

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

Пояснювальна записка

до дипломної роботи


магістра

освітньо-кваліфікаційний рівень

Напрямок підготовки (спеціальність) 132 «Матеріалознавство»
Освітньо професійна програма Відновлення та технічний сервіс
автомобілів

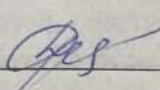
На тему: « **Розробка технології лазерного гартування для
зміцнення корінних шийок колінчатого валу автомобіля** »

Шифр МРТАМ 2216224.000 ПЗ

Виконав : студент 2 -го курсу, група МТВАм 21-1  В.А.Чорнобривий

Підпис Ініціали, прізвище

Керівник к.т.н., доц. каф. ТАМ

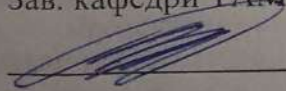


О.С. Дробот

Підпис Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри ТАМ д.т.н., проф.

 О.В. Диха

Підпис

Ініціали, прізвище

«13»

12

2022 р.

Хмельницький 2022

Реферат

Тема роботи « Розробка технології лазерного гартування для зміцнення корінних шийок колінчатого валу автомобіля »

Пояснювальної записки – 87 сторінок, кількість рисунків - 37, таблиць - 3, додатків 5, кількість джерел згідно із переліком посилань - 25.

Колінчатий вал є головною деталлю двигуна внутрішнього згорання, яка визначає ресурс роботи і надійність двигуна в цілому. Найбільш навантаженими ділянками колінчатого валу є шатунні шийки. Питомий тиск, що діє на шатунні шийки колінчатих валів дизельних двигунів сягають 30 МПа, бензинових 8 ...10 МПа. Під час експлуатації опір утомі дизельних колінчатих валів зменшується на 25-30 %. Колінчаті вали працюють у важких умовах. Практика свідчить, що основною причиною, яка зумовлює необхідність ремонту та відновлення колінчатого валу і, навіть його заміни, є його деформація, виникнення тріщин в галтелях, знос шийок та їх поломка .

Ціль і завдання – запропонувати ефективні технологічні процеси для збільшення ресурсу роботи двигунів внутрішнього згорання, підвищення міцності та зносостійкості таких важливих деталей як колінчатий вал .

Актуальність теми Колінчатий вал є найбільш відповідальною та навантаженою деталлю двигуна. На колінчатий вал діють ударні динамічні навантаження, сили тертя, невірноважені моменти, крутильні коливання і вібрації, високі температури, статичні навантаження від деталей, що сполучаються. Отже, відновлення колінчатого валу та підвищення строку його роботи є актуальним, своєчасним і перспективним завданням.

Ціль випускної роботи: на основі вивчення умов роботи, визначення дефектів, що виникають при цьому, існуючих методів відновлення та зміцнення колінчатого валу розробити технологію відновлення та зміцнення цієї деталі гартуванням з використанням лазерного нагрівання.

Вибір об'єкта досліджень. Колінчатий вал є складовою частиною кривошипно - шатунного механізму. Колінчатий вал розміщують в блоці циліндрів. Він призначений для перетворення поступально - обертових рухів у зворотно - поступальні рухи поршнів .

Під час роботи двигуна на колінчатий вал діють сили тертя, значні крутні моменти; можливе заклинювання поршня, критичні частоти обертання, обрив шатунних болтів, загальна вібрація двигуна тощо. Все це сприяє спрацюванню, виникненню дефектів та виходу колінчатого валу з ладу.

Зношені, деформовані колінчаті вали можна відновити наплавленням, напиленням, цементацією тощо. Корінні шийки для підвищення твердості та зносостійкості піддають цементації, гартуванню струмом високої частоти. В сучасних умовах ремонтного виробництва складно застосувати трудомісткі процеси ремонту і відновлення техніки.

Пропонується для підвищення твердості корінних шийок колінчатого валу використання лазерного гартування, яке забезпечує високу твердість та зносостійкість відновлених деталей.

У даній випускній роботі зроблено докладний аналіз дефектів колінчатого валу, причини їх появи та запропоновані методи усунення їх під час ремонту .

Перелік ключових слів: КОЛІНЧАТИЙ ВАЛ, КОРИННІ ШИЙКИ, ЛАЗЕРНЕ ГАРТУВАННЯ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, УТОМНА МІЦНІСТЬ, МІКРОТВЕРДІСТЬ, МАРТЕНСІТ.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Напрямок підготовки (спеціальність) 132 «Матеріалознавство»

Освітньо-професійна програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТАМ

проф., д.т.н. Диха О.

21 жовтня 2022 року

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Чорнобривому Василю Анатолійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема проекту (роботи)

Розробка технології лазерного гартування для зміцнення корінних шийок колінчастого валу автомобіля

керівник проекту (роботи) Дробот Ольга Савівна к.т.н., доцент

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

Затверджено наказом університету від 1 липня 2022р. № 83 (28)

2. Строк подання студентом проекту на кафедру 10 грудня 2022 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Матеріали практики; робочі кресла досліджуваних деталей; нормативно – технологічна документація по розбиранню, дефектації, складанню і регулюванню вузла тертя; вимоги з охорони праці і безпеки роботи при виконанні ремонтних робіт; техніко – економічні показники роботи підприємства.

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

1. Аналіз стану проблеми та огляд літературних джерел; 2 Аналітична частина
3. Експериментальна частина; 4. Практична частина

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Графічна частина роботи представлена у вигляді презентації
слайдах

5. Консультанти розділів проекту (роботи)


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

Дата видачі завдання _----

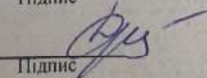
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № /п | Назва етапів дипломного проекту (роботи) | Строк виконання етапів проекту (роботи) | Примітка |
|------|---|---|----------|
| 1 | <i>Літературний огляд</i> | <i>30.09.2022</i> | |
| 2 | <i>Технологічний розділ</i> | <i>25.10. 2022</i> | |
| 3 | <i>Дослідницький розділ</i> | <i>15.11. 2022</i> | |
| 4 | <i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки</i> | <i>22.11. 2022</i> | |
| 5 | <i>Оформлення презентації магістерської роботи</i> | <i>1.12. 2022</i> | |
| 6 | <i>Нормоконтроль магістерської роботи</i> | <i>5.12. 2022</i> | |
| 7 | <i>Підписання розділів. Затвердження дати захисту</i> | <i>10.12. 2022</i> | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

мент


Підпис

вник проекту (роботи)


Підпис

Чорнобривий В.А.
Ініціали, прізвище

Дробот О.С.
Ініціали, прізвище

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП..... | 7 |
| 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ ТА ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 10 |
| 1.1. Аналіз об'єкту досліджень..... | 10 |
| 1.1.1. Конструкція колінчатого валу та аналіз умов його роботи..... | 10 |
| 1.2. Причини виходу з ладу та аналіз умов його роботи..... | 13 |
| 1.2.1. Матеріали для виготовлення колінчатих валів..... | 15 |
| 1.3. Огляд літературних джерел | 17 |
| 1.3.1. Методи зміцнення колінчатих валів | 17 |
| 1.3.1.1. Наплавлення | 17 |
| 1.3.1.2. Наплавлення струмом високої частоти..... | 18 |
| 1.3.1.3. Наплавлення в середовищі вуглекислого газу..... | 19 |
| 1.3.1.4. Наплавлення під шаром флюсу..... | 20 |
| 1.3.1.5. Плазмове наплавлення..... | 22 |
| 1.3.1.6. Плазмове напилення..... | 23 |
| 1.3.1.7. Дифузійна металізація..... | 27 |
| 1.3.1.8. Газофазна металізація..... | 30 |
| 1.3.1.9. Гальванічні покриття..... | 31 |
| 1.3.1.10. Лазерне зміцнення..... | 32 |
| 1.4. Висновки по розділу і постановка задачі досліджень..... | 33 |
| 1.4.1. Цілі і задачі роботи..... | 34 |
| РОЗДІЛ 2. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА | 35 |
| 2.1. Відновлення валів (правка) способами пластичної деформації..... | 35 |
| 2.1.1. Загальні відомості..... | 35 |

MP TAM 22.16224. 000 ПЗ

| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дат. | | | |
|----------|------|-------------|--------|------|----------------------|------|---------|
| Розроб. | | Чорнобривий | | | Літ. | Арк. | Акрушів |
| Перевір. | | Дробот | | | | 4 | 85 |
| Реценз. | | | | | ХНУ група МТВАм 21-1 | | |
| Контр. | | Бабак | | | | | |
| Затверд. | | Диха | | | | | |

Розробка технології лазерного гартування для зміцнення корінних шийок колінчастого валу автомобіля

| | |
|---|----|
| РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА..... | 40 |
| 3.1. Методика проведення експериментальних досліджень..... | 40 |
| 3.1.1. Лазерне гартування..... | 40 |
| 3.2. Підготовка колінчатого валу до ремонту..... | 41 |
| 3.2.1. Перевірка геометрії колінчатого валу перед ремонтом..... | 41 |
| 3.2.2. Визначення величини зносу опорних шийок..... | 45 |
| 3.2.3. Перевірка зносу посадочних місць під розподільчу шестерню | 46 |
| 3.3. Термічна обробка колінчатого валу..... | 47 |
| 3.4. Термічна обробка шийок колінчатого валу..... | 47 |
| 3.4.1. Технологія лазерного гартування..... | 47 |
| 3.5. Методи поверхневої лазерної обробки..... | 49 |
| 3.5.1. Особливості фазових в структурних перетворень під час лазерного зміцнення..... | 49 |
| 3.5.2. Закономірності кристалізації сталей при лазерній обробці оплавленням..... | 50 |
| 3.5.3. Фазові і структурні перетворення в твердій фазі..... | 54 |
| 3.5.4. Обладнання і технологічні особливості лазерної термічної обробки імпульсними лазерами..... | 57 |
| 3.6. Контроль колінчатого валу після відновлення..... | 60 |
| 3.7. Перевірка непаралельності шатунних і корінних шийок..... | 60 |
| 3.7.1. Шліфування колінчатого валу..... | 60 |
| 3.8. Методика проведення експериментальних досліджень..... | 61 |
| 3.8.1. Термічна обробка колінчатого валу | 61 |
| 3.8.2. Визначення мікротвердості..... | 62 |
| 3.8.3. Методика проведення мікроструктурного аналізу..... | 63 |
| 3.8.4. Методика проведення випробувань на знос..... | 65 |
| 3.8.5. Контроль колінчатого валу після відновлення..... | 69 |
| РОЗДІЛ 4. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА..... | 70 |

| | |
|--|----|
| 4.1. Мікроструктурні дослідження..... | 71 |
| 4.2. Властивості сталі після лазерного гартування..... | 73 |
| 4.3. Розробка технології лазерного гартування..... | 75 |
| 4.3.1. Застосування лазерного гартування для зміцнення деталей автомобіля..... | 76 |
| 4.3.2. Установа «КВАНТ - 18»..... | 77 |
| 4.3.3. Технічні характеристики установки «Квант -18»..... | 77 |
| ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ..... | 81 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ДЖЕРЕЛ..... | 82 |
| ДОДАТОК..... | 85 |

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|-------------------------------|------|
| | | | | | <i>MP TAM 2216224. 000 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 6 |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докцм.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | |

ВСТУП

Автомобіль став невід'ємною частиною життя сучасного суспільства. В світі виробляється автомобілів різних марок мільйони штук. За даними Міжнародної організації виробників автомобілів (ОІСА), в 2020 році у всьому світі було вироблено 78 млн машин. За 2021 рік виробили 80,2 мільйонів автотранспортних засобів. Зокрема, легкових автомобілів випустили 57,1 мільйонів одиниць. Всі вони працюють не один рік.

Для їх виготовлення використовують кращі матеріали та зміцнюючі технології. Однак, незважаючи на це строк експлуатації більшості автомобілів обмежений. Найчастіше виходять з ладу двигуни внутрішнього згоряння. Причиною цього є руйнування деталей від втоми, дії агресивного середовища, зносу, підвищених навантажень.

Колінчатий вал є головною деталлю двигуна внутрішнього згоряння, яка визначає ресурс роботи і надійність двигуна в цілому. Найчастіше виходять з ладу колінчаті вали дизельних двигунів. Бензинові двигуни працюють в більш легких умовах. Найбільш навантаженими ділянками колінчатого валу є шатунні шийки. Питомий тиск, що діє на шатунні шийки колінчатих валів дизельних двигунів сягають 30 МПа, бензинових 8 ...10 МПа. Під час експлуатації опір утомі дизельних колінчатих валів зменшується на 25-30 % [1,3]. Потреба в колінчатих валах зростає з кожним роком, так як таку складну і дорогу деталь як колінчатий вал, дешевше відновити ніж виготовити нову.

Надійність роботи і довговічність машин і механізмів в значній мірі залежить від здатності деталей протистояти шкідливому впливу зовнішніх впливів.

Забезпечення працездатності такої деталі як колінчатий вал в ремонтному виробництві вирішується правильним вибором матеріалу для

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 7 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | |

його виготовлення, розробкою ефективних режимів термічної обробки, нанесенням зносостійких покриттів тощо.

Актуальність роботи

Колінчаті вали працюють у важких умовах. Практика свідчить, що основною причиною, яка зумовлює необхідність ремонту та відновлення колінчатого валу і, навіть його заміни, є його деформація, виникнення тріщин в галтелях, знос шийок та їх поломка.

Мета роботи: на основі вивчення умов роботи, визначення дефектів, що виникають при цьому, існуючих методів відновлення та зміцнення колінчатого валу розробити технологію відновлення та зміцнення цієї деталі гартуванням з використанням лазерного гартування.

Задачі досліджень

1. Науково обґрунтувати використання технології лазерного гартування для зміцнення шийок колінчатого валу.
2. Дослідити вплив лазерного гартування на структуру оброблених шийок та їх зносостійкість
3. Встановити зв'язок властивостей зміцнених шийок з експлуатаційними властивостями відновлених деталей.
4. Запропонувати технологію гартування лазерним нагріванням для підвищення зносостійкості шийок колінчатого валу.

Об'єкт досліджень. Зношені колінчаті вали двигунів внутрішнього згорання.

Предмет досліджень - технологія відновлення зношених колінчатих валів лазерним гартуванням.

Наукова новизна отриманих результатів

В роботі науково обґрунтована технологія підвищення зносостійкості відновлених колінчатих валів лазерним гартуванням шийок.

Практична значимість отриманих результатів

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 8 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | |

Розроблена технологія підвищення зносостійкості відновлених колінчатих валів з використанням лазерного гартування.

Публікації

Дробот О.С., Підгайчук С.Я., Чорнобривий В.А. Підвищення зносостійкості сталі ШХ15 // Актуальні питання науки, освіти і суспільства в Україні та світі: збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції (Полтава, 30 березня 2022 р.). Полтава: ЦФЕНД, 2022. – С.67-68

Структура та об'єм роботи.

Робота складається з вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку послань і додатку. Робота має об'єм...87 сторінок, 3 таблиць, 37 рисунків, Додатки 5 сторінок. Список посилань містить 24 джерел.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 9 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | |

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ ТА ОГЛЯД
ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1. Аналіз об'єкту досліджень.....

1.1.1. Конструкція колінчатого валу та аналіз умов його роботи



Рисунок 1.1 - Колінчатий вал

Основні елементи колінчатого валу: (рис.1. 2), принцип дії (рис.1.3).

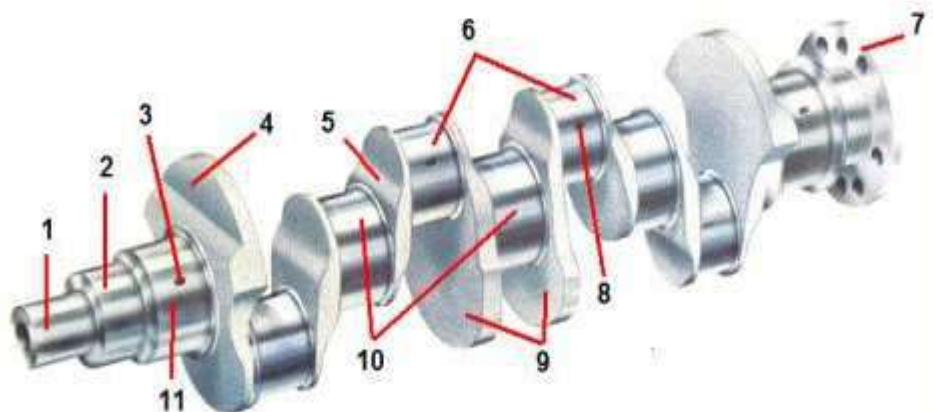


Рисунок 1.2.- Основні елементи колінчатого валу

1. Носок колінчатого валу.
2. Посадочне місце зірочки (шестерні) приводу розподільчого валу
3. Отвір підводу масла до корінної шийки.
4. Противага.
5. Щока
6. Шатунні шийки.
7. Фланець маховика.
8. Отвір підводу масла до шатунної шийки.
9. Противаги.
10. Корінні шийки.
11. Корінна шийка упорного підшипника.

Корінна шийка - основна частина валу, яка розміщена на корінних вкладишах (підшипниках), що знаходяться в картері.

Шатунна шийка – з'єднує колінчатий вал з шатунами. Змащування шатунних механізмів здійснюється завдяки наявності спеціальних масляних каналів. Шатунні шийки на відміну від корінних шийок завжди зміщені в бік.

Щоки – деталі, які з'єднують два типу шийок - корінні та шатунні.

Противаги - деталі, які призначені для урівноважування ваги поршнів і шатунів.

Фронтальна (передня) частина чи носок – частина механізму, оснащена колесом з зубцями (шківом) і шестернею, в деяких випадках гасником крутих коливань, який здійснює контроль за потужністю приводу газорозподільного механізму (ГРМ).

Задня частина (хвостовик) - частина механізму, яка з'єднана з маховиком за допомогою масло відбиваючого гребінця і масло скидальної різьби, здійснює забір потужності вала.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 11 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Фронтальна та задня сторони колінчатого валу ущільнюються захисними сальниками, які перешкоджають протіканню масла там, де виступаючі частини маховика виходять за межі блоку циліндрів.

Обертові рухи усього механізму колінчатого валу забезпечують підшипники ковзання – тонкі сталеві вкладиші з захисним шаром антифрикційної речовини. Для попередження осьового зміщення вала використовують упорний підшипник, який встановлюється на корінній шийці (крайній чи середній).

Колінчатий вал двигуна виготовляють із зносостійкої сталі (легованої чи вуглецевої) або з модифікованого чавуна. Сталеві колінчаті вали виготовляють куванням чи штампуванням, а чавунні – методом лиття.

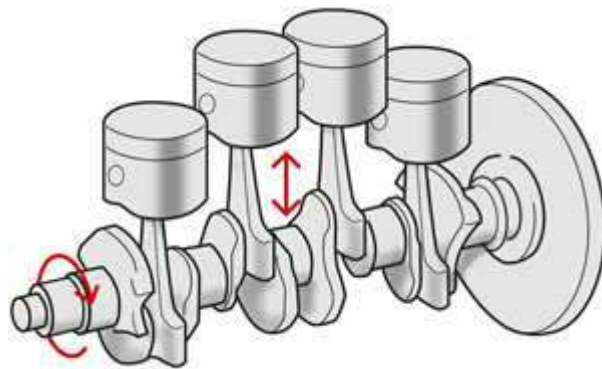


Рисунок 1.3 - Принцип дії колінчатого валу

В камерах згоряння відбувається процес згоряння палива, що туди надходить і виділяються гази. Розширюючись гази впливають на поршні, які здійснюють поступальні рухи. Поршні передають механічну енергію шатунам, які з'єднані з ними втулкою чи поршневим пальцем.

Шатун з'єднаний з шийкою колінчатого валу підшипником, внаслідок чого кожний поступальний поршневий рух перетворюється на обертовий рух вала. Після того як відбувається поворот на 180° , шатунна шийка рухається

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | 12 |

вже в протилежному напрямку, забезпечує поворотний рух поршня. Потім цикли повторюються .

Колінчатий вал працює на скручування тому повинен мати досить високий запас міцності та утомної міцності

Крім утомної міцності, колінчаті вали повинні мати певну площу шийок, яка задає контактний тиск підшипників ковзання чи кочення. Максимальний контактний тиск і швидкість ковзання для антифрикційних матеріалів може бути підвищена при високій твердості шийок та високоякісному мастилi. Перевищення їх вище допустимих сприяє виплавланню (розтріскуванню) антифрикційного шару чи пітингу роликів (підшипниках кочення) [1,2].

1.2. Причини виходу з ладу деталі «колінчатий вал»

Колінчатий вал є найбільш відповідальною та навантаженою деталлю двигуна. На колінчатий вал діють ударні динамічні навантаження, сили тертя, неврiвноважені моменти, крутильні коливання і вібрації, високі температури, статичні навантаження від деталей, що сполучаються. На роботі колінчатого валу відображаються всі недоліки складальних операцій двигуна, зменшуючи ресурс його роботи.

Можливі дефекти колінчатого валу.

1. Підвищений знос шийок колінчатого валу . Виникає внаслідок появи змін в геометрії посадочних місць блоку під підшипники та у разі використання неякісного матеріалу (наприклад, сірого чавуну замість високоміцного, або сталі з меншим вмістом вуглецю).

2. Задирки на поверхнях шийок колінчатого валу. Виникають внаслідок порушень роботи системи мащення двигуна, використання

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | 13 |

неякісного мастила, порушення термінів заміни мастила, механічним засміченням масляного фільтру, недостатнім тиском в системі.

Задирки виникають також внаслідок порушення процесу охолодження або температурного режиму, оскільки перегрівання сприяє розрідженню масла. Задирки на шатунних шийках часто виникають внаслідок прокручування вкладишів. Знос поршневих кілець сприяє забрудненню мастила продуктами зносу та попаданню палива та продуктів згоряння в масло, що також погіршує його якість.

3. Знос поверхонь під півкільця осьового зміщення колінчатого валу. Виникнення цього дефекту може бути спричинене неправильною експлуатацією двигуна водієм, не своєчасною заміною півкілець осьового зміщення та дефектів в роботі приводу зчеплення.

4. Дряпини на поверхнях шийок колінчатого валу. Виникають внаслідок забруднення мастила механічними частинками.

5. Биття, прогин колінчатого валу. Прогин осі колінчатого валу більше за 0,9 мм (по 3-ій корінній шийці). Дефект зустрічається переважно у валів, які виготовлені з матеріалів, що не відповідають технічним умовам. Відсутність галтелей на шийках внаслідок не якісного перешліфовування також сприяє виникненню цих дефектів.

6. Зміна розміру шийок. Виникає внаслідок зносу шийок під час експлуатації. Колінчаті вали з відхиленнями розмірів шийок більше за 0,05 мм підлягають шліфуванню на наступний ремонтний розмір.

7. Тріщини колінчатого валу. Тріщина колінчатого вала – найбільш небезпечний дефект, який може привести до швидкого утомного злому, що в свою чергу виводить з ладу майже всі деталі двигуна. При наявності тріщини будь - якого розміру колінчатий вал не ремонтується.

Колінчаті вали с задирками на шийках мають, як правило, тріщини та прогин осі.

| | | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | | 14 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | | | | | | |

За статистикою зношені вали з перешліфованими корінними шатунними шийками на всі ремонтні розміри, але придатні для відновлення нанесенням покриттів до номінальних розмірів, складають 65-75 %.

1.2.1. Матеріали для виготовлення колінчатих валів

Колінчаті вали виготовляють з вуглецевих та легованих сталей. Легуючими елементами є хром, марганець нікель та молібден (45, 45Х, 45Г2, 50Г, 40ХНМА, 18ХНВА). На колінчатих валах, виготовлених із сталей можна досягти високої твердості шийок (лазерним гартуванням, гартуванням струмом високої частоти, азотуванням, цементацією), що значно [7, 24] підвищує ресурс роботи вала. Чавунні вали поступаються властивостями сталевим .

Високу твердість шийок (60 HRC), яка необхідна для контакту витривалість з роликівими підшипниками, одержують після хіміко - термічної обробки (цементації, азотування, ціанування). Вали в таких випадках виготовляють з мало вуглецевих легованих сталей (12ХН3А, 18ХНВА, 20ХНМА) [22]. Для валів середніх та великих розмірів вибирають більш леговані та дорожчі сталі - з молібденом.

Більш дешеві сталі регламентованої прогартуваності дозволяють отримати високу твердість поверхні шийок, при збереженні в'язкої серцевини, впровадженням гартування СВЧ, лазерного гартування. Твердість залежить від кількості вуглецю (при гартуванні СВЧ твердість не перевищує 50..55 HRC), азотування дозволяє отримати на поверхні твердість 60 HRC і вище. Мікроструктура сталей регламентованої прогартуваності 55ПП, 60ПП - мартенсит дрібно голчастий чи троостомартенсит [5].

Корінні і шатунні шийки загартовують на глибину 6,7 - 3,3 мм, а шийки під шків - на глибину 1,8 - 4,7 мм на довжині 60 мм з відселенням на

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 15 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | |

12 мм від торця кінця вала. Охолодження деталі при гартуванні поєднується з додатковим промиванням.

Глибина загартованого шару шийок дозволяє використовувати 4 - 6 проміжних ремонтних розміри шийок вала. Вали, що піддавались азотуванню не шліфують.

Заготовками для колінчатих валів слугують кованки, одержані кування в закритих штампах на молотах чи пресах. Колінчаті вали виготовляють в багаторівчачових штампах. Процес отримання заготовки відбувається за декілька операцій. Після попереднього та викінчувального кування вала в штампах виконують обрізування облою на обрізному пресі і гарячу правку в штампі на молоті.

Висока механічна міцність вала забезпечується відповідною макроструктурою коли розміщення волокон сталі повторює форму колінчатого валу. Не допускається перерізування волокон при подальшій механічній обробці.

Після штампування заготовки піддають термічній обробці - нормалізації.

Очистку від окалини здійснюють травленням чи на дробометальній машині, подальшою є механічна обробка. Правку валів виконують після нормалізації в гарячому стані в штампі а пресі після вивантаження заготовки з печі без додаткового підігріву.

Масляні отвори в колінчатих валах з'єднують сусідні корінну і шатунну шейки, виконуються свердлуванням. Отвори в щоках закарбовують чи закривають пробками на різьбі.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 16 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | |

вуглекислому газу з попереднім обточуванням поверхні і наступним нарізанням різьби номінального розміру. При наявності биття торця фланця під маховик торець проточують до знищення слідів зносу (але не більше як на 0,2 мм). При незначних згинах вала (0,15—0,2 мм) цей дефект усувають шліфуванням шийок, при великих (від 0,2 до 1 мм) — вал правлять під пресом. Тріщини, розміщені вздовж осі вала, які не виходять на галтелі і глибина яких не перевищує 4 мм, усувають заварюванням.

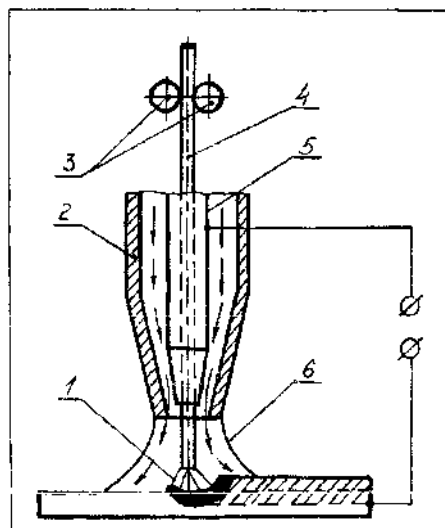
1.3.1.2. Наплавлення струмом високої частоти

Для наплавлення використовують індукційне нагрівання струмом високої частоти з присадним металом, який попередньо наносять на поверхню виробу у вигляді суміші порошків, литого кільця чи пресованого брикету, або розплавляють у вогнетривкій лійці, що розміщена над поверхнею деталі, яку наплавляють [4].

Нанесений на зношену поверхню деталі шар тврдосплавного порошку розплавляють разом з поверхневим шаром деталі на глибину 1,5...3 мм. Це забезпечує взаємодифузію молекул розплавленого металевого порошку і деталі та їх зчеплення. Шар порошку в суміші з флюсом наносять на зношену поверхню деталі у вигляді замазки, яку опресовують разом з деталлю до нагрівання. Шар порошку повинен компенсувати поверхнєве зношування і утворити припуск на механічну обробку. Швидкість підведення тепла до наплавлюваної поверхні повинна бути більша швидкості його відводу в глибину деталі і навколишнє середовище [5,6]. Це забезпечує нагрівання поверхні деталі на 50...70 °С більше плавлення порошку (шихти), яка плавиться від тепла металу деталі, а також зменшує прогрівання деталі.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 18 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | |

відновлення. Найбільше розповсюдження отримав вуглекислий газ (CO_2) [4].



1- електрична дуга; 2- сопло;
3-ролики; 4- електрод;
5- струмопідвід; 6- захисний газ

Рисунок 1.6 - Схема наплавлення у середовищі вуглекислого газу:

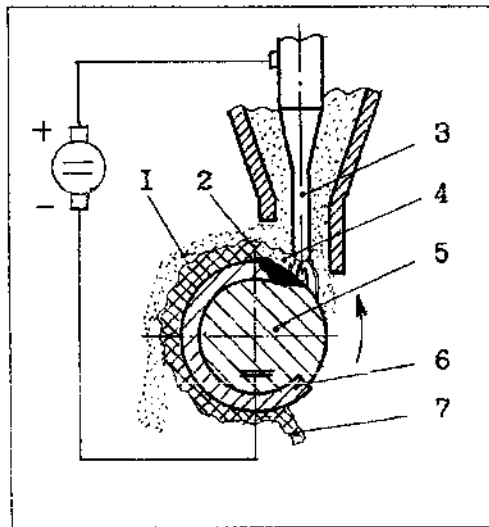
Основними недоліками наплавлення в середовищі вуглекислого газу є можливість появи тріщин, а також вигорання легуючих елементів. Цьому сприяє те явище, що при високих температурах вуглекислий газ розкладається на оксид вуглецю (CO) і атомарний кисень (O), який взаємодіє з розплавленим металом і окислює його. Запобігти цьому явищу можливо при використанні електродного дроту з підвищеним складом марганцю, кремнію, хрому, титану та інших розкислювачів. До недоліків процесу слід віднести також значне розбризування металу (до 10...12%).

1.3.1. 4. Наплавлення під шаром флюсу

Порошковий флюс, що неперервно подається у зону дуги, утворює над швом шлакову оболонку (рис. 1.7), яка через низьку теплопровідність зменшує швидкість охолодження наплавленого матеріалу і сприяє нормалізації структури. Вона також захищає шов від окислювання і

| | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------------------------|------------|
| | | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. 20 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | | |

запобігає розбризкуванню металу, частка якого у шві коливається в межах 30...65%, що частково погіршує властивості захисного шару.



- 1 - нерозплавлений флюс;
- 2 - рідкий метал; 3 - електрод;
- 4 - розплавлений шлак; 5 - деталь;
- 6 - наплавлений метал;
- 7 - шлаковий шар

Рисунок 1.7- Схема наплавлення під шаром флюсу

Головними перевагами наплавлення під шаром флюсу є отримання на робочій поверхні практично будь-якого хімічного складу та розмірів наплавленого шару з заданими властивостями для конкретного виду зношування; можливість багаторазового відновлення, що значно зменшує витрати металу; досить висока продуктивність механізованих способів наплавлення і навіть можливість їх автоматизації. При напавленні на поверхні деталі утворюється металевий шар високої якості, що має надійне сплавлення з основним металом, необхідний склад та структуру, які забезпечують потрібні вимоги. Для цього використовують легуючі елементи. Промисловість випускає різні марки електродного дроту в залежності від потреб ремонтного виробництва. При напавленні деталей під шаром флюсу з'являються додаткові можливості в досягненні якості хімічного складу поверхневого шару та його фізико-механічних властивостей. Наплавлення під шаром флюсу використовується для деталей, що працюють в умовах тертя без мастильного матеріалу, при значних навантаженнях (опорні катки, направляючі колеса гусеничних тракторів та ін.) [18].

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | 21 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | | | | | |

1.3.1. 5 Плазмове наплавлення

Процес нанесення покриття з розплавленого присадного матеріалу на металеву поверхню з використанням у якості джерела енергії стисненої дуги (що горить між електродом плазмотрона та деталлю) або плазмового струменя (що горить між електродом і соплом плазмотрона) (рис. 1.8).



Рисунок 1.8 – Установка для плазмового наплавлення

Плазма - високотемпературний сильно іонізований газ, що складається з молекул, атомів, іонів, електронів, квантів світла тощо. При дуговій іонізації газ пропускають через канал і створюють дуговий разряд, тепловий вплив якого іонізує газ, а електричне поле створює спрямований плазмовий струмінь. Газ може іонізуватись також під дією електричного поля високої частоти. Газ подається під тиском у 2...3 атм, у його середовищі збуджується електрична дуга силою струму 400...500 А та напругою 120...160 В. Іонізований газ досягає температури 10...18 тис. °С, а швидкість потоку — до 15000 м/с. Плазмовий струмінь утворюється у спеціальних пальниках — плазмотронах. Катодом у цьому випадку є неплавкий вольфрамовий електрод.

У якості газів, що утворюють плазму, самостійно можуть бути використані аргон, азот, гелій, аміак. Водень і кисень можна застосовувати в суміші з аргоном, азотом. Застосування одного водню неможливе через його

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 22 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | |

високу теплопровідність, що призведе до швидкого нагрівання й руйнування сопла [11].



Рисунок 1.9 - Способи наплавлення



Рисунок 1.10 - Макроструктура наплавленого шару

1.3.1.6. Плазмове напилення

Полягає в тім, що плазму (повністю іонізований газ), яка має температуру 10 000... 30 000 °С, направляють на оброблювальну поверхню деталі (Рис.1.11).

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | 23 |

Швидкість частинок, що падають на деталь по перетину плями напилення розподіляється дуже нерівномірно і на периферії може бути в 3-4 рази меншою, ніж в центрі плями. Під дією поверхневого натягу розплавлені частинки набувають форми сфери. Сферичні частинки на шляху до підкладки охолоджуються і, падаючи на поверхню деталі, розтікаються і кристалізуються. Наступні порції розплавлених частинок падають на частинки покриття, що вже закристалізувалися, тобто розплавлені частинки практично за весь час напилення падають на затверділу поверхню і утворюють шарувату структуру. Покриття формується шляхом послідовного накладання частинок, що деформуються. Процес супроводжується утворенням мікропорожнин, які заповнюються газом. Для зменшення пористості і підвищення однорідності напилюваних покриттів зменшують розмір напилюючих частинок.

Швидка кристалізація частинок на поверхні деталі дозволяє одержувати покриття із структурою пересичених твердих розчинів. Якість покриття залежить від процесів, що протікають при взаємодії частинок з плазмою, і від процесів при формуванні покриття на поверхні деталі (якість контактів між частинками, швидка кристалізація і деформація частинок, взаємодія напилюваної речовини із зовнішнім середовищем). Найважливіше значення має середовище, в якому здійснюється процес осадження тих або інших покриттів, може здійснюватися у вакуумі на повітрі або у контрольованій атмосфері. Як плазмо утворюючі гази можуть використовуватися Ar, H₂, He, N₂ або їх суміші. Істотне покращення властивостей покриттів досягається при використанні плазмового напилення у вакуумі. Вакуумна плазмова технологія має ряд переваг:

- Швидкість частинок напилюваних речовин в 2-3 рази вища, ніж при плазмовому напиленні на повітрі. Це забезпечує вищу щільність

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 25 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | |

покриттів, менш ніж до 0,5% зменшує пористість, підвищує якість поверхонь [15].

- Покращуються умови для взаємодифузії між покриттям і підкладкою та підвищення адгезії.

- При нанесенні покриттів у вакуумі відсутні реакційні гази, які можуть приводити до окислення металів, погіршення зчеплення і сколювання кераміки. Склад покриття на деталях повністю відповідає складу початкового матеріалу для покриття.

- Високий відсоток використання матеріалів для покриття (до 40%). При вакуум-плазмовому напиленні одержують щільніші покриття, ніж в установках електронно-променевого випаровування.

- Найбільш висока точність контролю складу покриття, ніж при будь-якому іншому процесі.

- Метод дозволяє напилювати матеріали з великою відмінністю тиску пари при збереженні низьких значень температури поверхні деталей (200–300°C), що виключає структурні зміни і поверхневому шарі підкладки. Плазмовий метод широко використовується для нанесення як керамічних, так і металевих покриттів.

Для отримання високої довговічності покриття повинне містити 5-10% мікропор, гомогенно розподілених за об'ємом

Методу властивий ряд обмежень, які пов'язані з такими чинниками:

1. застосування матеріалів із стабільною рідкою фазою.
2. мінімальна товщина покриттів обмежена розмірами частинок порошків.
3. метод не дозволяє покривати внутрішні поверхні.
4. розміри деталей, що покриваються, обмежені розмірами вакуумної камери.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 26 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | |

електромагнітні властивості. Хромування проводять при 900...1250 °С. Товщина дифузійного шару від 40 мкм до 3 мм;

борування (насичення бором), який забезпечує високу твердість (1800...2000 НV), зносостійкість та стійкість проти корозії в різних агресивних середовищах [23];

силіціювання (насичення кремнієм), що сприяє високій корозійній стійкості в морській воді, а також деяких кислотах;

берилізація (насичення берилієм), яка забезпечує для сталей підвищення твердості, жаротривкості при 800–1100 °С і корозійної стійкості;

титанування (насичення титаном, яке забезпечує підвищення твердості, стійкості проти спрацювання, корозійної та кавітаційної стійкості.

Процес дифузійної металізації може відбуватися з твердої фази, в розплавах металів, якщо метал має невисоку температуру плавлення (цинк, алюміній), в паровому середовищі сублімованого металу або газовому середовищі галогенідів металів (CrCl_3 , AlCl_3 , SiCl_4 і т.д.).

Насичення з твердої фази застосовують для заліза, нікелю, кобальту, титану та інших металів. У цьому випадку дифузійну металізацію здійснюють різними тугоплавкими металами (Mo, W, Nb, U та ін.), пружність пари яких менша за пружність пари основного металу. Процес протікає в герметизованому контейнері, в якому оброблювані деталі засипаються порошкоподібним металом, у вакуумі або в нейтральному середовищі при 1000...1500 °С [21].

Насичення з рідкої фази застосовують при алітуванні, хромуванні, цинкуванні, мідненні. Процес відбувається в печах-ваннах, в яких розплав дифундуючого металу або його солі взаємодіють з поверхнею оброблюваних виробів при температурі 800...1300 °С. Цим методом здійснюють також комплексну дифузійну металізацію, наприклад хромоалітування, хромотитанування, хромонікелювання і т.д.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 28 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | |

Насичення з парової фази застосовують для сплавів на основі заліза, нікелю, молібдену, титану та інших металів такими елементами, які мають вищу пружність пари, ніж метал, що насичується, наприклад Zn, Al, Cr, Ti та ін. Процес відбувається в герметичних контейнерах при розрідженні до 10^{-2} Н/м² і температурі 850...1600 °С, контактним або безконтактним способом. У першому випадку парова фаза виникає при сублимації металу і генерується поблизу місць контакту порошкоподібного металу з оброблюваною поверхнею, у другому — генерування парової фази відбувається на деякій відстані від поверхні [20].

Насичення з газової фази проводять при дифузійній металізації елементами: Al, Cr, Mn, Mo, W, Nb, Ti та ін. Дифузії металу передують реакції взаємодії газоподібних хімічних сполук дифундуючого елемента з основним металом. Газовою фазою є галогеніди (переважно, хлориди) дифундуючих металів. Газове насичення здійснюється в муфельних печах або в печах спеціальної конструкції при 700...1000 °С. Газова фаза може генеруватися на відстані від поверхні насичення (безконтактний спосіб) і в зоні контакту джерела активної фази з поверхнею металу (контактний спосіб).

Дифузійною металізацією можна отримувати дифузійний шар товщиною від 10 мкм до 3 мм. Процеси дифузійної металізації дозволяють підвищити жаротривкість сплавів (наприклад, алітована сталь має жаротривкість до 900 °С), абразивну зносостійкість (наприклад, хромування сталі У12 збільшує її зносостійкість у 6 разів), опір термоудару та швидкій зміні температури, корозійну стійкість і кислототривкість та покращити інші властивості металів і сплавів.

Дифузійне хромування використовують для пароводяної арматури, клапанів, патрубків, вентилів, а також деталей, які працюють на зношення в

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 29 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | |

агресивних середовищах. Алітування — для деталей газогенераторних машин та клапанів [25].

Високі теплофізичні характеристики берилідних шарів дозволяють використовувати берилізацію для захисту виробів від впливу металевих розплавів, наприклад, для захисту деталей з нержавіючої сталі 10X18H9T у потоці розплаву літію, деталей з чавуну та сталі у розплавленому алюмінію. Берилізації часто піддають турбінні лопатки із жароміцних сплавів, кокілі і деталі ливарних форм для лиття алюмінієвих сплавів, гребні гвинти суден, сопла реактивних двигунів тощо [16].

1.3.1.8. Газофазна металізація

Газофазна металізація є прогресивним, високотехнологічним, високопродуктивним та екологічно чистим методом відновлення деталей машин це фізичні методи металізації, такі як катодного розпилення і вакуумного випаровування металів. До хімічних методів отримання металевих плівок і покриттів належить газофазний (або парофазний) метод термічного розкладання легколетючих металоорганічних з'єднань, що дозволяє отримувати металеві шари при температурах, набагато нижчих за температуру плавлення відповідних металів і сплавів [9,19].

Газофазні покриття мають високу якість, застосовуються в різних галузях промисловості (для відновлення і захисту деталей машин до використання в аерокосмічній промисловості, медицині, мікроелектроніці тощо).

1.3.1.9. Гальванічні покриття

Гальванічне покриття - це поверхневий шар металу, який утворюється на оброблюваній деталі під час електрохімічних процесів в результаті проникнення молекул металу в поверхневі шари оброблюваної

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 30 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | |

регулювати товщину покриття в процесі нанесення. Товщина одношарового покриття становить від 7 мкм до 15 мкм, багатшарного від 15 мкм до 45 мкм. До недоліків методу належить велика витрата електроенергії, екологічні загрози, висока вартість очисних заходів.

1.3.10. Лазерне зміцнення

Основою процесу лазерного зміцнення є швидкий нагрів до високої температури (температури плавлення) поверхневого шару металу з подальшим швидким охолодженням шляхом відведення тепла в основний об'єм металу, який залишається практично холодним. Взагалі необхідне підвищення температури металу можна отримати і стандартними методами – нагрівом в термічній або індукційній печі. Проте ці методи часто є непридатними через неоднорідність нагріву. Крім того, у великогабаритних деталях дуже часто необхідно загартувати тільки частину поверхні, а не увесь об'єм деталі. Поверхневу обробку деталі можна зробити тільки лазерною термообробкою, яка може проводитися з оплавленням і без оплавлення поверхневого шару. Найчастіше використовують обробку без оплавлення зі збереженням початкової шорсткості $R_a = 0,16-1,25$ мкм. Глибина зміцнюваного шару металу визначається величиною допустимого лінійного зносу. Продуктивність лазерного зміцнення визначається: K – коефіцієнтом перекриття; V – швидкістю руху променя (деталі); d – діаметром пучка (ширина доріжки зміцнення), $d = 1-1,5$ мм. і більше. Можлива обробка доріжками, що перекриваються і не перекриваються. При накладенні доріжки зміцнення відбувається частковий нагрів попередньої зміцненої зони, що може привести до відпуску і зниження твердості. При обробці доріжками, що не перекриваються, проміжок між ними складає 10-30% від площі оброблюваної поверхні, відбувається зменшення зносу в 2-3 рази.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 32 |
| Змн. | Арк. | № докum. | Підпис | Дата | | |

Лазерне зміцнення застосовується для обробки колінчастих валів двигунів, гільз циліндрів, зубчастих коліс, деталей хімічного, нафтового і бурильного устаткування.

Лазерне наплавлення порошкових матеріалів забезпечує отримання наплавленого шару високого ступеня однорідності і якості без значного термічного впливу на шари металу, що знаходяться нижче. Застосовують порошки хрому, бору, нікелю, кремнію. Суть процесу наплавлення полягає в нанесенні на поверхню деталі шару порошку і подальшого його розплавлення променем лазера. Порошок дифундує в основний метал, а швидке охолодження дозволяє отримати однорідну структуру поверхневого шару. Після подальшого шліфування товщина наплавлення може досягати 0,2 - 0,4 мм, підвищується зносостійкість наплавленого шару в 2-3 рази [16, 17].

1.4. Висновки по розділу і постановка задачі досліджень

Аналіз стану питання показав, що відновлення зношених колінчатих валів є актуальною задачею, що дозволяє продовжити ресурс роботи такої складної деталі та економити матеріали і трудові ресурси для виготовлення нової деталі.

Для розробки технології лазерного зміцнення шийок колінчатого валу для підвищення їх твердості та зносостійкості проведені як теоретичні так і експериментальні дослідження, які дали позитивні результати.

Лазерне зміцнення поверхонь з метою підвищення їх зносостійкості є високопродуктивним процесом, який має значну кількість переваг порівняно з тими методами, які використовують традиційно (гартування струмом високої частоти).

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 33 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | |

1.4.1. Цілі і задачі роботи

Метою роботи є розробка технології і дослідження властивостей виробів після лазерного гартування.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити такі задачі:

1. Виконати аналіз дефектів колінчатих валів автомобілів, причин їх виникнення, а також методів їх відновлення.

2. Зробити аналіз способів зміцнення шийок колінчатого валу для забезпечення їх зносостійкості.

3. Провести теоретичний аналіз основи забезпечення експлуатаційних властивостей відновлених колінчатих валів автомобілів, а також теоретичні основи трибологічної працездатності відновлених спряжень.

4. Провести експериментальні дослідження зносостійкості, коефіцієнта тертя, шорсткості, мікроструктури, мікротвердості відновлених колінчатих валів.

5. Розробити технологію відновлення та зміцнення шийок колінчатого валу лазерним гартуванням.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|-------------------------------|------|
| | | | | | <i>MP TAM 2216224. 000 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 34 |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докцм.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | |

РОЗДІЛ 2 . АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1. Обґрунтування теоретичних основ відновлення та зміцнення шийок колінчатих валів

2.1.1.Закономірності зношування деталей пар тертя і шляхи зменшення зносу.

Згідно наукових досліджень причиною зношування спряжених деталей є сили тертя. Під дією цих сил відбувається багаторазова деформація ділянок контактної поверхні, їх зміцнення і знеміцнення, виділення теплоти, зміна структури, розвиваються процеси втоми, окислення тощо [7].

Процеси, що відбуваються в зоні контакту досить складні, розкриття механізму та визначення причин зносу пояснюють теорії зовнішнього тертя.

Досить повне пояснення процесів, які відбуваються під час тертя на поверхні пари, що знаходиться в контакті, дає молекулярно-механічна або адгезійно – деформаційна теорія. В таблиці 1 представлені види зношування [14].

Таблиця 2.1 Класифікація видів зношування

| Спосіб впливу під час зношування | Вид зношування |
|----------------------------------|--|
| Механічне | Абразивне, адгезійне, гідро і газоабразивне, кавітаційне, втомлювальне, фретинг - процес |
| Корозійно-механічне | Окислювальне, фретинг - корозія |

Сила тертя F і коефіцієнт тертя f , який дорівнює відношенню сили тертя до нормального навантаження N : $f = F / N$, визначаються як сума двох складових:

$$F = F_d + F_{ад}; \quad f = f_d + f_{ад}, \quad (2.1)$$

де f_d - деформаційна складова тертя; $f_{ад}$ - адгезійна складова тертя.

Деформаційна складова тертя зростає пропорційно величині відносного заглиблення рівностей h / R (h - величина заглиблення, R - радіус заглибленої нерівності). f_d і відповідно F_d зростають при збільшенні шорсткості поверхні, навантаження і знижуються при збільшенні твердості і модуля пружності матеріалу. Виділяють три види механічної взаємодії:

1) пружний контакт; 2) пластичне деформування; 3) мікро різання.

Інтенсивність зношування мінімальна при пружному контакті. При пластичному деформуванні інтенсивність зношування збільшується на декілька порядків. Це зумовлено тим, що ділянки поверхні під впливом пластичної деформації інтенсивно зміцнюються і коли вичерпується запас пластичності крихко руйнуються. Цьому сприяє також і адгезійна взаємодія. Мікро різання належить до недопустимого механізму зношування, так як викликає інтенсивне руйнування поверхневого шару. Мікро різання можливе не тільки заглибленими нерівностями, але й сторонніми твердими часточками. Такий вид руйнування поверхні називають абразивним зношуванням [6, 7, 14].

Адгезійна складова тертя пропорційна безрозмірному параметру

$$T_0 / HB$$

(T_0 - міцність на зрізування адгезійного зв'язку). Можливі два види адгезійної взаємодії:

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | 36 |
| Змн. | Арк. | № док.м. | Підпис | Дата | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | | | | | |

1) схоплювання і руйнування поверхневих плівок; 2) схоплювання металевих поверхонь, яке супроводжується заїданням, тобто глибинними виривами.

Схоплювання металевих поверхонь виникає між чистими від плівок (ювенільними) поверхнями тертя, наприклад, в умовах вакууму ч при руйнуванні плівок пластичним деформуванням в місцях контакту. Між очищеними ділянками утворюються адгезійні зв'язки, які за міцністю перевищують міцність одного з матеріалів пари тертя. Зрізування відбувається в меш міцному матеріалі в глибині від місця схоплювання. На одній поверхні тертя утворюються заглибини, на іншій - вирвані часточки, які повторно схоплюються і борознять поверхні тертя, сприяють їх інтенсивному руйнуванню, а іноді внаслідок значного тепловиділення і зварювання. Руйнування поверхонь тертя під час схоплювання (заїдання) називають адгезійним зношуванням. Це найбільш небезпечний і швидкоплинний ви зношування, який є головною причиною відмов в роботі вузлів тертя.

Згідно молекулярно - механічній теорії тертя визначаються два основних шляхи підвищення зносостійкості матеріалу:

- збільшення твердості поверхонь, що контактують пі час тертя;
- зниження міцності адгезійного зв'язку.

Підвищення твердості утруднить пластичне деформування і виключить мікрорізання поверхні тертя. Це сприяє пружному деформуванню ділянок контакту.

Зниження міцності адгезійного зв'язку потрібне для попередження схоплювання металевих поверхонь. Найбільш ефективно ця мета досягається при розділенні поверхонь тертя рідким чи твердим мастильним матеріалом.

Умови рідкого змащування порушуються внаслідок несприятливих режимів роботи механізмів. До них належать періоди припрацювання, а

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 37 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | |

також пуску чи зупинок машин. В цих випадках виникає граничне тертя, коли поверхні розділені лише тонкою масляною плівкою. Контактні напруження і нагрівання здатні зруйнувати цю плівку і сприяти схоплюванню. За цих умов важливого значення набуває забезпечення сумісності пари тертя. Під сумісністю розуміють властивість матеріалів попереджати схоплювання під час роботи без мастильного матеріалу, чи в умовах руйнування суцільності масляного шару [6, 7, 14].

Внаслідок адгезії часточки металу спочатку відокремлюються від поверхні, а потім окислюються киснем середовища і перетворюються в абразив.

Основні методи захисту від цього виду зношування - підвищення твердості контактуючих поверхонь (цементация, азотування), використання мастильних матеріалів, лаків, плівкових покриттів з полімерів, які утруднюють металевий контакт поверхонь тертя і доступ до них кисню [8, 14].

Проаналізувавши макроструктуру зношених деталей після експлуатації, стендових та лабораторних випробувань, вибрано шляхи підвищення їх зносостійкості і несучої здатності.

Для пар тертя в зонах фактичного дотику питома міцність зсуву молекулярних зв'язків описується залежністю:

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

де t_0 - питома зсувна міцність молекулярних зв'язків при екстраполяції нормального фактичного тиску до нуля ;

b - коефіцієнт зміцнення молекулярного зв'язку;

p_r - НВ - фактичний тиск на контакті.

В залежності від механічних і фрикційних властивостей зносостійкі матеріали поділяють на три групи: 1) матеріали з високою твердістю

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 38 |
| Змн. | Арк. | № докum. | Підпис | Дата | | |

поверхні; 2) антифрикційні матеріали, які мають низький коефіцієнт тертя ковзання; 3) фрикційні матеріали, які мають високий коефіцієнт тертя ковзання [6, 14].

Оптимально підібрані матеріали і технології поверхневого зміцнення. нанесення плазмових покриттів на відновлені з'єднання можуть суттєво покращити трибологічні властивості вузла.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|-------------------------------|------|
| | | | | | <i>MP TAM 2216224. 000 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 39 |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докцм.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | |

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1. Методика проведення експериментальних досліджень.

Існуючі види термічної обробки колінчатих валів призначені для надання цим деталям високих експлуатаційних властивостей. Зміцнення шийок здійснюють індукційним гартуванням струмами промислової чи високої частоти. Спосіб охолодження і вид охолоджуючого середовища вибирається конкретно з можливостей виробництва. Це може бути стиснене повітря, водяний душ, водоповітряну суміш, масляний душ тощо. Все це є досить трудомістким процесом і вимагає значних витрат праці.

За останні 40 років в світі розроблена велика кількість режимів поверхневого індукційного гартування. Таке гартування скорочує тривалість процесу термічної обробки, створює умови для автоматизації процесу. Частота струму для індукційного гартування від машинного генератора від 500 до 10 000 Гц, від лампового – до 1000 000 Гц. Якщо глибина загартованого шару не перевищує 2 мм, використовують лампові генератори.

Ефективним цей спосіб в масовому чи серійному виробництві. В ремонтному виробництві впровадження такого методу сильно збільшує вартість ремонту так як джерелом струму слугують машинні чи лампові генератори, а інструментом – індуктори, які розробляються окремо для кожної деталі.

3.1.1. Лазерне гартування

Зміцнення лазерним променем, яке генерується в лазерах – генераторах світла також є високопродуктивним методом. Лазерне гартування здійснюється шляхом дуже швидкого короткочасного (10^{-3} - 10^{-6} с) нагрівання

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 40 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | |

поверхні деталі концентрованим потоком енергії лазерного пучка до високих температур і швидкого охолодження завдяки інтенсивному відведенню теплоти в глибину металу. Швидкість охолодження досягає $10^3 - 10^5$ °C/с. Суттєвою перевагою цього процесу є можливість гартування окремих ділянок поверхні виробів, внутрішніх поверхонь будь якої форми, оскільки лазерний промінь може бути направлений в потрібне місце через систему дзеркал [5].

3.2. Підготовка колінчатого валу до ремонту.

3.2.1. Перевірка геометрії колінчатого валу перед ремонтом

Під час експлуатації колінчатий вал піддається силам тертя, вібраціям, знакозмінним навантаженням, впливу зовнішнього середовища, що є причиною його деформування, викривлення осі, зносу поверхні та появи задирок чи тріщин.

Основними дефектами колінчатого валу є спрацювання корінних та шатунних шийок, різьби, прогин валу.

Залишкові напруження, що залишаються в матеріалі після виготовлення валу, перевантаження сприяють викривленню колінчатого валу. Внаслідок тертя контактуючих поверхонь з корінними та шатунними шийками відбувається їх спрацювання, змінюється геометрія, виникає такий дефект як овальність та конусність. Корінні шийки колінчатого валу мають дефект внаслідок спрацювання – овальність. Шатунні шийки є більш навантаженими ділянками колінчатого валу тому спрацьовуються інтенсивніше ніж корінні.

Вилучений з двигуна колінчатий вал піддають дефектуванню та перевірці його геометрії. Колінчатий вал, встановлюють на призми,

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 41 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | |

перпендикулярних площинах А-А (паралельно площині кривошипа) та Б-Б.

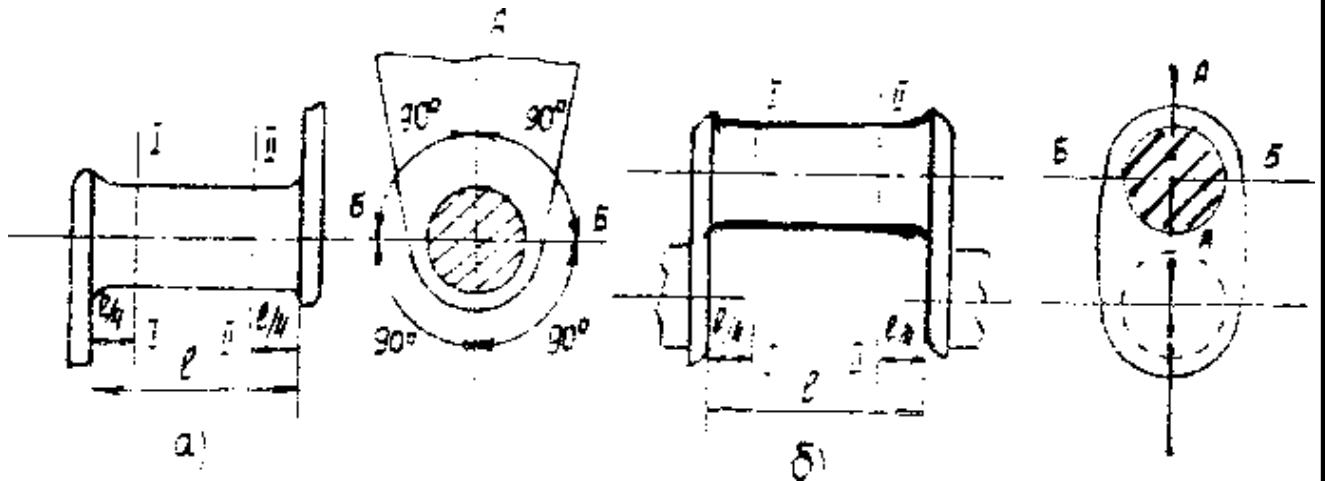


Рисунок 3.2 – Схема вимірювання діаметрів шийок
(а – корінних; б – шатунних)

Зношені поверхні вала піддають шліфуванню після його правки.

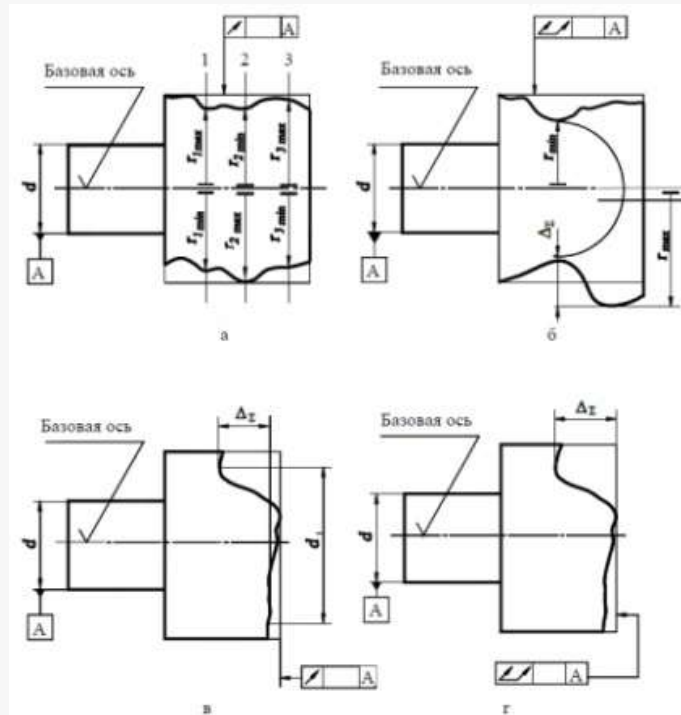


Рисунок 3.3 - Сумарне відхилення форми і розташування:

а - радіальне биття; б - повне радіальне биття;

в - торцеве биття; г - повне торцеве биття

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докum. | Підпис | Дата |

Під час експлуатації двигуна можливе перегрівання шийок з причини руйнування підшипників, внаслідок чого у колінчатому валу можуть з'явитись тріщини. Тріщини, які виходять на поверхню вала, виявляють неозброєним оком, а глибокі тріщини, які йдуть в тіло вала виявляють з допомогою люмінесцентних, магнітних та ультразвукових контрольних пристроїв(рис. 3.4, 3.5).

Вал перевіряють також на наявність слідів корозії оглядом неозброєним оком чи за допомогою лупи.

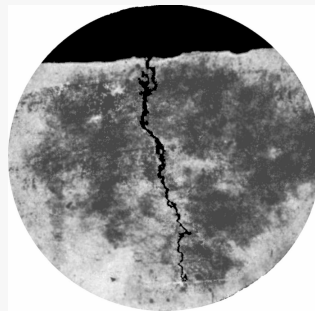


Рисунок 3.4 - Тріщина, що йде вглиб деталі



Рисунок 3.5 - Магнітний дефектоскоп. Універсальний дефектоскоп "Томографик" УД4-Т

Цифрові технології, застосовувані в "УД-4Т Томографик", дозволили в одному приладі реалізувати набір різних за призначенням дефектоскопів, що максимально задовольняють вимогам конкретного користувача. Вибір і активізація необхідного додатку відбувається за аналогією з "Windows" за допомогою користувальницького "меню", де кожна задача є самостійним

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | 44 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | | | | | |

приладом неруйнівного контролю (НК): Дефектоскоп, Товщиномір, Тензометр і тощо.

Вимірювання биття хвостовика і поверхні заднього сальника. Процес виконують в центрах. Якщо биття перевищує 0,01-0,02 мм потрібно виконати правку центрових фасок вала. Виправлення фасок виконують шабруванням, притиранням і проточуванням. З названих методів кращі результати дає проточування вала на токарному верстаті з використанням люнети (рис.3.6).

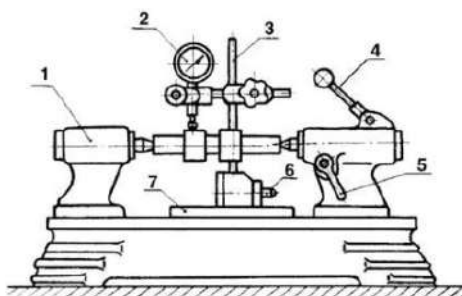


Рисунок 3. 6 - Прилад для перевірки виробів на биття в центрах;
1 - центр; 2 - індикатор годинникового типу; 3 - штатив; 4 - рукоятка;
5 - затискач; 6 - кнопка керування магнітом; 7 - стіл

Після виконання вищезазначених операцій вал піддають очищенню і промиванню внутрішніх каналів.

3.2.2. Визначення величини зносу опорних шийок

Внаслідок змінних умов експлуатації колінчатого вала, шийки вала зношуються нерівномірно. Величину зносу шийок визначають встановленням колінчатого валу в центри і вимірюють діаметри шийок мікрометром в місцях найбільшого зносу та в перпендикулярному напрямку. Різниця цих вимірів показує овальність шийки.

| | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------------------------|------|
| | | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | | 45 |

Конусність або бочко подібність шийки визначають вимірюванням шийки в трьох поясах. Два паски вибирають на відстані від галтелей 5-6 мм і один в середині шийки.

За різницею розмірів по довжині шийки визначають конусність або бочко подібність. (Рис. 3.7)



Рисунок 3.7 - Визначення конусності шийок після експлуатації

Величину зносу корінних і шатунних шийок колінчатого валу перевіряють за допомогою мікрометра МК 75-1 (рис.3.8).

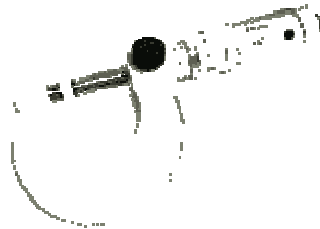


Рисунок 3.8 - Мікрометр

3.2.3. Перевірка зносу посадочних місць під розподільчу шестерню.

Візуально перевіряється наявність зносу маслозгінної різьби. Перевіряється знос і стан шпонкової канавки; знос посадочного отвору під зовнішнє кільце шарикопідшипника в торці валу; стан різьби.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | 46 |

Провести зовнішній огляд колінчатого валу та виявити дефекти візуально.

Для кожного конструктивного елемента визначити технологічні параметри, розміри по нормативно-технічній документації, допущення без ремонту, вимоги до точності, якості робочих поверхонь та способи дефектації (дані занести до звітнього бланку).

3.3. Відновлення колінчатого валу.

Виявлене спрацювання шатунних та корінних шийок відновлюють наплавленням та наступною обробкою до номінального розміру

Наплавлення здійснюють електродами Нп30ХГСА (діаметром дроту 1,6 мм).

Режим наплавлення: сила струму 300...320 А, напруга 26...28 В, частота обертання вала 0,65...0,8 об/хв., швидкість подачі дроту 49...58 м/год.

3.4. Термічна обробка колінчатого валу

3.4.1. Терміна обробка після наплавлення

Після наплавлення колінчаті вали піддають термічній обробці – нормалізації. Нормалізацію проводять за таким режимом.

Вал виготовлено із сталі 45. Це доевтектоїдна сталь. Для проведення нормалізації вал нагрівають вище точки A_{c3} на 30-50 °С, витримують в печі для завершення перетворення вихідної ферито-перлітної структури на аустенітну і охолоджують колінчатий вал на повітрі. Час нагрівання

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | 47 |

вибираємо з [8,24], він дорівнює 1 хвилині на 1 мм діаметру деталі. Нагрівання здійснюємо в камерній печі.

Метою нормалізації є подрібнення зерна, підготовка структури до наступного гартування тощо.

Охолодження на повітрі відбувається з швидкістю 7°C на годину, що забезпечує перетворення аустеніту на дрібнозернисту структуру, яка складається з кристалів фериту і перліту (сорбітоподібного перліту), яка має підвищену твердість, ніж ферито-перлітна структура, яка формується у сталі після відпалу. Після нормалізації твердість вала і відповідно шийок буде в межах HB180-230.

Колінчаті вали після нормалізації піддають механічній обробці на токарних верстатах. Для більшості колінчатих валів після наплавлення проточують по довжині п'яту корінну шийку або третю до розмірів, що рекомендовані в технічних умовах.

Після попередньої механічної обробки на метало ріжучих верстатах поверхню корінних і шатунних шийок піддають термічній обробці: гартуванню та відпуску.

Гартування проводять переважно на установках високочастотних з використанням верстатів для гартування колінчатих валів.

Шийки нагрівають струмом високої частоти до 900..920°C і охолоджують водою. Вал є нерухомим.

Для попередження утворення тріщин після гартування шийок струмом високої частоти проводять відпуск при температурі 170...190 °C.

Твердість шийок після відпуску HRC 52... 62. Глибина загартованого шару 3...5 мм.

Враховуючи, що гартування струмом високої частоти є досить енергозатратним процесом, було вибрано для зміцнення шийок колінчатого валу застосувати лазерне гартування.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | 48 |

3.5. Термічна обробка шийок колінчатого валу.

3.5.1. Технологія лазерного гартування

Лазерне випромінювання в технології обробки є джерелом нагрівання матеріалу. Внаслідок дії випромінювання на матеріал відбувається трансформація світлової енергії в теплову. Завдяки високій густині потужності забезпечуються високі швидкості нагрівання і малий час впливу випромінювання на оброблювальну поверхню. Під час лазерної обробки спостерігається мінімальний тепловий вплив і мінімальне жолоблення деталі.

Особливістю лазерного променя, що відрізняє його від інших висококонцентрованих джерел (електронного променя чи плазмового струменя) це можливість транспортування його на значну відстань і підводу до важкодоступних місць, а також відсутність динамічного впливу на оброблювальну поверхню, що дозволяє значно збільшити кількість технологічних операцій з обробки різних деталей машин.

Лазерна обробка дозволяє підвищити продуктивність праці, точність та якість обробки, забезпечує практично безвідходну технологію, яка задовольняє вимогам захисту оточуючого середовища.

Створене сучасне лазерне обладнання різних типів дозволяє реалізувати технологічний процес з повною автоматизацією.

Лазери за тривалістю дії випромінювання можуть бути імпульсними та неперервними. Лазери неперервної дії працюють з лазерним променем, який має довжину хвилі випромінювання 10,6 мкм.

Імпульсні лазери використовують промені з довжиною хвилі 1,06 мкм. (рис.3.9)

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 49 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | |

швидкість охолодження в цьому випадку не регламентується. При аморфізації швидкість охолодження повинна бути максимальною, тому глибина оплавлення не перевищує 50 мкм.

Методи отримання поверхневих покриттів – легування і наплавлення – відрізняються тим, що ділянка поверхні нагрівається вище температури плавлення, в зону оплавлення вводять легуючі компоненти, внаслідок чого утворюється шар з хімічним складом відмінним від складу основного металу. Вакуумно-лазерне напилювання полягає у випаровуванні матеріалу ділянки поверхні під впливом лазерного випромінювання в вакуумі і конденсації на підкладці речовин, що випаровувались.

Ударний вплив лазерного випромінювання можна використовувати для зміцнення і для виникнення фізико-хімічних процесів наприклад, для формування р – n переходів у напівпровідникових матеріалів.

Ініціювання поверхневих хімічних реакцій на поверхні сплавів за допомогою теплового впливу лазерного випромінювання чи з використанням плазмової хмари поблизу поверхні спрямована на окислення чи відновлення окремих компонентів сплаву чи отримання спеціальних сполук [11].

3.5.1. Особливості фазових і структурних перетворень у вуглецевих сталях під час лазерного термозміцнення

Механізм лазерної термообробки (ЛТО) полягає у фазовому перетворенні матеріалу після його високошвидкісного нагрівання до температур вищих за фазову перекристалізацію и вище температури плавлення з наступним швидким охолодженням обробленої зони шляхом відводу теплоти за рахунок теплопровідності матеріалу виробу.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 52 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | |

Швидкість охолодження при температурі нагрівання нижче температури плавлення сягає $(5...10)10^3$ °C/c, під час кристалізації з рідкого шару – до 10^6 °C/c, що у тисячу разів більше швидкості охолодження під час звичайного гартування.

Зони лазерного впливу (ЗЛВ) має шарувату будову. Це зумовлене тим, що різні шари нагрівались до різних температур. В зоні ЗЛВ виділяють три шари: (рис.3.10)

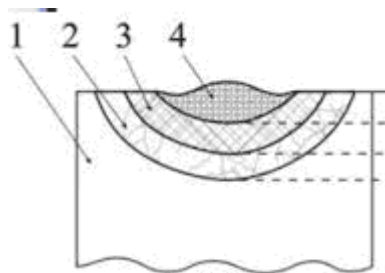


Рисунок 3.10 - Схема формування шарів в зоні лазерного впливу під час обробки з оплавленням поверхні.

1 - зона оплавлення; 2 – зона гартування з твердої фази; 3 – перехідний шар; 4 – вихідна структура

Перший шар – зона оплавлення – формується під час гартування з розплавленого стану, він має стобчато-дендритнеу будову. Первинні вісі кристалів орієнтовані перпендикулярно до нижньої границі зони оплавлення. Основна структурна складова – мартенсит. Карбіди в як правило в цій зоні розчинені в твердому розчині. При лазерному гартуванні без оплавлення цей шар відсутній.

Другий шар – зона гартування з твердої фази - формується при гартуванні без оплавлення. Нижня границя його визначається нагріванням до критичної температури A_{c3} , тобто виконується як повне, так і неповне гартування.

Третій шар – перехідна зона – формується при нагріванні металу нижче точки A_{c1} .

| | | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | | 53 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | | | | | | |

Мікроструктура і твердість в цьому шарі можуть бути різними в залежності від вихідного стану сталі. При лазерній обробці загартованої сталі чи відпущеної в цьому шарі відбувається зниження мікротвердості.

3.5.2. Закономірності кристалізації сталей при лазерній обробці з оплавленням

При лазерній обробці з оплавленням внаслідок високих швидкостей охолодження для розплавленого металу використовують гартування з рідкої фази. В кінцевому результаті структура має ряд особливостей.

1. Кристали, що утворюються під час первинної кристалізації, мають дуже малі розміри внаслідок утворення значної кількості центрів кристалізації. Відстань між осями другого порядку в дендритах суттєво зменшується, а при швидкості охолодження 10^6 °C/с і більше можливе зникнення осей другого порядку. Дендритна ліквідація зменшується внаслідок придушення граничної дифузії в зоні кристалізації.

2. Можливе утворення метастабільних структур - пересичених твердих розчинів і метастабільних проміжних фаз.

3. Внаслідок зміни механізму кристалізації можливе формування аномальних структур: розшарування евтектик і квазіевтектик, аморфних і метало кристалічних структур.

3.5.3. Фазові і структурні перетворення в твердій фазі

При лазерному гартуванні без оплавлення дуже важливою є фаза нагрівання, оскільки під час наступного швидкісного охолодження фіксуються наступні стадії перетворень при нагріванні.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 54 |
| Змн. | Арк. | № докum. | Підпис | Дата | | |

При нагріванні сплавів заліза з переходом через критичну точку A_{c1} починається, а при переході через точку A_{c3} закінчується перетворення, яке за звичайних умов відбувається з великою швидкістю, так як дифузійна рухомість атомів при високій температурі досить велика. Тривалість лазерного впливу перевищує тривалість структурних перетворень перліту і можливий зсув критичних точок A_{c1} і A_{c3} в бік високих температур.

Крім того, можлива зміна механізму зародження і росту аустеніту. При високих швидкостях нагрівання зародки аустеніту можуть утворитися не тільки на границях зерен фериту і цементиту, але і в самих феритних зернах по границях блоків, оскільки при збільшенні швидкості нагрівання зменшується критичний розмір центра кристалізації. Крім того, при значному перегріванні вище точки A_{c3} можливе перетворення фериту в аустеніт за поліморфним механізмом без перерозподілу вуглецю, а при ще дальшому збільшенні швидкості нагрівання – перетворення по мартенситному механізму з дуже великою швидкістю.

Після перетворення сталі потрібний час для дифузійного вирівнювання, тобто переходу вуглецю від бувших цементитних ділянок до місць бувших феритних.

Однак за умов великих швидкостей нагрівання і малої тривалості впливу дифузія вуглецю не встигає відбутись, і тому аустеніт в місцях бывшего фериту збіднений вуглецем.

Під час наступного швидкого охолодження в доевтектоїдній сталі на місцях зерен фериту з причини малого вмісту вуглецю замість мартенситу утворюється знову ферит, як при неповному гартуванні, хоч температура нагрівання перевищувала точку A_{c3} .

На уповільнення гомогенізації, крім швидкості обробки, впливає дисперсність вихідної структури і легованість сталі.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 55 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | |

При лазерному термозміцненні в сталях формуються ті ж самі структури, що і при звичайному гартуванні: мартенсит, цементит (карбіди), залишковий аустеніт. Однак висока швидкість охолодження сприяє формуванню підвищеної дефектності структур, так як виникає фазовий наклеп, уповільнюються процеси повороту і рекристалізації і більш повно успадковуються дефекти фази. Це супроводжується подрібненням блоків, збільшенням щільності дефектів та зростанням напружень в кристалічній решітці.

Мартенсит, що утворюється є більш дисперсним ніж при звичайному гартуванні. Наприклад, в сталі У8 після звичайного гартування довжина голок мартенситу 7 -10 мкм, то після лазерного гартування – 2..3 мкм. Крім цього , він має високу концентраційну неоднорідність, часто успадковує строкаату перлітну структуру.

Всі ці особливості зумовлюють більш високу мікротвердість сплавів після лазерного термозміцнення, ніж після звичайних видів гартування (для сталей на 1000 ...2000 мПа).

3.5.4 . Обладнання і технологічні особливості лазерної термообробки імпульсними лазерами

3.5.4.1. Технологічні схеми лазерної імпульсної обробки

При опромінюванні одиничним імпульсом зона лазерного впливу на поверхні заготовки має зазвичай форму кола діаметром D . Основні геометричні характеристики зони зміцнення : D – діаметр зони лазерного впливу; S – крок обробки; h – глибина зміцненого шару (рис. 3.11)

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 57 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | |

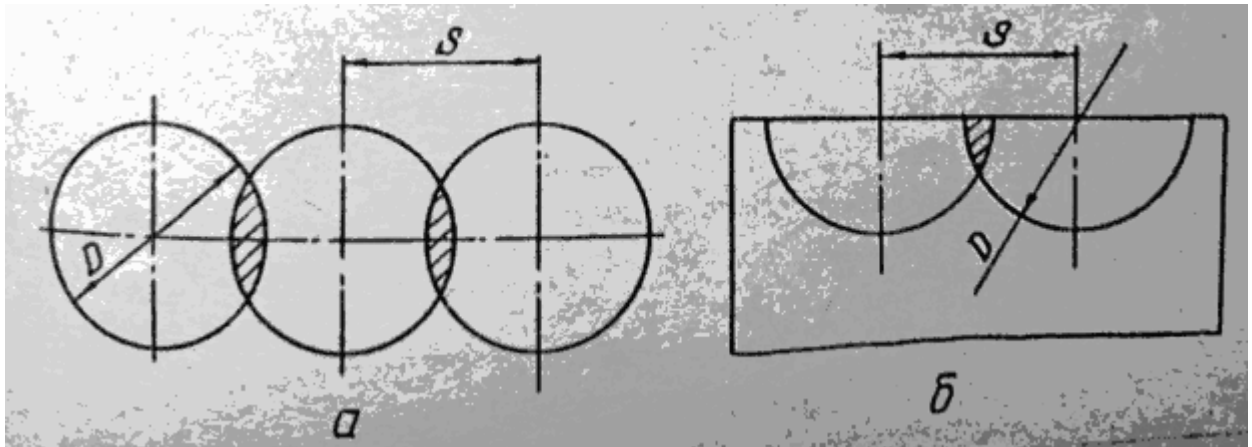


Рисунок 3.11 – Схема розміщення зон впливу а) - вид зверху;
б) в перпендикулярному напрямку

Параметри зони термічного впливу залежать від енергетичних випромінювань лазера. При збільшенні щільності потужності збільшується діаметр і глибина зони зміцнення. Для обробки великої поверхні застосовують послідовний обхід по контуру з одиничними плямами кроком S і коефіцієнтом перекриття $K_n = S / D$.

Якщо обробка по контуру проводиться за двома координатами – по осі XX з кроком S_x і по осі Y з кроком S_y , то процес характеризують коефіцієнтом заповнення :

$$K_3 = F_{\text{змц.}} / F_{\text{кнт.}}$$

де $F_{\text{змц.}}$ – зміцнена площа в контурі; $F_{\text{кнт.}}$ - площа зміцненого контуру;
 F_1 - площа одиничної плями ; $K_{\text{вик.}}$ - коефіцієнт використання імпульсів.

Можливі різні схеми обходу по контуру з декількома значеннями K_n , K_3 , $K_{\text{вик.}}$. Найбільш поширеною є обробка при $S_x = S_y$; $K_3 = 0,94$; $K_{\text{вик.}} = 0,72$, що є досить ефективною та технологічно простою.

Продуктивність процесу зміцнення під час імпульсної обробки з частотою імпульсів визначається : $P = F_{\text{змц.}} / t$.

Можливе формування лазерної плями не тільки у вигляді кола, але й у вигляді еліпсу, квадрата тощо.

| | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------------------------|------|
| | | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | | 58 |

Якщо зміцнення відбувається з обходом по контуру оброблювану деталь переміщують в перерві між імпульсами, а під час опромінювання – деталь нерухома.

При обробці з перекриттям плям в зміцненому металі присутні зони дво – три - чотириразового нагрівання. Внаслідок цього на віддалених ділянках, де метал нагрівається нижче критичної температури A_{c1} , утворюється зона відпуску.

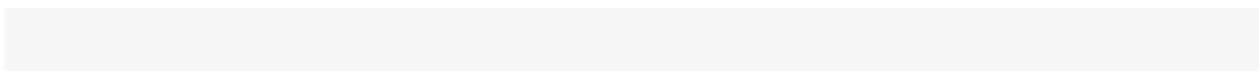
В імпульсних установках режими обробки регулюються шляхом зміни енергії імпульсу E та діаметра плями D . Ці величини можна поєднати з щільністю потужності випромінювання q , припустивши, що розподіл енергії по плямі наближається до рівномірного.

Процеси ЛТО залежать від коефіцієнту відбивання поверхні. Підвищення ефективності ЛТО забезпечується збільшенням шорсткості поверхні, нанесенням спеціальних світло поглинаючих покриттів. Перед лазерним гартування шийки колінчатого валу піддають чистовому шліфуванню.

Нанесення поглинаючого покриття, яке призначене для підвищення оптичної поглинальної здатності сталевій поверхні. Такі покриття є не складними за складом, прості у виготовленні, мають високу адгезію з металом, нешкідливі, стабільні при тривалому зберіганні, мають високу температуру плавлення та випаровування, високу теплопровідність. Застосовують такі типи покриттів: хімічні – фосфатування марганцем чи цинком, сульфідкування, оксидування.;

Фарбувальні склади, оксиди металів (Al Zn та інші); колоїдні розчини вуглецю в ацетоні, спирти; напилені оксиди різних металів; сажа.

Лазерні доріжки зміцнення наносять на робочу поверхню вала за гвинтовою лінією з коефіцієнтом заповнення зони зміцнення 70—90 %.



| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 59 |

3.6. Контроль колінчатого валу після відновлення

Після термічної обробки проводять контроль колінчатого валу на відповідність розмірам та шорсткості поверхні.

1. Контроль вала на наявність тріщин (магнітним дефектоскопом).
2. Перевірка шорсткості поверхні шийок. Кінцева чистота шийок вала повинна відповідати шорсткості $Ra = 0,63—0,32$ мкм.

3. Вимірювання твердості шийок колінчастого валу. Вимірювання геометрії колінчатого валу і розмірів шийок (відхилення не більше 0,016-0,022 мм і відхилення від циліндричності не більше 0,005 мм, биття корінних шийок і допоміжних поверхонь має бути в межах від 0,01 мм до 0,08 мм).

3.7. Перевірка непаралельності шатунних і корінних шийок.

3.7.1. Шліфування колінчатого валу.

Шліфування колінчатого валу починають з шатунних шийок, які є найслабшим місцем колінчатого валу. Внутрішні напруження, які залишаються в шатунних шийках після шліфування можуть поміняти своє значення і спричинити деформацію колінчатого валу, яка може бути причиною виникнення биття шийок і деформації осі корінних шийок.

Для «нежорстких» валів, що мають шатунні шийки малого діаметру без противаг схильні до деформації, тому при їх обробці спочатку проводять шліфування корінних, а потім шатунних шийок.

Також слід враховувати радіус галтелей шийок. Підрізані галтелі в результаті зменшення міцності нерідко призводять до поломки вала. Перед

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 60 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | |

шліфуванням шатунних шийок потрібно виконати наступні операції: збалансувати вал за допомогою спеціальних важелів та вивірити положення вала за допомогою штативу з індикатором. Наступна операція - шліфування корінних шийок. Шліфування починають з шийок, які мають максимальний знос. Це робиться для визначення ремонтного розміру корінних шийок. При шліфуванні потрібно пам'ятати, що зменшення корінних шийок пропорційно збільшенню ширини між фланцями, і вимагає в свою чергу розшліфування відповідних поверхонь вала. Після шліфування перевіряється геометрія валу, і тільки після цього шліфування колінчатих валів є завершеним. Після шліфування колінчастих валів еліпсність може не перевищувати 0,3 мм.

Для покращення якості шліфованої поверхні, усунення гострих виступів мікронерівностей, які можуть зношувати вкладиші у початковий період експлуатації двигуна, виконують доведення шийок вала після шліфування поліруванням.

Полірування виконується в кілька етапів: спочатку поверхню обробляють дрібнозернистим наждачним папером, а потім абразивною сумішшю.

3.8. Методика проведення експериментальних досліджень

3.8.1. Термічна обробка колінчатого валу

Нагрівання колінчатого валу для гартування здійснюють в електричних камерних печах (рис. 3.12). Печі призначені для нагрівання до 1000°C, що дозволяє використовувати їх при виконанні операцій гартування та відпуску.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 61 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | |



Рисунок 3.12 - Камерна піч для нагрівання

Зміцнення лазерним променем, яке генерується в лазерах – генераторах світла є високопродуктивним методом. Лазерне гартування здійснюється шляхом дуже швидкого короткочасного (10^{-3} - 10^{-6} с) нагрівання поверхні деталі концентрованим потоком енергії лазерного пучка до високих температур і швидкого охолодження завдяки інтенсивному відведенню теплоти в глибину металу. Швидкість охолодження досягає $10^3 - 10^5$ °C/с. Суттєвою перевагою цього процесу є можливість гартування окремих ділянок поверхні виробів, внутрішніх поверхонь будь якої форми, оскільки лазерний промінь може бути направлений в потрібне місце через систему дзеркал (рис.3.13)



Рисунок 3.13. Схема лазера

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 62 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

3.8.2. Визначення мікротвердості

Для вимірювання мікротвердості використано мікротвердомір ПМТ-3. Вимірювання проведені згідно методики ГОСТ 9450-76. Прикладене навантаження 100 г (рис.3.14)

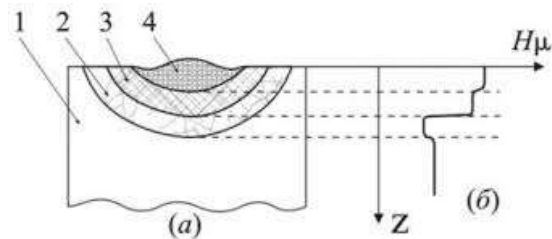


Рисунок 3.14 - Мікротвердість по глибині плями загартування.

- а) шарувата зона загартування : 1 – вихідна структура; 2 – перехідний шар; 3 – зона гартування з твердої фази; 4 – зона оплавлення;
б) зміна твердості по глибині загартованої зони.

3.8.3. Методика проведення мікроструктурного аналізу

Мікроструктура зразків досліджена методом оптичної мікроскопії на мікроскопі (рис. 3.15), який призначений для отримання зображень у відбиваючому світлі. Граничне збільшення мікроскопу $\times 1500$. Мікроскоп додатково оснащений цифровою мікроскопічною відеокамерою SIMAGIS 2P-2C і системою автоматизованого аналізу зображень



Рисунок 3.15 - Цифровий мікроскоп XS - 3330 LED MICROMed

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | 63 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | | | | | |

Зразки для металографічного аналізу для дослідження структури сталі після термічної обробки піддавали шліфуванню та поліруванню. Для шліфування використовували металографічний папір з крупним зерном (№№ 6 -120) і дрібним зерном (№ 420 -600). Під час шліфування при переході з одного номера паперу на інший (більш дрібний) зразок повертали на 90°. Абразивні часточки змивали водою і зразки піддавали поліруванню з використанням суспензій з оксидів металів (Fe_3O_4 Cr_2O_3 Al_2O_3). Після досягнення потрібної чистоти, поверхню зразка промивали водою, спиртом і просушували фільтрувальним папером. В якості травника для виявлення мікроструктури сталі використовували 4 % розчин азотної кислоти в спирті.

Випробування твердості колінчатого валу та зразків за методом Роквелла виконували на твердомірі марки (рис. 3.16).



Рисунок 3.16 – Зовнішній вигляд приладу для вимірювання твердості за методом Роквелла (ТР 5006)

Вимірювання мікротвердості проводили згідно ГОСТ 9450-76 (Вимірювання мікротвердості вдавлюванням алмазних наконечників) (рис.3.17)



Рисунок 3.17 – Зовнішній вигляд твердоміра марки ПМТ-3

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 64 |

3.8.4. Методика проведення випробувань на знос

Коефіцієнт тертя і швидкість зносу поверхні зразків і контр тіла вимірювали на автоматизованій машині тертя (Tribometer CSM Instruments) керування якою здійснює комп'ютер (рис. 3.18), за стандартною схемою випробувань «куля-диск». Ці випробування дозволяють використовувати модель Герца, вони відповідають міжнародним стандартам ASTM G 99-959 DIN50324 і можуть бути використані для оцінки зносостійкості зразків і контр тіла [14].

Високотемпературний трибометр виробництва фірми CSM Instruments - це унікальний прилад, який забезпечує надвисоку точність при вимірюванні зусиль як в режимі лінійного поворотно - поступального так і обертового рухів. Всі трибометри компанії CSM мають можливість зупинити експеримент, якщо досягнута заздалегідь визначена гранична величина коефіцієнту тертя чи певна кількість циклів.

Трибометри компанії CSM оснащені спеціальними кабінами для проведення дослідницьких робіт в контролюємих умовах оточуючого середовища, змінною вологістю чи складом мікроатмосфери. Трибометри компанії CSM оснащені датчиком вимірювання глибини для відображення інформації про глибину в реальному часі, що дуже важливо для вивчення параметрів зносу матеріалів в залежності від часу [18].



Рисунок 3.18. Схема автоматизованої машини тертя (Tribometer, CSM Instruments)

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 65 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | |

вибирали радіус кривизни зносу, ще один датчик компенсував силу тертя і дозволяв визначити значення коефіцієнту тертя в певний момент часу.

Підготовка до випробувань: калібрування - калібрування швидкості і обертання мотора; калібрування тангенційного зміщення датчика; калібрування радіусу.

Введення параметрів випробувань допомогою спеціального програмного забезпечення (програма Instrum X for Tribometer).

Вводилась така необхідна для випробувань інформація: частота опитування датчика;

Показники про оточуюче середовище: температура, вологість. Величина навантаження при якому будуть проводитись випробування; лінійна швидкість, см/с; довжина пробігу в метрах чи кількість циклів; інформація про основу - матеріал покриття, матеріал основи; вид попередньої очистки зразка перед випробуваннями. Інформація про контр тіло (кульку) : матеріал покриття; матеріал контр тіла; вид попередньої очистки контр тіла перед випробуваннями: розмір в мм, геометрія.

Випробування проводили на повітрі при навантаженні 3 Н і лінійній швидкості 10 см /с, радіусом кривизни зносу 3 -6 мм, шлях тертя 500метрів.

Внаслідок проведених випробувань визначена зносостійкість зразка і статистичного партнера (кульки) за фактором зносу за формулою [106] 45 :

$$W = V / (P \cdot L). \quad (3.1)$$

де W - інтенсивність зносу. $\text{мм}^3 \cdot \text{Н}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$,

V - об'єм видаленого матеріалу, мм^3 ,

P - навантаження, Н

L - шлях тертя , м .

Якщо визначено діаметр зносу кульки з допомогою оптичного івертованого мікроскопу OLIMPUS GX51, об'єм видаленого матеріалу на кульці розраховували за такою формулою

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 67 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | |

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot h^2 \cdot (r - \frac{1}{3} h) \quad (3.2)$$

$$h = r - (r^2 - [d / 2]^2)^{1/2}$$

де D - діаметр зносу, мм;

R - радіус кульки, мм

h - висота сегменту, мм

Об'єм видаленого матеріалу визначається по перерізу доріжки зносу на поверхні зразка з допомогою автоматизованого призеційного контактного профілометра Surtronic 25 виробництва фірми TaylorHobson.

Об'єм видаленого матеріалу зразка визначається за формулою :

$$V = s \cdot l \quad (3.3)$$

де l - довжина кола, мм

s - площа поперечного перерізу доріжки зносу, мм².

На профілометрі SURTRONIC 25 досліджена шорсткість поверхні після багаторазових переходів контр тіла по досліджуваній поверхні зразків. Прилад використовують для швидкого і точного визначення параметрів шорсткості виробів, переріз яких в площині вимірювання є прямою лінією на робочих місцях у цехах, пунктах контролю промислових виробництв, науково-дослідних інститутів.

Вимірювання лінійного профілю поверхні відбувається шляхом вимірювання вертикального відхилення алмазного щупа, який переміщується під дією мінімального навантаження з постійною швидкістю в умовах механічного контакту з зразком. SURTRONIC 25 працює як від вмонтованих акумуляторів так і від зовнішнього джерела живлення. Прилад має мультифункціональний порт RS - 232 з допомогою якого можливо передавати дані на принтер для друкування чи на комп'ютер для наступного аналізу з допомогою додаткового програмного забезпечення Talyprofile [19].

Програма дозволяє проводити розрахунки параметрів, задавати режими розрахунку у відповідності з міжнародними стандартами. Спеціальні функції дозволяють отримувати вертикальне/горизонтальне відбивання профілю, штучно здійснювати зріз профілю, тим самим вивчати знос поверхні, збільшувати окремі ділянки для більш докладного вивчення, виключати небажані ділянки профілю, розраховувати окремо хвилюватість і шорсткість. За результатами вимірювань визначають поверхневий профіль вздовж прямої лінії і з допомогою програмного забезпечення розраховують шорсткість поверхні. Прилад може визначати 35 параметрів шорсткості згідно ГОСТ, ДСТУ, ISO, ANSI, JIS, DIN.

3.8.5. Контроль колінчатого валу після відновлення

Після термічної обробки проводять контроль колінчатого валу на відповідність розмірам та шорсткості поверхні.

1. Контроль вала на наявність тріщин (магнітним дефектоскопом) рис.3 19 .

2. Перевірка шорсткості поверхні шийок. Кінцева чистота шийок вала повинна відповідати шорсткості $R_a = 0,63—0,32$ мкм.

3. Вимірювання твердості шийок колінчастого валу. Вимірювання геометрії колінчатого валу і розмірів шийок (відхилення не більше 0,016-0,022 мм і відхилення від циліндричності не більше 0,005 мм, биття корінних шийок і допоміжних поверхонь має бути в межах від 0,01 мм до 0,08 мм).

4. Перевірка непаралельності шатунних і корінних шийок.

Рекомендації. Для підвищення якості поверхні шийок колінчастих валів, підвищення їх припрацювання рекомендовано піддати шийки фінішній антифрикційній безабразивній обробці (ФАБО), суть якої полягає в тому, що

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | 69 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | | | | |

поверхні шийок, що зазнають тертя, покривають тонким шаром латуні, бронзи або міді, використовуючи явище переносу металу при терті. Товщина перенесеного металу 1—3 мкм.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 70 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | |

РОЗДІЛ 4. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

4.1. Мікроструктурні дослідження

У вихідному стані сталь 40X має ферито-перлітну структуру: по границям пластинчастого перліту розташований ферит (рис. 4.1).

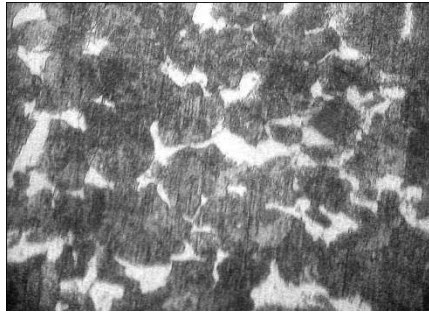


Рисунок 4.1 - Структура сталі 40X у вихідному стані.

Колінчатий вал після виготовлення піддають термічній обробці – попередній та кінцевій.

Попередня термічна обробка проводиться з метою усунення всіх дефектів мікроструктури, які виникли при виготовленні вала та зняття внутрішніх напружень.

Кінцева термічна обробка призначена для формування експлуатаційних властивостей у готовому колінчатому валу. Вона передбачає проведення гартування і високого відпуску.

Гартування проводять об'ємне нагріванням деталі в печі до температури 850 °С, час нагрівання розраховують згідно рекомендацій [8, 24] 1 хвилини на 1 мм перерізу деталі. Охолодження в маслі. Температура масла 65 – 70 °С.

Після гартування формується структура мартенситу з високою твердістю та крихкістю (рис.4.2). Для забезпечення надійної роботи колінчатого вала його після гартування обов'язково піддають відпуску.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 71 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | |

Відпуск проводять високий при температурі 600°C, витримка в печі 40 хвилин, охолодження на повітрі (рис.4.3)



Рисунок 4.2 - Мікроструктура сталі 40X після гартування - мартенсит



Рисунок 4.3- Структура сталі 40X після високого відпуску – сорбіт відпуску.

Мікротвердість поверхні шийок (на глибині до 50 мкм) після лазерного гартування зросла до 7000 - 8000 МПа . Мікротвердість поверхні до лазерного гартування була в межах 1500 – 2000 МПа.

Мікроструктура у поверхневому шарі дрібнодисперсний рейковий мартенсит. Розмір голок мартенситу сягає 2-3 мкм (при звичайному гартування 6-7 мкм). В зоні термічного впливу утворюється мартенсит, який межує з мартенситно-троситною сіткою біля ділянок мартенситу. Ця

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 72 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | |

зона переходить в троостоферитну та феритну біля межі з вихідною структурою (рис.4.4).

4.2. Властивості сталі після лазерного гартування.

Основною метою лазерного гартування є підвищення зносостійкості деталей, що працюють в умовах тертя. Після лазерного гартування спостерігається зменшення зносу деталей внаслідок високої твердості, високої дисперсності структури, збільшення величини прикладених питомих тисків, зменшення коефіцієнту тертя. Коефіцієнт тертя зменшується на 10 - 12 %, а також зменшується час припрацювання. Після проведеного лазерного гартування вигин валу мінімальний ніж після зміцнення струмом високої частоти. Для деталей зміцнених лазерним гартуванням зростає опір утомі завдяки особливостям структури : значному подрібненню зерна, голчастій будові структурних складових. Межа витривалості після лазерного гартування підвищується з 200...300МПа до 280..520 МПа . Одержання оптимальних структур може бути досягнуто при виконанні умов лазерного гартування: сканування лазерного променя має відбуватись з швидкістю 15 мм/с.



Рисунок 4.4 - Структура сталі після лазерного гартування

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 73 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | |

Дослідження впливу швидкості лазерного опромінення на глибину загартованого шару показав, що збільшення швидкості опромінення з 5 до 11 мм/с зменшує глибину загартованої зони від 1.2 мм до 0,45 мм. Збільшити глибину зони лазерного впливу можна нанесенням покриття, яке складається з оксидів алюмінію, цинку, сажі у вигляді аерозолю.

Висновки. Лазерне гартування ділянок деталі, які піддаються підвищеному зносу, дозволяє отримати підвищену твердість та зносостійкість завдяки формуванню особливої дрібногочастотої структури та особливому характеру формування залишкових напружень.

4.3. Розробка технології лазерного гартування

Існуючі види термічної обробки колінчатих валів призначені для надання цим деталям високих експлуатаційних властивостей. Зміцнення шийок здійснюють індукційним гартуванням струмами промислової чи високої частоти. Спосіб охолодження і вид охолоджуючого середовища вибирається конкретно з можливостей виробництва. Це може бути стиснене повітря, водяний душ, водо-повітряну суміш, масляний душ тощо. Все це є досить трудомістким процесом і вимагає значних енергетичних та витрат праці.

За останні 40 років в світі розроблена велика кількість режимів поверхневого індукційного гартування. Таке гартування скорочує тривалість процесу термічної обробки, створює умови для автоматизації процесу. Частота струму для індукційного гартування від машинного генератора від 500 до 10 000 Гц, від лампового – до 1000 000 Гц. Якщо глибина загартованого шару не перевищує 2 мм, використовують лампові генератори.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 75 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | |

Ефективним цей спосіб в масовому чи серійному виробництві. В ремонтному виробництві впровадження такого методу сильно збільшує вартість ремонту так як джерелом електроживлення слугують машинні чи лампові генератори, а інструментом – індуктори, які розробляються окремо для кожної деталі.

4.3.1. Застосування лазерного гартування для зміцнення автомобілів

Зміцнення лазерним променем, яке генерується в лазерах – генераторах світла також є високопродуктивним методом. Лазерне гартування здійснюється шляхом дуже швидкого короткочасного (10^{-3} - 10^{-6} с) нагрівання поверхні деталі концентрованим потоком енергії лазерного пучка до високих температур і швидкого охолодження завдяки інтенсивному відведенню теплоти в глибину металу. Швидкість охолодження досягає $10^3 - 10^5$ °C/с. З допомогою лазерного променя можливо створення в металевих виробах (приклад, кузов автомобіля) на визначених ділянках даної конструкції залишкових напружень, які мають однакові значення, але протилежні за знаком максимальним пружним напруженням, які виникають на цих ділянках при дії робочих навантажень в процесі експлуатації (рис.4.5)



Рисунок 4.5 - Можливі ділянки зміцнення кузова автомобіля

4.3.2. Установа «Квант - 18»

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | 76 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | | | | | |

Установка «Квант - 18» призначена для імпульсного термозміцнення робочих поверхонь металевих деталей з метою підвищення їх зносостійкості, а також для точкового зварювання металів.

В установці «Квант - 18» використано випромінювач з чотирма циліндричними чи одним прямокутним стрижнями із скла з неодимом, що дозволяє отримати на оброблюваній поверхні деталі «плями гартування» у вигляді кола чи прямо кутові.

Оптична система установки забезпечує стабільне положення площини обробки, при цьому розміри лазерного променя можуть плавно змінюватись в усьому діапазоні регулювання. Це дозволяє здійснювати корегування режимів зміцнення для різного оснащення незначною зміною розмірів «плям гартування»; при цьому тепловий режим випромінювача установки залишається без змін.

Використання довгофокусного об'єктиву дає можливість зміцнювати технологічне оснащення з перепадом висоти робочих елементів в межах ± 10 мм без переміщення оброблюваного виробу по вертикалі відносно об'єктиву. С метою підвищення якості термічної обробки покращенням рівномірності розподілу інтенсивності випромінювання в зоні обробки в оптичну систему установки введені корегуючі елементи (напівпрозорі дзеркала).

4.3.3. Технічна характеристика установки «Квант - 18»

Продуктивність:

в режимі термообробки (захисне середовище - аргон), $\text{мм}^2/\text{хв.}$ не менше 8,00 (в захисному середовищі до 9,00)

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 77 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | |

Максимальні розміри оброблюваних поверхень деталей, мм .200 x 200
x 300

Діаметр зони впливу випромінювання, см (для термічної обробки)
0,4...1,6

Діапазон регулювання енергії імпульса випромінювання, Дж .8...130

Частота повторення імпульсів: лазерного випромінювання, Гц не
менше 0,5

Тривалість імпульсів випромінювання на рівні 0,1, мс не менше 8...10

Потужність споживання, кВт не більше 20

Будова і принцип роботи установки

Імпульс світлового випромінювання великої інтенсивності
виробляється оптичним квантовим генератором (ОКГ) у вигляді
паралельного пучка променів.

Випромінювання створюється і підводиться до об'єкту за допомогою
оптичної системи. Джерелом випромінювання є твердотільний лазер з
активним елементом зі скла, активованого неодимом.

Живлення системи накачування і охолодження випромінювача
здійснюється від стояків 1 і 2 (рис. 4.6). В систему 2 вмонтовано індикатор
енергії лазерного випромінювання, датчик якого розміщено в оптичному
блоці. Для електроживлення імпульсної лампи оптичного накачування ОКР
служує випрямляч, джерело струму, ємностний накопичувач енергії. Для
подачі високовольтного імпульсу , який ініціює розряд ємностного
накопичувача через лампу накачування, служує блок підпалювання.
Нормальний тепловий режим стояку роботи ОКГ підтримує блок
охолодження.

Підключення усіх вузлів установки до електричної і газової мереж
здійснюється за допомогою блоку керування верстата. Вода зовнішнього

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 78 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | |

контуру охолодження подається безпосередньо на блок охолодження, який встановлено в 1.

До складу структурної схеми установки входить блок керування; блок випромінювання; оптичний блок стіл координатний; пристрій числового програмного керування.

Всі прилади, які потрібні для експлуатації установки, розміщені на блоках.

Оптична схема установки Квант -18 представлена на рис.4.6.

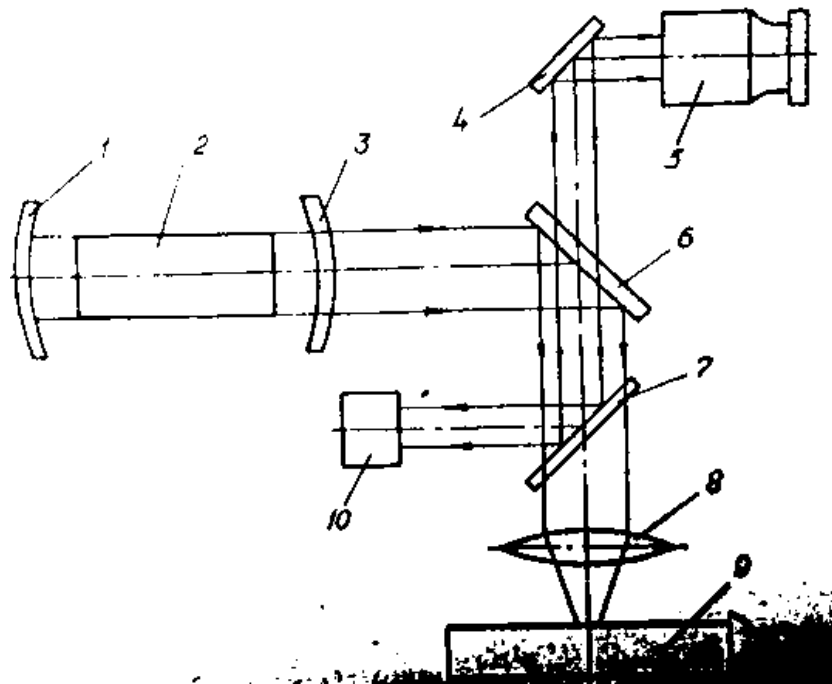


Рисунок 4.6- Оптична схема установки КВАНТ-18 :

1,3 - дзеркала резонатора; 2 – активний елемент ; 4, 6, 7 - дзеркала; 5 – біноклярна насадка; 8 – фокусуючі лінза; 9 – деталь ; 10 - вимірювач енергії

Основний режим роботи установки – термообробка.

Порядок роботи на установці «Квант - 18»

| Змн. | Арк. | № докum. | Підпис | Дата |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |

MP TAM 2216224. 000 ПЗ

Арк.

79

1. Відкрити кран подавання на установку води від водопровідної мережі. Відкрити вентиль балону чи магістралі з інертним газом і встановити за манометром редуктора тиск $0,5 \cdot 10^5$ Па.

2. Встановити оброблювальну деталь в площині зображення .

3. Виставити резистором « ЧАСТОТА Гц» потрібну для роботи частоту імпульсів.

4. На блоці керування включити автоматичний вимикач.

5. Натиснути кнопку «ВКЛ. ЖИВЛЕННЯ», включити систему охолодження.

6. На джерелі струму включити автоматичний вимикач і натиснути кнопку «ВИМКН.».

7. Встановити задану технологічним процесом напругу «НАПРУГА НАКОПИЧУВАЧА».

8. При роботі установки в одиничному режимі натиснути кнопку на панелі керування СУМ – 12 «РЕЖИМ ОДИНИЧНИЙ» і запустити установку натиснувши кнопку «ЗАПУСК». При роботі установки в частотному режимі на панелі керування СУМ-12 натиснути кнопку «РЕЖИМ ЧАСТОТ».

9. Вимкнення установки.

Закрити редуктор балону з захисним газом.

Закрити вентиль подачі води в систему охолодження.

Вимкнути установку переводом автоматичного вимикача на вихідне положення, а блок керування в положення «ВИМК.» і встановити усі елементи керування установкою у вихідне положення, а вимикач і резистори - в положення «О» і «ВИМК».

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 80 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | |

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ремонт автомобілів: Навчальний посібник / Упор. В. Я. Чабанний. – Кіровоград: Кіровоградська районна друкарня, 2007. – 720 с.
2. Технологія та обладнання для відновлення автомобільних деталей. Конспект лекцій / Укл. Авер'янов В.С.– Кам'янське: ДДТУ, 2018.–70 с.
3. Чернета О.Г. Основи технологічного виробництва при виготовленні та ремонту автомобілів / О.Г. Чернета, О.М. Коробочка, О.О. Сасов // – Кам'янське: ДДТУ, 2018. – 196 с.
4. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: Підручник. – К.: Знання-Прес, 2003. – 511 с.
5. Коваленко В.С., Головка Л.Ф., Меркулов Г.В. и др. Упрочнение деталей лучом лазера. - К.: Техника, 1981. - 132 с.
6. Мажейка, О.Б. Чайковський, Аль-Шара Мотаз Мухаммед, А.М. Лутай Лазерне термомодеформаційне зміцнення деталей сільськогосподарських машин: Кіровоград: Кіровоградська районна друкарня, 2010. – 20 с.
7. 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.
8. Матеріалознавство: методичні матеріали до самостійної роботи над курсом з варіантами завдань та прикладами їх виконання для студентів спеціальності автомобільний транспорт / О.С. Дробот. П.В. Каплун–Хмельницький: ХНУ, 2019.- 96 с.
8. Афанасьева, О. В., Мачехин, Ю. П., Лалазарова Н. А., & Свергун, Т. Ю. Особенности применения импульсных лазеров малой мощности для термического упрочнения железоуглеродистых сплавов. Сборник научных

| | | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|--|------------------------|------|
| | | | | | | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | | | | | | 82 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | | | | | | |

трудов II-й международной конференции Электронная компонентная база. Состояние и перспективы развития. (С. 125-127). (2009). Харьков: АН ПРЭ. ХНУРЭ.

9. Конспект лекцій з дисципліни „Формування структури і властивостей при лазерній поверхневій обробці” для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 132 «Матеріалознавство» усіх форм навчання / Укл.: Косинська О.Л. - Кам’янське, ДДТУ, 2019р. , 47с.

10. Розробка технології відновлення з використанням лазерного променя [Текст] / Т.С. Скобло , А.И. Сидашенко, А.В. Сайчук, В.Л. Манило // Научный вестник Луганского национального аграрного университета. Серия «Технические науки» - 2011 - №30 – 257-265.

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

12. Ковальчук Ю.А., Пушка А.С., Войтик А.В. Вплив поглинаючих покриттів на глибину лазерної обробки деталей сільськогосподарської техніки зі сталі 45 / Сб. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація, 2017, вип.30. с. 16 -21.

13. 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

14. Диха О.В. Розрахунки і випробування на надійність машин і конструкцій: навч. посібник / О.В.Диха, Р.В. Сорокатиий , О.П. Бабак . - Хмельницький : ХНУ, 2011. - 151с.

15. Міжвузівський збірник «Наукові нотатки ».Луцьк, 2013 . Вип. 42. с.78

16. Рябцев И.А. Наплавка деталей машин и механизмов / Рябцев И.А. - К.: Екотехнологія, 2004. - 160 с.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 83 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

17. Б.В. Данильченко. Наплавка. К.: Наукова думка / 1983. -76 с.
18. Харьяков А.В. Особенности формирования восстановленного слоя при плазменно-порошковой наплавке коленчатых валов двигателей СМД-60. Новые решения в современных технологиях. Вестник ХГПУ Выпуск № 81 - Харьков 2000. - с.51 -52.
19. Скобло Т.С. , Сидашенко А.И. , Харьяков А.В., Науменко А.А. Восстановление эксплуатационных свойств деталей машин нанесением износостойких покрытий плазменно - порошковым методом. Вісник Полтавської державної аграрної академії. - Полтава. № 4 , 2006. - С.90 -92.
20. Восстановление и повышение износостойкости и срока службы деталей машин / под ред .В.С. Попова. - Запорожье: Изд-во ОАО «Мотор Сич» , 2000. -394с.
21. Воловик Е.Л. Справочник по восстановлению деталей / Е.Л. Воловик. - М.: Колос, 1981. - 351 с.
22. Технологія конструкційних матеріалів і основи матеріалознавства в технічних системах охорони державного кордону./ О.С.Дробот, С.Я Підгайчук, Л.В. Боровик / Навчальний посібник. Рекомендований Вченою Радою Національної академії Державної прикордонної служби України ім.Б.Хмельницького. м. Хмельницький. НАДПСУ, 2019. 264с.
23. Лабунець В.Ф. Износостойкие боридные покрытия /В.Ф. Лабунець, Л.Г. Ворошнин, М.В. Киндрачук.- К. : Техника, 1989. – 158с.
24. 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.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 84 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ДОДАТКИ

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|-------------------------------|------|
| | | | | | <i>MP TAM 2216224. 000 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 85 |

Додаток А

1. Рекомендації до виконання технології лазерного гартування

Лазерні доріжки зміцнення наносити на робочу поверхню вала за гвинтовою лінією з коефіцієнтом заповнення зони зміцнення 70—90 %.

Рекомендовані режими опромінювання : потужність $W = 0,6 \dots 1,0$ кВт,

Швидкість опромінювання $V = 10 - 11$ мм/с

Операція полірування (або суперфінішування) , кінцева чистота шийок вала повинна відповідати шорсткості $Ra = 0,63 - 0,32$ мкм.

Для підвищення якості поверхні шийок колінчастих валів, підвищення їх припрацювання рекомендовано піддати шийки фінішній антифрикційній безабразивній обробці (ФАБО), суть якої полягає в тому, що поверхні шийок, що труться, покривають тонким шаром латуні, бронзи або міді, використовуючи явище переносу металу при терті. Товщина перенесеного металу 1—3 мкм.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 86 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | |

Додаток Б

2. Публікації

X11-а Міжнародна науково-практична конференція «Розвиток сучасної освіти і науки: результати, проблеми, перспективи. Якісні дослідження для покращення життя людини» м. Полтава березень 2022 р.

Підвищення зносостійкості сталі ШХ15

Дробот Ольга - кандидат технічних наук, доцент кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства Хмельницького національного університету.

Чорнобривий Василь - магістрант кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства Хмельницького національного університету.

Підвищення зносостійкості сталі ШХ15

Досліджено вплив складу насичуючого середовища при хіміко-термічній

обробці на зносостійкість сталі ШХ15

Сучасне машинобудування вимагає зносостійких та надійних матеріалів. Розробка нових матеріалів вимагає значних трудових затрат та тривалих досліджень.

Ефективним шляхом у вирішенні цих задач є зміна властивостей поверхневих шарів. Покриття можна нанести дифузійним шляхом, наплавленням, напиленням тощо.

Значна кількість наукових досліджень спрямованих на зміну властивостей поверхні базується на використанні хіміко-термічної обробки.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 87 |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата | | |

Мікроструктура боридних шарів має характерну голчасту будову і складається з боридів заліза $FeB \rightarrow Fe_2B$. Зносостійкість сталі ШХ15 з нанесеним боридним покриттям в умовах тертя кочення без мащення у 2 - 4 рази вища за зносостійкість цементованої сталі.

Література.

- ГОСТ 801-78 Сталь шарикоподшипникова. Технические условия.
- Лабунець В.Ф. Износостойкие боридные покрытия /В.Ф. Лабунець, Л.Г. Ворошнин, М.В. Киндрачук.- К. : Техника, 1989. – 158с.
- 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.

Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні питання науки, освіти і суспільства в Україні та світі»

| | |
|---|----|
| Міщенко М. В., Штаркоць С. Ю., Гербова Т. В. ВПЛИВ ПОТЕНЦІЙНОГО АНТИКОМПУЛЬСАНТА 5-[(Z)-(4-ІТРОБЕНЗИДЕН)]-2-ІАЗОЛ-2-ІІМНО)-4-ІІАЗОЛІДІНОЛУ НА ВМІСТ 8-ІЗОПРОСТАЛУ, НЕЙРОН-СПЕЦИФІЧНОЇ ЕНОЛАЗИ ТА АКТИВНІСТЬ NA ⁺ -K ⁺ -АТФАЗИ У ГОЛОВНОМУ МОЗКУ МИШІ НА МОДЕЛІ ПЕНТИЛЕНТЕТРАЗОЛОВОГО КВІДЛІНГУ..... | 63 |
| Штаркоць С. Ю., Штаркоць Д. Ю., Демченко Н. О. МОДУЛЯЦІЯ ПРОТИСУДНОЇ ДІЇ ВАЛЬПРОАТУ НАТРИЮ СОЛЬОВИМ РЕЖИМОМ РАЦІОНУ..... | 65 |
| СЕКЦІЯ 7. ТЕХНІЧНІ НАУКИ SECTION 7. TECHNICAL SCIENCES..... | 67 |
| Дробот О. С., Підгайчук С. Я., Чорнобривий В. А. ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ СТАЛІ ШХ15..... | 67 |
| Дробот О. С., Підгайчук С. Я., Степанюк О. М. АНТИФРИКЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ГІБРИДНИХ КАРБОПЛАСТИКІВ..... | 68 |
| СЕКЦІЯ 8. ІСТОРИЧНІ НАУКИ SECTION 8. HISTORICAL SCIENCES..... | 70 |
| Манян О. І. УЧАСТЬ СПІСКОПАТУ МАРАМОРСЬКОЇ СПАРХІ В РОЗБУДОВІ МОНАСТІРІВ РУМУНІЙ У 1690 – 1740 РР..... | 70 |
| Жукович Н. М., Жукович О. М. | |

Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні питання науки, освіти і суспільства в Україні та світі»

УДК 33
ББК 65

Актуальні питання науки, освіти і суспільства в Україні та світі: збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції (Полтава, 30 березня 2022 р.). Полтава: ЦФЕДІ, 2022. 92 с.

У збірнику тез доповідей представлено матеріали учасників Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні питання науки, освіти і суспільства в Україні та світі»: ДВНЗ Ужгородський національний університет, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Закарпатський державний університет імені Івана Федорова, Закарпатський угорський інститут імені Ференца Ракоці II, Інститут педагогіки НАПН України, Інститут проблем виховання НАПН України, Київський національний університет імені Івана Огієнка, Львівський національний університет імені Івана Франка, Музей вилатних діачів української культури «Лесі Українки, Миколи Лисенка, Павла Саскависького, Михайла Староцького», Національна академія Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького

Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні питання науки, освіти і суспільства в Україні та світі»

СЕКЦІЯ 7
SECTION 7

ТЕХНІЧНІ НАУКИ
TECHNICAL SCIENCES

УДК 672.1

Дробот О. С.
к.т.н., доцент,
доцент кафедри трибології,
автомобілів та матеріалознавства
Хмельницький національний університет,
Підгайчук С. Я.
к.т.н., доцент,
доцент кафедри загальнонаукових
та інженерних дисциплін
Національна академія Державної прикордонної
служби України імені Богдана Хмельницького,
Чорнобривий В. А.
магістрант кафедри трибології,
автомобілів та матеріалознавства
Хмельницький національний університет

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ СТАЛІ ШХ15

Сучасне машинобудування вимагає зносостійких та надійних матеріалів. Розробка нових матеріалів вимагає значних трудових затрат та тривалих досліджень. Ефективним шляхом у вирішенні цих задач є зміна властивостей поверхневих шарів. Покриття можна нанести дифузійним шляхом, наплавленням, напиленням тощо.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------------|
| Змн. | Арк. | № докum. | Підпис | Дата | MP TAM 2216224. 000 ПЗ | Арк. 89 |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------------|

Додаток В
(Презентація)

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|-------------------------------|------|
| | | | | | <i>MP TAM 2216224. 000 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 90 |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | |

***« Розробка технології лазерного
гартування для зміцнення корінних
шийок колінчатого валу
автомобіля »***

Студент гр. МТВАм21-1
Чорнобривий Василь
Анатолійович

Керівник роботи
Дробот О.С., к.т.н., доц.

Цілі та задачі роботи

Мета роботи: на основі вивчення умов роботи колінчатого валу, визначення дефектів, що виникають при цьому, існуючих методів відновлення та зміцнення, розробити технологію відновлення та зміцнення цієї деталі гартуванням з використанням лазерного гартування.

Тому вирішувались такі **задачі:**

1. Науково обґрунтувати використання технології лазерного гартування для зміцнення шийок колінчатого валу.
2. Дослідити вплив лазерного гартування на структуру оброблених шийок та їх зносостійкість.
3. Встановити зв'язок властивостей зміцнених шийок з експлуатаційними властивостями відновлених деталей.
4. Запропонувати технологію гартування лазерним нагріванням для підвищення зносостійкості шийок колінчатого валу.

Об'єктом досліджень є зношені колінчаті вали легкових автомобілів

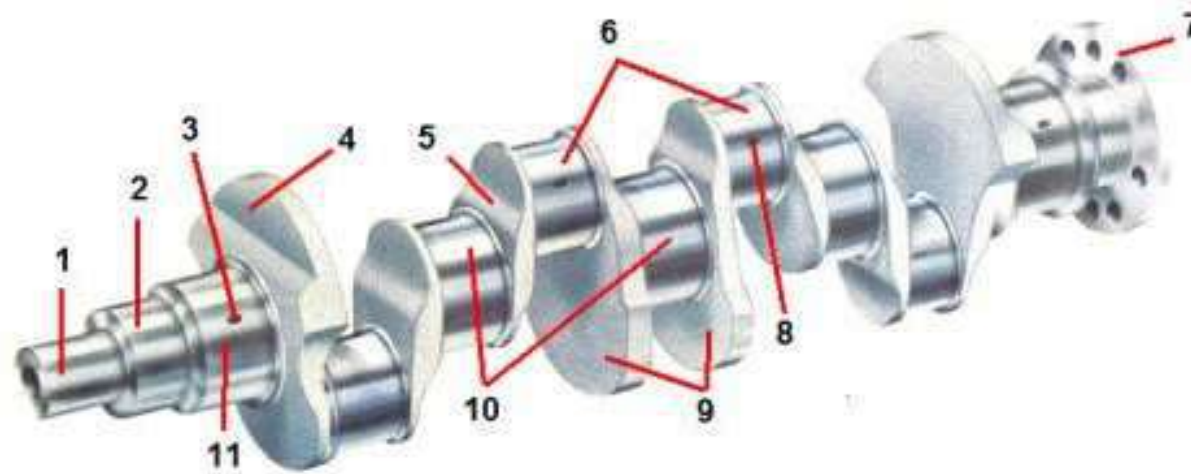
Предмет досліджень - технологія відновлення зношених колінчатих валів лазерним гартуванням.

Наукова новизна роботи. В роботі науково обґрунтована технологія підвищення зносостійкості корінних шийок відновлених колінчатих валів лазерним гартуванням шийок.

Практична значимість отриманих результатів

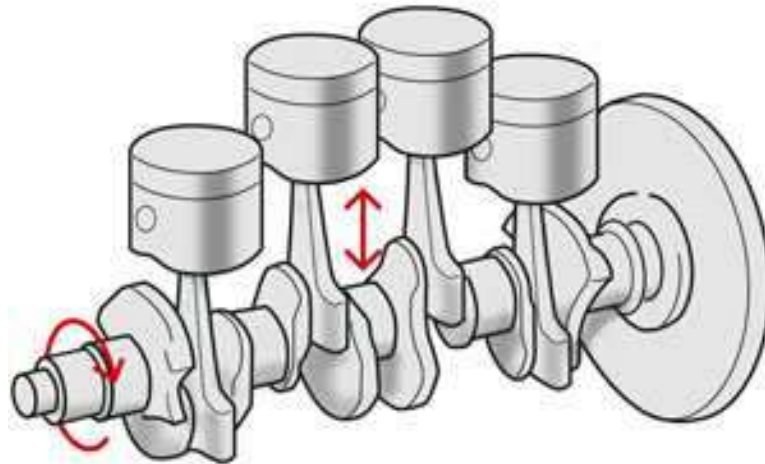
Розроблена технологія підвищення зносостійкості корінних шийок відновлених колінчатих валів з використанням лазерного гартування.

Основні елементи колінчатого валу



1. Носок колінчатого валу; 2. Посадочне місце зірочки (шестерні) приводу розподільчого валу. 3. Отвір підводу масла до корінної шийки. 4. Противага. 5. Щока. 6. Шатунні шийки. 7. Фланець маховика. 8. Отвір підводу масла до шатунної шийки. 9. Противаги. 10. Корінні шийки. 11. Корінна шийка упорного підшипника.

Принцип дії колінчатого валу двигуна



В камерах згорання відбувається процес згорання палива і видалення газів. Розширюючись, гази діють на поршні, які виконують поступальні рухи. Поршні передають механічну енергію шатунам, які з'єднані з ними втулкою чи поршневим пальцем. Шатун в свою чергу з'єднаний з шийкою колінчатого валу підшипником, внаслідок чого кожний поступальний поршневий рух перетворюється в обертовий рух вала. Після того як відбувається повертання на 180°, шатунна шийка рухається в зворотному напрямку, забезпечуючи поворотальний рух поршня. Потім цикли повторюються.

Матеріали і технології виготовлення колінчатих валів

- Колінчаті вали виготовляють з вуглецевих та легованих сталей: 45, 45Х, 45Г2, 50Г, 40ХНМА, 18ХНВА. Термічна обробка гартування і високий відпуск, або цементация, гартування і низький відпуск.
- Твердість шийок 60 HRC досягають лазерним гартуванням, гартуванням струмом високої частоти, азотуванням, цементациєю, що значно підвищує ресурс роботи вала. Глибина загартованого шару шийок дозволяє використовувати 4 - 6 проміжних ремонтних розміри шийок вала.
- Матеріали для чавунних валів: марки ВЧ 500-12, ВЧ 700-2.
- Чавунні вали поступаються властивостями сталевим.

Аналіз дефектів і причин виходу з ладу

Можливі дефекти колінчатого валу.

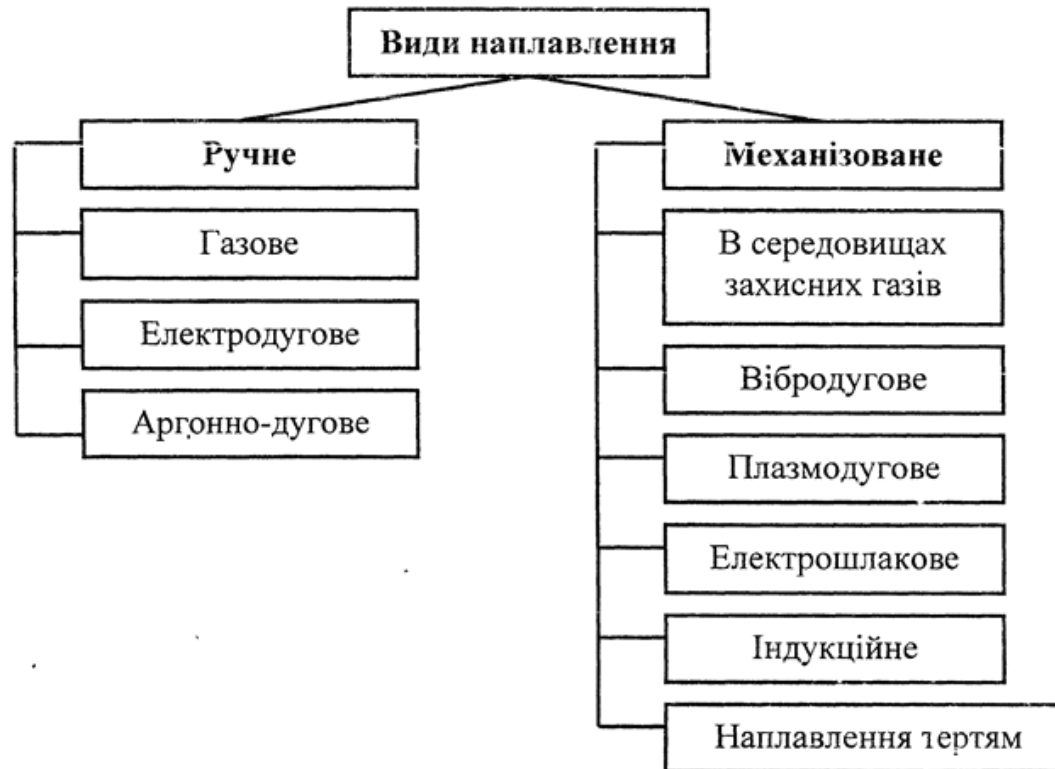
1. Підвищений знос шийок колінчатого валу ;
2. Задирки на поверхнях шийок колінчатого валу;
3. Знос поверхонь під півкільця осьового зміщення колінчатого валу;
4. Дряпину на поверхнях шийок колінчатого валу;
5. Биття, прогин колінчатого валу.
6. Зміна розміру шийок;
7. Тріщини колінчатого валу.

Дефекти виникають внаслідок дії ударних динамічних навантажень, сил тертя, невірноважених моментів, крутильних коливань і вібрацій, високої температури, статичних навантажень від деталей, що сполучаються, недоліків при виконанні складальних операцій двигуна.

Тріщина колінчатого вала – найбільш небезпечний дефект, викликає утомне руйнування, виводить з ладу майже всі деталі двигуна.

При наявності тріщини будь - якого розміру колінчатий вал не ремонтується.

Методи зміцнення та відновлення колінчатих валів



Схеми основних видів наплавлення

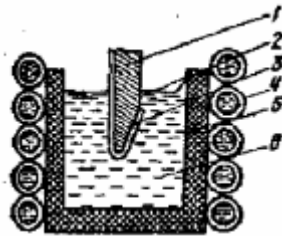


Схема індукційного наплавлення
1 – деталь; 2 – флюс; 3 – наплавлений (затверділий) сплав; 4 – індуктор плавильної установки; 5 – тигель; 6 – рідкий сплав

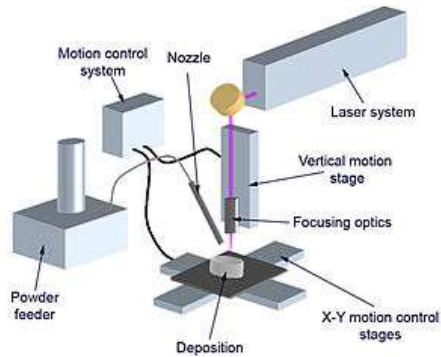
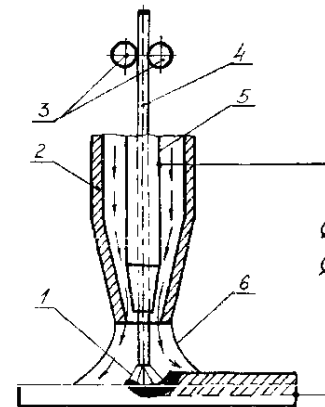
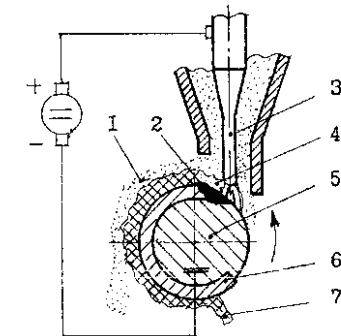


Схема лазерного наплавлення

Схеми наплавлення

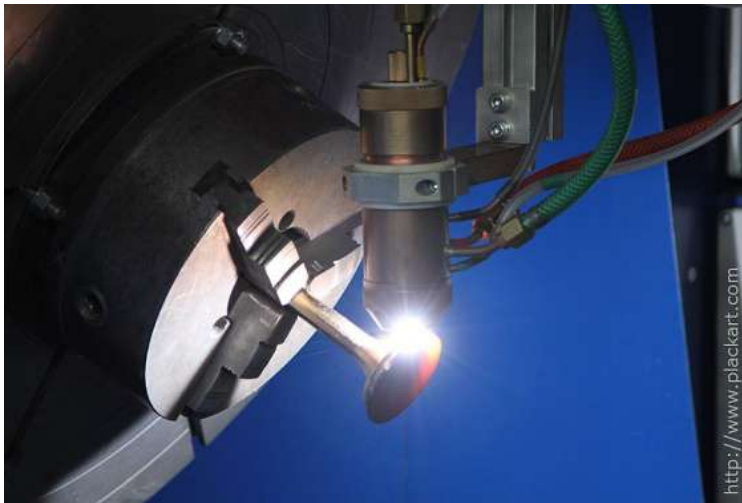


у середовищі вуглекислого газу



під шаром флюсу

Схеми плазмової обробки зношених поверхонь

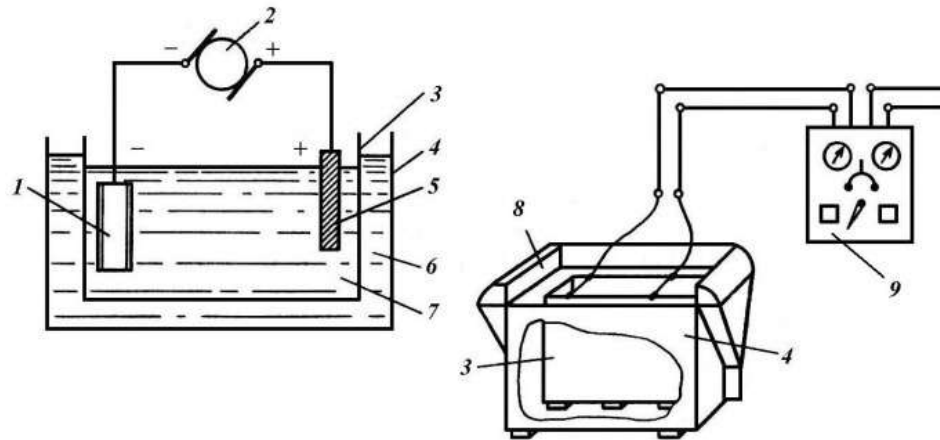


Плазмове наплавлення



Плазмове напилення

Схема нанесення електролітичних покриттів



Ванна для хромування:

1 – деталь, що хромується; 2 – джерело постійного струму; 3 – внутрішній бак; 4 – зовнішній бак; 5 – анод; 6 – вода для підігріву електроліту; 7 – електроліт; 8 – бортовий відсмоктувач; 9 – електроцит

Постановка задачі

- **Розробити технологічний процес відновлення та зміцнення шийок колінчатого валу проведенням лазерного гартування.**
- Виходячи з проведеного огляду способів відновлення зношених деталей треба відмітити, що способів і методів відновлення є значна кількість, але перевагу потрібно віддавати тим способам, які забезпечують одержання потрібних експлуатаційних властивостей та відповідають можливостям ремонтного виробництва

Обладнання для проведення досліджень. Лазерні генератори

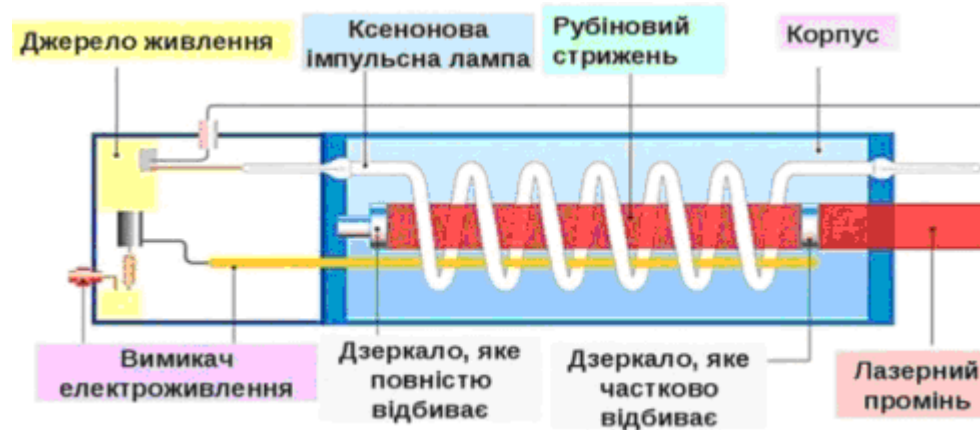
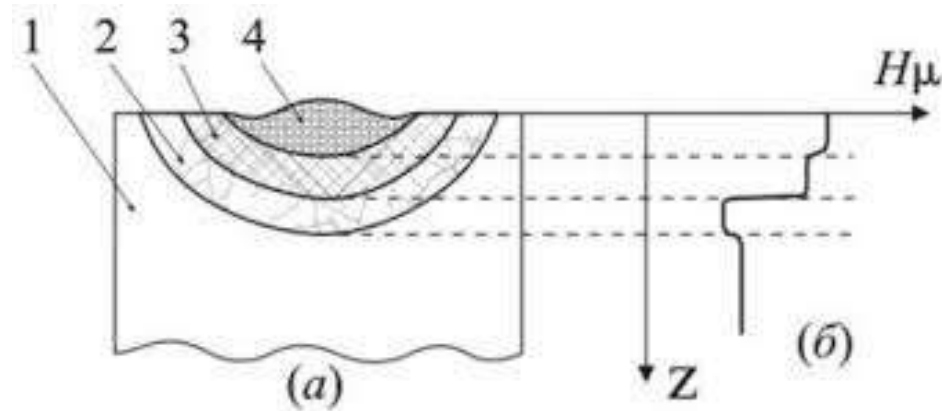


Схема будови лазера на рубіні

Імпульсні лазери використовують промені з довжиною хвилі 1,06 мкм.

Схема формування шарів в зоні лазерного впливу



- 1 - зона оплавлення; 2 – зона гартування з твердої фази; 3 – перехідний шар; 4 – вихідна структура

Прилади та інструменти для досліджень



Цифровий мікроскоп XS - 3330



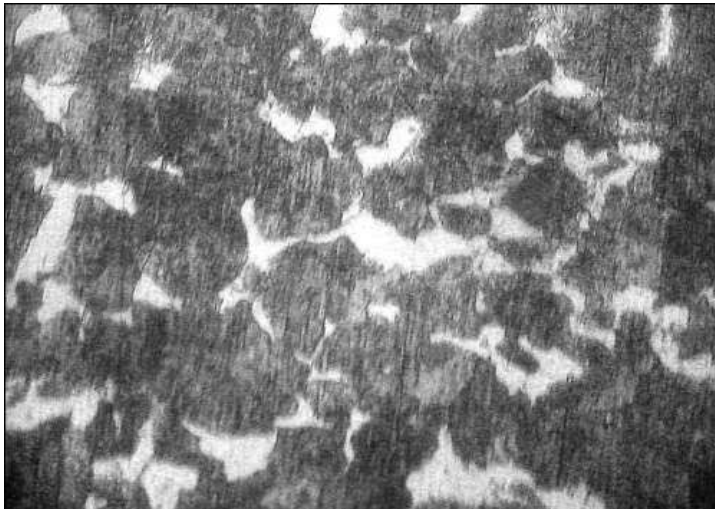
Прилад мікротвердості ПМТ-3

Автоматизована машина для випробувань на знос.



Tribometer, CSM Instruments

Мікроструктурі дослідження

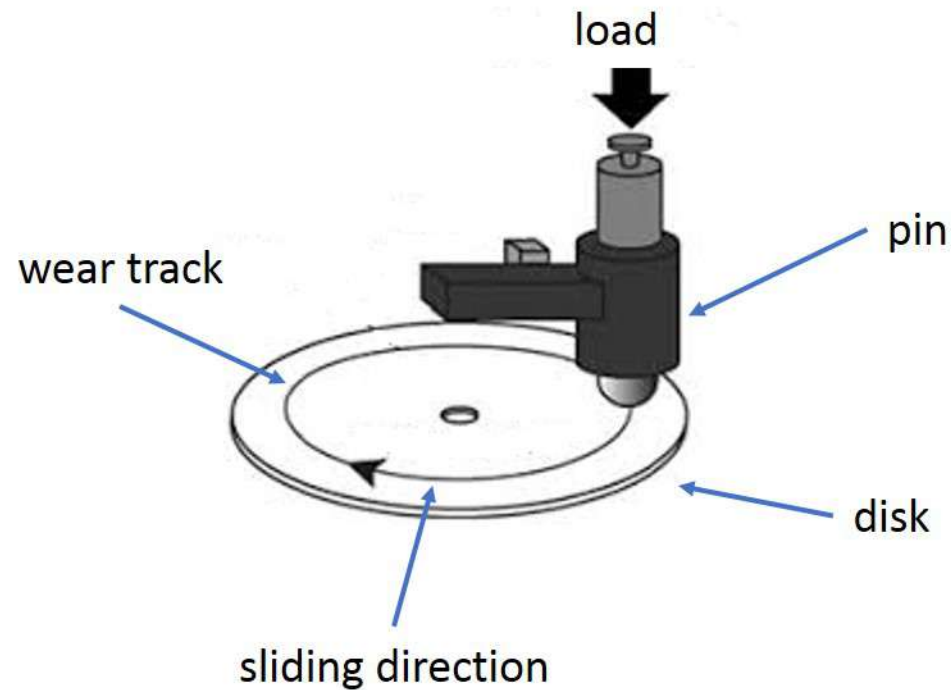


Структура сталі 40X у вихідному стані



Структура сталі після лазерного гартування

Стандартна схема випробувань «куля- диск»



R - радіус кривизни зносу; r - радіус зразка; F - прикладена сила

Характеристика зносостійкості після звичайного та лазерного гартування

Порівняння характеристик зносостійкості для деталей із сталі 45, що зміцнені об'ємним та лазерним гартуванням ($P=1\text{кВт}$, $V=25\text{ мм/с}$) [6].

| | | |
|--------------------------------------|---|---|
| Відносний знос – Q | - | звичайне гартування - $8,2 \cdot 10^{-7}$ лазерне гартування – 1,1 |
| Коефіцієнт тертя – f | | звичайне гартування - 6,7 лазерне гартування – 3,9 |
| Число циклів до припрацювання | | звичайне гартування - 20 лазерне гартування – 4 |

Висновки по роботі

1. Лазерне гартування може бути впроваджене для зміцнення корінних шийок колінчатого валу. Дуже швидке і короткочасне (10⁻³- 10⁻⁶ с) нагрівання поверхні деталі концентрованим потоком енергії лазерного пучка до високих температур з наступним швидким охолодженням (10³ – 10⁵ оС/с) сприяє збереженню форми та розмірів вала, так як значний термічний вплив на шари металу, що знаходяться нижче практично відсутній.

2. Мартенсит, що утворюється при лазерному гартуванні є більш дисперсним ніж при звичайному гартуванні, що зумовлює більш високу мікротвердість, ніж після звичайних видів гартування (для сталей на 1000 ...2000 мПа).

3. Лазерні доріжки зміцнення наносити на робочу поверхню вала за гвинтовою лінією з коефіцієнтом заповнення зони зміцнення в межах 70—90 %.

4. Рекомендовані режими опромінювання: потужність $W = 0,6 \dots 1,0$ кВт,
Швидкість опромінювання $V = 10 - 11$ мм/с.

5. Для покриття, яке призначене для підвищення оптичної поглинальної здатності сталевій поверхні доцільно вибрати колоїдні розчини вуглецю в ацетоні.

6. Випробування на знос проведені для двох колінчатих валів, шийки яких були зміцнені струмом високої частоти (№1) та лазерним гартуванням (№2) показали, що знос шийок колінчатого валу № 2, який був зміцнений лазерним гартуванням майже, у 1,5 рази нижчий, ніж вала № 1, який був зміцнений гартуванням струмом високої частоти.

7. Межа витривалості після лазерного гартування підвищується з 200...300МПа до 280..520 МПа

Результати досліджень рекомендовані для впровадження в учбовий процес при читанні лекцій, лабораторних робіт студентам спеціальностей «Матеріалознавство» та «Автомобільний транспорт»

Під час навчання в магістратурі брав участь у роботі науково-практичної конференції м. Полтава

X11-а Міжнародна науково-практична конференція «Розвиток сучасної освіти і науки: результати, проблеми, перспективи. Якісні дослідження для покращення життя людини» м. Полтава березень 2022 р.

Дробот Ольга - кандидат технічних наук, доцент кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства Хмельницького національного університету.

Чорнобривий Василь Анатолійович - магістрант кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства Хмельницького національного університету.

Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції
«Актуальні питання науки, освіти і суспільства в Україні та світі»

| | |
|--|----|
| <i>Мищенко М. В., Штригель С. Ю., Горбач Т. В.</i> ВПЛИВ ПОТЕНЦІЙНОГО АНТИКОНВУЛЬСАНТА 5-(Z)-(4-НІТРОБЕНЗИЛІДЕН)-2-(ТІАЗОЛ-2-ІЛІМІНО)-4-ТІАЗОЛДИНОНУ НА ВМІСТ 8-ІЗОПРОСТАНОУ, НЕЙРОН-СПЕЦИФІЧНОЇ ЕНОЛАЗИ ТА АКТИВНІСТЬ Na^+ - K^+ -АТФАЗИ У ГОЛОВНОМУ МОЗКУ МИШЕЙ НА МОДЕЛІ ПЕНТИЛЕНТЕТРАЗОВОГО КІНДЛІНГУ | 63 |
| <i>Штригель С. Ю., Шпортюк Д. Ю., Демченко Н. О.</i> МОДУЛЯЦІЯ ПРОТІСУДОМНОЇ ДІЇ ВАЛЬПРОАТУ НАТРІУ СОЛЬОВИМ РЕЖИМОМ РАЦІОНУ | 65 |
| СЕКЦІЯ 7. ТЕХНІЧНІ НАУКИ SECTION 7. TECHNICAL SCIENCES | 67 |
| <i>Дробот О. С., Підгайчук С. Я., Чорнобривий В. А.</i> ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ СТАЛІ ШХ15 | 67 |
| <i>Дробот О. С., Підгайчук С. Я., Степанюк О. М.</i> АНТИФРИКЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ГІБРИДНИХ КАРБОПЛАСТИКІВ | 68 |
| СЕКЦІЯ 8. ІСТОРИЧНІ НАУКИ SECTION 8. HISTORICAL SCIENCES | 70 |
| <i>Монич О. І.</i> УЧАСТЬ ЄПІСКОПАТУ МАРАМОРОСЬКОЇ ЄПАРХІЇ В РОЗБУДОВІ МОНАСТІРІВ РУМУНІЇ У 1690 – 1740 РР. | 70 |
| <i>Жулкавич Н. М., Жулкавич О. М.</i> | |

Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції
«Актуальні питання науки, освіти і суспільства в Україні та світі»

СЕКЦІЯ 7 **ТЕХНІЧНІ НАУКИ**
SECTION 7 **TECHNICAL SCIENCES**

УДК 672.1

Дробот О. С.
к.т.н., доцент,
доцент кафедри трибології,
автомобілів та матеріалознавства
Хмельницького національного університету,
Підгайчук С. Я.
к.т.н., доцент,
доцент кафедри загальнонаукових
та інженерних дисциплін
Національна академія Державної прикордонної
служби України імені Богдана Хмельницького,
Чорнобривий В. А.
магістрант кафедри трибології,
автомобілів та матеріалознавства
Хмельницького національного університету

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ СТАЛІ ШХ15

Сучасне машинобудування вимагає зносостійких та надійних матеріалів. Розробка нових матеріалів вимагає значних трудових затрат та тривалих досліджень. Ефективним шляхом у вирішенні цих задач є зміна властивостей поверхневих шарів. Покриття можна нанести дифузійним шляхом, наплавленням, напленням тощо

Дякую за увагу!!!

