відновлення шийок колінчастих валів також має низку обмежень. Оскільки даний процес супроводжується локальним тепловим впливом на основний матеріал деталі, він може спричинити зміну мікроструктури металу, виникнення залишкових напружень та погіршення механічних властивостей поверхневого шару. Крім

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

того, нагрівання може негативно впливати на характеристики попередньо зміцнених поверхонь шийок, що є особливо важливим для деталей, які працюють під дією високих циклічних навантажень.

Метод гальванічного відновлення також не забезпечує повного вирішення проблеми ремонту шийок колінчастих валів. Основним його недоліком є неможливість досягнення рівня твердості та зносостійкості, необхідного для тривалої експлуатації поверхонь тертя. Додатковим обмеженням є вузький перелік матеріалів, дозволених для нанесення покриттів, який фактично обмежується двома типами нікелевих покриттів. Це значно звужує можливості керування властивостями відновленого шару та не дозволяє повною мірою забезпечити характеристики, аналогічні новій деталі.

Таким чином, існуючі технології ремонту колінчастих валів мають певні експлуатаційні та технологічні обмеження, особливо при відновленні головних і шатунних шийок. Це обумовлює необхідність пошуку та впровадження більш ефективних методів відновлення і зміцнення робочих поверхонь, здатних забезпечити необхідні показники твердості, зносостійкості та довговічності відремонтованих деталей.



Рис. 1.5. Затверджені методи відновлення поверхні колінчастого вала через напилувальне зварювання та гальванічне покриття

Специфічні вимоги до колінчастого вала, які безпосередньо впливають на можливість застосування технології холодного напилювання для його

					КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

відновлення, охоплюють комплекс механічних, геометричних та експлуатаційних параметрів. До основних із них належать допустимі рівні розтягувальних напружень, глибина зміцненого шару після індукційного гартування, а також показники якості поверхні, зокрема твердість, шорсткість, круглість і прямолінійність шийок. Відповідність зазначеним вимогам є необхідною умовою забезпечення надійної роботи відновленого колінчастого вала в умовах дії значних циклічних навантажень.

Оцінювання можливості використання холодного напилювання здійснюється на основі аналізу властивостей матеріалу покриття, параметрів технологічного процесу та результатів експериментальних випробувань. Особливе значення має визначення допустимих розтягувальних напружень, які можуть виникати в покритті та на межі його з'єднання з основним металом. Також необхідно дослідити поведінку нанесеного шару під дією змінних механічних навантажень і встановити, наскільки властивості покриття відповідають вимогам, що висуваються до робочих поверхонь колінчастого вала.

Конструкція колінчастого вала передбачає наявність окремих зон, які під час експлуатації піддаються найбільш інтенсивним навантаженням і тому вважаються критичними з точки зору міцності та довговічності. У процесі роботи двигуна вал одночасно зазнає дії згинальних і крутильних моментів, що викликають складний напружений стан у різних його перерізах. Внаслідок цього на поверхні шийок утворюються локальні ділянки з підвищеними стискаючими та розтягувальними напруженнями, які є потенційними осередками зародження втомних тріщин.

Використання технології холодного напилювання в таких зонах потребує особливо ретельного аналізу та проведення додаткових досліджень. Необхідно підтвердити здатність нанесеного покриття витримувати тривалу дію циклічних навантажень без відшарування, руйнування або погіршення

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

адгезійного зв'язку з основним матеріалом. Особливої уваги потребують ділянки, які працюють в умовах циклічного згину та характеризуються високою концентрацією напружень.

До найбільш критичних зон належать перехідні радіуси між шийками та щоками колінчастого вала. Для головних шийок найбільш навантаженими є верхні ділянки радіусних переходів, тоді як для шатунних шийок критичними вважаються нижні радіуси. Саме в цих областях у процесі роботи двигуна виникають максимальні напруження розтягу та стиску, що сприяють розвитку втомних пошкоджень. Нижня частина шатунних шийок особливо схильна до впливу розтягувальних напружень, які виникають під дією сил тиску газів у циліндрах під час робочого ходу поршня. Зони, найбільш чутливі до дії згинальних навантажень, позначені синім кольором на рисунку 1.6.

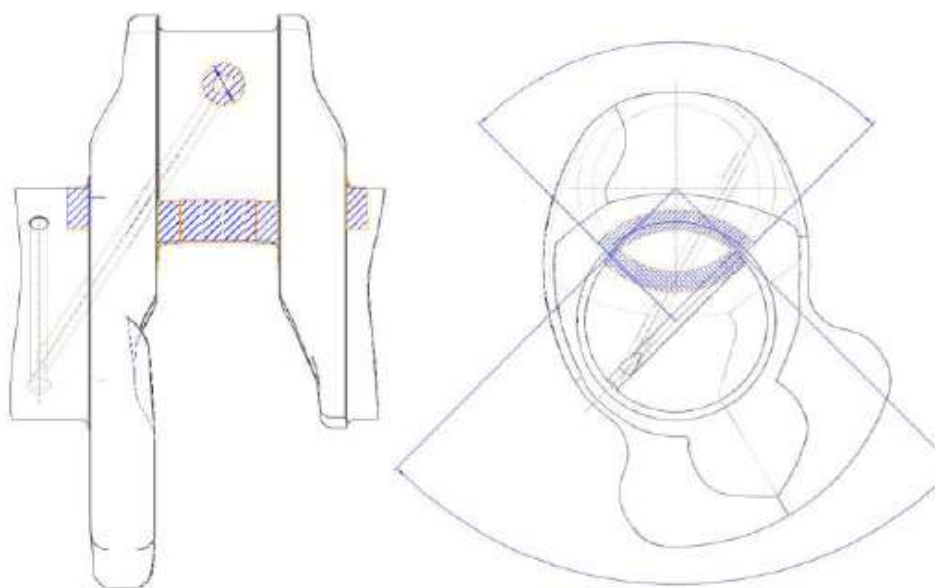


Рис. 1.6. Критичні зони, визначені силами згину: (а) Фронтальний вигляд (б) Бічний вигляд.

Крім згинальних навантажень, на колінчастий вал постійно діють крутильні моменти, що виникають у результаті передачі крутного моменту від поршневої групи до трансмісії. Крутильні напруження поширюються практично на всі елементи вала та особливо концентруються в радіусних

					КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

переходах між окремими конструктивними елементами. Поєднання згинальних, крутильних, стискаючих і розтягувальних напружень формує складний напружено-деформований стан, який визначає довговічність деталі.

З урахуванням сукупної дії всіх видів навантажень найбільш критичними зонами шийок колінчастого вала є радіуси переходу між шийками та щоками, радіуси масляних отворів, а також нижні ділянки шатунних шийок. Саме ці області характеризуються найвищою концентрацією напружень і найбільшою ймовірністю виникнення втомних тріщин. На рисунку 1.7 вони позначені синім кольором. Під час розроблення технології відновлення методом холодного напилювання зазначені ділянки потребують особливого контролю, оскільки від якості відновлення та зміцнення цих зон значною мірою залежить надійність і довговічність відремонтованого колінчастого вала.

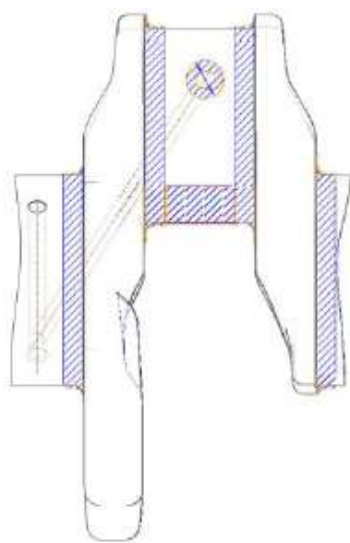


Рис. 1.7. Критичні зони від дії згину та крутного моменту.

Оскільки колінчастий вал у процесі експлуатації сприймає значні циклічні навантаження та працює в умовах інтенсивного тертя, до його робочих поверхонь висуваються підвищені вимоги щодо твердості, зносостійкості та втомної міцності. Для забезпечення необхідних експлуатаційних характеристик під час виготовлення колінчастих валів

					КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

застосовується індукційне гартування шийок. Дана технологія дозволяє сформувати зміцнений поверхневий шар із високими механічними властивостями при збереженні достатньої в'язкості та міцності серцевини деталі.

Індукційне гартування забезпечує суттєве підвищення твердості робочих поверхонь шийок колінчастого вала, що сприяє збільшенню їхньої стійкості до абразивного та контактного зношування. Крім того, формування зміцненого шару позитивно впливає на втомну довговічність деталі, оскільки створює сприятливий розподіл залишкових напружень у поверхневих шарах металу. У результаті такої обробки твердість поверхні може збільшуватися майже вдвічі порівняно зі станом матеріалу до термічного зміцнення, що суттєво підвищує ресурс роботи колінчастого вала.

Глибина індукційного гартування для головних і шатунних шийок встановлюється технологічною документацією та контролюється на всіх етапах виробництва. Схема розподілу зміцненого шару та його глибина наведені на рисунку 1.8. Саме в межах цього шару забезпечуються необхідні показники твердості, зносостійкості та опору втомному руйнуванню. Відхилення від заданої глибини зміцнення можуть негативно впливати на надійність роботи деталі та її довговічність.

Особливу небезпеку становлять пошкодження поверхні, глибина яких перевищує товщину зміцненого шару. У таких випадках дефект проникає в незагартовану частину металу, яка має іншу мікроструктуру та нижчі механічні характеристики. Видалення або відновлення подібних пошкоджень може призвести до порушення початкової структури матеріалу та зміни розподілу напружень у зоні ремонту. Наслідком цього є зниження втомної міцності та скорочення ресурсу колінчастого вала.

Під час відновлення шийок колінчастих валів необхідно враховувати не лише геометричні параметри дефектів, а й їх розташування відносно

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

зміцненого шару. Якщо пошкодження знаходиться в межах загартованої зони, його усунення може бути виконане без істотного впливу на експлуатаційні характеристики деталі. Проте у випадках, коли дефект проникає за межі зміцненого шару, виникає необхідність додаткового аналізу можливості відновлення та оцінювання залишкового ресурсу вала.

Саме тому одним із ключових завдань при розробленні технології ремонту є визначення максимально допустимої глибини відновлення поверхні, за якої не відбувається суттєвого погіршення механічних властивостей та зниження довговічності деталі. Встановлення таких меж дозволяє забезпечити необхідний рівень надійності відновленого колінчастого вала та гарантувати його подальшу безпечну експлуатацію в умовах дії високих циклічних навантажень.



Рис. 1.8. Позначення вимог до глибини закалювання.

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Теорії відновлення та укріплення шийок колінчастих валів

Згідно з результатами численних наукових досліджень, основною причиною зношування деталей машин і механізмів є тертя, яке виникає під час взаємодії контактуючих поверхонь. У процесі роботи вузлів тертя на поверхневих шарах матеріалу постійно діють механічні навантаження, що спричиняють багаторазові цикли деформації та відновлення мікронерівностей. Під впливом сил тертя відбуваються процеси зміцнення і розуцільнення поверхневих шарів, виділення теплової енергії, зміна структури матеріалу, накопичення втомних пошкоджень, окиснення металу та інші фізико-хімічні явища, які безпосередньо впливають на інтенсивність зношування деталей.

Процеси, що відбуваються в зоні контакту поверхонь тертя, характеризуються значною складністю та залежать від великої кількості факторів, серед яких навантаження, швидкість відносного переміщення, температура, умови мащення та властивості матеріалів контактуючих деталей. Саме тому механізми виникнення тертя та зношування розглядаються на основі сучасних теорій зовнішнього тертя, які дозволяють пояснити природу опору руху та закономірності руйнування поверхневих шарів матеріалу.

Однією з найбільш поширених і загально визнаних є молекулярно-механічна, або адгезійно-деформаційна, теорія тертя. Відповідно до цієї теорії сила тертя формується внаслідок одночасної дії двох основних складових: молекулярної взаємодії поверхонь у місцях їх фактичного контакту та механічного деформування мікронерівностей. Під час зближення поверхонь окремі виступи шорсткості вступають у безпосередній контакт, утворюючи локальні зони зчеплення. У процесі відносного переміщення цих поверхонь виникає необхідність руйнування утворених зв'язків і подолання опору

					КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

деформованих мікронерівностей, що супроводжується витратами енергії та поступовим руйнуванням поверхневого шару.

У результаті фрикційної взаємодії на поверхнях тертя можуть розвиватися різні механізми зношування залежно від умов роботи вузла. Характер і швидкість зношування визначаються сукупною дією механічних, теплових та фізико-хімічних процесів, які відбуваються в контактній зоні. Розуміння закономірностей цих процесів є необхідною умовою для вибору ефективних способів підвищення довговічності деталей та розроблення сучасних технологій їх зміцнення і відновлення.

Основні види зношування, що зустрічаються в деталях машин, їх характерні особливості та умови виникнення наведені в таблиці 2.1. Аналіз зазначених видів зношування дозволяє визначити найбільш імовірні механізми руйнування поверхонь і обґрунтувати вибір технологічних методів підвищення зносостійкості та ресурсу деталей.

Таблиця 2.1. Розподіл категорій зносу.

Метод дії під час зносу	Категорія зносу
Фізичний	Абразивний, адгезивний, гідро- та газоабразивний, кавітаційний, втомний, фретинг-процес
Корозійно-фізичний	Окиснення, фретинг-корозія

Сила тертя (F) та коефіцієнт тертя (f), який характеризує відношення сили тертя до нормального навантаження (N), визначаються як сума двох складових: деформаційної та адгезійної. Відповідно до молекулярно-механічної теорії тертя загальна сила тертя та коефіцієнт тертя можуть бути представлені у вигляді

$$(F = F_{\{д\}} + F_{\{ад\}}),$$

$$(f = f_{\{д\}} + f_{\{ад\}}), (2.1)$$

де $(F_{\{д\}})$ і $(f_{\{д\}})$ — складові, обумовлені деформацією мікронерівностей поверхонь, а $(F_{\{ад\}})$ і $(f_{\{ад\}})$ — складові, пов'язані з адгезійною взаємодією контактуючих поверхонь.

Деформаційна складова тертя визначається характером взаємодії мікронерівностей поверхонь у зоні контакту. Її величина зростає зі збільшенням відносного проникнення нерівностей (h/R) , де (h) характеризує глибину вдавлювання, а (R) — радіус кривизни виступів поверхні. Відповідно зі збільшенням шорсткості поверхонь та прикладеного навантаження зростають контактні напруження і деформаційна складова сили тертя. Навпаки, підвищення твердості матеріалу та його модуля пружності сприяє зменшенню деформаційного опору.

Під час взаємодії контактуючих поверхонь розрізняють три основні форми механічної взаємодії: пружне деформування, пластичне деформування та мікрорізання. Найбільш сприятливим режимом є пружний контакт, при якому після зняття навантаження матеріал практично повністю відновлює свою початкову форму, а інтенсивність зношування залишається мінімальною.

При переході до пластичного деформування інтенсивність зношування суттєво зростає. Це пояснюється тим, що поверхневі шари матеріалу під дією повторюваних навантажень зазнають наклепу, поступово втрачають здатність до подальших пластичних деформацій і руйнуються внаслідок розвитку втомних процесів. Додатковий вплив на руйнування поверхні здійснюють адгезійні явища, які виникають у зонах фактичного контакту.

Найбільш небезпечним механізмом є мікрорізання, яке супроводжується інтенсивним видаленням матеріалу з поверхневого шару. Мікрорізання може виникати як під дією твердих виступів однієї з поверхонь, так і внаслідок потрапляння сторонніх твердих частинок у зону тертя. Саме такий механізм

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

лежить в основі абразивного зношування, яке є одним із найпоширеніших видів руйнування деталей машин.

Адгезійна складова тертя визначається міцністю міжмолекулярної взаємодії контактуючих поверхонь та характеризується безрозмірним критерієм, що залежить від відношення опору зсуву до твердості матеріалу. У процесі тертя розрізняють два основні прояви адгезійної взаємодії: руйнування поверхневих шарів у місцях локального зчеплення та безпосереднє схоплювання металевих поверхонь із подальшим заклинюванням.

Утворення адгезійних зв'язків відбувається між ділянками поверхонь, очищеними від оксидних і мастильних плівок. Такі умови можуть виникати у вакуумі або в місцях інтенсивного пластичного деформування, де захисні поверхневі шари руйнуються. У результаті між чистими металевими поверхнями формуються міцні міжатомні зв'язки, міцність яких часто перевищує міцність одного з матеріалів пари тертя.

При подальшому переміщенні поверхонь руйнування відбувається не по межі контакту, а в менш міцному матеріалі на певній глибині від зони зчеплення. Унаслідок цього на одній поверхні утворюються заглиблення, а на іншій — виступи або перенесені частинки металу. Надалі ці частинки повторно взаємодіють із поверхнями тертя, утворюючи борозни, подряпини та додаткові осередки руйнування. У деяких випадках процес супроводжується значним тепловиділенням і локальним зварюванням контактуючих поверхонь.

Руйнування поверхонь унаслідок схоплювання та заклинювання отримало назву адгезійного зношування. Цей вид зношування належить до найбільш небезпечних, оскільки характеризується високою швидкістю розвитку та часто стає причиною передчасного виходу з ладу вузлів тертя.

Відповідно до молекулярно-механічної теорії тертя існують два основні напрямки підвищення зносостійкості деталей машин. Перший полягає у

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

підвищенні твердості та міцності поверхневих шарів матеріалу, другий — у зниженні міцності адгезійної взаємодії між контактуючими поверхнями.

Підвищення твердості поверхні сприяє зменшенню пластичних деформацій, запобігає виникненню мікрорізання та забезпечує переважання пружного характеру контакту. Для реалізації цього підходу широко застосовують різноманітні методи поверхневого зміцнення, зокрема цементацію, азотування, індукційне та лазерне гартування.

Зменшення адгезійної взаємодії досягається шляхом розділення контактуючих поверхонь мастильними матеріалами або спеціальними захисними покриттями. Найефективнішим способом є створення стійкої мастильної плівки, яка виключає безпосередній контакт металевих поверхонь.

Порушення умов рідинного мащення можливе під час пуску та зупинки механізмів, у період обкатки або при несприятливих режимах експлуатації. У таких умовах виникає граничне тертя, коли поверхні розділені лише тонким шаром мастильного матеріалу. Високі контактні напруження та локальне нагрівання можуть призводити до руйнування мастильної плівки й розвитку процесів схоплювання.

У зв'язку з цим важливого значення набуває сумісність матеріалів пари тертя. Під сумісністю розуміють здатність контактуючих матеріалів працювати без інтенсивного схоплювання навіть у випадках порушення мастильного режиму. Чим вищою є сумісність матеріалів, тим меншою є ймовірність розвитку адгезійного зношування.

Відірвані внаслідок адгезійної взаємодії металеві частинки надалі окиснюються під дією кисню навколишнього середовища та перетворюються на тверді абразивні включення. Це призводить до поєднання адгезійного й абразивного механізмів руйнування та ще більше прискорює процес зношування.

					КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Основними способами захисту від адгезійного зношування є зміцнення поверхневих шарів деталей, застосування ефективних мастильних матеріалів, використання захисних полімерних, оксидних або композиційних покриттів, які перешкоджають безпосередньому контакту металевих поверхонь та обмежують доступ кисню до зони тертя.

На підставі аналізу макро- та мікроструктури зношених деталей, результатів експлуатаційних, стендових і лабораторних випробувань були визначені основні напрями підвищення їхньої зносостійкості та навантажувальної здатності. Отримані результати стали основою для розроблення сучасних технологій зміцнення і відновлення робочих поверхонь, спрямованих на підвищення ресурсу та надійності деталей машин.

У зонах фактичного контакту поверхонь тертя між окремими мікронерівностями виникають молекулярні зв'язки, міцність яких визначає інтенсивність адгезійної складової тертя. Питома міцність на зсув таких молекулярних зв'язків залежить від фізико-механічних властивостей матеріалів та величини контактного тиску і може бути описана залежністю

$$t = t_0 + b \cdot p_r \quad (2.2)$$

де (τ) — питома міцність з'єднання на зсув; (τ_0) — молекулярна складова міцності зчеплення поверхонь за відсутності зовнішнього навантаження; (β) — коефіцієнт, що характеризує вплив контактного тиску на міцність адгезійного зв'язку; (p) — питома тиск у зоні контакту.

Із наведеної залежності випливає, що зі збільшенням контактного навантаження зростає і міцність міжповерхневих зв'язків, а отже, підвищується ймовірність розвитку адгезійного зношування та схоплювання поверхонь. Саме тому при проектуванні вузлів тертя особлива увага приділяється вибору матеріалів, здатних забезпечити необхідне поєднання механічної міцності, зносостійкості та антифрикційних властивостей.

					КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Залежно від механічних характеристик, умов роботи та триботехнічних властивостей зносостійкі матеріали поділяють на три основні групи. До першої групи належать матеріали з високою твердістю поверхні, які характеризуються підвищеним опором пластичному деформуванню, мікрорізанню та абразивному зношуванню. Такі матеріали застосовуються для виготовлення деталей, що працюють в умовах значних контактних навантажень і підвищеного абразивного впливу.

Другу групу становлять антифрикційні матеріали, для яких характерний низький коефіцієнт тертя ковзання. Їх використання сприяє зменшенню втрат енергії на тертя, зниженню температури в зоні контакту та підвищенню довговічності вузлів тертя. До цієї групи належать різні бабіти, бронзи, композиційні матеріали та сучасні полімерні покриття.

Третя група представлена фрикційними матеріалами, які навпаки повинні забезпечувати високий коефіцієнт тертя. Такі матеріали застосовуються у вузлах, де необхідна надійна передача крутного моменту або гальмівного зусилля, зокрема у фрикційних муфтах, зчепленнях та гальмівних механізмах.

Правильний вибір матеріалів для пар тертя є одним із найважливіших факторів забезпечення високої зносостійкості та надійності деталей машин. Не менш важливу роль відіграють сучасні методи поверхневого зміцнення, які дозволяють цілеспрямовано змінювати властивості робочих поверхонь без зміни характеристик основного матеріалу деталі.

Серед найбільш ефективних способів підвищення триботехнічних характеристик особливе місце займають технології нанесення захисних покриттів. Використання плазмових, газотермічних, лазерних та інших видів покриттів дозволяє підвищити твердість поверхні, зменшити коефіцієнт тертя, покращити корозійну стійкість та збільшити опір абразивному й адгезійному зношуванню. Особливо перспективним є застосування таких технологій під

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

час відновлення зношених деталей, оскільки вони дають можливість не лише відновити геометричні розміри поверхні, а й забезпечити її експлуатаційні характеристики на рівні або навіть вище характеристик нової деталі.

Таким чином, раціональне поєднання правильно підібраних конструкційних матеріалів і сучасних методів поверхневого зміцнення є одним із найефективніших шляхів підвищення довговічності, зносостійкості та надійності деталей машин, що працюють в умовах інтенсивного тертя та високих механічних навантажень.

2.2 Операції з підготовки колінчатого валу до відновлення

Перед виконанням ремонтно-відновлювальних робіт колінчастий вал підлягає ретельному контролю технічного стану та дефектації. Необхідність проведення такої перевірки обумовлена тим, що в процесі експлуатації вал перебуває під дією значних механічних, теплових і динамічних навантажень. На його поверхні постійно діють сили тертя, вібрації, циклічні згинальні та крутильні навантаження, а також вплив агресивних факторів навколишнього середовища. Унаслідок цього поступово відбувається зміна геометричних параметрів деталі, виникають деформації, зношування робочих поверхонь, утворення подряпин, задирів, тріщин та інших дефектів.

До найбільш поширених пошкоджень колінчастих валів належать зношування корінних і шатунних шийок, пошкодження різьбових отворів та різьбових з'єднань, а також викривлення осі вала. Ці дефекти негативно впливають на роботу двигуна, призводять до порушення умов мащення, появи додаткових навантажень на підшипникові вузли та зниження загального ресурсу силового агрегату.

					КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Однією з причин викривлення колінчастого вала є наявність залишкових напружень, які формуються в матеріалі під час виготовлення, термічної обробки та механічної обробки деталі. У процесі тривалої експлуатації ці напруження можуть перерозподілятися під дією змінних навантажень, що сприяє виникненню деформацій. Додатково викривлення може бути викликане перевантаженням двигуна, аварійними режимами роботи або порушенням умов експлуатації.

Зношування корінних і шатунних шийок відбувається внаслідок тривалої роботи під дією сил тертя між поверхнями шийок та вкладишами підшипників ковзання. У результаті поступового видалення матеріалу змінюються геометричні параметри поверхонь, що проявляється у вигляді овальності, конусності та відхилення від циліндричної форми. Такі дефекти призводять до погіршення умов роботи підшипникових вузлів, зниження точності обертання колінчастого вала та підвищення інтенсивності подальшого зношування.

Корінні шийки зазвичай характеризуються меншим ступенем зношування, оскільки працюють у більш сприятливих умовах навантаження. Основним дефектом для них є виникнення овальності та незначної конусності. Шатунні шийки піддаються значно більшим змінним навантаженням, які передаються від поршневої групи через шатуни. У зв'язку з цим їх зношування відбувається інтенсивніше, а величина відхилень геометричної форми зазвичай перевищує аналогічні показники корінних шийок.

Після демонтажу двигуна колінчастий вал проходить комплексну дефектацію та контроль геометричної точності. На цьому етапі виконують візуальний огляд поверхонь, перевіряють наявність тріщин, задирів, слідів перегріву та інших пошкоджень. Додатково проводяться вимірювання діаметрів шийок, визначення овальності, конусності та оцінка стану різьбових елементів.

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Однією з найважливіших операцій контролю є перевірка прямолінійності осі колінчастого вала. Для цього вал установлюють на спеціальні призми або опорні блоки та повільно обертають навколо власної осі. За допомогою індикатора годинникового типу вимірюють величину биття середніх шийок і визначають фактичний прогин вала. Схему виконання цієї операції наведено на рисунку 2.1.

Згідно з технічними вимогами максимально допустима величина вигину колінчастого вала не повинна перевищувати 0,1 мм. Якщо в результаті вимірювань встановлено перевищення даного значення, вал підлягає операції правлення. Випрямлення здійснюється із застосуванням спеціального обладнання та контрольних вимірювань, що дозволяє відновити необхідну геометричну форму деталі та забезпечити її подальшу надійну експлуатацію після ремонту.

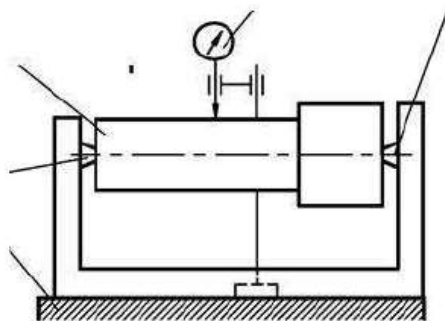


Рис. 2.1. Схема перевірки валів на вигин за допомогою індикатора ІЧ - 02 та штатива ШМ - 11В.

Крім перевірки на вигин, колінчастий вал підлягає контролю на наявність крутильних деформацій та відхилень геометричної форми. Такий контроль є необхідним для визначення технічного стану деталі та можливості її подальшого відновлення. Геометричні параметри колінчастого вала перевіряються за допомогою високоточних вимірювальних приладів, зокрема

					КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

індикаторів годинникового типу, які дозволяють виявляти навіть незначні відхилення від номінальних розмірів і форми.

Для визначення радіального биття та кругових відхилень вал установлюють на опорні призми за допомогою крайніх корінних шийок або спеціальних центрів. Індикатор закріплюють на нерухомій стійці та підводять його вимірювальний наконечник до контрольованої поверхні. Під час повільного обертання колінчастого вала фіксуються максимальні та мінімальні покази індикатора, за якими визначають величину биття та відхилення від правильної геометричної форми.

Особлива увага приділяється контролю хвостовика колінчастого вала, посадкових поверхонь під демпфер крутильних коливань, шківів та ущільнювальні елементи. Наявність підвищеного биття або порушення геометрії цих поверхонь може призвести до появи додаткових вібрацій, нерівномірного зношування ущільнень і погіршення умов роботи суміжних вузлів двигуна.

Зношування корінних і шатунних шийок визначається шляхом вимірювання їх фактичних діаметрів із використанням мікрометрів високої точності. За результатами вимірювань встановлюють величину зносу, відхилення від номінального розміру та необхідність проведення відновлювальної обробки. Окремо контролюються середні та крайні корінні шийки, оскільки умови їх роботи та характер навантаження можуть суттєво відрізнятися.

Одним із важливих параметрів технічного стану колінчастого вала є овальність шийок. Для її визначення вимірювання виконують у декількох взаємно перпендикулярних напрямках. Різниця між найбільшим і найменшим виміряними діаметрами характеризує величину овальності. Підвищена овальність свідчить про нерівномірне зношування поверхні та може призводити до порушення роботи підшипникових вузлів.

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

відновлення працездатності колінчастого вала та забезпечення його надійної подальшої експлуатації.

Після завершення операцій контролю геометричних параметрів та виправлення виявленого вигину колінчастого вала виконують відновлення зношених поверхонь. Однією з основних технологічних операцій на цьому етапі є шліфування шийок вала, яке дозволяє усунути сліди зношування, подряпини, задири та інші поверхневі дефекти, що виникли в процесі експлуатації.

Шліфування проводять лише після остаточного випрямлення колінчастого вала, оскільки наявність навіть незначного вигину може негативно вплинути на точність обробки та призвести до порушення геометричної форми шийок. У процесі шліфування забезпечується відновлення правильної циліндричної форми поверхонь, усунення овальності та конусності, а також досягнення необхідної точності розмірів відповідно до ремонтного або номінального розміру.

Під час виконання операції контролюється не лише діаметр шийок, але й їх співвісність, круглість та якість поверхневого шару. Після шліфування поверхні повинні відповідати встановленим технічним вимогам щодо точності розмірів, шорсткості та геометричних параметрів. Досягнення необхідної якості поверхні має важливе значення для забезпечення надійної роботи підшипників ковзання та формування стабільної мастильної плівки в процесі експлуатації двигуна.

Залежно від ступеня зношування шийки обробляють до найближчого ремонтного розміру, передбаченого технічною документацією. Після завершення шліфування виконують полірування робочих поверхонь, що дозволяє додатково знизити шорсткість та покращити триботехнічні характеристики деталей. Якісно виконані операції шліфування і полірування

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

забезпечують відновлення працездатності колінчастого вала та створюють необхідні умови для його подальшої довговічної експлуатації після ремонту.

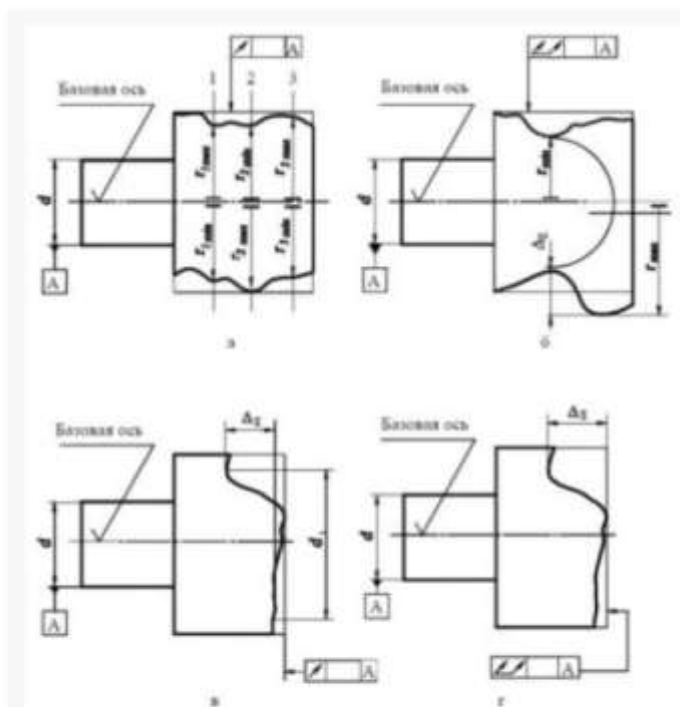


Рис. 2.3 зображено загальні невідповідності у формі та розміщенні: а - радіальні відхилення; б - загальні радіальні відхилення; в - осьові відхилення; г - загальні осьові відхилення.

У процесі експлуатації двигуна колінчастий вал піддається значним механічним і тепловим навантаженням. Однією з причин виникнення серйозних дефектів є перегрівання корінних та шатунних шийок, яке може виникати внаслідок порушення умов мащення, руйнування підшипникових вкладишів, недостатньої подачі мастильного матеріалу або перевищення допустимих режимів роботи двигуна. Підвищення температури в зоні контакту призводить до зміни структури металу, появи локальних напружень та зниження механічної міцності матеріалу.

У результаті тривалої дії підвищених температур і циклічних навантажень у матеріалі колінчастого вала можуть утворюватися тріщини

різного характеру та глибини. Такі дефекти є особливо небезпечними, оскільки під час подальшої експлуатації вони здатні інтенсивно розвиватися, викликаючи втомне руйнування деталі та аварійний вихід двигуна з ладу.

Тріщини, що виходять на зовнішню поверхню колінчастого вала та мають достатні розміри, можуть бути виявлені під час візуального огляду. Для підвищення достовірності контролю поверхню деталі попередньо очищають від мастила, забруднень та продуктів корозії. У ряді випадків для більш детального огляду використовують збільшувальні прилади, зокрема технічні лупи.

Однак значна частина тріщин має прихований характер і розташовується всередині матеріалу або починає розвиватися від поверхні на незначну глибину. Такі дефекти неможливо виявити звичайним візуальним методом, тому для їх діагностування застосовують неруйнівні методи контролю. До найбільш поширених належать люмінесцентний, магнітопорошковий та ультразвуковий контроль, схеми застосування яких наведено на рисунках 2.4 та 2.5.

Люмінесцентний контроль базується на використанні спеціальних проникаючих речовин, які заповнюють поверхневі дефекти та після обробки проявляються під дією ультрафіолетового випромінювання. Даний метод дозволяє ефективно виявляти дрібні поверхневі тріщини, невидимі неозброєним оком.

Магнітопорошковий контроль застосовується для перевірки деталей, виготовлених із феромагнітних матеріалів. Під час намагнічування колінчастого вала в місцях розташування дефектів відбувається викривлення магнітного поля, що спричиняє накопичення магнітного порошку вздовж тріщин. Це дозволяє визначити їх розташування, форму та приблизні розміри з високою точністю.

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Для виявлення внутрішніх дефектів, які не виходять на поверхню, використовується ультразвуковий контроль. Принцип його роботи полягає у пропусканні ультразвукових хвиль через матеріал деталі та аналізі сигналів, відбитих від внутрішніх неоднорідностей. Цей метод забезпечує можливість виявлення прихованих тріщин, порожнин та інших дефектів на значній глибині без пошкодження деталі.

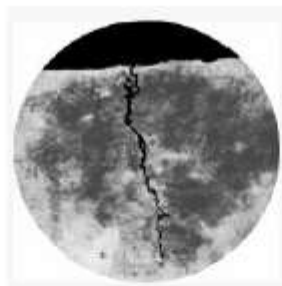


Рис. 2.4. Зображення тріщини, яка проникає у внутрішню частину деталі.



Рис. 3.5 Магнітний апарат для виявлення дефектів. Універсальний дефектоскоп моделі "Томограф" УД4-Т.

Крім контролю на наявність тріщин, колінчастий вал обов'язково перевіряють на ознаки корозійного ураження. Корозія може виникати внаслідок впливу вологи, агресивних продуктів згоряння палива, тривалого зберігання або порушення умов експлуатації. Наявність корозійних пошкоджень негативно впливає на міцність поверхневого шару та може сприяти розвитку втомних тріщин.

Оцінювання корозійного стану здійснюється шляхом візуального огляду поверхні або з використанням збільшувальних приладів. За результатами проведеної дефектації визначають ступінь пошкодження деталі та приймають

					КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

рішення щодо можливості її подальшого відновлення або необхідності вибракування. Комплексне застосування візуальних і неруйнівних методів контролю дозволяє забезпечити високу достовірність оцінювання технічного стану колінчастого вала та підвищити надійність його подальшої експлуатації після ремонту.

Сучасний розвиток цифрових технологій суттєво розширив можливості неруйнівного контролю деталей машин. Одним із прикладів такого обладнання є ультразвуковий дефектоскоп «УД-4Т Томографік», який поєднує в собі функції декількох спеціалізованих приладів для діагностування технічного стану деталей. Завдяки використанню цифрової обробки сигналів та програмного забезпечення в одному пристрої реалізовано можливість виконання різних видів контролю залежно від поставлених завдань.

Особливістю даного приладу є модульна структура програмного забезпечення, яка дозволяє користувачу обирати необхідний режим роботи через інтуїтивно зрозумілий інтерфейс. Керування здійснюється за допомогою меню, побудованого за принципом сучасних операційних систем. Кожний режим представлений у вигляді окремого віртуального приладу неруйнівного контролю, зокрема дефектоскопа, товщиноміра, тензометра та інших засобів діагностування. Такий підхід забезпечує універсальність обладнання та підвищує ефективність проведення контрольних операцій під час дефектації колінчастих валів.

Після завершення перевірки на наявність тріщин та інших внутрішніх дефектів виконують контроль геометричної точності колінчастого вала. Однією з важливих операцій є вимірювання радіального биття хвостовика та задньої ущільнювальної поверхні. Дані елементи повинні відповідати встановленим вимогам точності, оскільки їхній технічний стан безпосередньо впливає на роботу ущільнень, маховика та інших вузлів двигуна.

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Контроль кругових відхилень здійснюється на спеціальних центрах, які забезпечують точне базування колінчастого вала відносно осі обертання. Під час повільного обертання деталі за допомогою індикатора годинникового типу визначають величину радіального биття контрольованих поверхонь. Отримані результати порівнюють із допустимими значеннями, встановленими технічною документацією.

Допустиме значення радіального биття хвостовика та задньої ущільнювальної поверхні зазвичай не повинно перевищувати 0,01–0,02 мм. Перевищення зазначених величин свідчить про порушення геометричної точності центрових отворів або деформацію деталі, що може негативно впливати на подальшу якість механічної обробки та експлуатаційні характеристики колінчастого вала.

У разі виявлення підвищеного биття виконують відновлення центрових отворів. Корекція центрових поверхонь необхідна для забезпечення правильного базування деталі під час наступних операцій шліфування, полірування та контролю. Від точності виконання цієї операції значною мірою залежить якість відновлення всіх робочих поверхонь колінчастого вала.

Для відновлення центрових отворів можуть застосовуватися різні технологічні способи, зокрема ручна доробка спеціальними різальними інструментами, шліфування або механічна обробка на металорізальному обладнанні. Практика ремонтного виробництва показує, що найбільш точним та ефективним методом є обробка на токарному верстаті з використанням люнета, який забезпечує додаткову підтримку вала та зменшує його прогин під час обробки.

Застосування токарної обробки з використанням люнета дозволяє відновити правильну геометрію центрових поверхонь, забезпечити високу точність базування та створити необхідні умови для подальшого виконання ремонтних операцій. Схему відновлення центрових отворів на токарному

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

верстаті наведено на рисунку 2.6. Проведення даної операції є важливим етапом технологічного процесу ремонту колінчастого вала та забезпечує досягнення необхідної точності відновлення його робочих поверхонь.

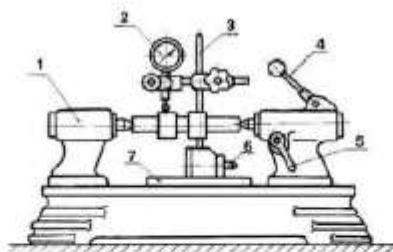


Рис. 2.6. Пристрій для тестування деталей на кругові відхилення на обертових центрах: 1 - точка обертання; 2 - годинниковий індикатор; 3 - опора; 4 - ручка; 5 - хомут; 6 - перемикач управління магнітом; 7 - робоча поверхня.

Після завершення згаданих процедур, вал проходить процес очистки та очищення внутрішніх каналів.

2.3 Встановлення ступеня зношування опорних шийок

У процесі експлуатації колінчастий вал працює в умовах змінних механічних навантажень, впливу сил тертя та коливань режимів роботи двигуна. Унаслідок цього зношування корінних і шатунних шийок відбувається нерівномірно, що призводить до зміни їх геометричної форми та відхилення від номінальних розмірів. Найбільш характерними дефектами є овальність, конусність і бочкоподібність шийок, які негативно впливають на роботу підшипникових вузлів та загальну надійність двигуна.

Для оцінювання ступеня зношування колінчастий вал установлюють на обертові центри, що забезпечують його точне базування відносно осі обертання. Після цього проводять вимірювання діаметрів корінних і шатунних шийок за допомогою мікрометра високої точності. Вимірювання виконують у

					КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

місцях найбільшого зношування, а також у напрямку, перпендикулярному до нього. Такий підхід дозволяє визначити фактичний стан робочих поверхонь і виявити відхилення їх форми від правильної циліндричної поверхні.

Овальність шийки визначають як різницю між найбільшим і найменшим діаметрами, вимірними у двох взаємно перпендикулярних площинах одного поперечного перерізу. Виникнення овальності пояснюється нерівномірним розподілом навантажень у зоні контакту між шийкою та підшипниковим вкладишем, а також особливостями режиму мащення під час роботи двигуна. Зі збільшенням овальності погіршуються умови формування мастильної плівки, що призводить до прискорення подальшого зношування.

Для визначення конусності або бочкоподібності шийок вимірювання виконують у трьох контрольних перерізах уздовж їх довжини. Два перерізи розташовують на відстані 5–6 мм від торців шийки, а третій — у її середній частині. Отримані результати порівнюють між собою, що дозволяє встановити характер зміни діаметра вздовж осі шийки.

Якщо діаметр поступово змінюється від одного торця до іншого, така форма характеризується як конусність. Даний дефект виникає внаслідок нерівномірного навантаження або порушення умов мащення в різних частинах шийки. Конусність призводить до нерівномірного розподілу навантаження на підшипниковий вкладиш та може викликати локальне підвищення контактних напружень.

У випадку, коли діаметр у середній частині шийки більший або менший порівняно з її крайніми ділянками, має місце бочкоподібність або сідлоподібність поверхні. Такі дефекти також негативно впливають на працездатність підшипникового вузла, знижують точність обертання колінчастого вала та сприяють прискореному зношуванню спряжених деталей.

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Величину конусності або бочкоподібності визначають за різницею діаметрів, виміряних у контрольних перерізах уздовж довжини шийки. Схема виконання відповідних вимірювань наведена на рисунку 2.7. Результати контролю використовуються для оцінювання технічного стану колінчастого вала та прийняття рішення щодо необхідності його шліфування, відновлення або подальшої експлуатації без ремонту.

Комплексне визначення овальності, конусності та інших геометричних відхилень дозволяє об'єктивно оцінити ступінь зношування шийок колінчастого вала та забезпечити правильний вибір технології їх відновлення. Це є важливою передумовою якісного ремонту та подальшої надійної роботи двигуна.



Рис. 2.7 Методик. оцінки конічності опор після використання.

Рівень зношування корінних та шатунних опор колінчастого вала перевіряють використовуючи мікрометр МК 75-1.

2.4 Оцінка зносу місць встановлення розподільної шестірні

Під час дефектації колінчастого вала особливу увагу приділяють контролю посадкових поверхонь, призначених для встановлення розподільної шестірні та інших допоміжних елементів приводу газорозподільного механізму. Надійність роботи цих вузлів значною мірою залежить від технічного стану посадкових поверхонь, шпонкових з'єднань та різьбових

					КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

елементів, тому їх перевірка є обов'язковою складовою процесу оцінювання придатності колінчастого вала до подальшої експлуатації або ремонту.

Оцінювання технічного стану починають із візуального огляду посадкового місця під розподільну шестірню. У процесі огляду визначають наявність слідів зношування, задирів, вм'ятин, рисок, корозійних пошкоджень, а також ознак провертання шестірні на посадковій поверхні. Особлива увага приділяється стану масловідбивної різьби, яка забезпечує запобігання витіканню мастильного матеріалу з двигуна. При виявленні значного зношування, механічних пошкоджень або деформацій приймається рішення щодо можливості відновлення відповідної поверхні.

Додатково виконується контроль шпонкової канавки, яка використовується для фіксації розподільної шестірні від провертання. У процесі експлуатації канавка може піддаватися зношуванню внаслідок дії змінних крутильних навантажень. Під час дефектації визначають наявність розширення канавки, зминання її бокових поверхонь, утворення тріщин або інших пошкоджень. У разі перевищення допустимих відхилень виконують відновлення канавки або вибраковування деталі.

Обов'язковому контролю підлягає посадковий отвір під зовнішнє кільце кулькового підшипника, розташований на кінці колінчастого вала. Перевіряють точність його геометричних розмірів, наявність слідів спрацювання, задирів, корозії та інших дефектів, які можуть впливати на надійність посадки підшипника. Зношування цієї поверхні може спричинити порушення центрування вузла та підвищені динамічні навантаження під час роботи двигуна.

Окремо оцінюється технічний стан різьбових поверхонь. Під час огляду перевіряють цілісність профілю різьби, відсутність зривів витків, механічних пошкоджень, корозії та деформацій. Стан різьби має важливе значення для

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

забезпечення надійного кріплення допоміжних вузлів і деталей, встановлених на колінчастому валу.

Після контролю окремих елементів проводиться загальний зовнішній огляд колінчастого вала. У ході огляду виявляють видимі дефекти поверхні, такі як тріщини, відколи, забоїни, сліди перегріву, корозійні пошкодження та інші відхилення від нормального технічного стану. Особлива увага приділяється зонам концентрації напружень, зокрема галтелям шийок, шпонковим пазам, масляним отворах та посадковим поверхням.

Для кожного конструктивного елемента колінчастого вала встановлюються технічні характеристики відповідно до вимог конструкторської документації. При цьому визначають номінальні та ремонтні розміри, допустимі відхилення геометричної форми, вимоги до шорсткості поверхонь, критерії придатності без проведення ремонту та допустимі межі зношування. Також для кожного елемента встановлюються методи контролю та виявлення дефектів, які можуть включати візуальний огляд, вимірювання мікрометрами, індикаторний контроль, магнітопорошкову дефектоскопію, ультразвуковий контроль та інші методи неруйнівного контролю.

Результати проведеної дефектації, вимірювань і контролю заносяться до звітної документації. На підставі отриманих даних приймається рішення щодо подальшого використання колінчастого вала без ремонту, необхідності виконання відновлювальних операцій або його вибракування. Комплексна оцінка технічного стану дозволяє забезпечити обґрунтований вибір технології ремонту та гарантувати надійну роботу відновленої деталі в подальшій експлуатації.

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

2.5 Реставрація колінчатого валу

Зношені корінні та шатунні шийки колінчастого валу відновлюють методом наплавлення з наступною механічною обробкою до отримання номінальних або ремонтних розмірів, передбачених технічною документацією. Даний спосіб ремонту дозволяє компенсувати втрати металу, спричинені зношуванням, усунути поверхневі дефекти та відновити геометричні параметри робочих поверхонь шийок.

Наплавлення є одним із найбільш поширених способів відновлення відповідальних деталей машин, оскільки забезпечує високу міцність зчеплення нанесеного шару з основним металом та дозволяє формувати поверхневий шар із необхідними механічними властивостями. Після виконання наплавлення відновлені поверхні піддають механічній обробці, яка включає попереднє точіння, шліфування та полірування до досягнення встановлених параметрів точності та шорсткості.

Для відновлення шийок колінчастого валу застосовують наплавлення електродним дротом марки Нп30ХГСА діаметром 1,6 мм. Використання даного наплавного матеріалу забезпечує отримання шару з високими показниками міцності, твердості та зносостійкості, що відповідають умовам роботи колінчастого валу під дією значних циклічних навантажень.

Якість наплавленого шару значною мірою залежить від правильного вибору режимів наплавлення. Під час виконання процесу використовуються технологічні параметри, які забезпечують стабільне формування наплавленого металу та мінімізацію дефектів. Сила зварювального струму підтримується в межах 300–320 А, що забезпечує необхідну глибину проплавлення та надійне з'єднання наплавленого шару з основним металом деталі.

Напруга дуги встановлюється в межах 26–28 В, що сприяє стабільному горінню дуги та рівномірному перенесенню металу в зону наплавлення. Для забезпечення рівномірного нанесення шару колінчастий вал обертається зі

					КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

швидкістю 0,65–0,8 об/хв. Така швидкість дозволяє отримати рівномірну товщину наплавленого металу по всій поверхні шийки та зменшити ймовірність утворення дефектів.

Подача електродного дроту здійснюється зі швидкістю 49–58 м/год, що забезпечує необхідну продуктивність процесу та формування якісного наплавленого шару. Дотримання зазначених параметрів дозволяє отримати метал наплавлення з однорідною структурою, достатньою міцністю та високою стійкістю до зношування.

Після завершення наплавлення колінчастий вал піддають охолодженню та контролю якості наплавленого шару. Перевіряють відсутність тріщин, пор, непроварів та інших дефектів, які можуть негативно впливати на довговічність відновленої деталі. Після позитивних результатів контролю виконують механічну обробку наплавлених поверхонь до необхідних розмірів і параметрів точності.

Застосування технології наплавлення при відновленні корінних і шатунних шийок дозволяє значно продовжити термін служби колінчастого вала, знизити витрати на ремонт двигуна та забезпечити відновлення експлуатаційних характеристик деталі до рівня, близького до показників нового виробу.

2.6 Теплова обробка колінчатого валу

Після завершення процесу наплавлення колінчасті вали піддають термічній обробці, основною метою якої є зняття внутрішніх напружень, покращення структури металу та підготовка деталі до подальших технологічних операцій. Одним із найважливіших етапів такої обробки є нормалізація, яка забезпечує отримання однорідної дрібнозернистої структури та покращує механічні властивості відновленої деталі.

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Колінчастий вал виготовляється зі сталі марки 45, яка належить до доевтектоїдних конструкційних вуглецевих сталей. Для таких сталей процес нормалізації полягає в нагріванні деталі до температури, що перевищує критичну точку $A_{с3}$ на 30–50 °С. За даного температурного режиму відбувається повний перехід початкової ферито-перлітної структури в аустенітний стан. Після досягнення необхідної температури колінчастий вал витримують у печі протягом часу, достатнього для повної аустенітизації матеріалу по всьому об'єму.

Тривалість нагрівання визначається залежно від розмірів деталі та приймається з розрахунку приблизно одна хвилина на кожний міліметр характерного перерізу. Нагрівання виконується в камерній печі, що забезпечує рівномірний розподіл температури по всьому об'єму деталі та запобігає виникненню додаткових термічних напружень.

Основною метою нормалізації є подрібнення зерна металу, усунення структурної неоднорідності після наплавлення та створення оптимальної мікроструктури для подальших операцій механічної та термічної обробки. У результаті контрольованого охолодження на повітрі аустеніт перетворюється на дрібнозернисту ферито-перлітну структуру з підвищеними механічними характеристиками. Порівняно зі структурою, отриманою після відпалювання, нормалізована сталь має вищу твердість, міцність і кращу оброблюваність різанням.

Після завершення нормалізації твердість матеріалу колінчастого вала, включаючи корінні та шатунні шийки, перебуває в межах НВ 180–230. Такий рівень твердості забезпечує сприятливі умови для подальшої механічної обробки та дозволяє отримати необхідну точність геометричних параметрів.

Наступним етапом технологічного процесу є механічна обробка на металорізальних верстатах. Після наплавлення та нормалізації виконують обточування відновлених поверхонь до розмірів, визначених технічними

					КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

вимогами. Залежно від конструкції колінчастого вала найчастіше обробляють п'яту або третю корінну шийку, а також інші поверхні, що потребують відновлення геометричних параметрів.

Після завершення попередньої механічної обробки корінні та шатунні шийки піддають зміцнювальній термічній обробці. Традиційно для цієї мети застосовується гартування струмами високої частоти (СВЧ), яке дозволяє отримати високу твердість поверхневого шару при збереженні достатньої в'язкості серцевини деталі.

Процес високочастотного гартування виконується на спеціалізованих установках для зміцнення колінчастих валів. Робочі поверхні шийок нагріваються струмами високої частоти до температури 900–920 °С, після чого здійснюється інтенсивне охолодження водою. Завдяки високій швидкості нагрівання та охолодження формується загартований поверхневий шар із підвищеною твердістю та зносостійкістю.

Для усунення внутрішніх напружень і зниження ризику утворення тріщин після гартування виконується низькотемпературний відпуск при температурі 170–190 °С. Дана операція дозволяє стабілізувати структуру металу та забезпечити необхідне поєднання твердості й в'язкості поверхневого шару.

Після відпуску твердість шийок колінчастого вала становить HRC 52–62, а товщина зміцненого шару перебуває в межах 3–5 мм. Такі параметри забезпечують високу зносостійкість робочих поверхонь та достатню втомну міцність деталі під час експлуатації.

Разом із тим технологія високочастотного гартування характеризується значним споживанням електричної енергії, потребує використання спеціалізованого обладнання та супроводжується нагріванням значної площі поверхні. З огляду на ці особливості для зміцнення шийок колінчастого вала в даній роботі обрано технологію лазерного гартування. Застосування лазерного випромінювання дозволяє локально нагрівати лише необхідні ділянки

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

поверхні, зменшити енергетичні витрати, підвищити точність обробки та забезпечити формування високоякісного зміцненого шару з мінімальним тепловим впливом на основний матеріал деталі.

2.7 Теплова обробка опор колінчатого валу

Методика лазерного гартування

Лазерне гартування належить до сучасних високоефективних методів поверхневого зміцнення металів, які широко застосовуються в машинобудуванні для підвищення зносостійкості та довговічності деталей. Сутність процесу полягає у використанні лазерного випромінювання як концентрованого джерела теплової енергії для локального нагрівання поверхневого шару матеріалу до температур фазових перетворень із подальшим самогартуванням за рахунок тепловідведення в холодні шари металу.

Під час лазерної обробки світлова енергія лазерного променя поглинається поверхнею деталі та перетворюється на теплову. Завдяки надзвичайно високій концентрації енергії в зоні впливу забезпечується швидке нагрівання матеріалу до необхідної температури за дуже короткий проміжок часу. Після припинення дії променя відбувається інтенсивне охолодження нагрітої ділянки, що призводить до формування зміцненої структури поверхневого шару.

Однією з головних переваг лазерного гартування є мінімальна зона термічного впливу. На відміну від традиційних методів термічної обробки, нагріванню піддається лише локальна ділянка поверхні, тоді як основний об'єм деталі залишається практично незмінним. Це дозволяє суттєво знизити ризик виникнення залишкових деформацій, короблення та внутрішніх напружень,

					КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

що особливо важливо при відновленні відповідальних деталей, таких як колінчасті вали.

Важливою особливістю лазерного випромінювання є можливість його передачі на значні відстані та фокусування в обмежених або важкодоступних зонах. На відміну від електронно-променевої або плазмової обробки, лазерне випромінювання не потребує безпосереднього контакту з поверхнею деталі та не створює механічного навантаження на оброблюваний матеріал. Завдяки цьому значно розширюються технологічні можливості використання лазерів у виробництві та ремонті деталей машин.

Використання лазерних технологій дозволяє підвищити продуктивність виробництва, забезпечити високу точність обробки та стабільність отримуваних результатів. Крім того, лазерне гартування характеризується високою енергоефективністю та практично безвідходним характером процесу. Відсутність значних витрат матеріалів і мінімальний вплив на навколишнє середовище забезпечують відповідність сучасним вимогам екологічної безпеки виробництва.

Сучасне лазерне обладнання оснащується системами автоматизованого керування, що дозволяють точно контролювати параметри процесу та реалізовувати складні технологічні операції без безпосереднього втручання оператора. Це створює передумови для широкого впровадження лазерного гартування в умовах автоматизованих виробничих ліній і ремонтних підприємств.

Залежно від режиму генерації випромінювання лазери поділяють на імпульсні та безперервної дії. Лазери безперервної дії формують стабільний потік випромінювання протягом усього часу роботи та широко використовуються для поверхневої термічної обробки великих площ. Для таких лазерів характерна довжина хвилі близько 10,6 мкм, що властиво газовим CO₂-лазерам.

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Імпульсні лазери працюють у режимі короточасних енергетичних імпульсів високої потужності. Вони забезпечують локальний вплив на матеріал із мінімальним нагріванням прилеглих зон. Для більшості твердотільних імпульсних лазерів характерна довжина хвилі близько 1,06 мкм. Завдяки високій концентрації енергії такі лазери ефективно використовуються для зміцнення поверхонь, прецизійної обробки та виконання спеціальних технологічних операцій.

Схематичне порівняння лазерів безперервної та імпульсної дії наведено на рисунку 2.8. Аналіз їхніх характеристик свідчить, що вибір типу лазера визначається вимогами до глибини зміцнення, продуктивності процесу та особливостями оброблюваної деталі. Для відновлення та зміцнення шийок колінчастих валів найбільш перспективним є використання лазерного гартування, яке забезпечує високу твердість поверхневого шару, мінімальні деформації та значне підвищення експлуатаційного ресурсу деталі.

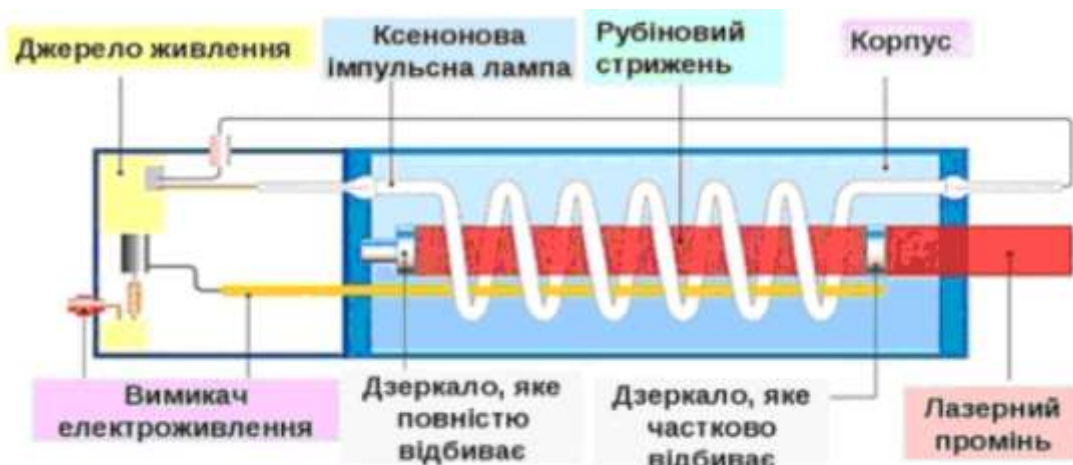


Рис. 2.8. Діаграма конструкції рубінового лазера.

2.8 Лазерне відновлення колінчастих валів

Для проведення експериментальних досліджень були підготовлені спеціальні зразки, виготовлені з матеріалу колінчастого вала, а також окремі

					КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

фрагменти реальних колінчастих валів, призначені для нанесення відновлювальних покриттів та подальшого аналізу результатів обробки. Використання двох типів зразків дозволило оцінити особливості формування покриття як на спрощених геометричних поверхнях, так і в умовах, максимально наближених до реальних експлуатаційних елементів колінчастого вала. Геометричні параметри дослідних зразків наведені на рисунку 2.9.

На зразках, призначених для нанесення покриття, були попередньо сформовані спеціальні ділянки шляхом механічного видалення матеріалу. Дані зони на схемах позначені сірим кольором і моделювали реальні дефекти або зношені поверхні, які підлягають відновленню в процесі ремонту. Такий підхід дозволив оцінити якість заповнення дефектів, адгезію покриття до основного металу та можливість подальшого відновлення початкової геометрії деталі.

Для плоских зразків було вибрано радіус кривизни $R = 60$ мм, що відповідає характерним геометричним параметрам окремих поверхонь колінчастого вала. Після нанесення покриття радіусні поверхні додатково обробляли механічним способом для досягнення необхідної точності форми та шорсткості. Це дозволило оцінити технологічність покриття під час виконання наступних операцій шліфування та фінішної обробки.

Другим типом дослідних зразків були циліндричні заготовки із суднобудівної сталі діаметром 80 мм. Такі розміри були обрані з урахуванням геометрії реальних шатунних шийок колінчастих валів, ширина яких зазвичай становить близько 80 мм. Для моделювання ремонтної ділянки на поверхні зразків формували жолоб шириною 50 мм, який надалі підлягав заповненню матеріалом покриття.

Особливістю конструкції дослідних зразків було також відтворення складних умов доступу до поверхні, характерних для реальних колінчастих

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

валів. Відстань від верхньої частини щоки колінчастого вала до поверхні шийки в нижній мертвій точці становила близько 200 мм. Така конфігурація дозволила оцінити можливість нанесення покриття в обмежених просторових умовах та визначити особливості роботи обладнання при відновленні реальних деталей.

Для відновлення геометрії поверхні та забезпечення високих експлуатаційних характеристик було обрано кобальтовий сплав Deloro Stellite 21. Даний матеріал широко застосовується в машинобудуванні для виготовлення та зміцнення деталей, які працюють в умовах інтенсивного механічного зношування, високих температур і значних контактних навантажень.

Вибір сплаву Stellite 21 обумовлений його комплексом цінних експлуатаційних властивостей. Матеріал характеризується високою міцністю та стабільністю механічних характеристик при підвищених температурах, значною стійкістю до кавітаційної корозії, високим опором абразивному та адгезійному зношуванню, а також здатністю зберігати працездатність в умовах циклічних навантажень. Завдяки цьому нанесене покриття здатне забезпечити тривалий ресурс відновлених поверхонь колінчастого вала.

Додатковою перевагою Deloro Stellite 21 є його висока технологічність під час нанесення у вигляді порошкового матеріалу. Порошок характеризується сферичною формою частинок та оптимальним гранулометричним складом, що сприяє стабільній подачі матеріалу, рівномірному формуванню покриття та отриманню щільної структури наплавленого шару з мінімальною кількістю дефектів.

Важливим фактором також стала підтверджена сумісність сплаву Stellite 21 зі сталями, що використовуються для виготовлення колінчастих валів. Наявність надійного металургійного з'єднання між покриттям і основним

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

використання в технологіях поверхневого зміцнення та відновлення деталей машин.

Лазер Rofin-Sinar DL 035Q працює на довжинах хвиль 808 та 940 нм, які належать до ближнього інфрачервоного діапазону спектра. Дані довжини хвиль були обрані не випадково, оскільки вони характеризуються підвищеним коефіцієнтом поглинання енергії поверхнею сталевих деталей. Завдяки цьому більша частина енергії лазерного випромінювання ефективно перетворюється на теплову енергію без значних втрат на відбиття від поверхні металу.

Порівняно з деякими іншими типами твердотільних лазерів, випромінювання в діапазоні 808–940 нм забезпечує більш ефективне нагрівання сталевих поверхонь, що дозволяє підвищити продуктивність процесу та зменшити енергетичні витрати на виконання операції зміцнення. Крім того, це сприяє формуванню більш рівномірного температурного поля в зоні обробки та покращенню якості зміцненого шару.

Для проведення досліджень було використано оптичну систему формування променя з фокусною відстанню 300 мм. Така конфігурація забезпечує оптимальне співвідношення між розмірами зони опромінення та густиною потоку енергії на поверхні деталі. Вибрана фокусна відстань дозволяє здійснювати обробку складнопрофільних поверхонь колінчастого вала, зберігаючи стабільність технологічного процесу та необхідну якість зміцнення.

Важливим етапом налаштування лазерної системи є аналіз профілю лазерного променя, оскільки рівномірність розподілу енергії безпосередньо впливає на глибину нагрівання та характеристики зміцненого шару. Профіль лазерного променя, наведений на рисунку 2.10, демонструє незначне відхилення форми променя від ідеальної симетрії. Подібні особливості характерні для багатьох потужних діодних лазерів і пов'язані з конструкцією випромінюючих модулів та оптичної системи формування випромінювання.

					КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Незважаючи на наявність незначної асиметрії, отриманий профіль забезпечує достатньо рівномірний розподіл енергії в зоні обробки та не чинить суттєвого негативного впливу на результати лазерного гартування. Навпаки, у деяких випадках подібна форма променя може сприяти формуванню більш плавного температурного градієнта та зменшенню ризику локального перегріву поверхні.

Таким чином, застосування діодного лазера Rofin-Sinar DL 035Q з довжинами хвиль 808 та 940 нм і фокусною відстанню 300 мм забезпечує необхідні умови для ефективного лазерного зміцнення шийок колінчастого вала. Обрані параметри дозволяють отримати висококонцентроване джерело теплової енергії, забезпечити локальний характер нагрівання та сформувати зміцнений поверхневий шар із покращеними механічними та експлуатаційними характеристиками.

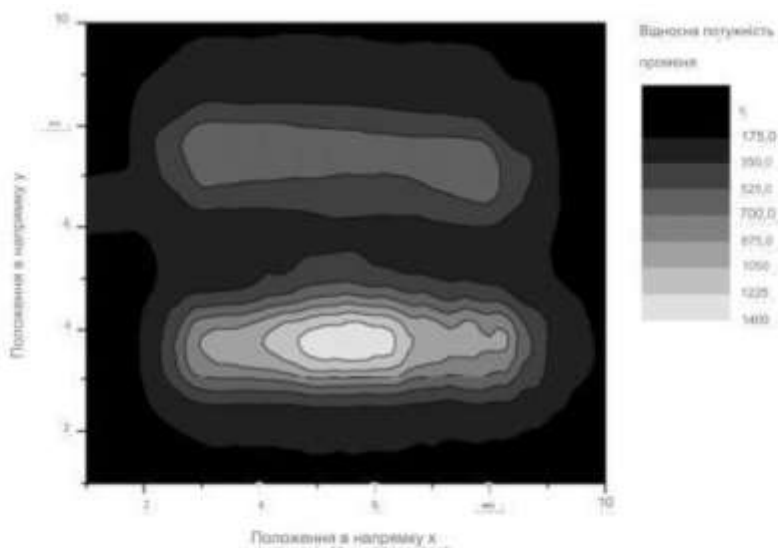


Рис. 2.10. Конфігурація променя високопотужного діодного лазера у фокусованому стані, зосередженого оптикою з фокусною відстанню 300 мм.

Для забезпечення стабільності процесу лазерного наплавлення та отримання покриття з прогнозованими властивостями використовувалася автоматизована система керування, оснащена високошвидкісним

					КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

регулювальним контуром. Контроль процесу здійснювався в режимі реального часу шляхом безперервного моніторингу температури та геометричних параметрів розплавленої ванни. Для цього застосовувалася спеціалізована камера, обладнана світлочутливим сенсором і відповідним інфрачервоним фільтром, що дозволяло реєструвати параметри зони плавлення без впливу інтенсивного лазерного випромінювання.

Отримана від камери інформація передавалася до системи керування, яка автоматично порівнювала фактичні параметри розплавленої ділянки із заданими значеннями. У випадку відхилення геометричних розмірів або температури зони плавлення від встановлених параметрів система коригувала потужність лазерного випромінювання. Такий принцип роботи забезпечував підтримання стабільного об'єму розплавленого металу та сприяв формуванню рівномірного наплавленого шару по всій довжині оброблюваної поверхні.

Подібні системи адаптивного керування процесом лазерного наплавлення набули широкого поширення в сучасних технологіях поверхневого відновлення та зміцнення деталей. У даному дослідженні використовувалася система контролю процесу, розроблена в науково-дослідному центрі IWS (Інститут технологій матеріалів та променевих процесів, м. Дрезден), яка на момент проведення досліджень була доступна для промислового використання.

Важливою перевагою застосованого діодного лазера були його компактні габаритні розміри та можливість інтеграції безпосередньо в технологічне обладнання. Завдяки цьому лазерна система могла встановлюватися як на верстатах із числовим програмним керуванням, так і на промислових роботах-маніпуляторах. Лазерний промінь спрямовувався безпосередньо в зону обробки, що забезпечувало високу точність локального нагрівання та мінімальний тепловий вплив на навколишні ділянки деталі.

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Під час розроблення технології в лабораторних умовах особлива увага приділялася врахуванню конструктивних особливостей колінчастих валів. Геометрія шийок, наявність щік вала та обмежений доступ до окремих ділянок вимагали використання спеціальних технічних рішень для подачі порошкового матеріалу та контролю процесу наплавлення.

З огляду на значні обмеження за шириною та глибиною оброблюваної зони для подачі порошкового матеріалу використовувалася ексцентрикова порошкова форсунка. Така конструкція забезпечувала стабільне надходження порошку безпосередньо в зону лазерного впливу навіть за наявності складної просторової конфігурації поверхонь колінчастого вала. Порошкова форсунка та система візуального контролю процесу були інтегровані безпосередньо в корпус лазерної головки, що дозволяло мінімізувати габарити установки та підвищити точність її роботи.

Для полегшення налаштування обладнання та позиціонування робочої головки система додатково оснащувалася допоміжним позиційним лазером. Його використання забезпечувало точне наведення робочого променя на необхідну ділянку поверхні та спрощувало процес підготовки обладнання до роботи.

Під час проведення експериментів плоскі зразки закріплювалися на спеціальному водоохолоджуваному сталевому блоці. Система охолодження забезпечувала стабільність теплового режиму та дозволяла мінімізувати вплив накопичення тепла на результати дослідження. Це створювало умови для отримання відтворюваних результатів і підвищувало точність оцінювання впливу окремих технологічних параметрів.

Для відновлення сегментів реальних колінчастих валів лазерна головка монтувалася на промисловому роботі-маніпуляторі. Під час обробки шатунних шийок головна вісь колінчастого вала закріплювалася з одного боку на ротаційному приводі, а з іншого підтримувалася спеціальною опорою.

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Узгоджене керування рухом робота та обертанням вала забезпечувало постійну швидкість переміщення зони обробки відносно лазерної головки та підтримання оптимального положення наплавлювальної системи.

Особливістю процесу було те, що в зоні центрального масляного отвору наплавлення не переривалося. Після завершення нанесення покриття дана ділянка додатково оброблялася механічним способом для відновлення геометрії, передбаченої заводом-виробником. Загальний вигляд лазерної головки, встановленої на роботизованій системі маніпулювання, наведений на рисунку 2.11.



Рис. 2.11. Установка лазерної головки наплавлення на роботизовану систему маніпуляції, характеристики процесу наплавлення

Для визначення оптимальних режимів лазерного наплавлення було проведено комплексне дослідження впливу основних технологічних параметрів процесу. До числа досліджуваних факторів належали: об'єм розплавленої зони, задана температура процесу, крок перекриття сусідніх доріжок наплавлення, швидкість переміщення робочої головки, відстань від

					КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

поверхні деталі до камери контролю, кут розташування камери відносно поверхні, відстань від деталі до порошкової форсунки, кут нахилу форсунки, відстань від вихідної оптики лазера до поверхні деталі, витрата транспортуючого газу для подачі порошку, швидкість подачі порошкового матеріалу та витрата захисного газу.

Дослідження впливу зазначених параметрів дозволило визначити оптимальні режими наплавлення, які забезпечують формування якісного покриття з мінімальною пористістю, високою адгезійною міцністю та необхідними експлуатаційними характеристиками. Отримані результати стали основою для подальшого впровадження технології лазерного відновлення шийок колінчастих валів у ремонтне виробництво.

На початковому етапі експериментальних досліджень процес лазерного наплавлення відпрацьовувався на плоских зразках. Наплавлення виконувалося окремими паралельними доріжками з частковим перекриттям сусідніх проходів, що дозволяло забезпечити суцільне заповнення попередньо підготовлених канавок і формування рівномірного відновлювального шару по всій площі оброблюваної поверхні. Така схема нанесення покриття дала можливість оцінити стабільність процесу, якість формування наплавленого металу та вплив технологічних параметрів на геометричні характеристики покриття.

Для забезпечення повного покриття поверхні зразка початкові та кінцеві точки траєкторії переміщення лазерної головки були винесені за межі робочої ділянки. Завдяки цьому процес наплавлення розпочинався ще до досягнення краю зразка та завершувався після його проходження. Такий підхід дозволив уникнути дефектів, характерних для зон запуску та завершення процесу, а також забезпечити більш рівномірний розподіл матеріалу по всій довжині покриття.

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Після відпрацювання технології на плоских зразках були проведені дослідження на циліндричних зразках, геометрія яких більшою мірою відповідала реальним умовам відновлення шийок колінчастих валів. Наплавлення виконувалося за параметрами процесу, які були визначені під час попередніх експериментів. Отримані результати дозволили оцінити вплив криволінійної поверхні на формування покриття та перевірити стабільність роботи обладнання в умовах, наближених до виробничих.

Після підтвердження високої якості сформованих покриттів за результатами металографічного аналізу було здійснено перехід до відновлення шатунних шийок реальних колінчастих валів. Це дозволило перевірити працездатність розробленої технології в умовах обробки складних деталей із характерною геометрією та обмеженим доступом до робочої поверхні.

Оцінювання якості наплавлених шарів виконувалося шляхом дослідження металографічних шліфів плоских і циліндричних зразків. Аналіз структури здійснювався за допомогою оптичного мікроскопа, що дозволяло оцінити якість формування покриття, характер його взаємодії з основним металом, наявність дефектів, а також особливості структури наплавленого шару та зони термічного впливу.

Додатково проводилося визначення твердості отриманих покриттів. Для цього використовувався твердомір компанії LECO моделі МНТ 210, який реалізує метод вимірювання твердості за Віккерсом. Даний метод забезпечує високу точність оцінювання механічних властивостей поверхневих шарів та дозволяє визначити розподіл твердості в різних зонах наплавленого покриття.

Як показано на рисунку 2.12, у результаті проведених досліджень була успішно досягнута задана висота наплавленого шару не менше 1 мм. Це підтверджує можливість використання обраної технології для відновлення поверхонь із суттєвим ступенем зношування. Після виконання операції

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

шліфування між наплавленою ділянкою та прилеглою поверхнею зразка спостерігалася різниця висот близько 0,2 мм, що свідчить про достатній припуск на подальшу механічну обробку.

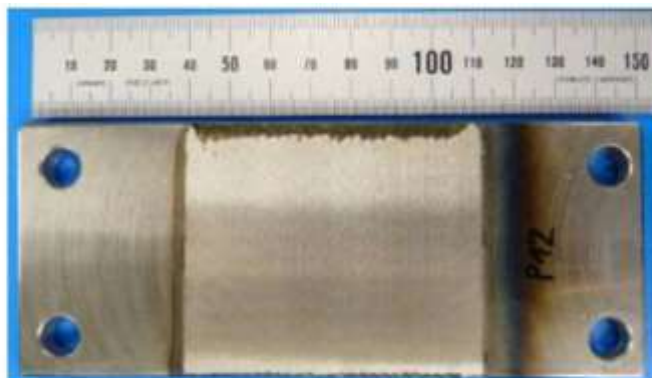


Рис. 2.12. Плоский зразок із канавками та наступним лазерним наплавленням після плоского шліфування (зверху: лінійка в міліметрах).

Зменшення висоти наплавлення в крайових зонах не враховувалося під час оцінювання результатів, оскільки ці ділянки надалі піддавалися додатковій механічній обробці для формування необхідної геометрії зразків. Такий підхід відповідає реальним умовам відновлення деталей, коли крайові ділянки після наплавлення підлягають обов'язковому шліфуванню та доведенню до заданих розмірів.

Аналіз зовнішнього вигляду покриття показав, що окремі наплавлені доріжки чітко розрізняються між собою, що свідчить про стабільність процесу формування шарів та рівномірність переміщення лазерної головки. Початок першої доріжки розташовувався у верхній лівій частині зразка, а всі наступні проходи виконувалися в одному напрямку. Остання доріжка формувалася на крайньому правому боці зразка, тому остання зона нагрівання знаходилася в нижньому правому куті поверхні.

Отримані результати підтвердили можливість формування якісного відновлювального шару необхідної товщини із застосуванням технології лазерного наплавлення. Проведені металографічні та механічні дослідження

					КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

засвідчили перспективність використання даного методу для відновлення шийок колінчастих валів із подальшим зміцненням їх робочих поверхонь та підвищенням експлуатаційної довговічності.

Під час проведення експериментальних досліджень було встановлено, що процес лазерного наплавлення характеризується високою стабільністю за умови точного дотримання взаємного розташування лазерної головки, порошкової форсунки та оброблюваної поверхні. Найкращі результати досягалися тоді, коли всі елементи системи знаходилися в межах вузького діапазону налаштувань, що забезпечувало стабільне формування розплавленої ванни, рівномірне надходження порошкового матеріалу та прогнозований розподіл теплової енергії в зоні обробки.

Навіть незначні відхилення від оптимального положення порошкової форсунки або зміна відстані між поверхнею деталі та лазерним променем могли впливати на ефективність використання енергії випромінювання, геометрію наплавленого шару та якість отриманого покриття. Саме тому особлива увага приділялася точному налаштуванню технологічного обладнання та підтриманню постійності параметрів протягом усього процесу наплавлення.

У результаті виконаних експериментів було визначено оптимальний набір технологічних параметрів, які забезпечували стабільне формування наплавленого шару та високу якість покриття. Узагальнені значення параметрів процесу наведені в таблиці 2.1. До них належать потужність лазерного випромінювання, швидкість переміщення робочої головки, витрата порошкового матеріалу, параметри подачі транспортуючого та захисного газів, а також геометричні характеристики взаємного розташування елементів системи.

Для детального аналізу стабільності процесу здійснювалася реєстрація параметрів роботи обладнання під час проходження кожної окремої траєкторії

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

наплавлення. Аналіз експериментальних даних, приклад яких наведено на лівій частині рисунка 2.13, показав характер зміни потужності лазерного випромінювання впродовж виконання одного проходу.

Отримані результати свідчать, що початкова ділянка траєкторії приблизно на першій секунді та завершальна ділянка близько 6,5 секунди знаходилися за межами безпосередньо оброблюваної поверхні зразка. У цих зонах система автоматичного керування фіксувала зміну умов формування розплавленої ванни та відповідним чином коригувала потужність лазерного випромінювання.

Саме тому на початку та в кінці траєкторії спостерігається помітне збільшення потужності порівняно з основною частиною процесу. Підвищення потужності в цих ділянках пояснюється необхідністю швидкого формування та стабілізації розплавленої ванни під час входу на робочу поверхню та компенсації зміни теплового балансу при виході за її межі. У центральній частині траєкторії, де умови наплавлення залишалися практично незмінними, система підтримувала відносно стабільний рівень потужності.

Наявність таких коливань є характерною особливістю процесів лазерного наплавлення з автоматичним регулюванням параметрів у режимі реального часу. При цьому зміни потужності на початкових та кінцевих ділянках не впливали на якість сформованого покриття, оскільки ці зони розташовувалися за межами основної робочої поверхні та надалі видалялися або оброблялися під час фінішної механічної обробки.

Проведений аналіз підтвердив ефективність застосованої системи автоматичного керування процесом наплавлення та її здатність підтримувати стабільні умови формування покриття навіть за наявності локальних змін геометрії траєкторії. Це дозволило забезпечити високу якість наплавленого шару, мінімізувати ймовірність утворення дефектів та підвищити відтворюваність результатів під час відновлення шийок колінчастих валів.

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

Таблиця 2.1. Результативні параметри процесу для контрольованого лазерного наплавлення плоского зразка

Параметр процесу	Значення
Розмір розтопленого пулу (відносні одиниці)	3500
Встановлена температура	1450°C
Ширина сліда	5 мм
Відхилення сліда	2.5 мм
Швидкість подачі	0.6 м/хв
Відстань від деталі до камери	430 мм
Кут між деталлю та камерою	48°
Відстань від деталі до сопла для порошку	6.5 мм
Кут між деталлю та соплом для порошку	52°
Відстань від краю оптики до деталі	278 мм
Розхід газу для подачі порошку (Ar)	8 л/хв
Розхід порошку (Stellite 21)	19.8 г/хв
Розхід газу для захисту (Ar)	17.5 л/хв

У ході експериментальних досліджень система автоматичного керування забезпечувала стабільне підтримання розмірів розплавленої ванни на рівні близько 3500 умовних одиниць. Даний параметр використовувався як контрольний показник для безперервного регулювання процесу лазерного наплавлення та забезпечення постійних умов формування покриття по всій довжині оброблюваної поверхні.

Для переходу від відносних показників до реальних геометричних параметрів розплавленої зони були використані результати попередніх досліджень, отримані під час випробувань на проплавлення при лазерному зварюванні. За результатами цих випробувань встановлено, що характерний розмір зони теплового впливу та розплавленої ванни становив приблизно 6×6 мм². Отримані значення дозволили виконати калібрування системи контролю

та пов'язати показники, зареєстровані камерою, з фактичними розмірами зони плавлення.

Аналіз роботи системи показав, що для підтримання необхідного об'єму розплавленого металу потужність лазерного випромінювання змінювалася в автоматичному режимі залежно від поточного теплового стану деталі. Уздовж траєкторії наплавлення спостерігалось поступове незначне зниження потужності лазера. Така тенденція пояснюється накопиченням тепла в матеріалі під час обробки та зменшенням кількості енергії, необхідної для підтримання стабільного розміру розплавленої ванни.

Отримані результати свідчать про ефективність використання системи адаптивного керування, яка дозволяє компенсувати зміни теплових умов процесу та підтримувати постійні геометричні характеристики наплавленого шару. Завдяки цьому забезпечується рівномірне формування покриття та мінімізується ризик виникнення дефектів, пов'язаних із надмірним або недостатнім нагріванням поверхні.

На правій частині рисунка 2.13 наведено розподіл температурного поля в зоні наплавлення. Для контролю процесу була встановлена цільова температура 1450 °С, яка на графіку позначена білим кольором. Підтримання даного температурного рівня забезпечувало стабільне плавлення порошкового матеріалу та формування якісного металургійного з'єднання між покриттям і основним металом.

Аналіз температурної карти показує нерівномірний розподіл температури в межах розплавленої ванни. Верхня частина зображення відповідає напрямку подачі порошкового матеріалу та характеризується вищими температурними показниками. Це пояснюється безпосереднім впливом лазерного випромінювання на зону плавлення та концентрацією теплової енергії в області взаємодії променя з матеріалом.

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

У нижній частині температурного поля спостерігається зниження температури приблизно до 1250 °С. Даний ефект обумовлений подачею порошкового матеріалу в зону плавлення. Частинки порошку, потрапляючи в розплавлену ванну, мають нижчу температуру порівняно з рідким металом і частково поглинають теплову енергію, викликаючи локальне охолодження цієї ділянки. У результаті формується характерний температурний градієнт, який впливає на процес кристалізації та структуру наплавленого шару.

Наявність контрольованого температурного розподілу є важливою умовою отримання якісного покриття. Стабільне підтримання температури в зоні плавлення дозволяє забезпечити рівномірне формування наплавленого металу, знизити ймовірність утворення пор, тріщин і структурних неоднорідностей, а також сприяє отриманню необхідних механічних властивостей відновленого шару.

Таким чином, результати дослідження підтвердили ефективність використання автоматизованої системи контролю температури та розмірів розплавленої ванни під час лазерного наплавлення. Це забезпечило високу стабільність технологічного процесу та створило необхідні умови для формування якісного покриття при відновленні шийок колінчастих валів.



Рис. 2.13. Дані процесу зварювання одиночного шву на рівному зразку, який має незмінну зону розплаву і варіюється за потужністю лазера (зображено на лівій стороні), а також відповідний типовий розподіл температур (на правій стороні).

Результати металографічних досліджень, наведені на рисунку 2.14, підтвердили високу якість сформованого наплавленого шару та ефективність

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

метал. Наявність чітко вираженої межі між зоною термічного впливу та вихідною структурою матеріалу свідчить про локальний характер теплового впливу лазерного випромінювання та підтверджує одну з головних переваг лазерних технологій — мінімальне нагрівання навколишніх ділянок деталі.

Для оцінювання механічних властивостей сформованих структурних зон були проведені випробування на мікротвердість за методом Віккерса. Отримані результати показали наявність суттєвих відмінностей між різними ділянками матеріалу. У зоні термічного впливу спостерігалось підвищення твердості до значень близько 500 HV_{0,1}, тоді як при переході до незміненої структури основного металу твердість поступово зменшувалася до рівня приблизно 300 HV_{0,1}.

Для більш детального дослідження характеру зміни твердості по перерізу зразка було виконано серію вимірювань із використанням матриці відбитків. Вимірювання проводилися в центральній частині зразка, що дозволило отримати достовірну картину розподілу механічних властивостей у зоні наплавлення та прилеглих областях. Розташування відбитків та результати вимірювань наведено на рисунку 2.15.

На лівій частині рисунка представлена схема розташування відбитків індентора, а на правій — графічне відображення отриманого розподілу твердості. Аналіз результатів показав, що в межах зони термічного впливу твердість переважно перебуває на рівні близько 430 HV_{0,1}. В окремих ділянках вона збільшується до 580 HV_{0,1}, що свідчить про формування зміцненої структури внаслідок швидкісного нагрівання та охолодження під час лазерної обробки.

У деяких локальних точках були зафіксовані значення твердості понад 760 HV_{0,1}. Такі показники можуть бути пов'язані з утворенням окремих високодисперсних структурних складових або локальних зон із підвищеною концентрацією зміцнювальних фаз. Наявність подібних ділянок свідчить про

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

значний потенціал лазерного впливу щодо підвищення зносостійкості поверхневого шару.

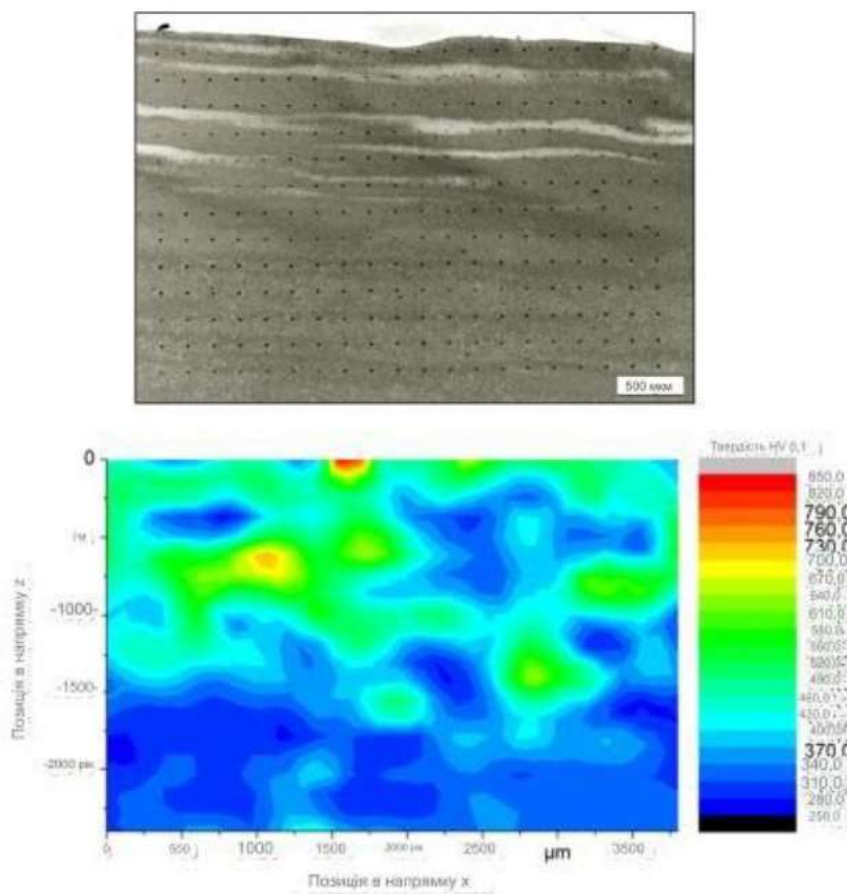


Рис. 2.15. Зображено картографію твердості в зоні теплового впливу (ТПЗ) та на незміненому базовому матеріалі (ліворуч), а також відповідний перетин (праворуч).

Незмінений основний матеріал характеризувався значно нижчими показниками твердості. Вимірні значення перебували в межах від 250 до 370 HV_{0,1}, що відповідає структурі сталі після попередньої термічної обробки. Поступовий перехід від підвищених значень твердості в зоні термічного впливу до характеристик основного металу свідчить про відсутність різких структурних переходів і сприятливий розподіл механічних властивостей у перерізі деталі.

Отримані результати металографічних досліджень та випробувань на мікротвердість підтверджують ефективність застосування лазерного

наплавлення для відновлення шийок колінчастих валів. Сформоване покриття характеризується високою якістю з'єднання з основним металом, мінімальним ступенем розбавлення та підвищеними показниками твердості, що створює передумови для значного збільшення зносостійкості та довговічності відновлених поверхонь.

У процесі налагодження, калібрування та перевірки працездатності системи лазерного наплавлення були проведені експериментальні дослідження на циліндричному зразку. Основною метою випробувань було оцінювання стабільності процесу під час обробки криволінійних поверхонь, а також перевірка ефективності роботи системи автоматичного керування потужністю лазерного випромінювання в умовах безперервного обертання деталі.

Під час виконання першого оберту зразка система керування здійснювала автоматичне регулювання потужності лазера для досягнення заданого розміру розплавленої ванни, який підтримувався на рівні 3500 умовних одиниць. На початковому етапі процесу, коли деталь мала відносно низьку температуру, для забезпечення необхідного теплового режиму потужність лазерного випромінювання була збільшена до максимального значення 3,5 кВт. Зміна потужності лазера в процесі наплавлення наведена на рисунку 2.16.

Підвищене значення потужності на початку обробки пояснюється необхідністю компенсації інтенсивного тепловідведення в холодний основний метал. На цьому етапі значна частина енергії витрачалася на нагрівання деталі до температури, необхідної для формування стабільної розплавленої ванни та якісного з'єднання наплавленого матеріалу з основою.

Після завершення першого повного оберту зразка, приблизно через 35 секунд від початку процесу, відбулося поступове накопичення теплової енергії в матеріалі. Унаслідок цього потреба в максимальній потужності

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

випромінювання зменшилася, а система автоматичного регулювання скоригувала режим роботи лазера. Для підтримання заданого розміру розплавленої ванни потужність була знижена приблизно до 2 кВт, що дозволило забезпечити стабільні умови наплавлення без перегрівання поверхні.

Особливістю проведених випробувань було те, що дослідний зразок мав певне зміщення відносно геометричної осі обертання та не був встановлений строго по центру. Це призводило до незначних коливань відстані між поверхнею деталі та робочою головкою під час обертання. Подібні відхилення зазвичай можуть негативно впливати на стабільність процесу та якість формування покриття.

Однак результати досліджень показали, що застосована система адаптивного керування ефективно компенсувала такі зміни. Незважаючи на ексцентричне розташування зразка, система підтримувала необхідний розмір розплавленої ванни та забезпечувала стабільне формування наплавленого шару. Це свідчить про високу ефективність використаного алгоритму автоматичного регулювання параметрів процесу.

Аналіз результатів також показав, що характер зміни потужності лазерного випромінювання та температурного поля на циліндричному зразку був аналогічним до отриманого раніше під час обробки плоских зразків. Розподіл температури в зоні наплавлення характеризувався стабільністю, а система контролю забезпечувала підтримання заданих параметрів протягом усього технологічного циклу.

Отримані результати підтвердили можливість ефективного використання розробленої технології не лише для плоских поверхонь, а й для деталей складної просторової форми. Стабільне підтримання розміру розплавленої ванни, автоматичне регулювання потужності лазера та

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

збереження високої якості покриття навіть за наявності геометричних відхилень свідчать про перспективність застосування даної технології для відновлення шийок колінчастих валів у виробничих умовах.

Якість отриманого наплавленого покриття на циліндричних зразках представлена на рисунку 2.17. Результати металографічних досліджень підтвердили формування якісного металургійного з'єднання між основним матеріалом та нанесеним покриттям. На межі розділу не було виявлено дефектів у вигляді несплавлень, тріщин, порожнин або відшарувань, що свідчить про правильний вибір технологічних параметрів процесу та ефективність застосованої системи лазерного наплавлення.

Аналіз структури покриття показав, що характер формування наплавленого шару на циліндричних зразках практично повністю відповідає результатам, отриманим раніше під час досліджень на плоских зразках. Це свідчить про високу відтворюваність технологічного процесу та його незалежність від форми поверхні в межах досліджуваних геометричних параметрів. Важливим результатом стало також збереження рівномірної структури покриття по всій площі наплавлення, що є необхідною умовою для забезпечення стабільних експлуатаційних характеристик відновленої поверхні.

Додатково було встановлено, що висота наплавленого шару залишалася практично однаковою по всій довжині обробленої ділянки. Відсутність значних перепадів товщини покриття свідчить про стабільну подачу порошкового матеріалу, ефективну роботу системи автоматичного регулювання потужності лазера та правильне узгодження швидкості переміщення робочої головки із швидкістю подачі матеріалу. Рівномірність шару має особливе значення для подальших операцій механічної обробки, оскільки дозволяє зменшити припуски на шліфування та підвищити економічність технологічного процесу.

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

Отримані результати підтвердили можливість використання розробленої технології для відновлення деталей зі складною геометрією. Після успішного завершення експериментів на плоских і циліндричних зразках було прийнято рішення про перехід до наступного етапу досліджень — відновлення реальних шатунних шийок колінчастих валів.

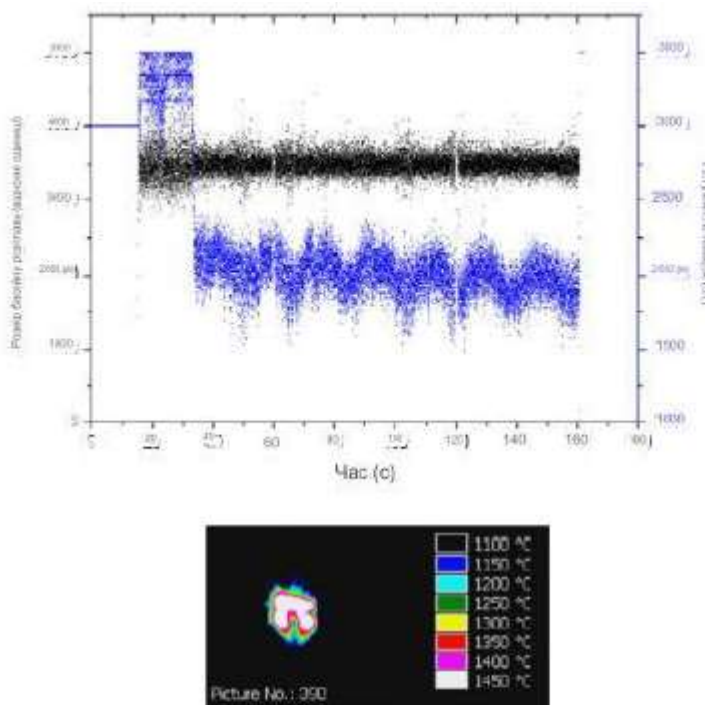


Рис. 2.16. Представлено фіксацію даних процесу з не змінною зоною розплаву та змінюваною потужністю лазера (зліва) та типовим розподілом температури (справа) для круглого зразка.



Рис. 2.17. Зображено перетин лазерно наплавленого круглого зразка

Для цього система лазерного наплавлення була адаптована до особливостей конструкції колінчастого вала. Під час модернізації технологічного оснащення враховувалися обмежений доступ до оброблюваних поверхонь, складна просторово-криволінійна форма шийок,

наявність щік колінчастого вала та необхідність забезпечення постійного положення лазерної головки відносно робочої поверхні. Особлива увага приділялася синхронізації обертання колінчастого вала та переміщення роботизованої системи для отримання рівномірного шару наплавленого металу по всій поверхні шийки.

Після налаштування обладнання та перевірки параметрів процесу було виконано наплавлення шатунних шийок колінчастих валів. Результати даного етапу досліджень наведені на рисунку 2.18. Візуальний аналіз отриманих покриттів показав стабільне формування наплавленого шару по всій поверхні шийки без помітних дефектів. Покриття характеризувалося рівномірною шириною доріжок, відсутністю пропусків між проходами та якісним з'єднанням із основним металом.



Рис. 2.18. Представлено процес лазерного наплавлення сегмента колінчастого вала.

Успішне виконання наплавлення на реальних колінчастих валах підтвердило працездатність розробленої технології в умовах, максимально наближених до виробничих. Це створило передумови для подальшого впровадження лазерного наплавлення у технологічний процес ремонту колінчастих валів та дозволило перейти до наступного етапу досліджень,

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

пов'язаного з оцінкою механічних властивостей, зносостійкості та довговічності відновлених поверхонь.

Під час наплавлення шатунних шийок колінчастих валів було зафіксовано аналогічний характер зміни потужності лазерного випромінювання, який раніше спостерігався під час обробки циліндричних зразків. Як показано на рисунку 2.19, упродовж першого повного оберту колінчастого вала система автоматичного керування підтримувала максимальну потужність лазера на рівні 3,5 кВт. Це було необхідно для швидкого досягнення заданого розміру розплавленої ванни та створення стабільних умов для формування наплавленого шару.

На початковому етапі процесу значна частина теплової енергії відводилася в масивний об'єм основного металу колінчастого вала. У зв'язку з цим для забезпечення необхідного рівня нагрівання поверхні та формування стабільної розплавленої зони система використовувала максимальну доступну потужність лазерного джерела. Після завершення першого оберту та досягнення теплової рівноваги потреба в такій потужності зменшилася.

Подальший аналіз показав, що після першого оберту середня потужність лазерного випромінювання стабілізувалася на рівні приблизно 2,75 кВт. Автоматична система керування підтримувала цей рівень потужності протягом наступних проходів, забезпечуючи сталі умови плавлення порошкового матеріалу та рівномірне формування відновлювального покриття по всій поверхні шийки.

Порівняння отриманих результатів із даними, одержаними під час обробки плоских та циліндричних зразків, показало, що для підтримання однакового розміру розплавленої ванни на колінчастих валах було необхідно збільшити потужність лазера приблизно на 750 Вт. Така різниця пояснюється значно більшою масою колінчастого вала та його підвищеною здатністю відводити тепло із зони обробки.

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

На відміну від плоских і круглих лабораторних зразків, де спостерігався ефект поступового накопичення тепла в матеріалі під час обробки, у випадку реальних колінчастих валів або їхніх сегментів подібне явище практично не проявлялося. Велика маса деталі виконувала роль ефективного теплового акумулятора, забезпечуючи інтенсивне відведення тепла від зони наплавлення. У результаті температура основного металу залишалася відносно стабільною навіть після тривалого впливу лазерного випромінювання.

Відсутність значного теплового накопичення є важливою перевагою під час відновлення великогабаритних деталей. Це дозволяє уникнути перегрівання матеріалу, зменшити ризик виникнення термічних деформацій та забезпечити стабільність геометричних параметрів колінчастого валу після завершення процесу наплавлення.

Аналіз температурних полів показав, що характер розподілу температури на шийках колінчастого вала практично не відрізнявся від розподілу, який спостерігався під час обробки плоских і циліндричних зразків. Максимальні температури концентрувалися безпосередньо в зоні взаємодії лазерного променя з порошковим матеріалом, тоді як прилеглі ділянки нагрівалися значно менше. Це підтверджує локальний характер теплового впливу лазерного наплавлення та ефективність застосованої системи автоматичного контролю процесу.

Отримані результати свідчать про високу стабільність технології лазерного наплавлення при відновленні реальних колінчастих валів. Незважаючи на значні відмінності в геометрії та теплофізичних характеристиках деталей порівняно з лабораторними зразками, система забезпечила підтримання заданих параметрів розплавленої ванни, рівномірне формування покриття та стабільну якість відновлених поверхонь. Це підтверджує можливість ефективного застосування розробленої технології в

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

умовах ремонтного виробництва для відновлення та зміцнення шийок колінчастих валів автомобільних двигунів.

Під час наплавлення шийок колінчастих валів, як і в попередніх експериментах на циліндричних зразках, були зафіксовані періодичні коливання потужності лазерного випромінювання відносно її середнього значення. Аналіз зареєстрованих параметрів процесу показав, що причинами таких відхилень стали декілька технологічних факторів, пов'язаних з особливостями геометрії деталі та умовами виконання наплавлення.

Першим фактором стала наявність центрального масляного каналу в шийці колінчастого вала, який можна спостерігати на рисунках 2.18 та 2.20. Під час проведення експериментів технологічний процес не зупинявся при проходженні зони масляного отвору, а наплавлення здійснювалося безперервно по всій траєкторії руху. У момент проходження лазерного променя над отвором змінювалися умови тепловідведення та формування розплавленої ванни, що призводило до короткочасних змін її геометричних параметрів. Для компенсації цих змін система автоматичного керування відповідним чином коригувала потужність лазерного випромінювання.

Другим фактором, який впливав на стабільність процесу, була особливість синхронізації руху роботизованої системи та ротаційної осі, на якій встановлювався колінчастий вал. Керування здійснювалося на основі заздалегідь сформованої траєкторії, що складалася з визначених контрольних точок. Незначні похибки в координуванні цих точок або мінімальні відхилення під час руху викликали зміну положення лазерної головки відносно поверхні шийки.

Оскільки процес лазерного наплавлення є надзвичайно чутливим до зміни відстані між лазерною головкою та оброблюваною поверхнею, навіть незначні зміщення могли призводити до зміни розмірів розплавленої ванни. У таких випадках система контролю автоматично збільшувала потужність

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

лазера для компенсації відхилень та підтримання необхідного об'єму розплавленого металу.

Третім фактором були незначні похибки базування та кріплення колінчастого вала в пристосуванні. Подібне явище вже спостерігалось під час досліджень на циліндричних зразках. Через складну форму деталі та її значну масу повністю усунути відхилення від ідеального центрування було складно. У результаті під час обертання виникали невеликі зміни положення поверхні шийки відносно лазерної головки, що також впливало на розмір розплавленої ванни та вимагало коригування потужності випромінювання.

Незважаючи на наявність зазначених факторів, система автоматичного керування успішно компенсувала їхній вплив. Розмір розплавленої ванни підтримувався в заданих межах, а якість сформованого покриття залишалася стабільною протягом усього процесу наплавлення. Це підтверджує високу ефективність застосованого алгоритму адаптивного регулювання та його придатність для роботи з деталями складної геометрії.

На рисунку 2.20 наведено фотографії відновленої шийки колінчастого вала, отримані з двох різних ракурсів. Загальна ширина сформованого покриття становила приблизно 50 мм, що відповідало поставленим технологічним вимогам. Наплавлений шар характеризувався рівномірною структурою та суцільністю по всій обробленій поверхні.

На лівому зображенні добре видно, що центральний масляний канал після завершення процесу залишився відкритим і не був перекритий наплавленим металом. Це є важливою перевагою технології, оскільки дозволяє уникнути додаткових операцій з відновлення прохідності масляних каналів та зберегти конструктивні особливості деталі.

Праве зображення демонструє загальний вигляд наплавленої ділянки, розташованої в нижній центральній частині шийки. Поверхня

					КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

характеризується рівномірним формуванням окремих наплавлених доріжок та відсутністю видимих дефектів у вигляді тріщин, раковин або непроварів.

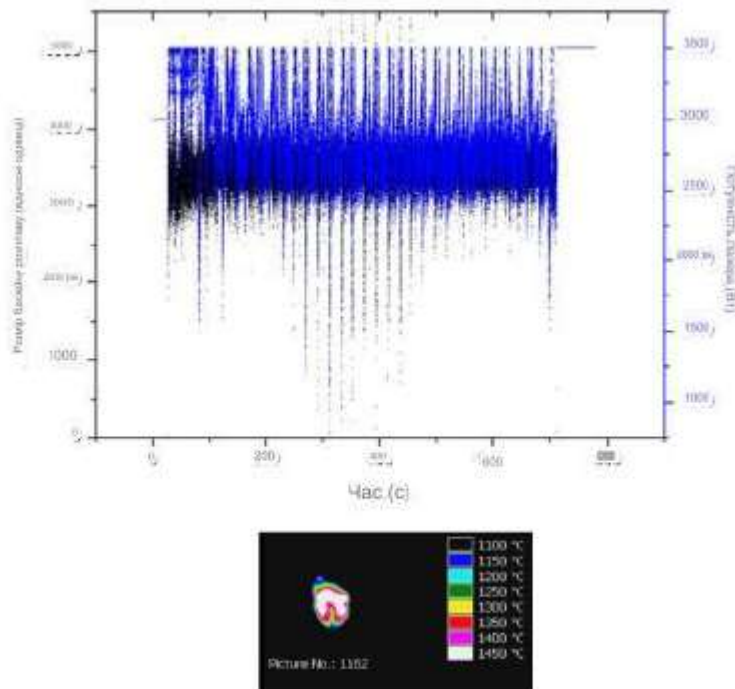


Рис. 2.19. Представлено фіксацію даних процесу із зонами сталого розплаву та змінюваною потужністю лазера (зліва), а також картографію температур (справа) для шийки колінчастого вала.



Рис. 2.20. Представлено лазерне наплавлення сегмента колінчастого вала навколо масляного отвору (зліва) та на нижній стороні у положенні нижньої мертвої точки (справа).

На обох фотографіях можна спостерігати зміну кольору поверхні покриття від світло-зелених до синюватих відтінків. Подібна кольорова

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

неоднорідність пояснюється незначними локальними відмінностями в ефективності газового захисту під час процесу наплавлення. Через зміну просторового положення лазерної головки відносно поверхні деталі та складну геометрію шийки умови подачі захисного газу могли дещо змінюватися, що впливало на характер окиснення поверхні під час охолодження.

Разом з тим проведені металографічні дослідження показали, що зазначені зміни кольору мають виключно поверхневий характер і не впливають на якість металургійного з'єднання, структуру покриття або його механічні властивості. Отримані результати підтвердили можливість формування якісного відновлювального шару на шийках колінчастих валів та довели ефективність застосування лазерного наплавлення для відновлення відповідальних деталей двигунів внутрішнього згорання.

Під час проведення експериментальних досліджень як на плоских, так і на циліндричних зразках було встановлено, що перші проходи лазерного наплавлення вимагали підвищеної потужності випромінювання порівняно з наступними проходами. Така особливість пояснюється необхідністю попереднього нагрівання деталі та створення стабільного теплового режиму, необхідного для формування розплавленої ванни заданих розмірів. На початковому етапі значна частина енергії лазерного випромінювання витрачалася на нагрівання основного металу, тому система автоматичного керування підтримувала підвищений рівень потужності для забезпечення стабільного процесу наплавлення.

Після накопичення певної кількості теплової енергії в матеріалі умови плавлення ставали більш стабільними, а потреба у високій потужності зменшувалася. У результаті система автоматичного регулювання поступово знижувала потужність лазера до рівня, достатнього для підтримання необхідного розміру розплавленої ванни. Така закономірність спостерігалася

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

як під час обробки плоских зразків, так і при наплавленні циліндричних поверхонь.

Аналіз теплових процесів показав, що відведення тепла від плоских зразків відбувалося менш ефективно, ніж від масивних деталей типу колінчастого вала. Незважаючи на використання спеціального кріплення та системи водяного охолодження, плоскі зразки характеризувалися обмеженою здатністю до розсіювання теплової енергії. У результаті тепло, яке генерувалося лазерним променем, накопичувалося в матеріалі та призводило до локального підвищення температури прилеглих ділянок.

Порівняння зовнішнього вигляду останнього наплавленого шару на плоскому зразку та поверхні відновленої шийки колінчастого вала дозволило виявити суттєві відмінності в характері теплового впливу. На плоских зразках спостерігалися характерні ознаки відпуску та термічного впливу на навколишні ділянки матеріалу, що проявлялося зміною кольору поверхні та утворенням додаткових зон структурних перетворень. Подібні ефекти були характерними переважно для невеликих зразків із обмеженою тепловою масою.

На відміну від лабораторних зразків, колінчастий вал мав значно більший об'єм металу та розвинену систему тепловідведення через прилеглі масивні елементи конструкції. Завдяки цьому тепла енергія більш ефективно розсіювалася по всьому об'єму деталі, що суттєво зменшувало локальний перегрів поверхні. Як наслідок, ознаки відпуску навколо наплавлених ділянок на шийках колінчастих валів практично не спостерігалися.

Ефективність тепловідведення додатково підтверджується аналізом параметрів процесу, наведених на рисунках 2.13 та 2.19. Порівняння результатів показує, що для отримання однакового розміру розплавленої ванни на шийках колінчастого вала була потрібна значно більша потужність

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

лазерного випромінювання, ніж під час обробки плоских зразків. Це свідчить про інтенсивніше відведення тепла в масивній деталі та необхідність компенсації теплових втрат шляхом підвищення енергетичного впливу лазера.

Проведені дослідження також показали, що одним із найважливіших факторів забезпечення стабільності процесу лазерного наплавлення є точне взаємне позиціонування лазерної головки, порошкової форсунки та поверхні оброблюваної деталі. Навіть незначні відхилення від оптимального положення могли призводити до зміни геометрії розплавленої ванни, погіршення якості покриття та необхідності додаткового коригування технологічних параметрів.

Для забезпечення стабільного формування покриття порошковий матеріал подавався в напрямку руху робочої головки під невеликим кутом до поверхні деталі. Така схема подачі була обрана з урахуванням особливостей розподілу енергії у промені високопотужного діодного лазера та забезпечувала найбільш ефективно потрапляння частинок порошку в область максимального нагрівання.

Особливості профілю лазерного променя визначали характер взаємодії порошкового матеріалу з розплавленою ванною та безпосередньо впливали на якість формування наплавленого шару. Правильний вибір кута подачі порошку дозволив забезпечити стабільне плавлення частинок, рівномірне нанесення покриття та мінімізувати втрати матеріалу під час процесу наплавлення.

Загалом проведені дослідження підтвердили, що стабільність процесу лазерного наплавлення значною мірою визначається ефективністю контролю геометричних параметрів розплавленої ванни. Безперервний моніторинг її розмірів та форми в режимі реального часу дозволяв системі автоматичного керування оперативно коригувати потужність лазерного випромінювання та підтримувати оптимальні умови формування покриття. Завдяки цьому було досягнуто високої якості наплавлених шарів та забезпечено можливість

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

ефективного відновлення шийок колінчастих валів із застосуванням сучасних лазерних технологій.

2.9 Перевірка колінчатого валу після ремонту

Після завершення операцій термічного зміцнення та механічної обробки виконують комплексний контроль якості відновленого колінчастого вала. Основною метою даного етапу є перевірка відповідності геометричних параметрів, механічних властивостей та стану поверхневого шару вимогам технічної документації. Лише після позитивних результатів усіх контрольних операцій колінчастий вал може бути допущений до подальшої експлуатації або складання двигуна.

Однією з перших контрольних операцій є перевірка колінчастого вала на наявність тріщин та інших внутрішніх дефектів. Для цього застосовують магнітопорошковий дефектоскопічний контроль, який дозволяє виявляти поверхневі та підповерхневі тріщини, що можуть утворюватися внаслідок термічної обробки, наплавлення або експлуатаційних навантажень. Особлива увага приділяється галтелям шийок, зонам біля масляних отворів та іншим ділянкам концентрації напружень.

Після контролю на відсутність дефектів оцінюють якість обробленої поверхні шийок колінчастого вала. Від шорсткості поверхні безпосередньо залежить якість формування мастильної плівки та довговічність роботи підшипників ковзання. Закінчена поверхня корінних і шатунних шийок повинна відповідати параметрам шорсткості $Ra = 0,63-0,32$ мкм. Досягнення таких показників забезпечує зниження коефіцієнта тертя, покращення умов мащення та підвищення ресурсу підшипникових вузлів.

Наступним етапом є контроль твердості зміцнених поверхонь. Вимірювання проводять у декількох точках кожної шийки з використанням

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

твердомірів відповідного типу. Отримані результати повинні відповідати значенням, встановленим технологічним процесом лазерного зміцнення. Контроль твердості дозволяє оцінити ефективність проведеної термічної обробки та підтвердити досягнення необхідної зносостійкості поверхневого шару.

Особливе значення має перевірка геометричних параметрів колінчастого вала. Проводяться вимірювання діаметрів корінних і шатунних шийок, перевірка овальності, конусності, співвісності та циліндричності поверхонь. Допустимі відхилення розмірів шийок не повинні перевищувати 0,016–0,022 мм, а відхилення від правильної циліндричної форми повинні бути не більшими за 0,005 мм. Такі вимоги забезпечують правильну роботу підшипникових вузлів та рівномірний розподіл навантажень під час експлуатації двигуна.

Додатково контролюють радіальне биття корінних шийок та допоміжних посадкових поверхонь. Допустимі значення биття перебувають у межах від 0,01 до 0,08 мм залежно від конкретної ділянки вала та вимог виробника. Перевищення цих значень може призвести до виникнення вібрацій, нерівномірного навантаження на підшипники та зниження ресурсу двигуна.

Механічна обробка колінчастого вала зазвичай починається зі шліфування або обточування шатунних шийок, оскільки саме вони зазнають найбільших навантажень під час роботи двигуна та характеризуються найбільш інтенсивним зношуванням. Разом з тим така послідовність обробки може впливати на перерозподіл залишкових напружень у матеріалі. У результаті після зняття шару металу можливе незначне викривлення вала, що негативно впливає на точність його геометрії.

Для валів із невисокою жорсткістю конструкції, які мають шатунні шийки малого діаметра та не оснащені додатковими противагами,

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

рекомендується інша послідовність обробки. У таких випадках спочатку обробляють корінні шийки, а вже потім шатунні. Це дозволяє зменшити ризик виникнення деформацій та забезпечити кращу геометричну стабільність деталі.

Важливим конструктивним елементом шийок є галтелі — плавні переходи між шийками та щоками колінчастого вала. Радіуси галтелей суттєво впливають на втомну міцність деталі. Зменшення їхнього розміру призводить до підвищення концентрації напружень і збільшує ймовірність виникнення втомних тріщин. Тому під час механічної обробки необхідно суворо дотримуватися встановлених радіусів заокруглення.

Перед початком шліфування або обточування колінчастий вал підлягає попередньому балансуванню та перевірці правильності встановлення на верстаті. Для цього використовують спеціальні балансувальні пристрої та індикаторні системи контролю. Після встановлення визначають найбільш зношені шийки та за їх фактичними розмірами обирають ремонтний розмір обробки.

У процесі відновлення необхідно враховувати взаємозв'язок між окремими поверхнями колінчастого вала. Зменшення діаметра корінних шийок може вимагати додаткового коригування допоміжних посадкових поверхонь і фланців для забезпечення правильного взаємного розташування всіх елементів конструкції. Після завершення механічної обробки обов'язково проводиться повторний контроль геометрії вала, який підтверджує відповідність усіх параметрів установленим вимогам.

Для підвищення якості поверхневого шару після шліфування виконується полірування шийок колінчастого вала. Необхідність цієї операції обумовлена тим, що після шліфування на поверхні можуть залишатися мікронерівності та гострі вершини мікропрофілю. У початковий період роботи

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

двигуна вони здатні прискорювати зношування підшипникових вкладишів і порушувати процес формування мастильної плівки.

Полірування здійснюють у декілька етапів. Спочатку поверхню обробляють дрібнозернистими абразивними стрічками або шліфувальними матеріалами, що дозволяє згладити мікронерівності після шліфування. На завершальному етапі застосовують спеціальні полірувальні пасти та абразивні композиції, які забезпечують досягнення необхідних показників шорсткості та формування високоякісного поверхневого шару.

Завдяки поєднанню шліфування, полірування та подальшого контролю геометричних параметрів забезпечується отримання робочих поверхонь із високою точністю, низькою шорсткістю та підвищеною зносостійкістю. Це є необхідною умовою для надійної та довговічної роботи відновленого колінчастого вала в складі двигуна внутрішнього згоряння.

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		90

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У роботі виконано комплексне дослідження, спрямоване на відновлення колінчастого валу 96350171 із застосуванням сучасної технології лазерного гартування. Робота охоплює технологічні, конструкторські, організаційні та науково-дослідні аспекти відновлення однієї з найбільш відповідальних деталей двигуна внутрішнього згоряння.

У процесі виконання роботи було проведено аналіз конструктивних особливостей колінчастого валу, умов його експлуатації та основних видів пошкоджень, що виникають під впливом циклічних навантажень, тертя, вібрацій і температурних факторів. Встановлено, що найбільш характерними дефектами є зношування корінних і шатунних шийок, утворення подряпин, овальності, конусності, викривлення осі валу та виникнення тріщин у зонах концентрації напружень.

На підставі аналізу існуючих методів ремонту колінчастих валів обґрунтовано доцільність застосування сучасних технологій відновлення поверхонь із використанням лазерної обробки. Встановлено, що традиційні методи відновлення не завжди забезпечують необхідний рівень зносостійкості, точності та довговічності деталі, особливо при ремонті високо навантажених шийок колінчастих валів.

Особливу увагу приділено дослідженню процесу лазерного зміцнення поверхонь шийок колінчастого валу. Встановлено, що лазерне гартування є високоефективним методом локального поверхневого зміцнення, який забезпечує формування зміцненого шару з високими показниками твердості та зносостійкості при мінімальному тепловому впливі на основний метал. Порівняно з традиційним високочастотним гартуванням, лазерна технологія характеризується меншим енергоспоживанням, більшою точністю обробки та меншими деформаціями деталі.

					КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

Металографічні дослідження підтвердили формування якісного металургійного з'єднання між наплавленим шаром та основним матеріалом. Виявлено мінімальне розбавлення наплавленого матеріалу основним металом, відсутність тріщин, несплавлень та інших дефектів. Результати вимірювання твердості показали значне підвищення механічних характеристик поверхневого шару в зоні лазерного впливу порівняно з основним матеріалом.

Проведені дослідження довели, що ефективність процесу значною мірою залежить від стабільності параметрів лазерного випромінювання, точності позиціонування лазерної головки, порошкової форсунки та деталі, а також від ефективності системи автоматичного контролю температури і розмірів розплавленої ванни. Використання адаптивної системи керування дозволило забезпечити високу стабільність процесу та відтворюваність результатів.

Після завершення відновлення та зміцнення колінчасті вали проходять комплексний контроль якості, який включає дефектоскопію, перевірку твердості, вимірювання геометричних параметрів, контроль шорсткості поверхні та оцінювання відповідності технічним вимогам. Отримані результати підтвердили можливість забезпечення необхідних показників точності, твердості та якості поверхонь після проведення ремонтно-відновлювальних робіт.

Таким чином, поставлену мету роботи досягнуто. Розроблено проект для відновлення колінчастого валу 96350171, обґрунтовано вибір технології лазерного гартування та досліджено її вплив на якість відновлених поверхонь. Отримані результати підтверджують перспективність використання лазерних технологій у ремонтному виробництві та можуть бути використані для практичного впровадження на підприємствах автомобільного транспорту і машинобудування.

					КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		92

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Черненко В.С. Променеві методи обробки: Навчальний посібник [Текст] Черненко В.С., Кіндрачук М.В., Дудка О.І. – К.: Кондор. 2008 -166 с.

3. Гевко І.Б Техніко-економічне обґрунтування процесу механічної обробки з використанням комбінованого свердла-мітчика / І.Б.Гевко, Р.Я., Лещук, І.І.Стойко, Н.М.Марчук, М.Д.Сіправська // Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст.–Вип. 40.–Луцьк, 2018. С.21-31.

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

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

6. Конспект лекцій з курсу «Технології обслуговування автотранспортних засобів». / Р.В. Хорошун, О.Л. Ляшук, Н.Т. Навроцька. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ, 2021. – 194 с.

7. Ляшук О.Л. Конспект лекцій з дисципліни«Технічна експлуатація автомобілів» для студентів спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» / О.Л. Ляшук, В.М.Клендій, Р.В.Хорошун. – Тернопіль: Вид. ТНТУ – 2018. – С. 302.

8. Диха О.В., Свідерський В.П., Дробот О.С., Машовець Н.С. Технологічне забезпечення довговічності технічних трибо систем: монографія / О.В. Диха, В.П. Свідерський, О.С. Дробот, Н.С. Машовець.- Хмельницький:ХНУ, 2021. – 178 с.

					КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		93

9. Ремонт автомобілів: Навчальний посібник / Упор. В. Я. Чабанний. – Кіровоград: Кіровоградська районна друкарня, 2007. – 720 с.
10. Технологія та обладнання для відновлення автомобільних деталей. Конспект лекцій / Укл. Авер'янов В.С.– Кам'янське: ДДТУ, 2018.–70 с.
11. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: Підручник – К.: Знання. 2003. – 511 с.
12. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: організація і управління: Підручник – К.: Знання. 2004. – 478 с.
13. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів. Технологія [Текст]: Підручник. / О.А. Лудченко. - Київ: Знання-Прес, 2007. - 527с.
14. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Левкович М.Г., Гудь В.З., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 544 с.
15. Lyashuk, O., Levkovych, M., Vovk, Y., Gevko, I., Stashkiv, M., Slobodian, L., Pyndus, Y. The study of stress-strain state elements of the truck semi-trailer body bottom. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport. 2023, 118, 161-172. ISSN: 0209-3324. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2023.118.11>.
16. Sokil, B., Lyashuk, O., Sokil, M., Vovk, Y., Lebid, I., Nevko, I., Khoroshun R Matviyishyn, A. (2022). Methodology of Force Parameters Justification of the Controlled Steering Wheel Suspension. Communications, 24(3), B247-B258.
17. Охорона праці в галузі та цивільний захист: навчальний посібник / Ю. А. Гасило, О. А. Крюковська. К. О. Левчук, Р. Я. Романюк. — Кам'янське : ДДТУ, 2017. — 369 с.

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		94

18. Безпека в надзвичайних ситуаціях : навч. посібник для студентів ЗВО України : у 2 ч. Ч. 1: Надзвичайні ситуації / М. Л. Лисиченко, В. В. Вамболь, С. О. Вамболь, М. М. Кірієнко, І. А. Черепньов, В. М. Власовець ; за ред. М. Л. Лисиченка ; ХНТУСГ. – Харків : ТОВ —ПромАртІІ, 2021. – 202 с.

19. Охорона праці на автомобільному транспорті : навчальний посібник / Пістун І. П., Хом'як Й. В., Хом'як В. В. - 2-ге вид., стер. - Суми : Університетська книга, 2015. - 374 с.

20. Дяченко С.С. , Дощечкина І.В., Мовлян А.Ф., Плешаков Е.І. Матеріалознавство: Підручник /за ред. проф. С.С.Дяченко- Харків. ХНАДУ. 2007. – 440 с.

21. Афанасьєва О.В., Лалазарова Н.О., Федоренко Є.П. Лазерна поверхнева обробка матеріалів / Афанасьєва О.В., Лалазарова Н.О., Федоренко Є.П. Харків : ФОП Панов А.М., 2020. 100 с. ISBN 978-617-7859- 35-1.

22. Сукач М.К. Технічний сервіс машин. Навч. пос.. Гриф МОНМСУ - Ліра-К, 2017 – 288 с.

23. Форнальчик Є. Ю., Качмар Р. Я. Основи технічного сервісу транспортних засобів - Львівська політехніка 2017, - 324 с.

24. Шапко В.Ф., Шапко С.В. Основи теорії та динаміки автомобільних двигунів : підручник. – Харків : Точка, 2016. – 232 с.

25. Шапко В.Ф. Автомобільні двигуни. Основи теорії та характеристики поршневих двигунів внутрішнього згоряння: Навчальний посібник. - Кременчук: КНУ, 2011. - 194 с.

26. Коробочка О.М. Основи розрахунків, проектування і експлуатації технологічного обладнання для автомобільного транспорту: Навч. посібник / Коробочка О.М., Скорняков Е.С., Сасов О.О. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2007 – 252 с.

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		95

27. Кукурудзяк, Ю. Ю. Технічна експлуатація автомобілів. Організація технологічних процесів ТО і ПР навчальний посібник / Ю. Ю. Кукурудзяк, В. В. Біліченко. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 198 с.

28. Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту. – К.: Мінтранс України, 1998. – 16 с. – (Нормативний документ Мінтрансу України).

29. Андрусенко С. І. Технологічне проектування автотранспортних підприємств: навч. посіб. / Андрусенко С. І., Білецький В. О., Бортницький П. І.; за ред. проф. С. І. Андрусенка. – К. : Каравела, 2009. – 368 с.

30. Законодавство України про автомобільний транспорт: збірник законодавчих актів : станом на 1 травня 2005 р. / Верховна Рада України. – К.: Парламентське видавництво, 2005. – 140 с. – (Нормативні директивні правові документи).

31. Lyashuk, O., Levkovych, M., Vovk, Y., Gevko, I., Stashkiv, M., Slobodian, L., Pyndus, Y. The study of stress-strain state elements of the truck semi-trailer body bottom (2023) Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport, 118, pp. 161-172. (Scopus).

					<i>КвРАТ 26. 22099.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		96

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Тема:

Відновлення колінчастого валу лазерною наплавкою

Спеціальність 274 – «Автомобільний транспорт»

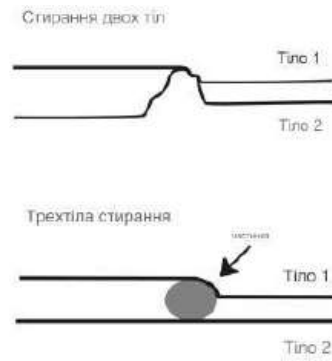
Студент групи АТ -22-1 Подун Назар

Керівник: доц. Гончар В.А.

Компоненти колінчастого вала

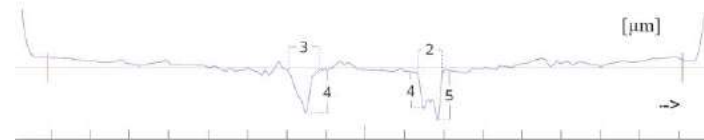


Знос валу



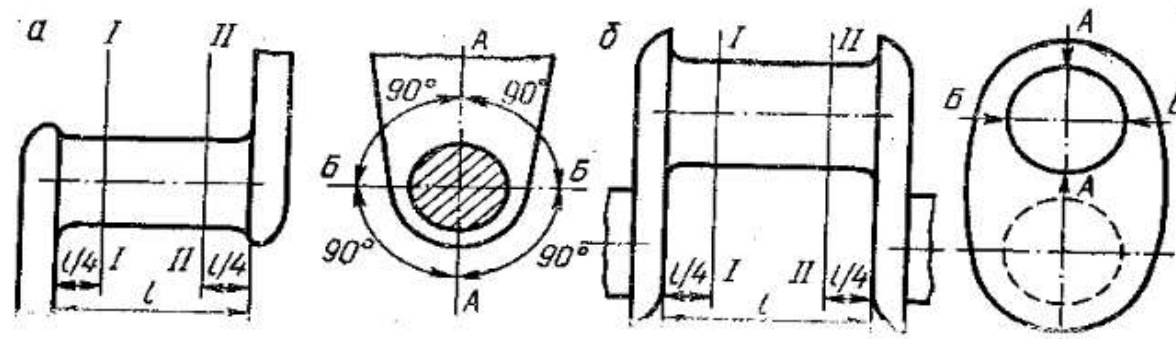
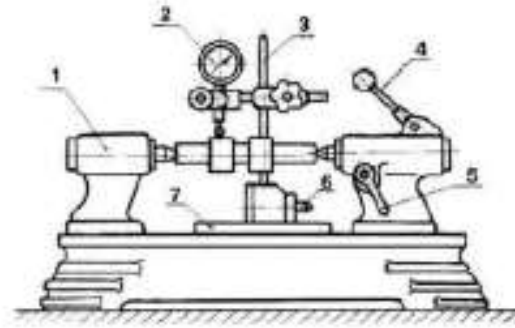
Графічне зображення абразивного зношування за участю двох і трьох тіл

тіл

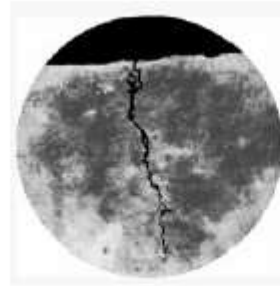


в

Вхідний контроль геометрії колінчатого валу



Контроль наявності тріщин.

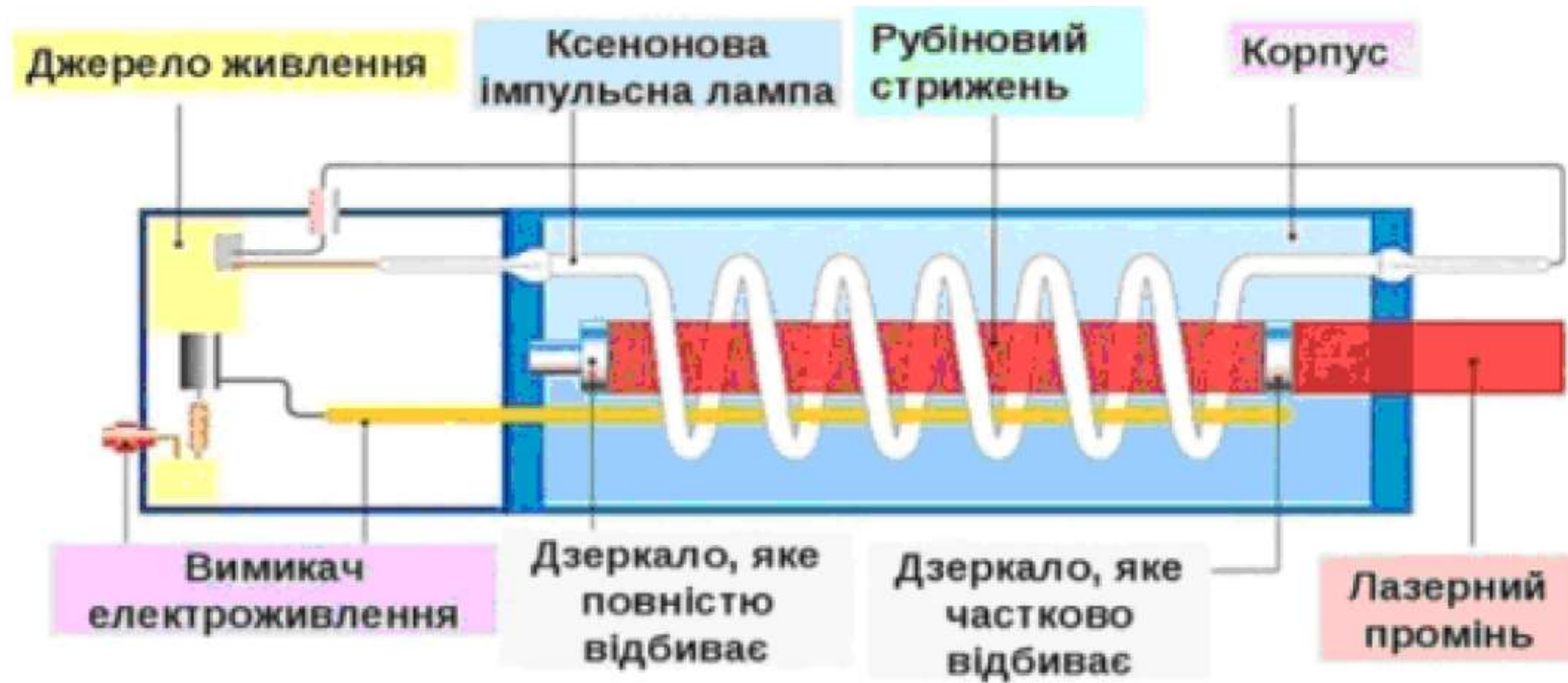


Зображення тріщини, яка проникає у внутрішню частину деталі.

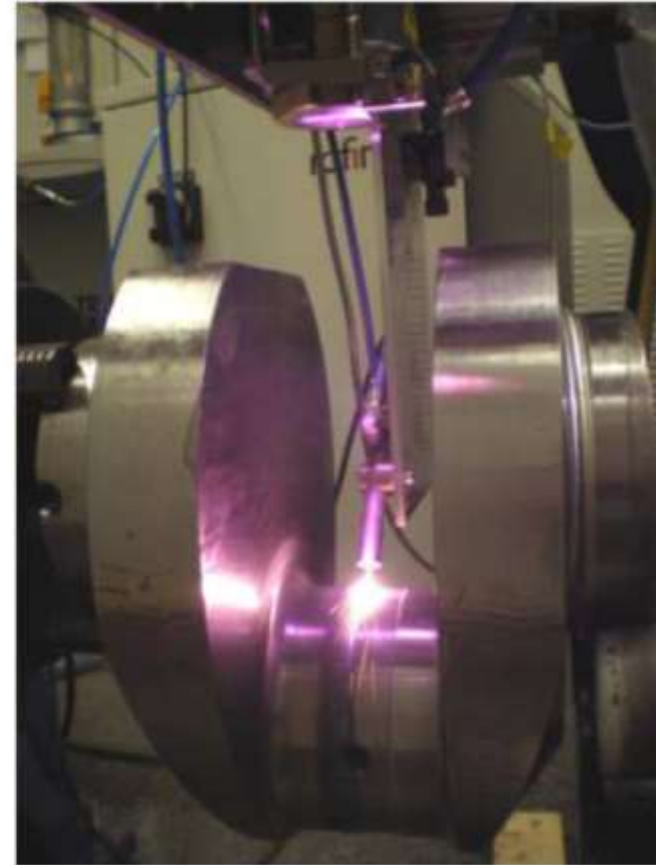


Магнітний апарат для виявлення дефектів. Універсальний дефектоскоп моделі "Томограф" УД4-Т.

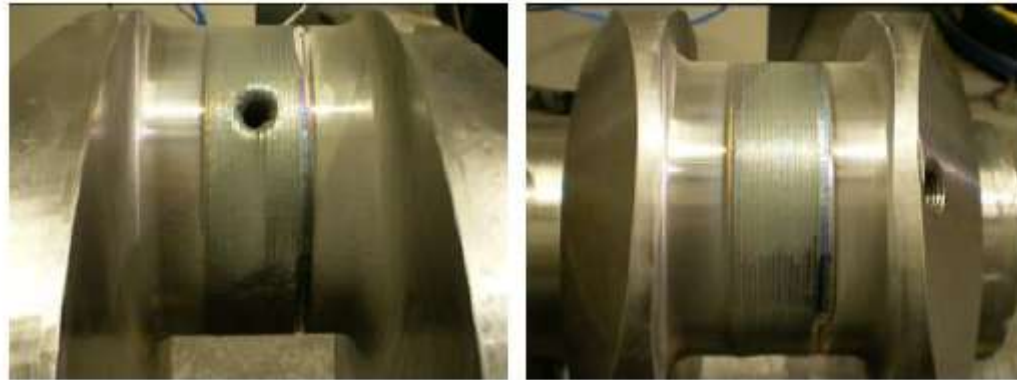
Діаграма конструкції рубінового лазера.



Роботизована система маніпуляції з лазерною головкою для наплавлення



Наплавлений матеріал



Параметри процесу лазерного наплавлення зразка

Параметр процесу	Значення
Розмір розтопленого пулу (відносні одиниці)	3500
Встановлена температура	1450°C
Ширина сліда	5 мм
Відхилення сліда	2.5 мм
Швидкість подачі	0.6 м/хв
Відстань від деталі до камери	430 мм
Кут між деталлю та камерою	48°
Відстань від деталі до сопла для порошку	6.5 мм
Кут між деталлю та соплом для порошку	52°
Відстань від краю оптики до деталі	278 мм
Розхід газу для подачі порошку (Ar)	8 л/хв
Розхід порошку (Stellite 21)	19.8 г/хв
Розхід газу для захисту (Ar)	17.5 л/хв

ВИСНОВКИ

- Проведено аналіз конструкції, умов експлуатації та основних дефектів колінчастого валу.
- Досліджено вплив параметрів лазерної обробки на якість наплавленого шару, розміри зони термічного впливу та механічні властивості матеріалу.
- Металографічними дослідженнями підтверджено якісне зчеплення наплавленого шару з основним металом та відсутність суттєвих дефектів структури.
- Встановлено, що використання лазерних технологій дозволяє підвищити ресурс колінчастого валу, зменшити енергоспоживання та покращити експлуатаційні характеристики відновлених деталей.

Дякую за увагу