



ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА ТА ТРАНСПОРТУ

КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»



КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

«Підвищення довговічності колінчастих валів ДВЗ при їх відновленні
на базі ТОВ «Калита-Нова» м. Кропивницький»

Виконав:

магістрант групи АІ(ТС)-22М _____ Максим ПРЯДУН
(шифр групи) (підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник:

д.т.н., професор _____ Ігор ШЕПЕЛЕНКО
(науковий ступінь, ім'я та прізвище) (підпис) (ім'я та прізвище)

«ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри:

к.т.н., доцент _____ Сергій МАГОПЕЦЬ
(науковий ступінь, ім'я та прізвище) (підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2023 р.

Рецензент:

_____ (підпис) _____ (ім'я та прізвище)
(науковий ступінь, ім'я та прізвище)

«__» _____ 2023 р.

Кропивницький – 2023 р.

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА ТА ТРАНСПОРТУ
КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

Рівень вищої освіти: другий (магістерський) рівень вищої освіти

Галузь знань: 20 «Аграрні науки та продовольство»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

Освітньо-професійна програма: «Технічний сервіс сільськогосподарської техніки»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри «Експлуатація та
ремонт машин»

_____ Сергій МАГОПЕЦЬ
«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

Прядуна Максима Вікторовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Підвищення довговічності колінчастих валів ДВЗ при їх відновленні на базі ТОВ «Калита-Нова» м. Кропивницький»

керівник роботи Щепеленко Ігор Віталійович, _____ професор

(прізвище, ім'я, по батькові)

д.т.н.,
(науковий ступінь)

(якщо є)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «04» 08 2023 року №42-13

2. Строк подання здобувачем роботи «22» грудня 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи Матеріали науково-дослідної практики.

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

4.1 Розділ 1. Основні етапи створення та розвитку ТОВ «Калита-Нова». Актуальність підвищення довговічності колінчастих валів двигунів внутрішнього згорання. Колінчастий вал. Конструкції, призначення та принципи дії. Висновки по розділу 1.

4.2 Розділ 2. Закономірності зношування колінчастих валів ДВЗ. Способи відновлення шийок колінчастого валу. Віб्राційне накочування як спосіб зміцнюючої обробки наплавлених валів. Створення регулярного мікрорельєфу на наплавлених поверхнях віб्राційним накочуванням. Технологічне оснащення і обладнання, що використовується при вібронакочуванні. Вибір параметрів вібронакочування. Висновки по розділу 2.

4.3 Розділ 3. Конструктивні особливості та дефекти колінчастих валів ДВЗ. Вибір режимів віброударного наплавлення. Вибір оптимального режиму вібронакопчування методом математичного планування експериментів. Особливості утворення ПРМР на поверхні осцилюючої деталі багатошариковими накатниками. Дослідження експлуатаційних характеристик колінчастих валів оброблених за запропонованою технологією. Експлуатаційні випробування. Висновки по розділу 3.

4.4 Розділ 4. Визначення економічної ефективності при відновленні колінчастих валів ДВЗ за розробленою технологією. Правила техніки безпеки та протипожежні заходи при виконанні відновлення колінчастих валів. Висновки по розділу 4.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: Класифікація методів відновлення колінчастих валів. Схема наплавлення. Схеми вібраційного накопчування. Ремонтне креслення колінчастого валу. Оптимізація режимів вібраційного накопчування. Результати зносостійких досліджень. Результати експлуатаційних випробувань.

ГРАФІК ВИКОНАННЯ ЕТАПІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1. Історія створення та розвитку підприємства ТОВ «Калита-Нова». Обґрунтування теми магістерської роботи	10.11.2023	
2	Розділ 2. Аналіз літературних джерел за темою досліджень	24.11.2023	
3	Розділ 3. Результати досліджень довговічності колінчастих валів ДВЗ при їх відновленні	05.12.2023	
4	Розділ 4. Обґрунтування ефективності прийнятих технічних рішень та охорона праці при відновленні колінчастих валів	12.12.2023	
5	Оформлення ілюстративного матеріалу	22.12.2023	

Магістрант _____
(підпис)

Прядун М.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Ігор ШЕПЕЛЕНКО
(ім'я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна магістерська робота присвячена підвищенню довговічності колінчастих валів двигунів внутрішнього згорання при їх відновленні.

Метою представленої роботи є підвищення якості відновлення колінчастих валів двигунів внутрішнього згорання.

Об'єкт дослідження – технологічний процес відновлення колінчастих валів двигунів внутрішнього згорання.

Предметом дослідження є зношена поверхня колінчастого валу.

З'ясовано, що однією з найбільш відповідальних, дорогих, а також складних у ремонті деталей двигуна внутрішнього згорання є колінчастий вал. Аналіз дефектів колінчастого валу показав, що найбільший відсоток становить знос шийок.

Проведено аналіз існуючих способів відновлення колінчастого валу. Це дозволило встановити, що найбільш ефективним способом відновлення шийок колінчастих валів виглядає вібродугове наплавлення. Для зміцнення наплавленої поверхні запропоновано використання вібраційне накочування.

Розроблений технологічний процес відновлення колінчастих валів ДВЗ, що вміщують операції вібродугового наплавлення та вібраційного накочування.

Визначені оптимальні режими вібраційного накочування.

Проведені експериментальні дослідження, які дозволили встановити зменшення інтенсивності зношування дослідженої поверхні.

Експлуатаційні випробування підтвердили підвищення зносостійкості деталі.

Розраховано економічний ефект при відновленні колінчастих валів ДВЗ за розробленою технологією.

Розглянуті основні положення правил техніки безпеки та протипожежні заходи при виконанні відновлення колінчастих валів.

Кваліфікаційна магістерська робота складається з вступу, 4 розділів, висновків; містить 72 сторінки тексту, 30 рисунків, 10 таблиць.

ЗМІСТ

стор.

ВСТУП.....

РОЗДІЛ 1. ІСТОРІЯ СТВОРЕННЯ ТА РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВА ТОВ «КАЛИТА-НОВА». ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕМИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

1.1. Основні етапи створення та розвитку ТОВ «Калита-Нова».....

1.2. Актуальність підвищення довговічності колінчастих валів двигунів внутрішнього згорання

1.3. Колінчастий вал. Конструкції, призначення та принцип дії

1.4. Висновки по розділу 1.....

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Закономірності зношування колінчастих валів ДВЗ

2.2. Способи відновлення шийок колінчастого валу

2.3. Вібраційне накочування як спосіб зміцнюючої обробки наплавлених валів ...

2.4. Створення регулярного мікрорельєфу на наплавлених поверхнях вібраційним накочуванням

2.5. Технологічне оснащення і обладнання, що використовується при вібронакочуванні

2.6. Вибір параметрів вібронакочування

2.7. Висновки по розділу 2.....

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ДОВГОВІЧНОСТІ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ ДВЗ ПРИ ЇХ ВІДНОВЛЕННІ

3.1. Конструктивні особливості та дефекти колінчастих валів ДВЗ

3.2. Вибір режимів вібродугового наплавлення	
3.3. Вибір оптимального режиму вібронакочування методом математичного планування експериментів	
3.4. Особливості утворення ПРМР на поверхні осцилюючої деталі багатошариковими накатниками	
3.5. Дослідження експлуатаційних характеристик колінчастих валів оброблених за запропонованою технологією	
3.5.1 Зносостійкість	
3.5.2 Експлуатаційні випробування	
3.6. Висновки по розділу 3	

РОЗДІЛ 4. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЙНЯТИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ

4.1. Визначення економічної ефективності при відновленні колінчастих валів ДВЗ за розробленою технологією	
4.2. Правила техніки безпеки та протипожежні заходи при виконанні відновлення колінчастих валів	
4.3. Висновки по розділу 4.....	

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....

Вступ

Забезпеченість ремонтного виробництва запасними частинами є головним чинником підвищення технічної готовності автомобільного парку. Розширення виробництва нових запасних частин пов'язане зі збільшенням матеріальних і трудових витрат. Водночас близько 75% деталей, що вибраковуються під час першого капітального ремонту автомобілів, є ремонтпридатними або можуть бути використані взагалі без відновлення [1].

У зв'язку з цим доцільною альтернативою розширенню виробництва запасних частин є вторинне використання зношених деталей, що відновлюються в процесі ремонту автомобілів та їхніх агрегатів.

Відомо, що 95% деталей двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) вибраковують у разі зносу, що не перевищує 0,3 мм, і їх можна вдруге використовувати після відновлення.

Однією з дорогих деталей ДВЗ є колінчасті вали, які в даний час відновлюються різними методами [2]. Однак у практиці ремонтних підприємств їх застосування обмежене через суттєві недоліки. До них слід віднести значне викривлення валу, наявність тріщин і пор, зниження втомної міцності, низьку оброблюваність металопокриттів, високі енергетичні витрати на нанесення металевих покриттів.

Із зазначеного випливає, що ремонт і відновлення колінчастих валів є складною проблемою, яка потребує, з одного боку, спеціального точного і високопродуктивного обладнання та оснащення, а з іншого – висококваліфікованого оснащення.

Підвищити довговічність колінчастих валів можливо шляхом розроблення технології відновлення, яка б включала комбіновану обробку: нанесення покриття та його подальшого зміцнення.

**РОЗДІЛ 1. ІСТОРІЯ СТВОРЕННЯ ТА РОЗВИТКУ
ПІДПРИЄМСТВА ТОВ «КАЛИТА-НОВА».
ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕМИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ**

1.1. Основні етапи створення та розвитку ТОВ «Калита-Нова»

«Науково-виробнича фірма «Калита» зареєстрована 15 листопада 1993 року в формі ТОВ. Початковою спеціалізацією роботи підприємства було відновлення колінчастих валів методом електродугового напилення. У 1994 році підприємство заключило угоду з Державним Інноваційним фондом про впровадження інноваційного проекту: «Технологія відновлення колінчастих валів електродуговим напиленням композиційними покриттями». Проект було впроваджено за шість місяців; вже через місяць підприємство вийшло на проектну потужність» [3].

«Наприкінці 1994 року на підприємстві почалися роботи по впровадженню лінії відновлення блоків циліндрів двигунів внутрішнього згорання. Для цього було придбано та введено в експлуатацію розточувальне обладнання та розроблено технологію хонінгування циліндрів із застосуванням прогресивного інструменту: алмазних різців та алмазних хонінгувальних брусків. А вже на початку 1995 року на підприємстві було впроваджено:

- діляницю по ремонту головок блоків циліндрів двигунів;
- нову технологію відновлення розподільчих валів безвтулковим способом спряження (для автомобілів «Москвич», «ГАЗ – 2410», ВАЗ тощо)» [3].

«У 1997 році на підприємстві з'явилася діляниця з ремонту паливної апаратури та розширюється спеціалізація по відновленню пар тертя деталей машин, встановлено універсальний координатно-розточувальний верстат особливої точності, що дозволило проводити відновлення різноманітних корпусних деталей, а також спряжень типу вал – втулка» [3].

«У 1998 році на підприємстві модернізовано технологію ремонту головок блоків циліндрів двигунів із застосуванням новітньої технології фірми “NEWAY”; впроваджується відділ по ремонту карбюраторів ДВЗ із сучасним технологічним обладнанням, яке дозволяє імітувати роботу карбюраторів в умовах близьких до умов реальної роботи двигуна» [3].

«На протязі 1999 – 2001 рр. розпочато роботи дільниці зварювально-рихтувальних робіт, почала працювати дільниця шиномонтажу та балансування коліс, яка потім була оснащена верстатом по правці зварних коліс автомобілів, виконуються роботи з ремонту ходових частин легкових автомобілів» [3].

«Новим етапом розвитку підприємства стало її реорганізація та створення ТОВ «Калита-Нова». На сьогодні «підприємство ТОВ «Калита-Нова» відноситься до автосервісних підприємств, що виконують функції, пов'язані з підтриманням автомобілів в справному технічному стані. Основним видом діяльності організації є технічне обслуговування та ремонт автотранспортних засобів. Проходячи практику на такому підприємстві здобувачі вищої освіти мають можливість побачити окремі технології ТО і ремонту автомобілів, а також закріпити теоретичні знання, отриманні під час навчання. Матеріально-технічна база підприємства дозволяє виконувати ремонт базових деталей автомобілів» (рис.1.1)» [3].



a)



б)



в)

Рис.1.1. Обробка базових деталей автомобілів на підприємстві ТОВ «Калита-Нова»

1.2. Актуальність підвищення довговічності колінчастих валів двигунів внутрішнього згорання

Однією з найбільш відповідальних, дорогих, а також складних у ремонті деталей двигуна внутрішнього згорання є колінчастий вал.

Відмінними рисами колінчастих валів сучасних двигунів є висока точність і зносостійкість робочих поверхонь, низька маса, висока втомна міцність і якість поверхонь, що сполучаються з підшипниками ковзання.

Колінчасті вали двигунів працюють в умовах впливу періодичних навантажень від сил тиску газів і сил інерції зворотно-поступально рухомих мас, що обертаються, які спричиняють появу напружень, що скручують і згинають. Унаслідок зносу шийок валів під час роботи двигунів падає тиск оливи в оливній магістралі та виникають шуми і стуки в підшипниках, які

можуть призвести до поломки деталей. Причиною втрати працездатності кривошипно-шатунної групи найчастіше є збільшення понад допустимі межі зазору в з'єднанні шийки колінчастого вала і вкладиша. Через змінний характер навантажень, особливості роботи та умови змащення зношування шийок колінчастих валів має нерівномірний характер. Інтенсивність зношування багато в чому залежить від умов і режиму експлуатації. Конструктивні особливості двигунів зумовлюють характер зношування деталей.

Під час експлуатації колінчастих валів неминучими дефектами є зношування корінних і шатунних шийок, шпонкової канавки, отворів під болти кріплення маховика, посадкових місць розподільної шестерні, шківів, вигин і скручування, овальність і конусність шийок, задираки, ризики, засмічення масляних каналів, зношування або зрив різьблення і деякі інші дефекти. На сьогоднішній день технологія машинобудування володіє великим арсеналом технологічних засобів і методів відновлення зносів колінчастого вала. Однак, разом з тим, з огляду на важливість деталей, її відносно високу вартість виготовлення питання підвищення їхньої довговічності є важливим і актуальним завданням.

1.3. Колінчастий вал. Конструкції, призначення та принципи дії

У процесі горіння паливоповітряної суміші в камері згорання формується сила від тиску газів, що розширюються, яка діє на поршень, поршневий палець, і через шатун передається на колінчастий вал двигуна. Шатун за допомогою підшипника ковзання кріпиться до шийки кривошипа колінчастого валу. Шийка кривошипа, частіше іменована шатунною шийкою колінчастого валу, зміщена щодо осьової лінії обертання колінчастого валу. Відстань між осьовою лінією шатунної шийки та осьовою лінією обертання колінчастого валу називається радіусом кривошипа, який визначає хід поршня в циліндрі двигуна. Хід поршня в циліндрі двигуна обчислюється множенням радіуса кривошипа на 2.

Зусилля від згоряння паливоповітряної суміші додається до кривошипа після подолання кривошипом верхньої точки на траєкторії обертання кривошипа. Це дає змогу отримати обертальну силу, або крутний момент, який змушує обертатися колінчастий вал двигуна. Колінчастий вал обертається в корінних підшипниках. Ці підшипники складаються з двох половинок, щоб їх можна було зібрати навколо шийки колінчастого валу. Тому в технічній термінології прижилася назва «вкладиші корінних підшипників».

У процесі роботи колінчастий вал навантажується періодичними силами від тиску газів та інерції мас, що поступально рухаються. Ці сили спричиняють знакозмінні крутильні та згинальні моменти, тертя і зношування деталей. Нерівномірність крутного моменту спричиняє крутильні, поздовжні та поперечні коливання, які в умовах резонансу можуть призвести до втомного руйнування матеріалу і поломки колінчастого валу [4].

Конструкція колінчастого валу повинна забезпечувати необхідні міцність, жорсткість і зносостійкість за порівняно невеликої маси, працездатність у межах заданого терміну служби, досягну динамічну врівноваженість і відсутність вібрацій, високі точність виготовлення і клас шорсткості поверхонь шатунних і корінних шийок.

Колінчастий вал (рис. 1.2) складається з шатунних 2 і корінних шийок 3, щік 4, з'єднувального фланця 6, противаг 5 і хвостовика 1.

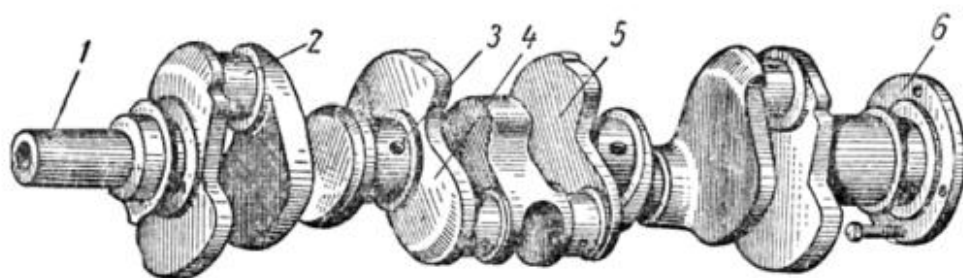


Рис.1.2. Колінчастий вал автомобільного двигуна [4]

Колінчастий вал обертається в блоці циліндрів, спираючись на корінні підшипники. Корінні підшипники дають змогу обертатися колінчастому валу

легко, без надмірного зносу. Кількість корінних підшипників, як правило, визначається кількістю циліндрів у двигуні:

- чотирициліндровий і двигун V-8 зазвичай мають п'ять корінних підшипників;
- рядний 6-циліндровий двигун, як правило, має сім корінних підшипників;
- V-6 двигун зазвичай має лише чотири корінні підшипники.

Конструкція опор колінчастого валу повинна поглинати навантаження, прикладені в подовжньому напрямку, так звані осьові навантаження, які формуються механізмом зчеплення на транспортному засобі з механічною коробкою передач, або гідротрансформатором на транспортному засобі, оснащеному автоматичною коробкою передач. Осьові навантаження - це ті сили, які штовхають колінчастий вал уперед, або тягнуть назад по відношенню до блоку циліндрів. Упорний підшипник утримує колінчастий вал від його осьового переміщення, сприймаючи осьові навантаження, і перерозподіляючи їх у силову структуру конструкції блоку циліндрів.

Упорні поверхні більшості блоків циліндрів двигунів, як правило, знаходяться на середній постелі або кінцевій постелі корінного підшипника. У деяких двигунів на торцевій поверхні постелі та кришці підшипника виконано проточку, в яку встановлюється, і в якій утримується від випадання напів-кільцевий упорний підшипник.

Шатунні підшипники, звані вкладишами шатунних підшипників, забезпечують обертання шатуна на шатунній шийці, зміщеній відносно осі обертання колінчастого валу. Вкладиш встановлюється між великим отвором шатуна і відповідною шийкою колінчастого валу.

Радіус кривошипа колінчастого вала становить половину ходу поршня в циліндрі двигуна, що має пряме відношення до робочого об'єму і ступеня стиснення двигуна.

Усі шийки колінчастого вала шліфують і полірують, для отримання абсолютно гладкої поверхні. Якість оздоблення поверхні вимірюється в

мікронах (мікродюймах), і що меншим є оцінне число якості поверхні, то рівнішою є поверхня. Типова специфікація для поверхні корінних і шатунних підшипників становить від 10 до 20 середнього арифметичного значення шорсткості (R_a).

Вали залежно від конструктивних співвідношень і маси виготовляють цільними або складеними. Частини складеного вала з'єднують фланцями, викуваними заодно з валом або насадженими на вал шляхом гарячої посадки [4].

Економічна ефективність виготовлення валів зі складеними колінами пояснюється тим, що припуски на поковку в цільних валів становлять 120...140% від маси, а у валів зі складеними колінами - 20...25%. Крім того, для цільних валів збільшується ймовірність браку всього виробу через неоднорідну структуру і внутрішні ливарні вади металомістких злитків.

Форма і розміри колінчастого вала залежать від типу двигуна, конструкції блока циліндрів, числа корінних і шатунних шийок, матеріалу, способу виготовлення тощо [5].

Конструкцію колінчастого вала можна уявити такою, що складається з колін, які являють собою дві щоки, з'єднані шийкою. Поверхні шийок термообробляються для підвищення їхньої твердості та зносостійкості (чавунні загартовуються струмами високої частоти, а сталеві азотуються на глибину до 0,5...0,8 мм). Щоки колінчастого вала можуть бути як із противагами, так і без них, причому конструкція вала, кількість і розташування шатунних шийок і противаг визначаються конструктивною схемою двигуна. Діаметри шатунних шийок у більшості двигунів легкових автомобілів перебувають у межах 40...55 мм, а корінних - 50...70 мм.

Колінчастий вал є прецизійною деталлю. Діаметри шийок валу і хвостовика зазвичай витримуються з точністю до 0,015 мм. Дуже велике значення для нормальної роботи корінних підшипників має взаємне биття корінних шийок, яке у нових валів не перевищує 0,005...0,008 мм. Для працездатності шатунних підшипників найбільш важливим є перекіс осей

шатунних і корінних шийок, який не повинен перевищувати 0,03...0,05 мм на довжині вала. Загальні вимоги до всіх шийок - овальність і конусність не більше 0,005 мм. Для нормальної роботи наполегливого підшипника необхідно забезпечити биття відповідних торцевих поверхонь колінчастого вала не більше 0,01 мм і заданий розмір між ними з точністю до 0,015...0,025 мм.

За даними [5] основною причиною вибракування колінчастих валів є задираки шийок, тріщини на них (рис.1.3) та деформація (биття) колінчастого вала за незначного зносу самих шийок, які перебувають у полі допуску на розмір.

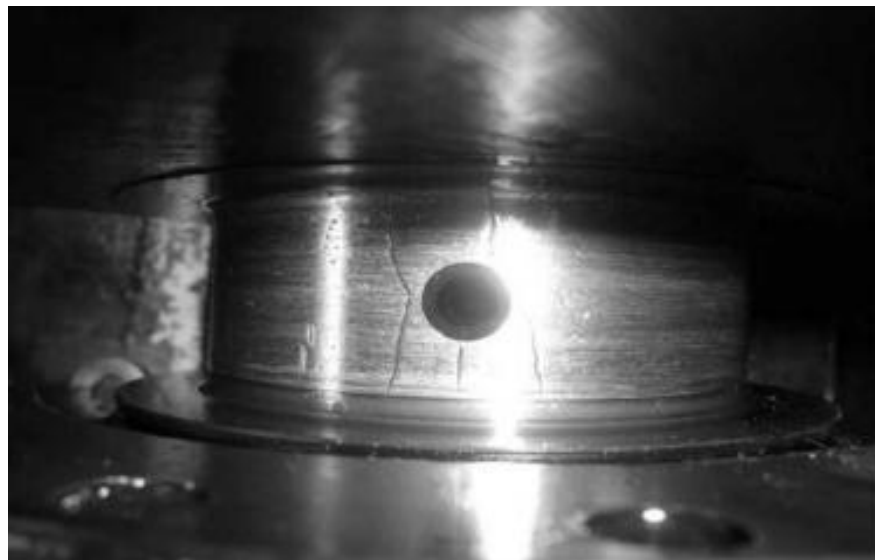


Рис.1.3. Тріщина на шийці вала

Аналіз дефектів колінчастого вала двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) показаний на рис.1.4.

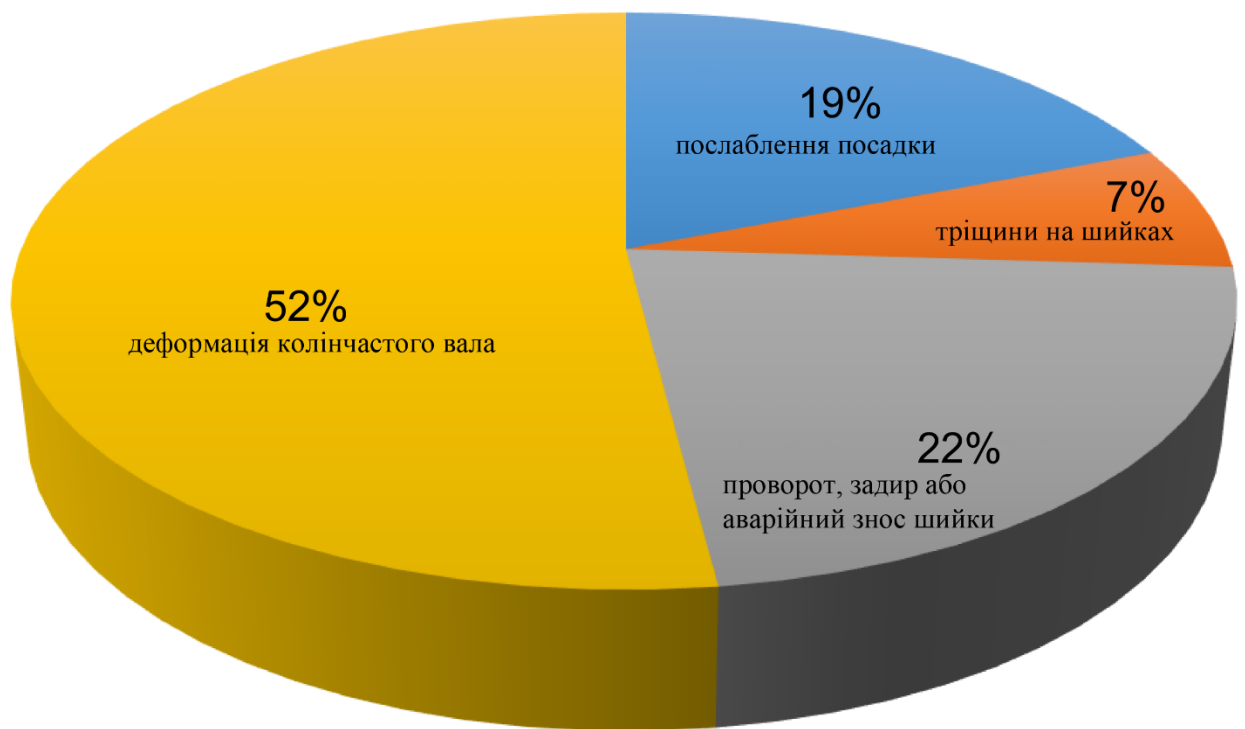


Рис.1.4. Аналіз дефектів колінчастого валу ДВЗ

Зазначено, що середня величина відхилення від номінального діаметра в зоні найбільшого зносу (за нормального зносу) корінних шийок становить 0,027 мм, а шатунних 0,029 мм. Биття середньої шийки для нормально зношених валів перебуває в межах від 0,02 мм до 0,17 мм, при цьому середня величина биття становить 0,054 мм, а для аварійного зносу в межах від 0,040 мм до 0,730 мм, за середньої величини биття – 0,227 мм.

При утворенні задирів на шийках колінчастих валів зростає ймовірність утворення на них тріщин і деформації, статистичний зв'язок між утворенням тріщин і утворенням биття колінчастого вала слабкий, а зв'язок між утворенням задирів на шийках валів і биттям колінчастого вала досить сильний. Зі збільшенням прогину колінчастих валів зростає і кількість неремонтопридатних валів, їх вибракування. За прогину колінчастого вала понад 0,9 мм його недоцільно відновлювати через утворення в ньому втомних тріщин, при цьому до 90% валів із таким прогином підлягають вибракуванню [6].

Наступним фактором, що характеризує довговічність колінчастого вала, є опір втомним навантаженням. Незважаючи на різний характер зовнішнього прояву відмов, зумовлених зношуванням і втомою, в їхній основі лежать одні й ті самі фізичні процеси, що описуються закономірностями механіки руйнування, згідно з якими більшість видів зношування має втомний характер.

На опір втомним навантаженням значною мірою впливають однорідність матеріалу виробу і якість його виготовлення.

У процесі виготовлення колінчастих валів, при формуванні заготовки (штампуванням) і подальшого механічного оброблення їх вибраковування становить близько 3%, більшість з них мають тріщини, здебільшого по штамповому стику [5].

Утворення тріщин на шийках колінчастих валів під час виготовлення значно знижує їхній експлуатаційний ресурс. Крім того, довговічність колінчастих валів, відновлюваних перешліфуванням під ремонтний розмір, залежить від точності геометричних і координатних розмірів. Невідповідність зазорів технічним умовам у сполученні «шийка-вкладиш», зміна макрогеометрії та шорсткості шийок ведуть до погіршення умов роботи сполучення, що спричиняє інтенсивне збільшення задирів сполучення в процесі припрацювання.

1.4. Висновки по розділу 1

За результатами виконання розділу 1 магістерської роботи зроблені наступні висновки:

1. Виробничі потужності, обладнання, оснащення, людські ресурси дозволяють бути підприємству ТОВ «Калита-Нова» одним з кращих у ремонтному виробництві регіону.
2. Показано, що однією з найбільш відповідальних, дорогих, а також складних у ремонті деталей двигуна внутрішнього згоряння є колінчастий вал.

3. Аналіз дефектів колінчастого валу ДВЗ показав, що найбільший відсоток становить знос шийок.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Закономірності зношування колінчастих валів ДВЗ

Опір зношуванню поверхонь шийок і вкладишів визначається умовами тертя, для протікання яких у найраціональнішому діапазоні моторобудівники обрали матеріали вала і вкладиша, мастило, шорсткість поверхонь. Активний поверхневий шар металу під час тертя зазнає деяких фізико-механічних, хімічних, а іноді й структурних змін.

Розглянемо, як ці зміни позначаються на експлуатаційних характеристиках сполучення «вкладиш – вал».

Процес зношування колінчастих валів може бути розділений на три періоди і представлений типовою кривою розподілу зносу (рис. 2.1) [7, 8].

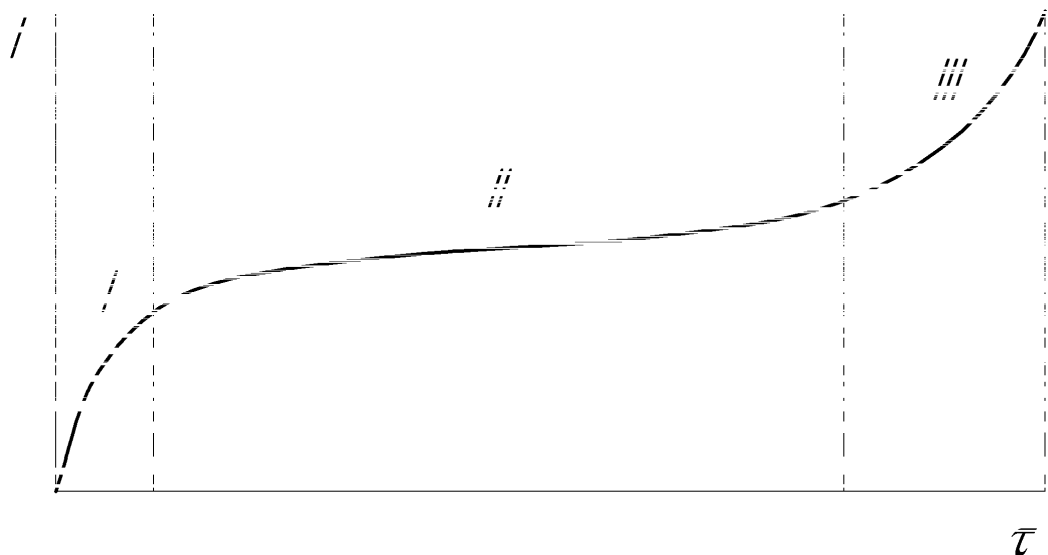


Рис.2.1. Періоди зношування шийок колінчастих валів: I - припрацювання; II – нормальне експлуатаційне зношування; III – граничне зношування [7]

Перший період зношування (період припрацювання) характеризується підвищенням інтенсивності зношування і коефіцієнта тертя з подальшою стабілізацією цих параметрів. За цей час здійснюється мікро- і макрогеометричне припрацювання поверхонь тертя шляхом сколювання вершин мікровиступів і згладжування шорсткостей. На завершальному етапі припрацювання відбуваються процеси перерозподілу залишкових напружень, встановлюється оптимальна мікрогеометрія поверхонь тертя, стабілізуються зазори в сполученнях.

Другий найтриваліший період зношування характеризується відносною постійністю інтенсивності зношування, і саме він є показником довговічності вала. У цей період, так само як і під час припрацювання, великий вплив мають матеріал покриття та структурні неоднорідності поверхневого шару (пористість, присутність оксидів і твердих включень). Однак існують моменти, коли інтенсивність зношування значно перевищує середні значення, характерні для цього періоду. У пускові моменти шийка спирається на адсорбовану масляну плівку і частково безпосередньо на виступи мікронерівностей вкладиша, при цьому може виникати металевий контакт внаслідок недостатньої стійкості масляної та окисної плівок. Перехід з області нестійкого режиму роботи в область рідинного тертя досягається збільшенням швидкості обертання вала, що спричиняє миттєве інтенсивне деформування контактуючих поверхонь у ділянках торкання. Крім того, тверді частинки, шаржуючи поверхню вкладиша, зношують шийку вала, наближаючи тим самим настання періоду граничного зношування.

На третьому етапі – періоді зношування (рис.2.1) настає граничне або катастрофічне зношування, що зумовлює необхідність ремонту сполучення, оскільки його подальша експлуатація неможлива. Співвідношення величин зносу корінних і шатунних шийок залежить від конструкції вала й умов експлуатації. У рядних двигунів із повноопорним валом навантаження на шатунні підшипники більше, ніж на корінні. Водночас у двигунах, у яких

шатунні шийки забезпечені відцентровими брудоуловлювачами, знос корінних шийок вищий.

Після припрацювання і обкатки двигуна шорсткість поверхонь шийок і вкладишів стабілізується відповідно до умов тертя. Для кожної пари, що труться, стосовно конкретних умов її зношування може бути встановлений діапазон найдоцільніших значень параметрів шорсткості, що забезпечує найбільшу зносостійкість [9]. При цьому у моторобудівників відсутня єдина точка зору на шорсткість шийок колінчастих валів.

Існує думка [7-9], що поверхні, вихідна шорсткість яких вища за оптимальну, у процесі припрацювання згладжуються, і навпаки, менш шорсткі поверхні стають більш шорсткими. За важких умов зношування немає необхідності прагнути до створення гладких поверхонь, оскільки оптимальна поверхня може виявитися більш шорсткою, а перехід від меншої шорсткості до більшої супроводжується важкими умовами припрацювання.

2.2. Способи відновлення шийок колінчастого валу

У міру зношування елементів підшипникового вузла колінчастого валу (шийки і вклади) збільшується зазор, що призводить до виникнення ударних навантажень, погіршення змащування, появи тріщин. Запобігання розвитку втомних ушкоджень можливе шляхом перешліфовування валу під наступний ремонтний розмір і вибору відповідних вкладишів. Однак більш радикальним шляхом є нанесення на шийки шару металу з подальшим механічним обробленням у номінальний розмір. Виникнення тріщин на галтелях і шийках значно знижує опір втоми, і вали з таким дефектом не підлягають відновленню. Зношені вали, перешліфовані до останнього ремонтного розміру, але придатні для відновлення шляхом нанесення покриттів до номінальних розмірів, становлять 65...75 % [10].

Класифікацію відомих способів відновлення колінчастих валів подано на рис. 2.2. У відповідності до рис.2.2 стосовно відновлення колінчастих валів

існує безліч способів. За даними [11, 12] основним методом відновлення, що становить 70-75% від загального обсягу, є ремонтне шліфування, і лише решту 20-25% становить відновлення робочих поверхонь нанесенням металопокриттів.

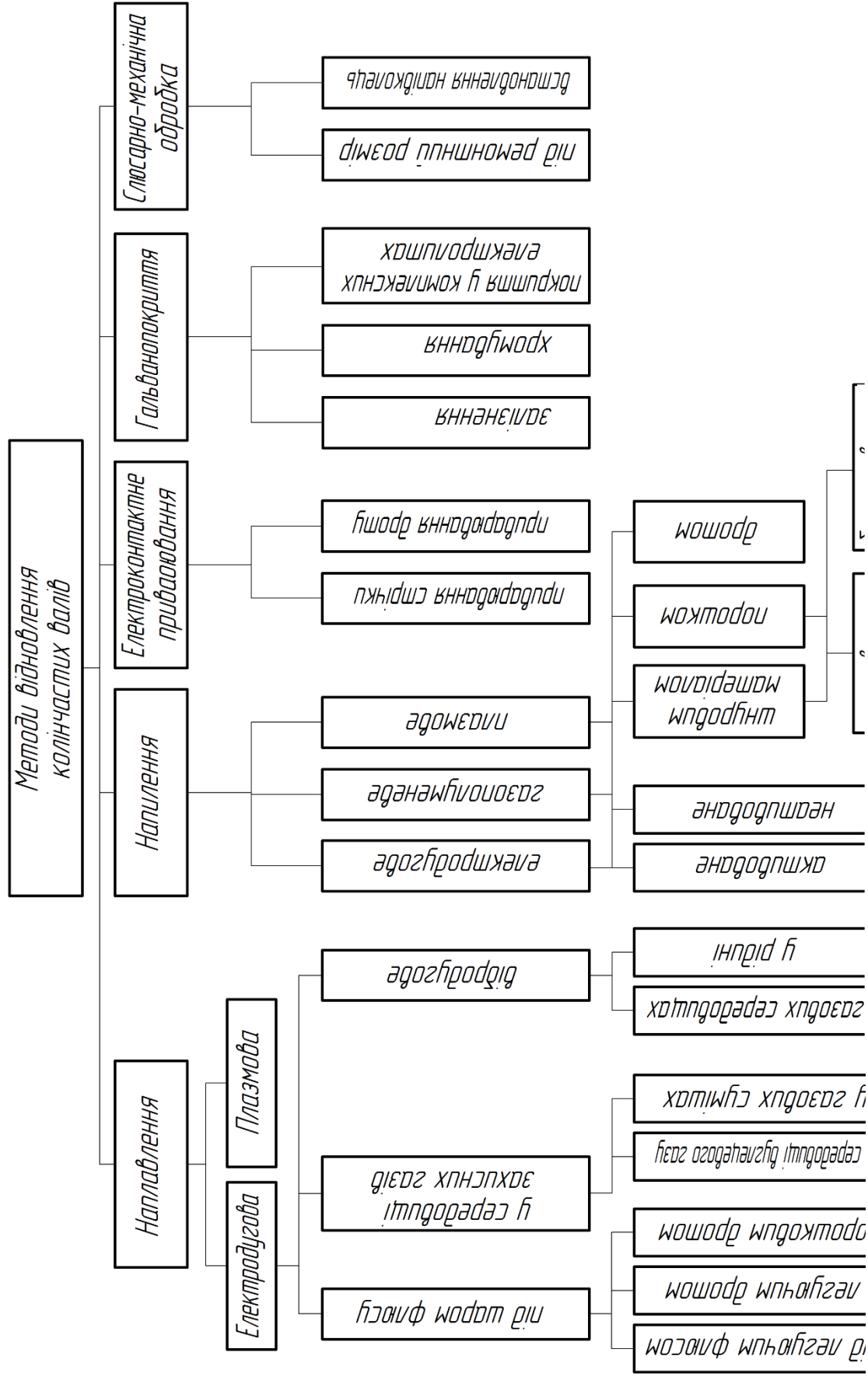


Рис.2.2. Класифікація методів відновлення колінчастих валів

«Шліфування під ремонтний розмір – одним з найбільш часто застосовуваних способів відновлення працездатності колінчастих валів. Шліфування під ремонтний розмір виконують в одну операцію. Ремонтні розміри визначаються розмірами вкладишів, що випускаються промисловістю. Однойменні шийки (шатунні або корінні) шліфують на один розмір. Приступати до шліфування необхідно після усунення всіх дефектів. Спочатку шліфують корінні шийки та інші поверхні, які перебувають на одній з ними осі, а потім шатунні шийки. Шліфування шатунних шийок виконують, закріплюючи крайні корінні шийки колінчастого вала в патронах центромісткості шліфувального верстата, які попередньо встановлюють на потрібний радіус кривошипа, що забезпечує похибку базування не більш як 0,03 мм» [13].

«Установка додаткової ремонтної деталі – технологія відновлення колінчастих валів приварюванням сталевих загартованих півкілець передбачає: попереднє шліфування шийок; підготовку, загартування та механічне оброблення півкілець; постановку та приварювання півкілець; шліфування та полірування шийок. Така технологія забезпечує високу несучу здатність, припрацьовуваність, задиростійкість і опір втоми колінчастих валів. Недоліком цієї технології є погане прилягання півкілець до шийок вала, у зв'язку з їхньою жорсткістю» [14].

За даними, наведеними в роботах [4,10], на ремонтних підприємствах різні способи відновлення колінчастих валів ДВЗ застосовували в таких співвідношеннях, %: наплавлення під шаром флюсу, вібродугове наплавлення і наплавлення в середовищі CO₂ - 58; наплавлення порошковими дротами та стрічками - 14; гальванічна обробка - 6; електродугова металізація - 6; плазмове наплавлення - 4; газополум'яне напилення - 4; плазмове напилення - 4; електроконтактне приварювання і припікання - 3; інші способи - 2. Ці дані не можуть бути однозначно використані для оцінки застосування способів відновлення під час ремонту ДВЗ легкових автомобілів, оскільки до вибірки входять вали двигунів тракторів, компресорів і вантажних автомобілів.

Відновлення шийок електродуговою металізацією. Перевагою способу електродугової металізації є малий термічний вплив (60...80 °C) на деталь, проте колінчасті вали, відновлені таким методом, погано протистоять циклічним навантаженням. Технологічний процес відновлення зношених шийок колінчастих валів містить такі операції [15]:

1. Очищення валу від забруднень і гідроочищення масляних каналів.
2. Виявлення тріщин методом магнітної дефектоскопії з використанням магнітного порошку.
3. Попереднє шліфування шийок з метою усунення задирів, викривлень геометрії, зняття фасок $1 \times 45^\circ$ з гострих кромek масляних каналів. Встановлення в масляні канали пробок із термостійкої гуми.
4. Струменево-абразивна обробка шийок вала корундовим порошком для підвищення міцності зчеплення металізаційного покриття.
5. Нанесення на поверхні, що не підлягають відновленню, силікатного клею.
6. Металізація.
7. Видалення захисного шару з поверхні, що не піддається металізації, у дробоструминній камері.

«Наплавлення під шаром флюсу (рис.2.3). Зношені шийки колінчастих валів відновлюють дротом Нп-30ХГСА діаметром 1,6 мм під шаром легувального флюсу АН-348А (2,5 частини графіту, 2 частини ферохрому № 6 і 0,25 частин рідкого скла), наплавляючи тільки циліндричну частину шийок, галтелі» [16].

Перед наплавленням необхідно підігріти шийки до 200...250 °C, а під час наплавлення легуваними дротами під флюсом необхідно застосовувати термообробку. Оскільки колінчасті вали правлять за корінними шийками, спочатку наплавляють шатунні шийки. Під час наплавлення шийок вала отвори масляних каналів для запобігання їх заплавленню замазують спеціальною пастою, що містить графіт (85 %) і рідке скло [16].



Рис.2.3. Загальний вигляд процесу наплавлення під шаром флюсу

«Наплавлення під шаром легувального флюсу набуло найбільшого поширення в ремонтній практиці. Зносостійкість колінчастих валів, відновлених цим методом, не поступається зносостійкості шийок нових деталей. Однак спосіб електродугового наплавлення під шаром флюсу знижує втомну міцність відновлених колінчастих валів на 30...50 %» [16].

Для відновлення колінчастих валів широкого поширення набули різновиди дугового способу наплавлення під шаром флюсу, які можна розділити на дві групи:

- наплавлення дротом типу Нп-30ХГСА під шаром флюсу АН-348А із застосуванням різних варіантів термообробки (відпустка, загартування, відпал і нормалізація), який розглянутий вище;

- способи, які передбачають як легувальний матеріал застосування стандартного флюсу АН-348А, до якого додають легувальні елементи у вигляді ферохрому, ферованадію, алюмінію та ін.

Недоліками цих способів є їхня висока трудомісткість і необхідність застосування спеціального електротермічного обладнання, що доцільно лише в умовах великосерійного виробництва. Крім того, автоматичне наплавлення ефективне в тих випадках, коли потрібно наплавити шар завтовшки понад 2 мм.

Під час наплавлення можуть виникати такі дефекти [17]: нерівномірність ширини і висоти наплавленого валика через зношення мундштука або роликів подачі, надмірного вильоту електрода; наплив металу внаслідок занадто великої сили струму або недостатнього зсуву електродів із zenіту; пори в наплавленому металі; нестійка дуга як наслідок ненадійного контакту.

Значною мірою від інших способів наплавлення шийок колінчастих валів відрізняється **наплавлення в середовищі CO₂**. Для цього методу (рис.2.4) не потрібне використання флюсів і електродних покриттів, оскільки дуга горить у струмені газу, що витісняє повітря з плавильного простору. Наплавлення виконують на постійному струмі зворотної полярності, крок валиків - 2,5...3,5 мм. Джерела живлення мають жорстку зовнішню характеристику і швидкість наростання сили струму короткого замикання 70...110 кА/с.

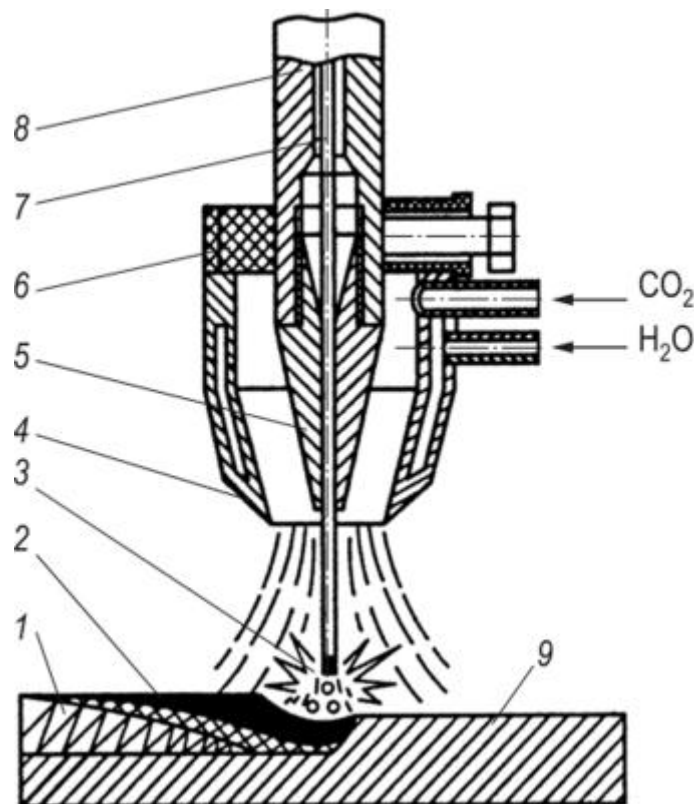


Рис.2.4. Схема наплавлення в середовищі вуглецевого газу [17]

Одним із різновидів методів наплавлення є **плазмове наплавлення** [17]. Сутність цього способу (рис.2.5) полягає в нанесенні металопокриттів із використанням плазмового струменя як джерела теплової енергії. Наплавлення

порошковими металевими матеріалами здійснюють плазмотронами, у яких передбачено три окремі газові потоки: плазмоутворювальний, транспортувальний і захисний (робочий газ – аргон). Як наплавочний матеріал для плазмового наплавлення рекомендується порошковий сплав ПГСРЗ або ПГСР4 грануляцією 200...600 мкм і дріт Св-08Г2С або 15ГСТЮЦА (для чавунних валів).

Під час плазмового наплавлення основний метал колінчастого вала під час відновлення шийок зазнає менших термічних впливів, сам вал не деформується і має достатню зносостійкість і втомну міцність.



Рис.2.5. Сутність плазмового напilenня [17]

Для відновлення колінчастих валів використовують комбінований спосіб плазмового наплавлення, тобто крім дроту для формування покриттів використовували порошки самофлюсувальних твердих сплавів на нікелевій основі. За рахунок цього підвищуються зносостійкість, забезпечуються утворення стискаючих напружень за рахунок аустенітно-мартенситних перетворень у шарі.

Однак у разі використання методів наплавлення (у середовищі CO₂, під шаром флюсу тощо) без подальшого термооброблення на галтелях між шийками та щокми зона сплавлення, що утворюється, має низьку пластичність. У зоні термічного впливу через різку структурну неоднорідність

(на шийках - мартенсит із твердістю 60 HRC, на щоках - перліт із твердістю 170 HB) виникають тріщини, мікротріщини, посилюється концентрація напружень, знижується опір втоми. При цьому через значний термічний вплив (глибина проплавлення близько 2 мм) відбувається деформація вала. Таким чином, незважаючи на те, що в наплавленому шарі утворюється структура мартенситу, що забезпечує стискальні напруження, низька пластичність у зоні сплавлення слугує основною причиною зниження опору втоми.

«Для відновлення колінчастих валів використовується **технологія приварювання сталеві стрічки** (рис.2.6), яка включає такі операції: підготовку деталей і стрічки, приварювання стрічки, обробку деталей після приварювання до неї стрічки. Підготовка полягає в виправленні центрових фасок центрувальною зенковкою або різцем на токарному верстаті та шліфуванні на круглошліфувальному верстаті шийок валів до діаметра, що не менший за номінальний, на 0,3...0,5 мм. Шорсткість обробленої поверхні має бути не нижче $Ra\ 1,25\ldots0,63\ \mu\text{м}$. Заготовки для приварювання нарізають зі стрічки завтовшки 0,3...1,0 мм, ширина їх має дорівнювати ширині відновлюваної ділянки, а довжина - її периметру. Зазор у місці стику стрічки понад 0,5 мм не допускається» [18].



Рис.2.6. Модульний комплекс для відновлення колінчастих валів приварюванням сталеві стрічки

Зносостійкість відновлених поверхонь валів приварюванням сталеві стрічки відповідає зносостійкості нових. Перевагами відновлення деталей контактним приварюванням сталеві стрічки є: відсутність деформації в результаті незначного нагріву, регулювання твердості деталей, що відновлюються, без застосування термічного оброблення шляхом добору матеріалу стрічки, зниження витрати наплавочних матеріалів удвічі-втричі, зменшення трудомісткості процесу і підвищення культури виробництва порівняно з електродуговим наплавленням.

Термопластичне деформування являє собою зміну геометричних розмірів за допомогою механічного впливу (осадження, витягування, висаджування, протягання, правка тощо) на попередньо розігріту деталь. Таким методом можна проводити правку осевих деформацій валів, а також усувати деякі похибки форми поверхонь. Спосіб вельми обмежений у застосуванні через його технологічну недосконалість і труднощі в забезпеченні необхідних результатів.

Гальванічне осадження являє собою формування шару металу на відновлюваній поверхні шляхом електрохімічного осадження з електроліту. Спосіб має низку переваг, як відсутність нагрівання деталі, можливість нанесення шару будь-якого металу або їхньої комбінації із заданими властивостями та необхідної товщини, можливість нанесення шарів металу з різними властивостями.

Полімерно-композитними матеріалами формується на попередньо підготовленій відновлюваній поверхні шар полімерної композиції з подальшим її затвердінням.

У роботах [16, 17] доведено, що наплавлення може бути єдино прийнятним методом відновлення шийок колінчастих валів, якщо здійснювати подальше зміцнення галтелей методами ППД.

У роботі [17] наведена діаграма міцності зчеплення покриття з основним металом від виду покриття.

Таблиця 2.1 – Діаграма міцності покриття з основним матеріалом [17]

Метод нанесення покриття	Міцність зчеплення покриття з основним металом, кг/мм ²							
	10	20	30	40	50	60	70	80
Наплавлення під шаром флюсу								
Вібродугове наплавлення								
Хромування								
Осталювання								

За даними табл.2.1 можна ранжувати покриття наступним чином: наплавлення під шаром флюсу, вібродугове наплавлення, хромування, осталювання.

Слід відзначити, що основним експлуатаційним критерієм відновлювальної деталі є зносостійкість.

У [6] наведені дані межі витривалості матеріалу колінчастого валу при різних видах покриття, а також коефіцієнт витривалості.

Таблиця 2.2 – Межі витривалості для чавуну ВЧ 50-2 [23]

Метод нанесення покриття	Межа витривалості, кг/мм ²	Коефіцієнт витривалості $\frac{\sigma_{-1H}}{\sigma_{-1}}$
1. Наплавлення під шаром флюсу	18	0,75
2. Вібродугове наплавлення	15	0,62
3. Хромування	18	0,75
4. Остаювання	17	0,72

За даними табл.2.2 можна зробити припущення, що найбільше зниження межі втоми утворюється при вібродуговому наплавленні.

Враховуючи умови роботи колінчастого валу, товщину шару, що нарощується, коефіцієнт зчеплення наплавленого металу з основним, довговічність роботи та економічність відновлення можна стверджувати, що найбільш раціональним способом відновлення шийок колінчастих валів є вібродугове наплавлення з наступною зміцнюючою обробкою.

Слід зазначити, що незважаючи на велике різноманіття способів нанесення металопокриттів на зношені шийки колінчастого вала, проблема їх відновлення, особливо в умовах дрібносерійного ремонтного виробництва, залишається актуальною.

2.3. Вібраційне накочування як спосіб зміцнюючої обробки наплавлених валів

Наведений аналіз способів відновлення колінчастих валів ДВЗ показав доцільність використання вібродугового наплавлення (див. п.2.2). Але така технологія потребує зміцнюючої обробки.

За даними багатьох дослідників [19, 20 та ін.] для зміцнення наплавленої поверхні найбільш ефективним виглядає використання різних методів поверхневого пластичного деформування.

В роботі [21] зазначено, що застосування одного із способів ППД – «обкатування наплавлених різними способами зразків дозволило підвищити втомлювальну міцність у порівнянні зі шліфованими зразками на 26-64%. Ще більший ефект досягнутий при зміцненні обкатуванням ролика колінчастих валів відновлених електродуговим наплавленням під шаром флюсу. Експериментально доведено можливість підвищити в 1,75...3 рази втомлювальну міцність зміцнюючими методами» [21].

До недоліків, властивим відомим і широко розповсюдженим в промисловості способам чистової обробки відносяться:

а) примітивність кінематики, характерна для таких процесів, як точіння, шліфування, ручне доведення, обкочування роликami і кулями (рис. 2.7, а);

б) неоднорідність пластичної деформації і вібрації, супроводжуючі такі процеси, як точіння, шліфування, алмазне точіння і інш.; в меншій мірі це відноситься до обкочування роликami і кулями, здійснюваному в більшості випадків при пружному контакті заготовки з деформуючим елементом;

в) недостатня інтенсивність процесу різання (точіння, шліфування, ручне доведення) і тонкого пластичного деформування (обкачування роликami і кулями), що обумовлено гранично простими по кінематиці схемами обробки.

В основу створення способу віброційного накочування були встановлено два принципи: відмова від різання шляхом використання тонкої пластичної деформації і ускладнення кінематики в порівнянні з відомими процесами обкочування роликami і кулями. Перше рішення базувалося на даних великого числа виконаних останнім часом досліджень, що свідчать про значно більшу однорідність мікрорельєфів поверхонь, утворених пластичною деформацією, в порівнянні з тими, що виходять при обробці різанням. Друге ґрунтувалося на тому, що з ускладненням кінематики будь-якого способу обробки процес різання інтенсифікується, з'являється можливість варіювати «малюнок» і управляти розташуванням слідів обробки (рис.2.7, б).

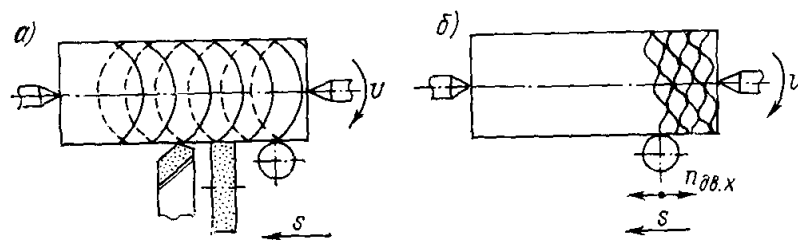


Рис.2.7. Принципова схема обробки: а – точінням, шліфуванням, обкочуванням шаром; б – віброобкочування.

Необхідність інтенсифікації процесу різання з ускладненням траєкторії переміщення абразивного зерна відносно оброблюваної поверхні переконливо виявлена в порівняльних дослідженнях шліфування, ручного доведення і

суперфінішування. Залишалося переконатися в справедливості розповсюдження цих положень на обробку пластичною деформацією, а також в можливості здійснення кінематично складного процесу обробки тиском без порушення основних вимог, що висувають до таких видів обробки, як обкочування роликми і шарами, вигладжування алмазними наконечниками та ін.

За результатами аналізу великого числа можливих схем здійснення кінематично складного процесу чистової обробки тиском, заснованого на принципі обкочування (рис.2.8) була вибрана схема (рис.2.7, б), аналогічна схемі суперфінішування. Ця схема дозволяє варіювати у великих межах малюнок (розташування видавлюваних кулею канавок) і в той же час достатньо проста і легко конструктивно і технологічно можлива в умовах будь-якого механічного цеху або ділянки.

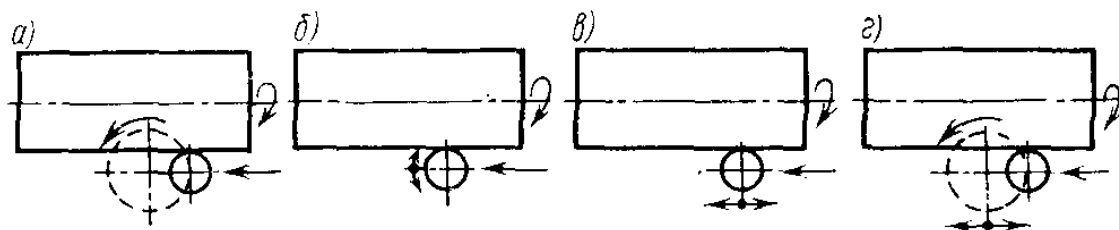


Рис.2.8. Варіанти схем вібраційного накочування.

Параметри, що визначають режим віброобкочування, представлені на рис.2.9: n_3 – число оборотів заготовки в хвилину; S – подача кулі за один оборот заготовки в мм; $n_{дв.х}$ – число подвійних ходів (циклів осциляції) в хвилину; l – амплітуда осциляції в мм; d_3 – діаметр заготовки в мм; $d_{ш}$ – діаметр кулі в мм; P – зусилля вдавлювання кулі, Н.

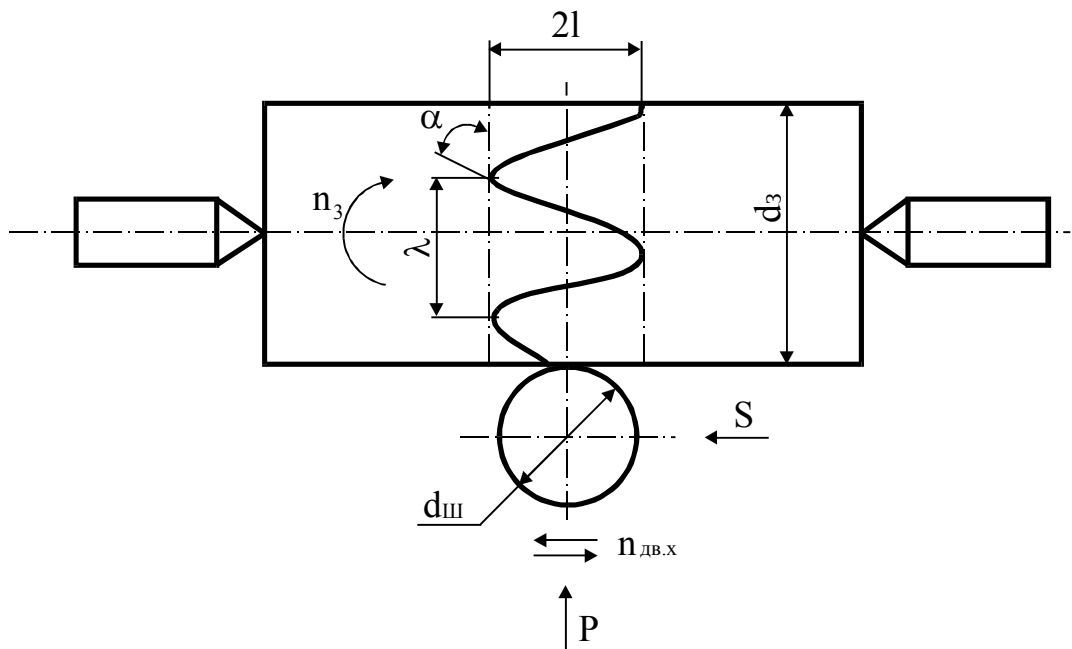


Рис.2.9. Параметри режиму вібронакочування.

Принципові схеми віброобкочування зовнішніх, торців, плоских і внутрішніх циліндрових поверхонь приведені на рис.2.10.

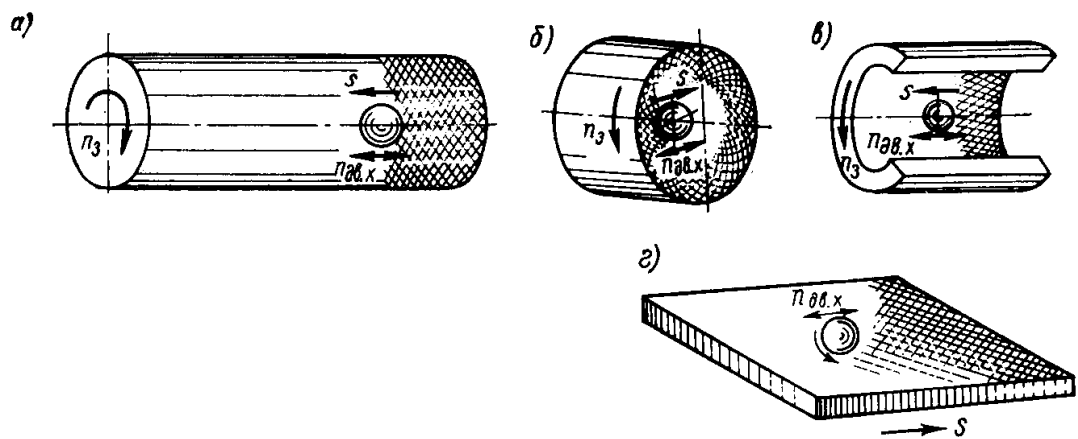


Рис.2.10. Принципові схеми вібронакочування поверхонь: а – зовнішньої циліндричної; б – торцевої; в – внутрішньої циліндричної; г – плоскої.

2.4. Створення регулярного мікрорельєфу на наплавлених поверхнях вібраційним накочуванням

При вібраційному накочуванні з'являється можливість утворення на поверхні, що обробляється, регулярного мікрорельєфу.

Формування регулярного мікрорельєфу (РМР) по всій поверхні –задача ще складніша, ніж утворення поглиблень. Нижче приведені основні вимоги до способів створення РМР.

1. Створюваний регулярний мікрорельєф повинен бути високо однорідним формою, розмірам і взаєморозташуванню виступів і западин.

2. «Форма, розмір і взаєморозташування нерівностей регулярного мікрорельєфу повинна бути функціонально пов'язані з параметрами режиму обробки, що зумовлює можливість аналітичних розрахунків параметрів РМР - при рішенні прямої задачі і параметрів режиму - при рішенні зворотної задачі» [20].

3. «Спосіб повинен забезпечувати можливість тонкого і у великих межах варіювання значень параметрів РМР, що визначають форму, розмір і взаєморозташування, тобто він повинен бути добре керованим» [20].

4. «Необхідно передбачити можливість незалежного регулювання – керування утворенням регулярного мікрорельєфу з різними параметрами: зміна значень висотних параметрів не повинно приводити до зміни крокових параметрів або взаєморозташуванню нерівностей» [20].

5. Повинна бути створена можливість технологічного забезпечення і управління утворенням не тільки стандартизованими параметрами, але і іншими, вельми інформативних, визначаючих службові властивості поверхонь, параметрів числа виступів і западин на одиницю площі, довжини профілю, радіусів виступів і западин нерівностей і інш.

6. Спосіб повинен бути універсальний, продуктивний, стабільний в часі, простий в здійсненні, економічний.

На даний час ще не створений спосіб утворення на поверхнях регулярного мікрорельєфу, який повною мірою задовольняв би перерахованим вимогам.

Утворення регулярного мікрорельєфу вібраційним накатуванням має наступні цільові призначення:

- 1) «чистова (фінішна) обробка, що забезпечує утворення оптимального для різних умов експлуатації мікрорельєфу поверхні» [20];
- 2) «зміцнююча обробка, що підвищує втомну міцність, контактну жорсткість і зносостійкість» [20];
- 3) «відновлення розміру із збереженням початкової точності» [20];
- 4) «декоративна обробка з утворенням заданого регулярного малюнка або фактури поверхні» [20].

«Ці цільові призначення можуть поєднуватися. Так, практично у всіх випадках оптимізація мікрорельєфу поєднується із зміцненням поверхневого шару металу, причому зміцнення може внести істотний внесок в поліпшення експлуатаційних властивостей деталі, наприклад в підвищення зносостійкості – до 30-40 %» [21]. В окремих випадках наклеп недопустимий або повинен бути мінімальним, наприклад при роботі поверхні в умовах дії речовин, що викликають корозію, при обробці монокристалів, оскільки наклеп знижує корозійну міцність і може порушити монокристалічність. «Таке ж поєднання утворення регулярного мікрорельєфу із зміцненням має місце, коли воно є основним цільовим призначенням одного з процесів, в основі яких лежить пластична деформація металу в холодному стані. Зміцнення неминуче супроводжує і відновлення розмірів і декоративну обробку при утворенні як регулярного, так і частково регулярного мікрорельєфів» [21].

Щоб управляти цими процесами для виконання ними тих або інших цільових призначень необхідно знати основну кінематичну і динамічну залежність параметрів їх режиму з параметрами створюваної мікрогеометрії і фізико-механічними властивостями утворюваного поверхневого шару. Оскільки в даний час процес вібронакочування виявився тим, що

використовуються для утворення регулярних мікрорельєфів, основна кінематична і динамічна залежність параметрів його режиму з параметрами якості оброблюваних поверхонь розглянута саме в цьому аспекті.

Залежно від цільового призначення і вимог конструктора необхідно створювати на поверхні регулярний мікрорельєф того або іншого класу, групи, вигляду, типу з різними значеннями його параметрів. Це досягається за рахунок управління процесом вібронакочування (або іншим процесом) варіюванням значень параметрів його режиму. Складність кінематики процесу вібронакочування і велике число регульованих параметрів режиму полегшує рішення цієї задачі, забезпечуючи можливість у великих межах варіювати їх поєднання по номенклатурі і чисельним значенням. Ця ж особливість вібронакочування дозволяє більш повно виконувати вимоги конструктора до мікрогеометрії поверхні за рахунок розширення номенклатури нормованих параметрів, у тому числі і поки що не стандартизованих.

На рис. 2.11 приведені типові графіки залежності геометричних параметрів якості поверхні від параметрів режиму вібронакочування.



Рис.2.11. Типові залежності геометричних параметрів якості поверхні від параметрів режиму вібронакочування.

Велике число регульованих параметрів режиму вібронакочування і параметрів регулярних мікрорельєфів, з одного боку, полегшує задачу оптимізації мікрогеометрії поверхонь, з іншою – істотно ускладнює технологічне забезпечення заданого конструктором регулярного мікрорельєфу.

2.5. Технологічне оснащення і обладнання, що використовується при вібронакочуванні

При вібронакочуванні застосовують пристрої, які встановлюють на універсальні металоріжучі верстати. В цих пристроях зворотно-поступальні рухи із заданою частотою і амплітудою створюються вібраторами. По характеру рушійної сили вібратори підрозділяють на чотири основні типи: інерційні, ексцентрикові, електромагнітні і поршневі (пневматичні і гідравлічні).

Інерційні вібратори для даних методів не застосовують, що пов'язано з ударним характером їх дії на робочий орган. Найбільш широко поширені вібратори з ексцентриковим приводом (ексцентрикові). Ексцентриковий привід у вібраторах має жорсткий або пружний шатун з підпружиненим привідним валом або шатун з плаваючим кріпленням. Привід може бути регульованим і нерегульованим по амплітуді. Він повинен повідомляти робочому органу кінематично строго певний рух. Завдяки відносно невеликим силам і малим втратам на тертя пусковий момент на валу невеликий і немає необхідності використовувати пружний шатун, підпружений привідний вал або плаваюче кріплення шатуна. В поршневих вібраторах задані частота і амплітуда коливання створюються під впливом рідини або повітря. Залежно від способу підведення енергії розрізняють поршневі вібратори з відкритим і замкнутим циклом використання робочого середовища. Пневматичні вібратори відносяться до першого типу, гідравлічні - до другого.

В порівнянні з ексцентриковими вібраторами вони складні і громіздкі; для гідравлічних вібраторів потрібна гідростанція, для пневматичних -

установки для підведення повітря. Пневматичні вібратори, крім того, характеризуються підвищеним рівнем шуму і нестабільністю роботи, тому для вібронакочування їх застосовують обмежено.

Електромагнітні вібратори за принципом дії підрозділяють на одно- і двотактні. Однотактні вібратори мають один електромагніт, притягаючий якір в одну сторону; зворотний хід якоря створюється під дією ресор або пружин. Двотактні вібратори мають два електромагніти; один з них притягає якір, а інший його відштовхує. Ці вібратори знайшли переважне застосування. За способом живлення електроенергією двотактні вібратори можна розділити на реактивні, з випрямлячем, із збудженням від постійного струму (з підналадкою) і з постійними магнітами. Звичайно застосовують реактивні електромагнітні вібратори як найпростіші. Вони складаються із статора (електромагніту), приєднаного до сіті змінного струму, і підпружиненого якоря, який протягом кожного напівперіоду досягаючи максимального струму притягується, а при слабому струмі - відштовхується. Тому частота коливань вібратора удвічі більше частоти живлячого струму.

Поворотно-поступальний рух передається інструменту від вібратора безпосередньо, або через двохплечий шарнірний важіль. В деяких пристроях за допомогою системи важелів такий рух перетворюється в поворотно-круговий. Задана сила створюється так само, як в пристроях для обкочування.

При вібронакочуванні на рухомі вузли, особливо в місцях спряження деталей, що передають рух, діють значні знакозмінні навантаження. Тому такі вузли повинні бути достатньо жорсткими і повинні мати добрі опори, передаючи вібрації на корпус. В багатьох пристроях вібруючий елемент (ексцентрик) вмонтовують на осі валу електродвигуна, що приводить до порушення нормального режиму роботи. Досконаліша така конструкція вузла, коли ексцентрик своїми цапфами встановлений на дві підшипникові опори, розміщений в корпусі пристрою.

Розглянуті пристрої, як правило, не дозволяють отримати стабільний мікрорельєф поверхні. Пристрої з жорстким кінематичним зв'язком

інструменту з шпинделем верстата забезпечують стабільний мікрорельєф поверхні але громіздкі і складні по конструкції.

Недоліки ексцентрикових пристроїв в значній мірі можна усунути, застосовуючи спосіб створення регулярного мікрорельєфу ексцентрично розташованим алмазним сферичним наконечником, що обертається, слід якого є циклоїда.

Обробка поверхонь торців мало відрізняється від обробки циліндричних, тому деякі пристрої використовують для обробки тих і інших. Особливість вібронакочування поверхонь торців полягає в утворенні синусоїдального каналу накладеного на спіральну лінію. При незмінних параметрах процесу у міру наближення інструменту до центру поверхні торця створюється мікрорельєф поверхні із зростаючою густиною каналів. Однаковий по густині каналів мікрорельєф може бути отриманий за допомогою пристроїв, що мають фрикційно-електричний зв'язок інструменту з оброблюваною поверхнею. Ці пристрої можна використовувати при обробці не тільки торців але також конусних, корсетних, бочкоподібних і інших поверхонь з діаметром, що змінюється.

Пристрій для обробки плоских нерухомих поверхонь звичайно складніше, ніж для обробки циліндричних, оскільки крім осцилюючого руху інструменту необхідно додатково повідомляти обертальний рух оскільки деталь нерухома.

Сферичні поверхні обробляють за допомогою звичайних пристроїв, що мають важіль з інструментом. При обробці верхньої, самої виступаючої ділянки сфери сила, прикладена до інструменту, буде більше, ніж при обробці крайніх ділянок, на величину відповідну додатковому стисненню силової пружини.

Для обробки більш широких поясоків сфери або всієї її поверхні можна використовувати звичайні пристрої для вібронакочування, але з додатковими поворотними або копіюючими механізмами, які дозволяють інструменту послідовно обробляти поверхню сфери. Такі пристрої складніші і менш надійні, ніж звичайні.

В типовому пристрої для вібронакочування використовується вібратор ексцентрикового типу з жорстким шатуном, що приводиться в рух від електродвигуна змінного струму.

2.6. Вибір параметрів вібронакочування

Параметри вібронакочування (сила P , амплітуда коливань інструменту l , частота подвійних ходів інструменту N , діаметр кулі $d_{ш}$, частота обертання деталі n і подача S) призначають по заданих характеристиках мікрорельєфу: характеру малюнка, ширині b і глибині h каналів, відносної площі каналів F . Характеристики мікрорельєфу звичайно указують в кресленнях на деталь, в ТУ або в іншій конструкторській документації.

«Іноді задають силу обробки і радіус інструменту, оскільки ці технологічні параметри безпосередньо пов'язані із зміцненням поверхні, а порушення їх може привести до перенаклепу. Силу обробки вибирають в основному виходячи з глибини каналів, заданої для певного радіусу інструменту, при цьому враховують жорсткість оброблюваної деталі. Залежність глибини каналу від сили обробки знаходять експериментально; така залежність показана на рис. 2.12» [22].

Необхідно враховувати максимально досяжну глибину каналів, одержувану при обробці алмазом матеріалів різної твердості (рис. 2.12, г). При вібронакочуванні максимальна глибина каналів в 1,5-2,0 рази більше (для матеріалів з твердістю $HRC \leq 50$) [22].

При отриманні мікрорельєфів четвертого вигляду за міру залишкової деформації приймають зміну діаметра оброблюваної поверхні ΔD і різницю висот початкових і утворюваних мікронерівностей. Залишкова деформація, визначається тиском, при одній і тій же силі вібронакочування і залежить від діаметра кулі $d_{ш}$ і діаметра оброблюваної деталі D .

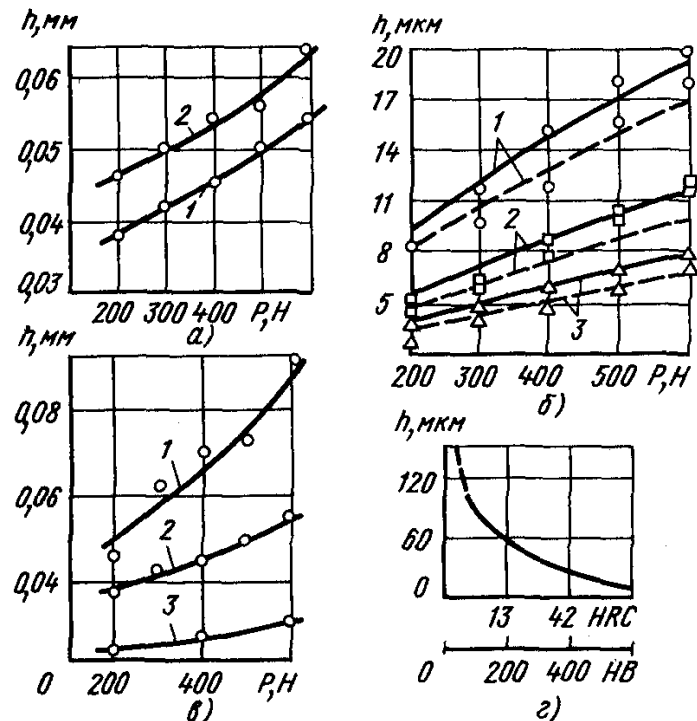


Рис.2.12. Залежність глибини каналів від сили вібронакочування (а, б, в) і максимальної глибини каналів від твердості оброблювального матеріалу (г): а – матеріал – сталь 45; $D=129$ мм; $n=25$ хв⁻¹; $N=1400$ хв⁻¹; $S=1,09$ мм/об; 1 – вібровигладжування; 2 – вібронакочування; б – вібронакочування; 1 – $d_{ш}=5,5$ мм; 2 – $d_{ш}=11,87$ мм; 3 – $d_{ш}=19,87$ мм; штрихова лінія – без врахування впливів; в – вібровигладжування, $R=2,5$ мм; $N=1400$ хв⁻¹; $S=0,89$ мм/об; $l=1,0$ мм; 1 – алюмінієвий сплав АК4; 2 – сталь 45; 3 – азатована сталь 38ХМЮА [22]

Радіус інструменту вибирають залежно від отриманої сили і заданих глибини і ширини каналів (площі) з урахуванням жорсткості і габаритних розмірів оброблюваної деталі, а також твердості оброблюваного матеріалу. При обробці м'якожорстких і нерівножорстких деталей слід застосовувати інструмент малого радіусу, оскільки деформацію необхідно забезпечити при менших силах вібронакочування. Із зменшенням габаритних розмірів деталей також доводиться зменшувати радіус інструменту для того, щоб отримати необхідний малюнок поверхні. Так, при декоративній обробці металевих ковпачків авторучок як деформуючі елементи застосовують кулі діаметром 2 мм. Діаметр кулі звичайно призначають 2 - 30 мм. Кулю малого діаметра важко

закріплювати, а збільшувати його можна до певної межі, обмеженої жорсткістю оброблюваних деталей.

«Амплітуду коливань змінюють від 0 до 4 мм; збільшення її більше 4 мм викликає різке зростання інерційних сил, погіршуючи процес обробки. Число подвійних ходів в хвилину N обмежується можливостями приводів і виникаючими інерційними силами, звичайно $N=900 \dots 3000$ подв. хід/хв» [22].

Частоту обертання оброблюваної деталі n і подачу S вибирають виходячи із заданого малюнка мікрорельєфу з урахуванням можливості устаткування, що використовується. Звичайно $n \leq 100 \text{ хв}^{-1}$.

Однією з основних характеристик вібронакочувальних поверхонь є ступінь перекриття до видавлюваними канавками початкової оброблюваної поверхні. Величина k_n визначає шлях, що проходить деформуючий елемент в одиницю часу відносно оброблюваної поверхні:

$$k_n = f \left[\frac{N; l; P; d_u(R)}{n; S} \right].$$

Найбільшу складність представляє вибір оптимальних значень характеристик мікрорельєфу, оскільки майже в кожному випадку це вимагає проведення експериментальних робіт.

Ці дані можуть бути використані при визначенні параметрів оптимального мікрорельєфу для деталей з аналогічними умовами навантаження, причому необхідно враховувати як основні, так і другорядні чинники, у тому числі розмір деталей умови змазування та ін.

Важливим параметром мікрорельєфу є відносна площа каналів. Для всіх розглянутих пар тертя знайдена залежність критеріїв зношування від відносної площі каналів які встановлені в основу типової залежності для узагальненого критерію зношування. Оптимальним мікрорельєфом в даних випадках є система каналів з їх відносною площею 35-70 %. Характерною особливістю приведеної залежності є те, що зміна відносної площі каналів в широкому діапазоні викликає незначну зміну критерію зношування. Це свідчить про

велику стабільність експлуатаційних властивостей поверхні з регулярним мікрорельєфом.

2.7. Висновки по розділу 2

Критичний огляд літературних джерел за темою досліджень дозволив сформулювати такі висновки:

1. Закономірності зношування колінчастих валів повністю відповідають загальноприйнятим закономірностям з наявністю періоду припрацювання, періоду нормального зношування та аварійного зношування.

2. Аналіз існуючих способів відновлення колінчастого валу з врахуванням умов роботи деталі, товщини шару, що нарощується, коефіцієнта зчеплення наплавленого металу з основою, довговічності роботи та економічності відновлення дозволив стверджувати, що найбільш доцільним способом відновлення шийок колінчастих валів є вібродугове наплавлення. Але така технологія вимагає зміцнюючої обробки.

3. Для зміцнення наплавленої поверхні найбільш ефективним виглядає використання одного з методів ППД – вібраційного накочування.

4. Існуюча схема вібронакатування, яка знайшла найбільше практичне використання, має суттєвий недолік – велика швидкість відносного переміщення деталі і деформуючого елемента знижує глибину зміцнення деталі. Крім того, такий схемі притаманно низька продуктивність при нанесенні на поверхні деталі регулярного мікрорельєфу. Отже, необхідне вдосконалення існуючої схеми вібронакочування.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ДОВГОВІЧНОСТІ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ ДВЗ ПРИ ЇХ ВІДНОВЛЕННІ

3.1. Конструктивні особливості та дефекти колінчастих валів ДВЗ

Перед тим як перейти до розробки технології відновлення колінчастих валів та дослідження їх експлуатаційних характеристик більш детально зупинимося на конструктивних особливостях деталі.

Оскільки форма та розміри колінчастого валу залежать від типу двигуна, конструкції блоку, кількості шийок, матеріалу та способу виготовлення нижче коротко розглянемо конструкції валів двигуна ЯМЗ та ЗМЗ.

«Однією з особливостей кривошипно-шатунного механізму двигуна ЯМЗ-236 є застосування повно опорного колінчастого валу з встановленням на одну шатунну шийку двох шатунів, розташованих один проти одного. Колінчастий вал двигуна ЯМЗ-236 виготовлений з високовуглецевої сталі 50Г методом гарячого штампування, має 4 корінних та 3 шатунних шийки. Усі шийки колінчастого вала (шатунні і корінні) піддаються поверхневому гартуванню струмами високої частоти на глибину 3,5...4,5 мм і мають твердість HRC 52...62. Шатунні шийки розташовані одна відносно одної під кутом 120°. Властивості матеріалу деталі (хімічний склад, механічні властивості) наведені в табл.3.1-3.2» [4].

«Колінчастий вал двигуна ЗМЗ-53 виготовлений з високоміцного чавуну ВЧ 50-2 ГОСТ 7293-79, твердість якого складає HB 207...249. Чавуни з кулястим графітом називають високоміцними й, відповідно до ГОСТ 7293-85, маркуються буквами ВЧ, а число вказує значення тимчасового опору при розтяганні в МПа $\cdot 10^{-1}$ (наприклад ВЧ 50). Хімічний склад чавуну ВЧ 50-2 представлено в табл.3.3» [23].

Крім зазначених вище конструкцій колінчасті вали інших двигунів можуть бути виготовлені з інших матеріалів. Розподіл колінчастих валів за матеріалами виглядає таким чином: чавунні - 20 %, сталеві - 80 % (середньовуглецеві сталі – 45 %, леговані – 35 %)

Таблиця 3.1 – Хімічний склад матеріалу колінчастого валу двигуна ЯМЗ 236 – сталі 50Г [23]

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu
			Не більше				
0,48-0,56	0,17-0,35	0,70-1,00	0,040	0,040	≤0,25	≤0,25	≤0,25

Таблиця 3.2 – Механічні властивості сталі 50Г [23]

Термообробка	Механічні властивості					
	ε_p , кг/мм ²	ε_b , кг/мм ²	δ , %	φ , %	D_H	HB
Поліпшення (гартування, відпускання)	46	76	16	48	6	241-285
Поверхнєве гартування СВЧ	–	–	–	–	–	HRC>56

Таблиця 3.3 – Хімічний склад чавуну ВЧ 50-2 [23]

Марка чавуну	C	Si	Mn	P	S	Cr	Інші
				не більше			
ВЧ 50	3,2–3,7	1,9–2,9	0,3–0,7	0,1	0,02	0,15	–

Ремонте креслення колінчастого валу ЗМЗ-53 показано на рис.3.1.

Дефекти колінчастого валу наведені в табл.3.4.

Таблиця 3.4 – Перелік дефектів колінчастого валу та способи їх усунення

№ деф.	Найменування дефекту	Коеф. повт. дефекту		Основний спосіб усунення дефекту	Додатковий спосіб усунення дефекту
		від загальн. кільк. деталей, що надійшли	від загальн. кільк. ремонтосдатних деталей		
1	Тріщини на валу	0,85	0,95	-	
2	Збільшення довжини шатунних шийок	0,20	0,22	-	
3	Знос шийок під маточину шкиву	0,47	0,45	Наплавлення	Накопчування
4	Знос шийки під шестерню	0,62	0,60	Наплавлення	Накопчування
5	Погнутість вала	0,45	0,45	Правка	
6	Знос шийки під сальник	0,22	0,20	Наплавлення	
7	Знос шатунних шийок	0,63	0,63	Наплавлення	Шліфування
8	Знос корінних шийок	0,75	0,72	Наплавлення	Шліфування
9	Знос паза під шпанку маточини шкиву	0,68	0,65	Зварювання	
10	Знос паза під шпанку шестерні	0,85	0,87	Зварювання	
11	Знос фланця по зовнішньому діаметру	0,75	0,72	Електроконтактне прибавлення стрічки	
12	Знос отвору під підшипник первинного валу коробки передач	0,75	0,72	Постановка втулки	

У розділі 2 магістерської роботи нами зазначено, що найбільш суттєвим та таким що часто зустрічається є знос шатунних та корінних шийок. Саме на відновлення цих дефектів зосередимо свою увагу.

Крім того у розділі 2 магістерської роботи нами обґрунтовано вибір методу відновлення – вібродугового наплавлення. В якості зміцнюючої обробки нами рекомендовано використання вібраційного розкочування.

3.2. Вибір режимів вібродугового наплавлення

Вібродугове наплавлення виконується на постійному струмі, оскільки змінний струм не забезпечує стабільності процесу. Швидкість подачі електродного дроту діаметром 1,6 - 2,5 мм при напрузі в ланцюзі до 15 В приймають 30 - 45 м/ч, а при напрузі понад 15 В – 45 - 100 м/ч. Частота обертання шпинделя при напавленні складає 0,5 - 20 об/хв. Крок наплавлення

при напрузі в ланцюзі 12 - 15 В, встановлюється рівним 1,2 - 1,5 мм, а при напрузі 15 - 20 В від 1,5 до 2,0 мм [16].

3.3. Вибір оптимального режиму вібронакочування методом математичного планування експериментів

З метою встановлення ступеню впливу технологічних факторів процесу вібронакочування на зносостійкість оброблених колінчастих валів, а також її оптимізації виконалося математичне планування експериментів. Обробка результатів експерименту здійснювалася на ПЕВМ із використанням пакета прикладної програми «STATGRAPHICS».

Вивчали залежність вагового зносу колінчастих валів (Y) від наступних технологічних параметрів вібронакочування: швидкості вібронакочування V_p (X_1), діаметра деформуючих елементу $d_{ш}$ (X_2), сили P (X_3), величини подачі S (X_4) і амплітуди осциляції інструмента l (X_5). Локальну область визначення факторів установили з апіорних даних і технологічних розумінь. Інтервали варіювання факторів і їх значення у натуральному масштабі на основному, верхньому і нижньому рівнях приведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Рівні факторів

Фактори	X_1 V_p , м/хв	X_2 $d_{ш}$, мм	X_3 P , Н	X_4 S , мм/об	X_5 l , мм
Основний рівень (0)	20	5,5	400	0,47	10
Інтервал варіювання	10	2,5	100	0,40	5
Верхній рівень (+)	30	8,0	500	0,87	15
Нижній рівень (-)	10	3,0	300	0,07	5

Кодовані значення факторів (x_i) зв'язані з натуральними (X_i) співвідношеннями:

$$x_1 = \frac{X_1 - 20}{10}; x_2 = \frac{X_2 - 5,5}{2,5}; x_3 = \frac{X_3 - 400}{40}; x_4 = \frac{X_4 - 0,47}{0,40}; x_5 = \frac{X_5 - 10}{5}.$$

Для одержання інформації про досліджувану залежність використовували симетричний композиційний план другого порядку. План дрібного факторного експерименту в кодовому і натуральному масштабах приведений у табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – План експерименту і результати іспитів

№ <u>досв.</u>	<u>Кодовий масштаб</u>					<u>Натуральний масштаб</u>					Y, м
	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20	5,5	400	0,47	10	1,20
2	1,0	1,0	-1,0	1,0	1,0	30	8,0	300	0,87	15	1,70
3	1,0	-1,0	1,0	1,0	1,0	30	3,0	500	0,87	15	0,91
4	-1,0	1,0	1,0	1,0	-1,0	10	8,0	500	0,87	5	1,69
5	1,0	1,0	1,0	-1,0	-1,0	30	8,0	500	0,07	5	1,78
6	1,0	1,0	-1,0	-1,0	-1,0	30	8,0	300	0,07	5	1,85
7	1,0	-1,0	-1,0	-1,0	1,0	30	3,0	300	0,07	15	1,15
8	-1,0	-1,0	-1,0	1,0	-1,0	10	3,0	300	0,87	5	1,18
9	-1,0	-1,0	1,0	-1,0	1,0	10	3,0	500	0,07	15	1,04
10	-1,0	1,0	-1,0	1,0	1,0	10	8,0	300	0,87	15	1,69
11	1,0	-1,0	1,0	1,0	-1,0	30	3,0	500	0,87	5	0,99
12	-1,0	1,0	1,0	-1,0	1,0	10	8,0	500	0,07	15	1,62
13	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	10	3,0	300	0,07	5	1,24
14	-1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10	5,5	400	0,47	10	1,29
15	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30	5,5	400	0,47	10	1,24
16	0,0	-1,0	0,0	0,0	0,0	20	3,0	400	0,47	10	0,95
17	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	20	8,0	400	0,47	10	1,53
18	0,0	0,0	-1,0	0,0	0,0	20	5,5	300	0,47	10	1,49
19	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	20	5,5	500	0,47	10	0,84
20	0,0	0,0	0,0	-1,0	0,0	20	5,5	400	0,07	10	1,28
21	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	20	5,5	400	0,87	10	1,17
22	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,0	20	5,5	400	0,47	5	1,56
23	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	20	5,5	400	0,47	15	1,02
24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20	5,5	400	0,47	10	1,20

Зразки зважувалися після наробітку шляху тертя - 10×10^3 м. Досвіди дублювалися ($n=2$).

Обробка результатів експерименту дозволила одержати наступні значимі коефіцієнти регресії: $b_0=1,19654$; $b_2=0,300833$; $b_3=-0,314167$; $b_5=-0,280833$; $b_{25}=-0,263125$; $b_{14}=0,247292$; $b_{34}=-0,244375$; $b_{12}=-0,222708$; $b_{55}=0,0943307$; $b_{11}=0,0693307$; $b_{22}=0,0443307$. Лінійні ефекти b_1 і b_4 , а також ефекти взаємодії b_{35} , b_{33} , b_{44} , b_{24} , b_{45} , b_{13} , b_{15} , b_{23} менше довірчого інтервалу, і тому їх варто визнати статистично незначущими.

Таким чином, отримане наступне рівняння регресії:

$$Y = 1,19654 + 0,300833x_2 - 0,314167x_3 - 0,280833x_5 - 0,263125x_2x_5 + 0,247292x_1x_4 - 0,244375x_{34} - 0,222708x_1x_2 + 0,0943307x_5x_5 + 0,0693307x_1^2 + 0,0443307x_2^2$$

Характер впливу факторів x_1 , x_2 , x_3 , x_4 , x_5 представлений на рис.3.2.

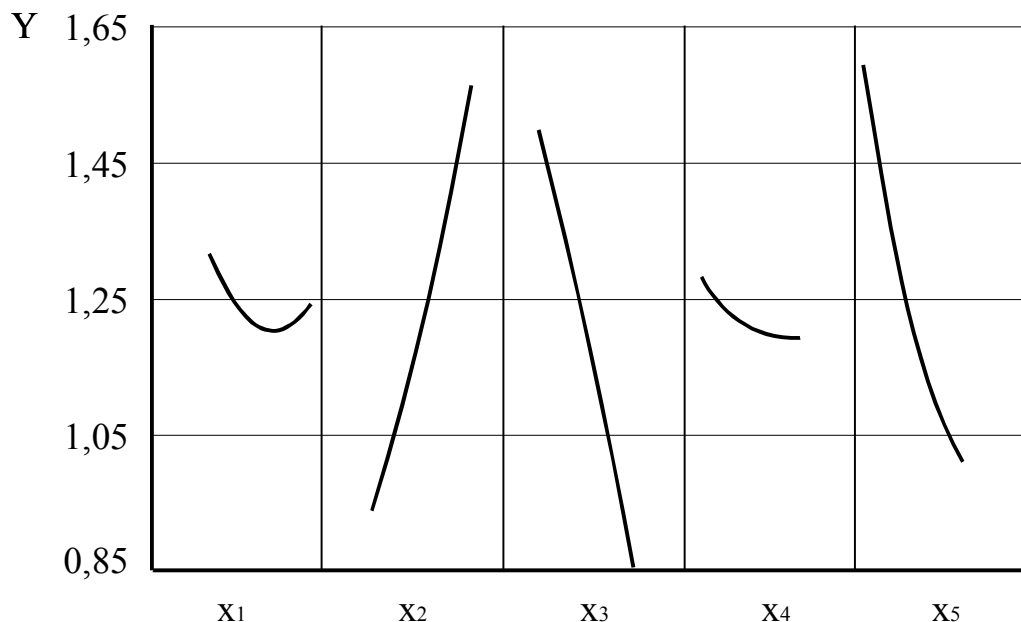


Рис.3.2. Діаграма впливу технологічних факторів

Отримані результати свідчать, що в межах інтервалів варіювання найбільший вплив на знос оказують фактори x_2 (діаметр кульки), x_3 (сила) і x_5 (амплітуда вібранакочування). Мінімальні значення зносу досягаються при зменшенні діаметра кульки, збільшенні сили й амплітуди вібранакочування.

Пошук оптимальних значень технологічних факторів, що забезпечують мінімальні значення зносу, проводили шляхом аналізу контурів перетинів поверхні відгуку. Приклад такої залежності для факторів x_3 і x_5 у межах інтервалу варіювання приведений на рис.3.3.

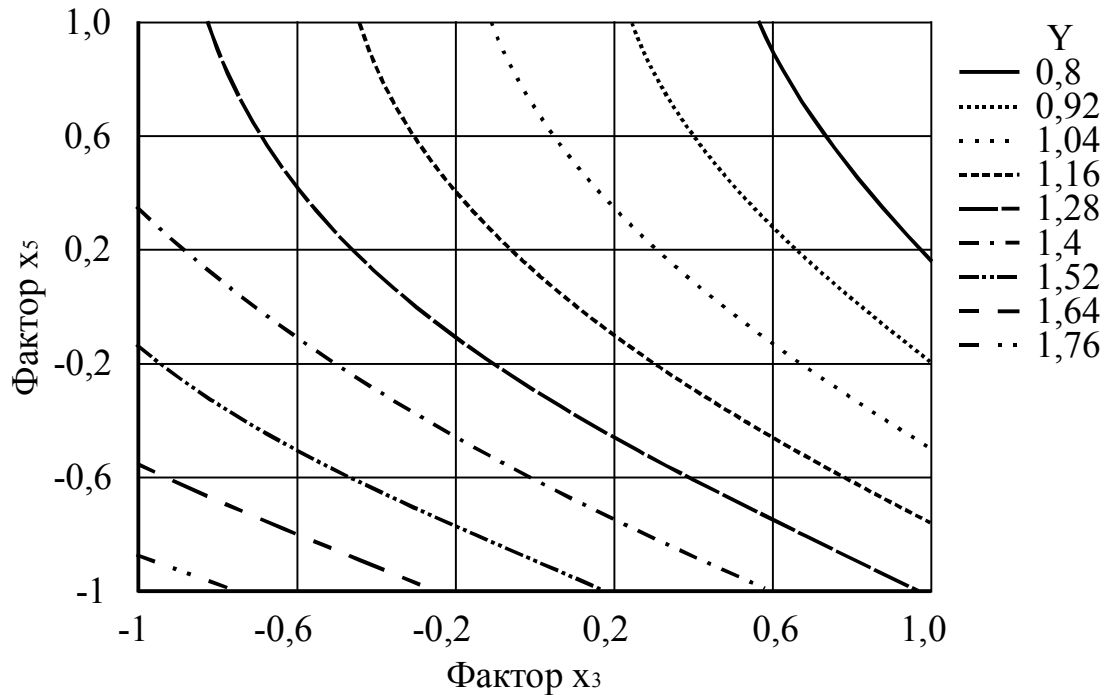


Рис.3.3. Залежність зносу Y від факторів x_3 і x_5 ($x_1=0$; $x_2=0$; $x_4=0$).

Математична обробка моделі шляхом крутого сходження при зміні факторів x_2 , x_3 і x_5 у межах інтервалів варіювання дозволила установити сполучення технологічних факторів, що забезпечують мінімальні значення зносу $Y=0,513115$; $x_1=-0,153297$; $x_2=-0,547637$; $x_3=1,00$; $x_4=0,382545$; $x_5=0,44$.

Оптимальні значення факторів у натуральному масштабі складають:

$$X_1 = 18,46 \text{ м/хв};$$

$$X_2 = 4,13 \text{ мм};$$

$$X_3 = 500 \text{ Н};$$

$$X_4 = 0,62 \text{ мм/об};$$

$$X_5 = 12,2 \text{ мм}.$$

Оскільки ряд факторів даного технологічного процесу носять дискретний характер, визначали їх найближчі значення.

Оптимальна частота обертання інструменту при вібронакочуванні складає: $n = 122,8 \text{ хв}^{-1}$, що забезпечує швидкість вібронакочування $V = 19,28 \text{ м/хв}$ або $x_1 = -0,072$.

Найближче стандартне значення деформуючого елемента $d_{\text{ш}} = 3,97 \text{ мм}$, $x_2 = -0,61$.

Приймаємо максимальне значення сили $P = 500 \text{ Н}$, $x_3 = 1$.

Найближче значення величини подачі на верстаті 16К20 складає $S = 0,61 \text{ мм/об}$, $x_4 = 0,35$.

Значення амплітуди осциляції, що досягається конструкцією установки $l = 12,5 \text{ мм}$, $x_5 = \frac{12,5 - 10}{5} = 0,50$.

Додаткова серія іспитів при визначених режимах обробки підтвердила надійність збігу значень рівнянням регресії, з даними експериментів ($Y = 0,576$). Подальше зниження зносу можливо при спільному виході за межі варіювання значень сили P – убік збільшення і діаметра кульки $d_{\text{ш}}$ – убік зменшення. Однак такі значення параметрів технологічного процесу з конструктивних розумінь не прийнятні.

3.4. Особливості утворення ПРМР на поверхні осцилюючої деталі багатошариковими накатниками

Існуюча схема вібронакатування (рис.2.9), яка знайшла найбільше практичне використання, має наступні недоліки:

1. Наявність окремого приводу для утворення осцилюючого руху, який деформує елемент;

2. У зв'язку з просковзуванням в клинопасовій передачі при обробці на токарних верстатах практично неможливо добитися синхронізації руху деталі і інструменту. Внаслідок різності характеристик електродвигунів верстата і вібратора зміни напруги в мережі, яке складає $\pm 2...3\%$, порушує синхронізацію рухів деталі і інструменту, що також спотворює рисунок системи каналів.

Отже, отримати стабільний рисунок системи каналів можливо тільки за допомогою пристрою, який має жорсткий кінематичний або електричний зв'язок інструменту з поверхнею, що оброблюється;

3. За причинами, що зазначені вище, неможливо при кожному оберті деталі отримувати на її поверхні ціле число синусоїдальних канавок, що значно спрощує встановлення аналітичних залежностей між режимами вібронакатування і параметрами повністю регулярного мікрорельєфу (ПРМР);

4. Велика швидкість відносного переміщення деталі і деформуючого елемента знижує глибину зміцнення деталі;

5. Низька продуктивність вібронакатування при нанесенні на поверхні деталі ПРМР.

Підвищення продуктивності вібронакатування може бути досягнуто використанням багатошарикових накатників, але при цьому, крім недоліків, притаманних вібронакатуванню, яке досягається віброголівкою з одним деформуючим елементом, додаються ще і великі інерційні сили, які виникають при осциляції інструменту.

Запропонований спосіб нанесення ПРМР, при котрому деталі, окрім обертання надається і обертально-поступовий рух вздовж її вісі, а багатошарикова голівка робить тільки рух подачі. Спосіб здійснюється за допомогою пристрою (рис.3.4), що призначений для нанесення ПРМР синусоїдального і чотирьохкутного сітчастого типу на зовнішніх поверхнях циліндричних деталей з одночасним їх зміцненням методом вібронакочування.

Пристрій для нанесення РМР (рис.3.4) складається з ведучого 1 та осцилюючого вузлів 3, а також багатокулькового накатника 3. Він встановлюється на токарно-гвинторізному верстаті, що істотно спрощує реалізацію кінематичної схеми вібронакочування, тому що для обертання та осциляції деталі і поступового руху багатокулькового накатника у напрямку подачі використовується головний і допоміжний рух верстату.

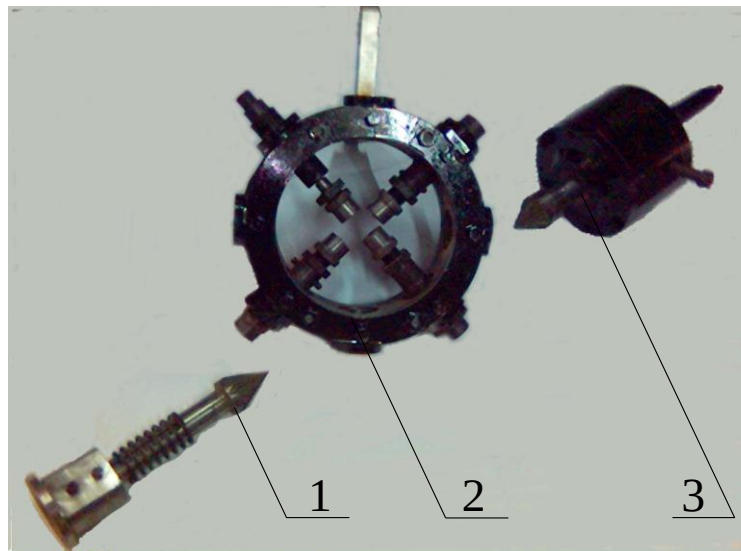


Рис.3.4. Пристрій для вібронакочування

Осцилювання деталі та її обертання відбувається від одного приводу – приводу верстату. Завдяки тому, що багатокульковому накатнику надається тільки рух подачі на поверхні деталі кожним деформуючим елементом наноситься стільки синусоїд, скільки їх є на робочій поверхні змінного копіру.

Отримання різного типу РМР (рис.3.5) досягається зміною подачі багатокулькового накатника і амплітуди осциляції деталі, кількістю синусоїдальних виступів на поверхні змінних копирів, а також числом та розмірами деформуючих елементів у накатнику.

Пристрій для вібронакочування складається з двох основних вузлів – осциляційного пристрою та багатокулькової головки, які встановлюються на токарно-гвинторізному верстаті 1К62.

Багатокулькова голівка являє собою корпус, в якому встановлюють деформуючий елемент та який через кронштейн жорстко закріплюється до супорта верстату.

Осциляційний пристрій складається з ведучого центру, що встановлюється в патроні та осциляційного вузла, який у свою чергу встановлюється в пінолі задньої бабки верстату.

Робота пристосування складається в наступному. При обертанні патрона втулка 1 з ведучим рифленим центром 2 і пружиною 4 також обертаються. Цей

рух передається на деталь. Копір, що виконаний у вигляді циліндра, має робочий торець у вигляді синусоїдальної поверхні, яка контактує з обертаючим упором, здійснюючи поступовий рух та передачу його на деталь.

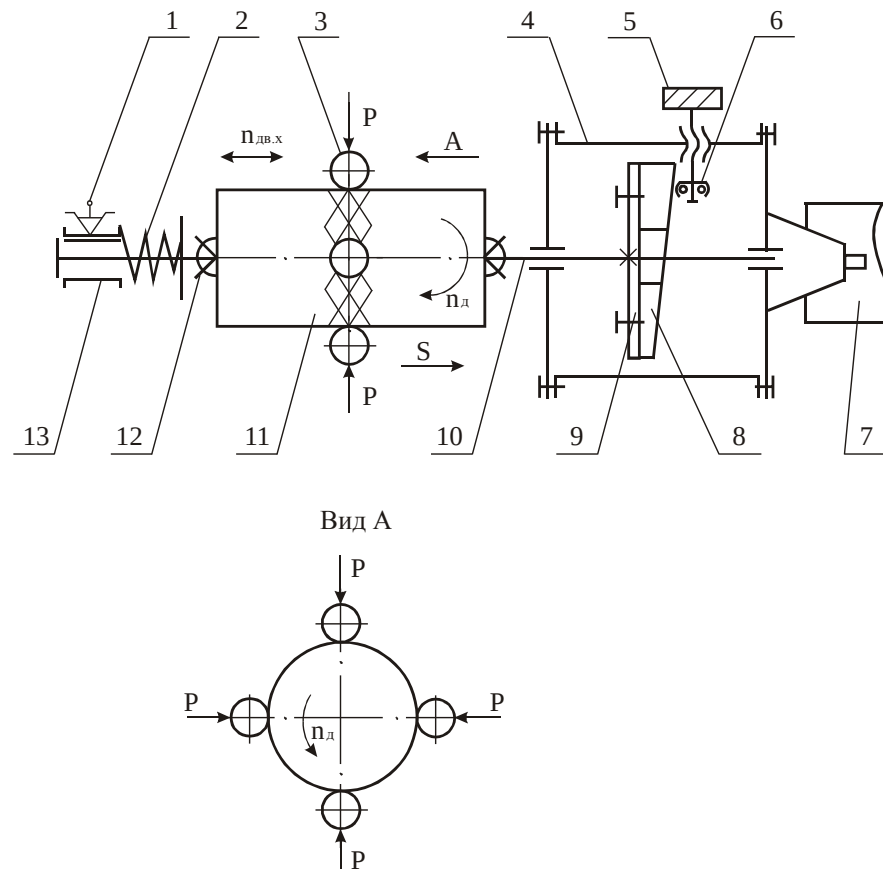


Рис.3.5. Схема пристрою для нанесення на поверхні деталей регулярного мікрорельєфу: 1 – патрон; 2 – зворотна пружина; 3 – багатокульковий накатник; 4 – корпус; 5 – гвинт; 6 – упор; 7 – піноль; 8 – змінний копір; 9 – маточина; 10 і 12 – рифлені центра; 11 – деталь; 13 – шліцьова втулка.

Таким чином, суть запропонованого процесу обробки полягає в тому, що на деталь, яка здійснює осциляцію і обертання, наноситься мікрорельєф багатокульковою головкою, яка у свою чергу рухається поступово.

Отримання різноманітного мікрорельєфу може досягатися зміною подачі багатошарикового накатника і амплітуди осциляції деталі, кількістю синусоїдальних кулачків на поверхні змінного копіра, а також кількістю, розмірами і розташуванням деформуючих елементів у багатошариковому накатнику.

3.5. Дослідження експлуатаційних характеристик колінчастих валів оброблених за запропонованою технологією

3.5.1 Зносостійкість

Методика проведення досліджень. Інтенсивність зношування наплавлених зразків і без досліджували на машині тертя МІ-1М (рис.3.6), що працює за схемою "вал-втулка" (матеріал вкладишів підшипників ковзання АО20-1.



Рис.3.6. Машина тертя МІ-1М.

Випробуванню піддавалися зразки: вал – чавун ВЧ 50, наплавлений і без наплавлення, і втулка з алюмінієвого антифрикційного сплаву АО20-1.

Навантажувальний і швидкісний режим для всіх випробувань відповідав умовам роботи сполучення.

У процесі зношування зразки піддавалися вимірам на величину зносу за допомогою індикаторного пристосування і шорсткості поверхні на профілографі-профілометрі. Профілограми поверхонь вала і втулки представлено на рис.3.7, 3.8. За цими профілограмами визначали величину зносу вала і втулки, за якими розраховували швидкість зношування поверхонь.

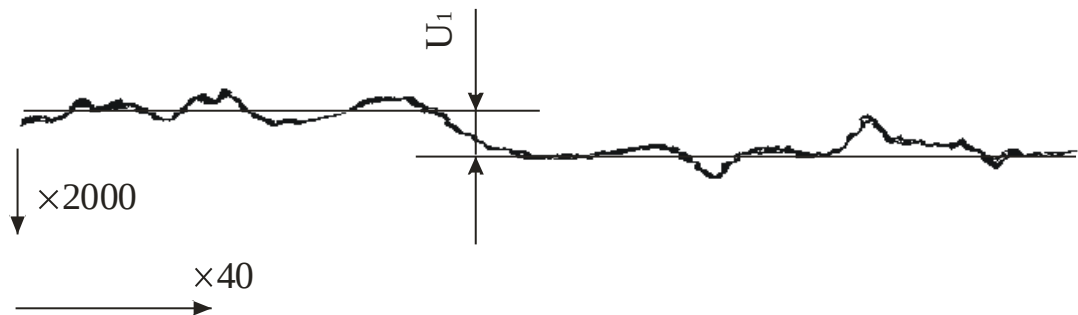


Рис. 3.7. Профілограма поверхні валу

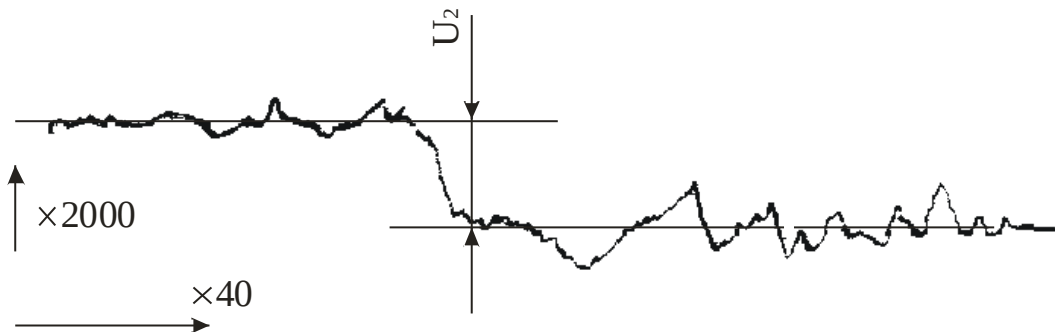


Рис.3.8. Профілограма поверхні втулки в місці максимального зносу

Результати досліджень. Обранні режими наплавлення та вібронакочування дозволили провести експериментальні дослідження зносостійкості зразків з чавуну ВЧ 50, з яких виготовлені колінчасті вали 3МЗ. Можна констатувати факт зменшення інтенсивності зношування на 5 – 7% зразків після наплавлення та наступного зміцнення вібраційним розкочуванням (рис.3.9).

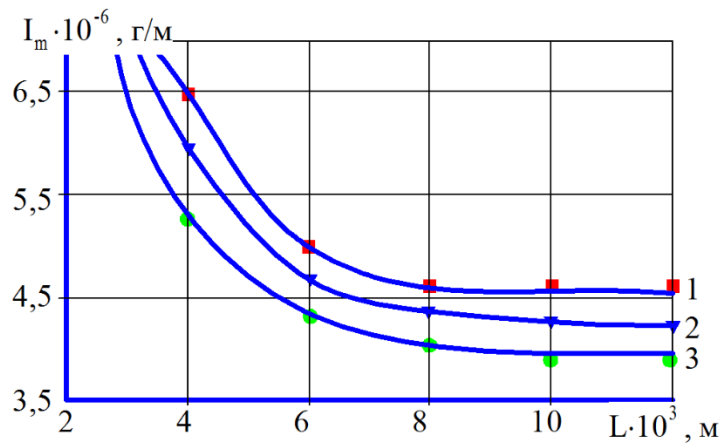


Рис.3.9. Інтенсивність зношування зразків від шляху тертя: 1 – зразок з чавуну ВЧ50; 2 – зразок з чавуну ВЧ50 з наплавленим шаром; 3 – зразок з чавуну ВЧ50 після наплавлення та зміцнення

Дослідження механізму руйнування зразків. Втомні тріщини зароджуються в перехідній зоні 1, потім розвиваються вглиб зразка або деталі, утворюючи гострі надрізи 2 (рис.3.10) доти, доки напруження, які діють у перерізі, досягнуть руйнівної.

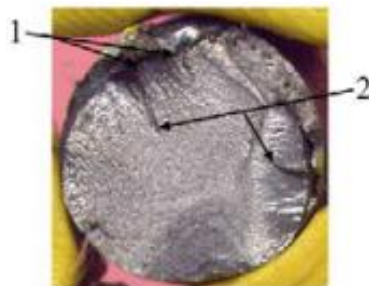


Рис.3.10. Поверхні втомного зламу зразків після наплавлення

Фрактографічними дослідженнями наплавлених зразків після їх руйнування встановлено притаманну зламам неоднорідність, що виражається в тому, що практично у всіх випадках спостерігається чергування мікроділянок з різним ступенем пластичного руйнування і наявністю ділянок крихкого руйнування.

Після вібраційного накочування твердість покриття збільшується до 35...38 HRC, яка, хоча й нижча за твердість поверхневого шару, однак, забезпечує інтенсивність зношування матеріалу покриття в парі із вкладишем із

матеріалу АО20-1 на рівні інтенсивності зношування загартованих шийок валів без покриттів.

Використання наплавлення шийок колінчастих валів із подальшою зміцнювальною обробкою вібраційним обкатуванням підвищує межу витривалості деталей на 25-30 % порівняно з валами, відновленими наплавленням без поверхневого пластичного деформування, що наближає їхню втомну міцність до однойменного показника нових деталей (рис.3.11).

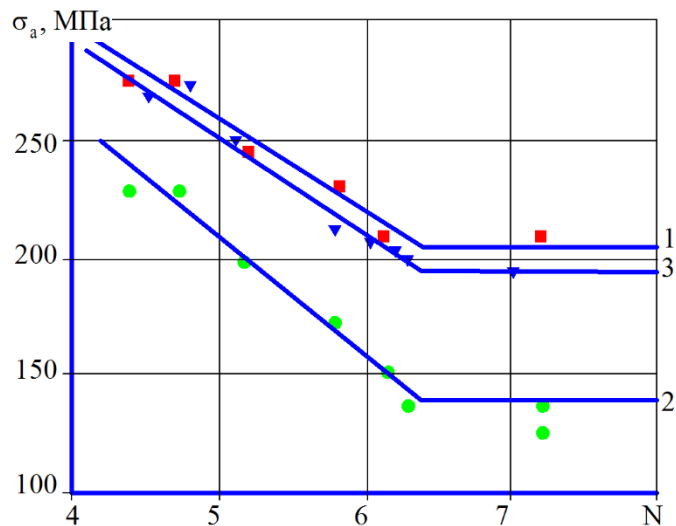


Рис.3.11. Криві втоми зразків: 1 – зразок з чавуну ВЧ50; 2 – зразок з чавуну ВЧ50 з наплавленим шаром; 3 – зразок з чавуну ВЧ50 після наплавлення та зміцнення

Для натурних втомних випробувань використано нові серійні колінчасті вали ЗМЗ і відновлені за запропонованою технологією.

Аналізуючи втомні руйнування колінчастих валів у процесі випробувань за заданих умов навантаження, необхідно відзначити їхній вид поломок.

Зона зародження і розвитку тріщини збігається з площиною розрахункового небезпечного перерізу. При цьому площа поперечного перерізу випробовуваної шатунної шийки уражається більш ніж на 60%. Далі розвиток тріщини триває в бік щоки, з ураженням отвору під різьбову пробку. Зона доломки (крихкого руйнування) в цьому випадку, як правило, розташовується повністю в похилому перерізі стоншеної частини щоки.

90% всіх руйнувань під час випробування натурних колінчастих валів ЗМЗ на втому в наших умовах належать саме до першого типу. Аналогічний характер руйнування чавунних валів двигунів ЗМЗ-53 відзначено під час експлуатації (рис.3.12).

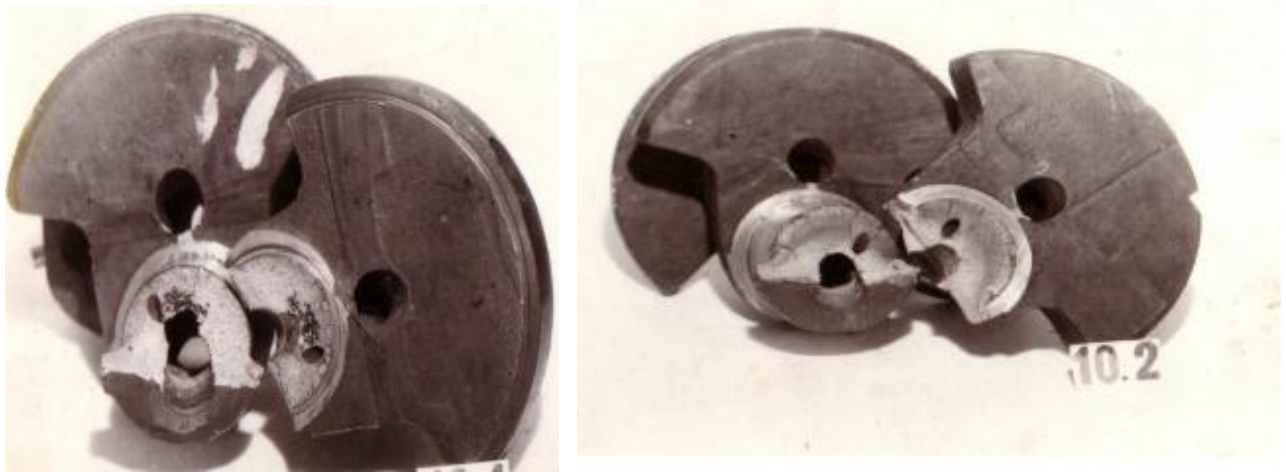


Рис.3.12. Втомні руйнування зразків у процесі випробування серії колінчастих валів

3.5.2 Експлуатаційні випробування

Методика проведення досліджень. Для оцінки довговічності колінчастих валів і порівняння інтенсивності зношування шийок, відновлених із нанесенням покриттів, і шийок без покриттів було підготовлено сталевий і чавунний вали, в яких покриття нанесли на дві корінні та дві шатунні шийки, що розташовані найближче до хвостовика. Решта шийок були без покриттів. Вали в складі відремонтованих двигунів пройшли прискорені випробування за 60-годинною програмою на обкаточно-гальмівному стенді КІ-5543 (рис.3.13).



Рис.3.13. Обкаточно-гальмівному стенді КІ-5543

Під час випробувань двигуни зупиняли, розбирали, оглядали колінчасті вали щодо виникнення дефектів і визначали зношування шийок і вкладишів, потім двигуни збирали, а випробування тривали. Для збільшення інтенсивності зношування в оливу додавали абразив Al_2O_3 і SiO_2 розміром зерна до 50 мкм із вмістом 0,3 % за масою. Число циклів навантаження колінчастих валів на обкатному стенді під час випробувань становило $\sim 1,4 \cdot 10^7$ циклів, що можна порівняти з базовим числом циклів навантаження, що дорівнює 10^7 .

Результати досліджень. Відсутність тріщин на відновлених шийках після повного циклу випробувань дала змогу судити про задовільний опір втоми валів. Вимірювання лінійного зносу шийок проводили тричі (табл.3.7).

Таблиця 3.7 – Лінійний знос шийок і вкладишів колінчастого валу двигуна ЗМЗ у процесі випробування, мм

№ зам.	<u>шатунні шийки</u> вкладиш		<u>корінні шийки</u> вкладиш	
	з покриттям	без покриття	з покриттям	без покриття
1	<u>0,020</u> 0,086	<u>0,021</u> 0,081	<u>0,025</u> 0,081	<u>0,025</u> 0,082
2	<u>0,029</u> 0,089	<u>0,031</u> 0,084	<u>0,030</u> 0,084	<u>0,031</u> 0,083
3	<u>0,037</u> 0,086	<u>0,037</u> 0,090	<u>0,033</u> 0,085	<u>0,032</u> 0,086

Інтенсивність зношування шийок чавунних колінчастих валів, відновлених наплавленням з подальшим вібраційним накочуванням, не більша за інтенсивність зношування шийок без покриття, а для вкладишів, які працюють з ними в парі тертя, вона знизилася на 1-4%. Інтенсивність зношування шийок сталевих колінчастих валів відновлених наплавленням знизилася на 6-8 %, вкладишів – на 2-4 %.

Встановлено, що інтенсивність зношування шатунних шийок валів, як для еталонних, так і відновлених, менша за корінні. Це положення підтверджується раніше проведеними експлуатаційними випробуваннями відновлених

колінчастих валів двигунів ЗМЗ-53, під час яких отримано темп зношування шатунних шийок у 6,0...8,0 разів менший за корінні [5].

Результати порівняльної оцінки зносостійкості нових і відновлених наплавленням колінчастих валів двигунів ЗМЗ-53 наведено в табл.3.8.

Таблиця 3.8 – Порівняльна оцінка зносостійкості нових і відновлених наплавленням колінчастих валів двигунів ЗМЗ

Найменування серій випробуванних колінчастих валів	Зносостійкість шийок валів, %		Загальна зносо- тсійкість валу, %
	корінні	шатунні	
Нові	100,0	100,0	100,0
Відновленні	98,7	103,85	101,28

Зносостійкість нових деталей (колінчастих валів еталонної серії) прийнята за 100% або рівною одиниці. Як видно з табл.3.8, зносостійкість колінчастих валів, відновлених за технологією наплавлення + зміцнення, перебуває на рівні нових деталей (101,28%), а за шатунними шийками перевищує на 3,85%.

Мікрометраж колінчастих валів і вкладишів двигунів дав змогу побудувати графіки їхнього зносу (рис.3.13, 3.14).

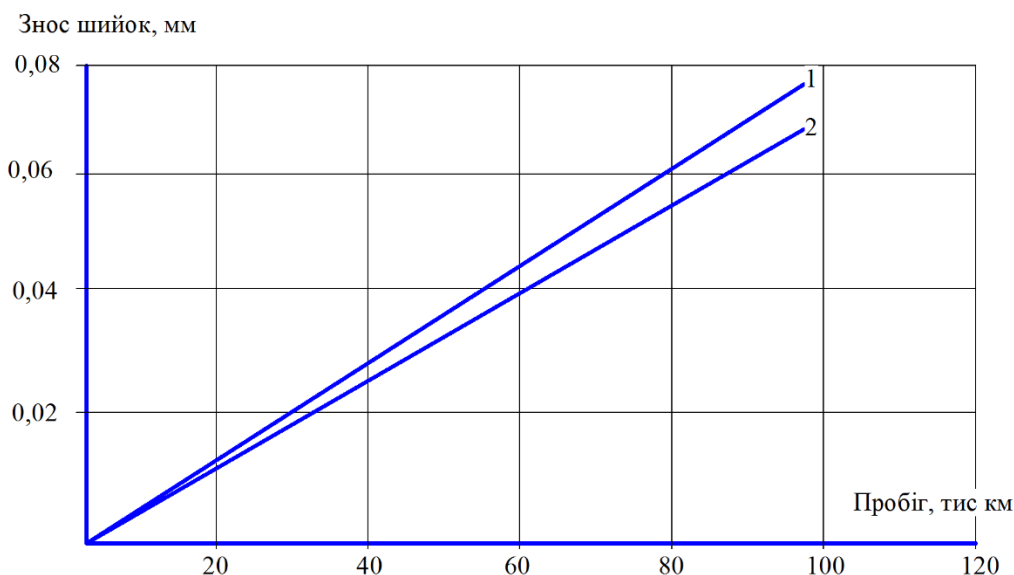


Рис.3.13. Графік зносу шатунних шийок колінчастих валів двигуна ЗМЗ: 1 – нова деталь; 2 – після наплавлення та зміцнення

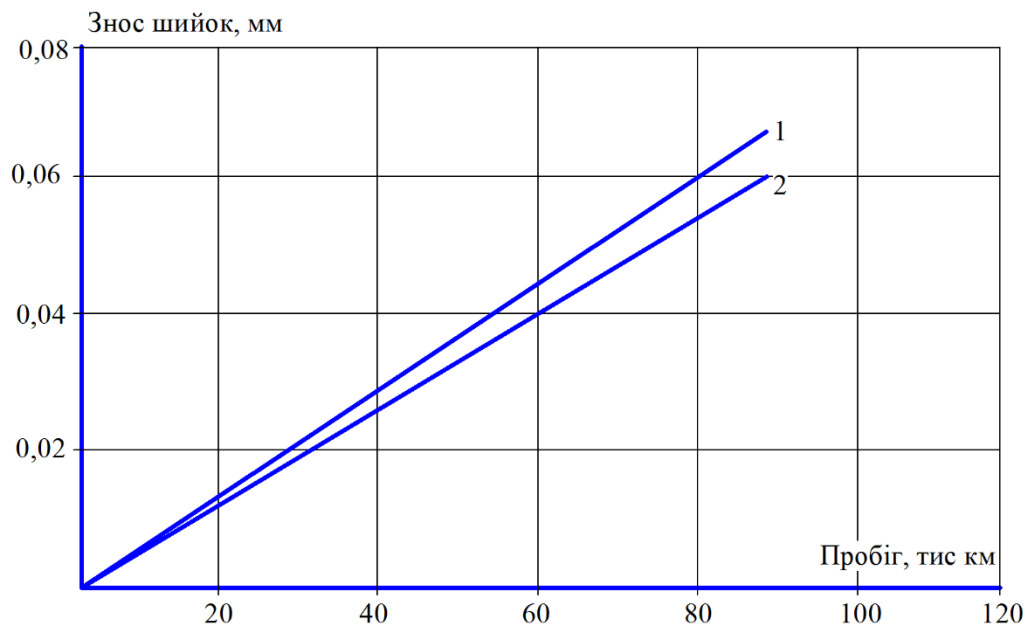


Рис.3.14. Графік зносу корінних шийок колінчастих валів двигуна ЗМЗ: 1 – нова деталь; 2 – після наплавлення та зміцнення

Відповідно до отриманих даних мікрометражу швидкості зношування для нового і відновленого валів становлять:

$$V_n = \frac{I}{\Pi} = \frac{0,021}{3000} = 7 \cdot 10^{-7} \text{ мм / км};$$

$$V_v = \frac{I}{\Pi} = \frac{0,02}{3000} = 6 \cdot 10^{-7} \text{ мм / км},$$

де V_n , V_v – швидкості зношування нових і відновлених і нового валів; I – середній знос по валу; Π – пробіг автомобіля.

Проявів втомного руйнування у вигляді тріщин, викришувань, поломок по жодній із серій досліджуваних колінчастих валів не було виявлено.

3.6. Висновки по розділу 3

За результатами досліджень, що представлені розділі 3, зроблені наступні висновки:

1. Аналіз дефектів колінчастого валу ДВЗ свідчить про необхідність підвищення довговічності деталі за рахунок відновлення її шийок (корінних, шатунних).

2. Запропоновано технологію відновлення колінчастих валів. Як основний спосіб відновлення обрано вібродугове наплавлення. В якості зміцнюючої обробки – вібраційне накочування.

3. Методом математичного планування експериментів виконано вибір оптимальних режимів вібронакочування: частота обертання інструменту $n = 122,8 \text{ хв}^{-1}$; швидкість вібронакочування $V = 19,28 \text{ м/хв}$; діаметр деформуючого елемента $d_{\text{ш}} = 3,97 \text{ мм}$; сила $P = 500 \text{ Н}$; подача $S = 0,61 \text{ мм/об}$; амплітуди осциляції інструменту $l = 12,5 \text{ мм}$.

4. Експериментальні дослідження зразків показала зменшення інтенсивності зношування на 5 – 7% зразків після наплавлення та наступного зміцнення вібраційним розкочуванням.

5. Встановлено, що використання наплавлення шийок колінчастих валів із подальшою зміцнювальною обробкою вібраційним обкатуванням підвищує межу витривалості деталей на 25-30 % порівняно з валами, відновленими наплавленням без поверхневого пластичного деформування.

6. Експлуатаційні випробування дозволили стверджувати, що інтенсивність зношування шийок чавунних колінчастих валів, відновлених наплавленням з подальшим вібраційним накочуванням, не більша за інтенсивність зношування шийок без покриття, а для вкладишів, які працюють з ними в парі тертя, вона знизилася на 1-4%. Інтенсивність зношування шийок сталевих колінчастих валів відновлених наплавленням знизилася на 6-8 %, вкладишів – на 2-4 %.

7. За результатами отриманих даних можна рекомендувати технологію відновлення шийок колінчастих валів наплавленням з подальшим вібронакочуванням.

РОЗДІЛ 4. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЙНЯТИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ

4.1. Визначення економічної ефективності при відновленні колінчастих валів ДВЗ за розробленою технологією

Економічна ефективність розробленої нової технології відновлення колінчастих валів ДВЗ визначається за її впливом на післяремонтний ресурс, за зниженням витрат у разі використання відновлених колінчастих валів замість купівлі нових.

Ефективність визначається з урахуванням сукупних витрат на створення і впровадження нової технології в разі використання нової технології на підприємствах замість наявної.

Під час економічної оцінки визначають загальну (абсолютну) і порівняльну ефективність технології. Загальна ефективність показує доцільність застосування нової технології, а порівняльна дає змогу визначити, які з найефективніших варіантів нових технологій, порівняно з базовою, слід застосовувати.

Загальну (абсолютну) економічну ефективність пропонованої технології відновлення колінчастих валів ДВЗ розраховують шляхом визначення абсолютного розміру прибутку, одержуваного під час упровадження технології, та його відносного розміру, тобто норми прибутку (рентабельності).

Абсолютна величина прибутку P визначається за формулою:

$$P = C - S,$$

де C – вартість відновленого колінчастого вала в цінах реалізації, грн.;

S – собівартість відновленого колінчастого вала, що відображає сукупні витрати на основні фонди, оборотні кошти та трудові ресурси, грн.

Розрахунки економічної ефективності зроблено з розрахунку на одну тисячу колінчастих валів. Вартість реалізації колінчастого вала двигуна ЗМЗ,

відновленого із застосуванням пропонованої технології, становить – $\Pi = 20450$ грн. Собівартість відновленого колінчастого вала з урахуванням витрат і накладних витрат становить 12400 грн.

Абсолютна величина прибутку при використанні нової технології

$$\Pi = 20450 - 12400 = 8050 \text{ грн.}$$

Норма прибутку (рентабельність) становитиме:

$$H_{np} = \left(\frac{\Pi}{C} \right) 100 = \left(\frac{8050}{12400} \right) 100 = 64,9 \%$$

Отримана норма прибутку свідчить про досить високий рівень рентабельності пропонованої технології.

Річний економічний ефект при порівняльній оцінці визначається за формулою:

$$E_{np} = \left[\left(\frac{\Pi_B}{A_H} \right) - \left(\frac{\Pi_B}{A_B} \right) \right] A_H,$$

де E_{np} – річний приріст прибутку, грн.;

Π_H, Π_B – річний прибуток за новим і базовим варіантом, грн.;

A_H – річний обсяг відновлених колінчастих валів, шт.; (з розрахунку 1000 колінчастих валів).

Тоді:

$$E_{np} = \left[\left(\frac{80500}{1000} \right) - \left(\frac{240}{1000} \right) \right] 1000 = 80260 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект

$$E_p = \left[\left(\Pi_H \cdot A_H - \frac{C_H}{A_H} \right) - \left(\Pi_B \cdot A_B - \frac{C_B}{A_B} \right) \right] A_H = 80260 \text{ грн.}$$

де E_p – річний економічний ефект, грн.;

Π_B – ціна реалізації продукції за новим і базовим варіантами, грн.;

C_B – собівартість одного колінчастого вала при відновленні 1000 колінчастих валів за новим і базовим варіантами, грн.

Під час порівняльної економічної оцінки застосовуваних технологій відновлення колінчастих валів без збільшення обсягу та підвищення якості виробленої продукції економічний ефект за рахунок зниження собівартості визначається за формулою:

$$E_{\text{порівн.}} = C_B - C_H,$$

де C_H, C_B – собівартість відновлення колінчастих валів за новим та базовим варіантом на всю партію (1000 шт.), грн.

$$E_{\text{порівн.}} = (20450 - 12400)100 = 805000 \text{ грн.}$$

4.2. Правила техніки безпеки та протипожежні заходи при виконанні робіт з відновлення колінчастих валів

Знання устаткування і правил поводження з ним, суворе дотримання правил з техніки безпеки є необхідними умовами безпеки при виконанні процесів ремонту і відновлення деталей машин [24].

Заходи щодо запобігання нещасним випадкам і травматизму на підприємстві слід проводити систематично. Цехи і дільниці повинні бути обладнані стендами і плакатами з безпечних прийомів праці. Перш ніж допустити робітників до роботи, проводять квартальний інструктаж та інструктаж на робочому місці. Рекомендується здійснювати в цеху чергування робітників з техніки безпеки і дво- або триступеневий контроль дотримання правил охорони праці та техніки безпеки.

Основні причини травматизму:

- відсутність огорожень і запобіжних пристроїв у обладнання, що обслуговується;
- недосконалість огорожувальних пристроїв;
- несправність устаткування, інструменту і пристосувань;
- недоліки в організації та утриманні робочого місця;
- нераціональні способи виконання окремих технологічних операцій.

Усе обладнання має бути справним і заземленим. Як правило, його встановлюють на фундаментах або на амортизуючих підставках. Устаткування слід очищати від стружки і бруду, змащувати і регулювати тільки після його зупинки. Знімати стружку під час обробки деталей необхідно металевими гачками або щіткою. Для захисту очей від ураження стружкою верстати повинні бути забезпечені екранами щитками з небиткого скла. Крім того, слід користуватися захисними окулярами.

Для запобігання впливу охолоджувальних рідин використовують екрани і місцеві відсмоктувачі, а також застосовують спеціальні пасти, які наносять тонким шаром на відкриті частини шкіри перед початком роботи. Одяг працюючих має бути акуратно заправлений для запобігання захоплення його рухомими елементами верстата. Довге волосся потрібно укласти під головний убір або сітку.

Верстати встановлюють так, щоб за найбільшого ходу стола або повзуна (фрезерні, стругальні тощо) був забезпечений вільний прохід завширшки не менше 0,7 м.

На свердлильних верстатах оброблювані деталі слід надійно закріплювати за допомогою пристроїв і пристосувань. Забороняється утримувати оброблювані деталі руками.

Шліфувальні та заточувальні верстати, що працюють без охолодження, мають бути оснащені пиловідсмоктувальними пристроями. Абразивний круг має бути закритий міцним кожухом. Спостерігати за обробкою допускається тільки через прозорий екран. Зазор між кругом і підручником не повинен перевищувати 3 мм.

До зварювальних робіт допускаються особи, які склали іспит на право роботи і твердо знають правила техніки безпеки.

Зварювальна дуга випромінює, крім видимих світлових променів, також і невидимі промені - інфрачервоні та ультрафіолетові. Ультрафіолетові промені навіть за короткочасного впливу на очі (5...10 хв) викликають спазми повік, сльозотечу та запалення очей. Крім впливу на очі, ультрафіолетові промені

діють на шкіру, спричиняючи опіки, подібні до опіків за тривалого впливу сонячних променів

Для захисту очей і шкіри обличчя від впливу променів застосовують щитки і маски із захисним темним склом. Усі інші частини тіла при ручному зварюванні закривають спеціальним одягом. Для оберігання оточуючих від випромінювання дуги місця зварювання огорожують світлонепроникними ширмами або щитками.

Для видалення шкідливих газів і пилу місця зварювання і наплавлення повинні бути обладнані місцевою витяжною вентиляцією.

Крім того, працюючи з електричними машинами, зварювальник наражається на небезпеку ураження електричним струмом.

Під час роботи зварювальник може отримати і теплові опіки як від крапель і бризок розплавленого металу, так і від дотику до нагрітих від дуги деталей. Для того щоб бризки і краплі металу не пропаливали одяг і не заподіювали опіку, спецодяг зварювальника повинен бути виготовлений зі щільного брезенту, а кишені повинні закриватися клапанами.

Зварювальник під час роботи не повинен заправляти куртку в штани або штани в чоботи для того, щоб бризки металу могли вільно скочуватися на підлогу, не затримуючись у складках одягу. Штани у зварювальника повинні бути довгими, що закривають черевики. Взуття має щільно прилягати до ноги і бути зашнурованим. Голова зварювальника повинна бути покрита головним убором без козирка, оскільки останній ускладнює роботу зі щитком.

Забороняється зварювання виконувати поблизу від вогнебезпечних і легкозаймистих матеріалів.

Встановлювати і ремонтувати зварювально-наплавочне обладнання повинні тільки спеціально підготовлені робітники.

До протипожежних заходів на ремонтних підприємствах належать:

- 1) встановлення обладнаних засобами пожежогасіння (багри, лопати, відра, кошма, пісок тощо) протипожежних постів;
- 2) розміщення вогнегасників (на колонах та інших доступних місцях);

- 3) зберігання МОР і паливно-мастильних матеріалів в окремому приміщенні з виходом назовні;
- 4) встановлення у відповідних місцях гідрантів (підводів води) і шлангів;
- 5) утримання проходів і проїздів у вільному (незахащеному) стані.

4.3. Висновки по розділу 4

За розділом 4 магістерської роботи зроблені такі висновки:

- 1. Розраховано економічний ефект від впровадження запропонованої технології відновлення колінчастих валів, який складає 805 тис. грн.
- 2. Представлені основні засади з техніки безпеки при виконанні робіт з відновлення колінчастих валів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

За результатами виконання кваліфікаційної магістерської роботи, яка присвячена підвищенню довговічності колінчастих валів двигунів внутрішнього згорання, зроблені наступні загальні висновки:

1. Показано, що однією з найбільш відповідальних, дорогих, а також складних у ремонті деталей двигуна внутрішнього згорання є колінчастий вал, аналіз дефектів якого показав, що найбільший відсоток становить знос шийок.

2. Огляд існуючих способів відновлення колінчастого валу з врахуванням критерій, що використовуються при виборі способу відновлення, показав, що найбільш доцільним способом відновлення шийок колінчастих валів є вібродугове наплавлення. Але така технологія вимагає зміцнюючої обробки, в якості якої пропонується використання вібраційного накочування.

3. Методом математичного планування експериментів виконано оптимізація режимів вібронакочування. З огляду на отриманні результати, оптимальними режимами вібраційного накочування є: частота обертання інструменту $n = 122,8 \text{ хв}^{-1}$; швидкість вібронакочування $V = 19,28 \text{ м/хв}$; діаметр деформуючого елемента $d_{\text{ш}} = 3,97 \text{ мм}$; сила $P = 500 \text{ Н}$; подача $S = 0,61 \text{ мм/об}$; амплітуди осциляції інструменту $l = 12,5 \text{ мм}$.

4. Експериментальні дослідження запропонованої технології показали зменшення інтенсивності зношування на 5...7% зразків після наплавлення та їх наступного зміцнення, а також підвищення межі витривалості деталей на 25...30 % порівняно з валами, відновленими наплавленням без поверхневого пластичного деформування.

5. Проведені теоретичні дослідження та результати експериментальних досліджень дозволили рекомендувати технологію відновлення шийок колінчастих валів наплавленням з подальшим вібронакочуванням.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Посвятенко Е.К. Відновлення колінчастих валів двигунів внутрішнього згоряння іонно-імпульсним азотуванням / Е.К. Посвятенко, В.В. Алексєєв, А.В. Рутковський // Вісник Сумського державного ун-ту: Серія технічні науки (машинобудування). – Суми, 2005. – № 11. – С. 119–122.

2. Ковальов, М. Ф. Визначення закономірностей зношування шийок колінчастих валів двигунів транспортних засобів / М. Ф. Ковальов, М. В. Головащук // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2019. - Вип. 2 (33). - С. 116-121.

3. <https://erm.kntu.kr.ua/materiali/pidgotovka.html>

4. Сідашенко О.І. Ремонт машин та обладнання: підручник/ [Сідашенко О.І., Науменко О.А., Скобло Т.С., Тіхонов О.В., Черновол М.І., Ружи́ло З.В., Войтов В.А., Аветісян В.К., Автухов А.К., Мартиненко О.Д., Бантковський В.А., Сиромятніков П.С., Сайчук О.В. та ін.]; за ред. проф. О.І.Сідашенка, О.А.Науменка. - Київ: Агроосвіта, 2014. - 665с.

5. Дьомін А.Ю. Вдосконалення технологій відновлення колінчастих валів дизелів транспортного призначення / Л.А. Тимофєєва, С.С. Тимофєєв, А.Ю. Дьомін, Є.С. Ягодинський // Збірник наукових праць V міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології на залізничному транспорті», 31 березня – 7 квітня 2014 р. – С. 87 – 90.

6. Дьомін А.Ю. Підвищення зносостійкості колінчастих валів тепловозних двигунів / А.Ю. Дьомін // Матеріали 15-ї міжнародної науково-технічної конференції «Інженерія поверхні і реновація виробів», 1 – 5 червня 2015 р., смт. Затока, Одеська обл. – Київ. – С. 53 – 55.

7. Закалов О.В. Основи тертя і зношування в машинах: Навчальний посібник / О.В. Закалов, І.О. Закалов. – Тернопіль: Видавництво ТНТУ ім. І.Пулую, 2011. – 322 с.

8. Кіндрачук М. В., Лабунець В. Ф., Пашечко М. І., Корбут Є. В. Трибологія: підручник/ МОН. – Київ: НАУ-друк, 2009. – 392 с.

9. Тарельник В.Б., Коноплянченко Є.В., Марцинковський В.С., Антошевський Б. Триботехнологія деталей машин: Навчальний посібник. – Суми: Вид-во «МакДен», 2010. – 264 с.

10. Дьомін А.Ю. Удосконалення технології відновлення колінчастих валів тепловозних дизелів / Л.А. Тимофєєва, А.Ю. Дьомін // Матеріали круглого столу в рамках 15-ї Міжнародної виставки промислового обладнання і металообробки «Машпром-2015» «Ефективні технології при виготовленні, ремонті і відновленні деталей», 7 жовтня 2015 р., м. Дніпропетровськ. – С. 112 – 113.

11. Паніна В.В. Методика визначення оптимального способу відновлення колінчастого валу/В.В. Паніна, Д.С. Плехун/ Збірник наукових праць магістрантів та студентів ТДАТУ, Вип. 16 Т.1 Механікотехнологічний факультет. – Мелітополь: ТДАТУ, 2016.

12. Практикум з ремонту машин. Загальний технологічний процес ремонту та технології відновлення і зміцнення деталей машин. Том 1 : Навчальний посібник / [Сідашенко О. І., Тіхонов О. В., Скобло Т. С., Мартиненко О. Д., Гончаренко О. О., Сайчук О. В., Аветісян В. К., Автухов А. К., Рибалко І. М., Сиромятніков П. С., Бантковський В. А., Маніло В. Л.] /За ред. О.І. Сідашенко, О.В. Тіхонова. – Харків: ТОВ «Пром-Арт», 2018. 416 с.

13. <http://ua.ovva.com.ua/catalog/shlifuvannja-kolinchatih-valiv.html>

14. <http://um.co.ua/2/2-5/2-55990.html>

15. https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/11/other/4_1_.pdf

16. Інженерія поверхні: підручник / К. А. Ющенко, Ю. С. Борисов, В. Д. Кузнецов, В. М. Корж. - Київ: Наукова думка, 2007. – 559 с.

17. Лузан С.О. Інженерія поверхні. Курс лекцій / С.О. Лузан, О.І. Сідашенко. – Харків: Водний спектр Джі-Ем-Пі, 2019. – 188 с.

18. Корж В. М. Технологія та обладнання для напилення. навчальний посібник. К.: НМЦ ВО. 2000. – 407 с

19. Шепеленко І.В. Удосконалення процесу обробки шатунних втулок поверхневим пластичним деформуванням при їх відновленні: (05.03.01) / Кіровоград. держ. техн. ун-т. — Кіровоград, 2003. - 17 с.

20. Дзюра В.О. Технологічні методи забезпечення параметрів якості поверхонь тіл обертання та їх профілометричний контроль / В.О. Дзюра, П.О. Марущак. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2021. — 170 с.

21. Кропівний В.М., Шепеленко І.В. Експлуатаційні випробування шатунних втулок, відновлених вібророзкочуванням з наступним деформуючим протягуванням// Збірник наукових праць Кіровоградського державного технічного університету/ Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. — Кіровоград: КДТУ. - 2003. — Вип. 13. — С.196-200.

22. Технологія зміцнення поверхні. Методичні вказівки до виконання практичних робіт для студентів напряму 6.050504 «Зварювання» / Укладачі: С. М. Гетманець, А. В. Чорний, Д. В. Степанов — К.: НТУУ «КПІ», 2013, 43 —с.

23. Попович В.В.. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: Підручник/ В.В. Попович, В.В. Попович. — Львів: Світ, 2006. — 623 с.

24. Геврик Є. О. Охорона праці: Навчальний посібник для студ. внз / Є. О. Геврик ; МОН України. — К. : Ельга, НікаЦентр, 2004. — 280 с.