



ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА ТА ТРАНСПОРТУ

КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»



КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

«Підвищення довговічності деталей шатунно-поршневої групи
двигунів внутрішнього згорання сучасними методами реновації на
базі ТОВ «Калита-Нова» м. Кропивницький»

Виконав:

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

Керівник:

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

«ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри:

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

«__» _____ 2023 р.

Рецензент:

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

Парфенюка Валентина Володимирівна

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Підвищення довговічності деталей шатунно-поршневої групи двигунів внутрішнього згорання сучасними методами реновації на базі ТОВ «Калита-Нова» м. Кропивницький»

керівник роботи Щепеленко Ігор Віталійович,

(прізвище, ім'я, по батькові)

д.т.н.

(науковий ступінь)

професор

(вчене звання)

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 розвитку ТОВ «Калита-Нова». Характеристика умов роботи та основних процесів зношування кривошипно-шатунного механізму. Обґрунтування теми магістерської роботи.. Висновки по розділу 1.

4.2 Розділ 2. Особливості умов роботи деталей шатунно-поршневої групи. Конструктивні особливості основних деталей шатунно-поршневої групи. Характеристика умов роботи і основних процесів зношування втулки верхньої головки шатуна. Способи відновлення внутрішніх поверхонь шатунних втулок. Застосування поверхневого пластичного деформування для відновлення зношених отворів. Сутність вібророзколювання та деформуючого протягування, можливість їх використання для відновлення шатунних втулок. Висновки по розділу 2.

4.3 Розділ 3. Статистичний аналіз зносів внутрішньої поверхні втулок верхньої головки шатуна двигунів ЯМЗ. Теоретичне обґрунтування можливості використання вібраційного розкочування під час відновлення деталей. Технологічний процес відновлення втулок верхньої головки шатуна. Дослідження якості робочої поверхні після вібраційного розкочування та деформуючого протягування. Висновки по розділу 3.

4.4 Розділ 4. Визначення ефективності відновлення шатунних втулок використанням технології вібророзкочування та деформуючого протягування. Аналіз небезпечних і шкідливих факторів під час виконання робіт на гальванічній дільниці. Висновки по розділу 4.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: Схема сил, що діють на підшипник ковзання верхньої головки шатуна. Класифікація способів відновлення внутрішніх поверхонь шатунних втулок. Статистичний аналіз зносів втулок. Розрахункова схема для визначення розмірних параметрів отвору під час вібророзкочування і протягування. Залежності мікротвердості від режимів вібророзкочування та деформуючого протягування. Залежності тривалості припрацювання. Діаграми інтенсивності зношування.

ГРАФІК ВИКОНАННЯ ЕТАПІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1. Історія розвитку підприємства ТОВ «Калита-Нова» та обґрунтування теми магістерської роботи	10.11.2023	
2	Розділ 2. Літературний аналіз за темою досліджень	24.11.2023	
3	Розділ 3. Результати наукових досліджень	05.12.2023	
4	Розділ 4. Обґрунтування ефективності прийнятих технічних рішень та охорона праці при відновленні втулок	12.12.2023	
5	Оформлення ілюстративного матеріалу	22.12.2023	

Магістрант _____
(підпис)

Парфенюк В.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Ігор ШЕПЕЛЕНКО
(ім'я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна магістерська робота присвячена підвищенню довговічності деталей шатунно-поршневої групи двигунів внутрішнього згорання використанням сучасних методів реновації.

Метою представленої роботи є підвищення якості відновлення деталей двигунів внутрішнього згорання.

Об'єкт дослідження – технологічний процес відновлення бронзових втулок двигунів внутрішнього згорання.

Предметом дослідження є робоча поверхня бронзової втулки.

З'ясовано, що спряження «шатунна втулка – поршневої палець» працює в граничній фазі тертя за високих питомих тисків і навантажень за наявності абразиву.

Показано, що для відновлення бронзових втулок з незначними зносами доцільним представляється використання вібраційного розкочування. Для збільшення опорної площі вібророзкатоної поверхні можливе використання деформуючого протягування. Аналіз зносного стану показав, що кількість втулок із зносом до 0,05 мм становить 9,3%.

Запропонована комплексна технологія відновлення бронзових втулок з використанням технології вібророзкочування з подальшим деформуючим протягуванням дозволяє досягати граничного ступеня зміцнення оброблюваної поверхні. Доведено, що вібророзкочування з подальшим деформуючим протягуванням забезпечує підвищення зносостійкості в умовах граничного і сухого тертя.

Розроблений технологічний процес відновлення шатунних втулок з використанням вібророзкочування з подальшим деформуючим протягуванням може бути використаний для підвищення довговічності сполучення «втулка - поршковий палець».

Кваліфікаційна магістерська робота складається з вступу, 4 розділів, висновків; містить 74 сторінки тексту, 29 рисунків, 6 таблиць.

ВСТУП.....

**РОЗДІЛ 1. ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ БАЗИ ПАРКТИКИ – ТОВ
«КАЛИТА-НОВА» ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕМИ МАГІСТЕРСЬКОЇ
РОБОТИ**

- 1.1. Основні етапи розвитку ТОВ «Калита-Нова».....
- 1.2. Характеристика умов роботи та основних процесів зношування кривошипно-шатунного механізму
- 1.3. Обґрунтування теми магістерської роботи.....
- 1.4. Висновки по розділу 1.....

**РОЗДІЛ 2. ЛІТЕРАТУРНИЙ АНАЛІЗ ЗА ТЕМОЮ
ДОСЛІДЖЕНЬ**

- 2.1. Особливості умов роботи деталей шатунно-поршневої групи
- 2.2. Конструктивні особливості основних деталей шатунно-поршневої групи
- 2.3. Характеристика умов роботи і основних процесів зношування втулки верхньої головки шатуна ...
- 2.4. Способи відновлення внутрішніх поверхонь шатунних втулок
 - 2.4.1 Відновлення внутрішніх поверхонь втулок нанесенням металевих покриттів
 - 2.4.2 Використання композиційних електролітичних покриттів для відновлення внутрішніх поверхонь втулок
 - 2.4.3 Застосування поверхневого пластичного деформування для відновлення зношених отворів
- 2.5. Сутність вібророзкочування та деформуючого протягування, можливість їх використання для відновлення шатунних втулок
- 2.6. Висновки по розділу 2.....

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Статистичний аналіз зносів внутрішньої поверхні втулок верхньої головки шатуна двигунів ЯМЗ-238

3.2. Теоретичне обґрунтування можливості використання вібраційного розкочування під час відновлення деталей

3.3. Технологічний процес відновлення втулок верхньої головки шатуна

3.4. Дослідження якості робочої поверхні після вібраційного розкочування та деформуючого протягування

3.4.1 Структура, мікротвердість та глибина зміцненого шару

3.4.2 Припрацювання поверхні після ВРДП

3.4.3 Зносостійкість поверхні після вібророзкочування з подальшим деформуючим протягуванням

3.5. Висновки по розділу 3

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

4.1. Визначення ефективності відновлення шатунних втулок використанням технології вібророзкочування та деформуючого протягування

4.2. Аналіз небезпечних і шкідливих факторів під час виконання робіт на гальванічній дільниці

4.3. Висновки по розділу 4.....

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....

Вступ

Ресурс роботи і надійність двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) тісно пов'язані з працездатністю її найвідповідальніших та найдорожчих деталей. Тенденція пошуку шляхів зниження експлуатаційних витрат на ремонт і експлуатацію машин, що намітилася, є стійким явищем у господарському та економічному житті суспільства. Чималу частку в експлуатаційних витратах займають витрати на придбання запасних частин замість зношених [1].

Для вирішення цих завдань передбачається поліпшення якості ремонту за рахунок упровадження сучасних методів його організації та оптимальних технологічних процесів відновлення деталей. Отже, одним зі шляхів зменшення матеріальних втрат під час ремонту є застосування прогресивних технологій відновлення ресурсовизначальних деталей машин.

Під час розробки технологічних процесів відновлення деталей слід керуватися такими основними принципами [2]:

якість відновлених деталей повинна задовольняти вимогам робочого креслення та технічних умов на їх виготовлення;

- технологічний вплив на деталь під час відновлення її зношених поверхонь не повинен викликати незворотні зміни структури основного металу;

- нарощений на поверхню деталі шар металу повинен мати фізичне зчеплення з основою;

- умови відновлення мають бути стаціонарними та не змінюватися в часі, забезпечувати відтворюваність структур зношених поверхонь;

- процес відновлення має бути високопродуктивним, максимально наближеним до процесу заводського виготовлення, економічним і керованим;

- довговічність деталей після відновлення повинна відповідати довговічності нових деталей або мати близькі межі.

Особливо важлива проблема відновлення для деталей, ресурс яких різною мірою лімітує ресурс ДВЗ. Це повною мірою стосується і шатунних втулок, які

виготовлені з дороговартісної бронзи та багато в чому визначають ресурс шатунно-поршневої групи та двигуна загалом.

Таким чином, застосування сучасних способів реновації деталей під час відновлення деталей, що лімітують ресурс двигунів, є актуальною та своєчасною задачею.

РОЗДІЛ 1. ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ БАЗИ ПАРКТИКИ – ТОВ «КАЛИТА-НОВА» ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕМИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

1.1. Основні етапи розвитку ТОВ «Калита-Нова»

Науково-виробнича фірма «Калита» створена 5 листопада 1993 року у формі ТОВ. На першому етапі свого розвитку підприємство займалося Початковою спеціалізацією роботи підприємства було обробкою та зміцненням колінчастих валів, що дозволило в подальшому займатися відновленням 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» [3].

На протязі 1993 – 1995 рр. на підприємстві впроваджено:

- діляницю по ремонту головок блоків циліндрів двигунів;
- технологію відновлення розподільчих валів.

«В 1997 році на підприємстві впроваджено діляницю по 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].

«З 1999 року розпочато роботи дільниці зварювально-рихтувальних робіт, а з 2000 року на підприємстві почала працювати ділянка шиномонтажу та балансування коліс. В цьому ж році ділянку оснащено верстатом по правці зварних коліс автомобілів. В 2001 році розпочаті роботи по ремонту ходових частин легкових автомобілів» [3].

Новим етапом розвитку підприємства стало її реорганізація та створення на її базі нового підприємства – 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»

Одним із напрямків роботи підприємства ТОВ «Калита-Нова» є ремонт двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ). Одним із відповідальніших вузлів ДВЗ є кривошипно-шатунний механізм.

1.2. Характеристика умов роботи та основних процесів зношування кривошипно-шатунного механізму

«Кривошипно-шатунний механізм є одним з найбільш відповідальних вузлів двигунів внутрішнього згорання. Він служить для перетворення повздовжнього зворотно-поступового руху поршня у обертовий рух колінчастого валу. Кривошипно-шатунний механізм складається з циліндрів,

поршнів з кільцями, поршневих пальців, шатунів з вкладишами, колінчастого валу і маховика. Зверху циліндри закриті головкою блоку циліндрів» [4].

Циліндри разом з поршнями і головкою блоку циліндрів створюють замкнутий об'єм, в якому здійснюється робочий цикл двигуна. Внутрішні поверхні стінок поршня грають роль напрямних при русі поршня. Гільзи циліндрів виготовляються з легованих чавунів, які мають відносно велику зносостійкість і достатньо високі механічні властивості.

Циліндри кріпляться до картеру двигуна у середині якого в підшипниках встановлюється колінчастий вал. У нижній частині картер закрито піддоном, який є резервуаром для мастила.

Поршні встановлюють у циліндри з невеликим зазором 0,22- 0,36 мм. Вони служать для сприйняття тиску газів, що розширюються при робочому такті двигуна, самі при цьому рухаються, і у такий засіб передають рух через поршневі пальці та шатуни на колінчастий вал. Матеріалом для виготовлення поршнів служать алюмінієві сплави з домішками магнію та міді АЛ-9 (сілуміни), жаропрочні АЛ-25, АЛ-30 ГОСТ 2685-90 та інші. Поршневі кільця, які підрозділяються на компресійні та маслороз'ємні, виготовляються з легованих спеціальних чавунів та сталей. Поршневі пальці служать для шарнірного з'єднання поршня з шатуном через бронзову, мідну втулку і виготовляються з низьковуглецевих легованих сталей, які в процесі виготовлення піддаються цементації і загартуванню струмом високої частоти, а в деяких випадках низькотемпературній обробці (-70°C).

Шатуни з'єднують поршні з колінчастим валом і передають зусилля, які діють на поршні, колінчастому валу, який в свою чергу передає обертовий рух механізму трансмісії. Виготовляють колінчасті вали з спеціальних селективних середньовуглецевих легованих сталей та чавунів.

Кривошипно-шатунний механізм двигунів в процесі експлуатації працює у складних умовах. На його деталі діють тиск газів, вібрація, сили інерції зворотно-поступових рухів мас, сили тяжіння і тертя. Всі ці сили, за виключенням сили тяжіння, постійно змінюються за значенням і напрямком.

Однак вирішальний вплив на строк служби деталей чинять умови експлуатації. Так, при роботі двигунів, найважливішими факторами, які впливають на зношення деталей є абразивне середовище, число запусків і зупинок двигуна, температурний режим роботи, та режим навантаження, вібрації та деформації деталей. У даному випадку в сполученні внутрішньої поверхні верхньої головки шатуна з зовнішньою поверхнею втулки поршневого пальця діють знакозмінні напруження, які виникають під дією дотичних сил, викликаючи тим самим мікропереміщення з послідуною деформацією мікронерівностей поверхневих шарів, як втулки, так й отвору шатуна.

При експлуатації двигуна сполучення підлягає впливу різноманітних механічних навантажень, ударам, вібрації деталей, акустичним шумам та іншим. «Джерелом цих навантажень можуть бути, як робочі процеси, які відбуваються у сполученні, так і взаємодія об'єкту з рельєфом (дорожнім, польовим, ґрунтовим та ін.). В умовах тривалих вібрацій проявляються ефекти втомленості матеріалів деталей. Удари зумовлюють в елементах сполучення коливання у широкому спектрі частот, що може викликати на власних резонансних частотах більші амплітудні переміщення цих елементів і відкази деталей. Акустичні шуми за характером впливу подібні вібраціям і ударам, тільки у вищому діапазоні частот, що діють. Всі ці впливи та процеси перебувають у складній взаємозалежності та виявляються у вигляді механічної, теплової та хімічної енергій, їх дія супроводжується певними процесами, які призводять до пошкодження поверхонь деталей і втрати їх працездатності» [5].

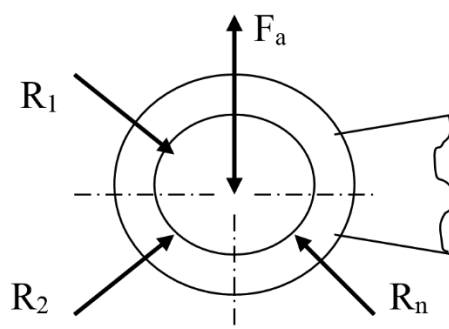


Рис.1.2. Сили, які діють на верхню головку шатуна: F_a – осьові навантаження; R_n – радіальні навантаження

Знос деталей циліндро-поршневої групи залежить від цілого ряду факторів. Циліндри зношуються в основному у результаті тертя поршневих кілець, а в деяких випадках і поршнів, діяння абразивних часток на поверхні гільз і корозії.

Поршневі кільця зношуються по зовнішньому діаметру у результаті тертя з поверхнею гільз циліндрів і по висоті внаслідок тертя об торці канавок поршня (одночасно зношуються і торці канавок поршня).

«Отвори в бобишках поршня, поршневі пальці та втулки верхньої головки шатуна зношуються у результаті сил тертя при зміні напрямку руху поршня» [6].

Поршень піддається впливу високих температур і тиску, а також взаємодіє з агресивним середовищем і продуктами згорання палива. У результаті впливу цих факторів з'являється нагар на голівці і днищі поршня.

«Шийки колінчастих валів та їх підшипники, а також спряжені з шатунними шийками внутрішні поверхні нижньої головки шатуна зношуються внаслідок дії на них великих контактних навантажень і сил тертя. Періодично діючі тиск газів та інерційна сила, передають колінчатому валу поштовхи, скручують його і згинають, що викликає пружні деформації, у результаті дії котрих з'являються стомлюючі тріщини, розвиток яких може призвести до поламки валу. Окрім періодично діючих зусиль у період роботи виникають центробіжна сила нерівновісної маси шатуна, яка діє на шатунні і корінні шийки валу. Ця сила постійно притиска підшипник до шийки валу збоку кривошипу» [7].

«Аналіз роботи приведених сил показує, що основна частина роботи тертя між шатунними шийками і шатунами приходить на частину шийок направлених у бік вісі колінчастого валу. Внаслідок цього, у нижній голівці шатуна в основному зношуються ці частини, які приймають овальну форму» [7].

Різьбові з'єднання, зношуються під дією вібрації. Найбільш небезпечна деформація для болтів і шурупів, це змяття і зріз, у даному випадку від

крутного моменту, $\sigma_{зм} \leq [\sigma_{зм}]$. Різьба, у більшості випадків зношується під дією вібраційних навантажень у слідстві пластичної деформації і втоми матеріалу, що призводить до зносу і навіть зриву витків різьблення.

Шпоночні з'єднання використовують для кріплення зубчастих колес та муфт на валах. Найбільш небезпечна деформація для шпонок і пазів це змяття від дії крутного моменту та пластичної деформації, що відбувається в результаті неправильної експлуатації і тяжких умов роботи під дією ударних навантажень.

Шлицьові з'єднання мають більш високу навантажувальну здатність і меншу концентрацію напружень на валах, тим самим забезпечують більш високу витривалість та кращу центрівку деталей на валах. Шлицьові з'єднання зношуються у підсумку дії пластичної деформації (наклепу, змяття) при одночасній дії ударно-вібраційних навантажень. Зношування пояснюється збільшенням геометричних розмірів шпоночних пазів, зменшенням діаметру вала та ширини зубів, а також висоти зубів, що зношується під дією тертя ковзання.

Зубчасті з'єднання зношуються у підсумку механічної взаємодії поверхонь зубів, що виражається у втіленні мікронерівностей однієї поверхні зуба у другу, зачепленні й руйнування. Велике значення грають продукти зношування потрапляючи у мастило та на робочі поверхні, що надають зношуванню характер абразивного. Має місце пластична деформація з виниканням канавок по полюсній лінії у ведучих зуб'їв, яка з'являється у результаті ударного додатку навантаження зубів одного або двох колес і має вигляд борозд.

Підшипникові з'єднання зношуються в слідстві влучення в зону роботи абразиву, продуктів зносу, тому, що агрегат експлуатується у важких польових умовах, сприймаючи велику кількість різноманітних знакозмінних навантажень. Великий вплив на знос, робить утома матеріалу. Опір коченню пояснюється деформаційними втратами в обоймі підшипника, і частково на поверхні шийки валу, на якій працює підшипник. При відсутності пластичної

деформації, тертя обумовлене гістерезісними втратами в обоймах і змяттям кульок або роликів у залежності від виду підшипника. Крім того, на них діють небажані радіальні й вісьові навантаження.

«Аналіз роботи підшипників показав, що зношування поверхонь п'яти і підп'ятника обумовлено втомленими процесами в їх поверхневих шарах, що відбувається в результаті силових взаємодій у процесі роботи, тим більше у важких польових умовах» [8].

Тобто стає очевидним що, зношування вузла в цілому регламентується зносом деталей його з'єднань. Іншими словами, причинами втрати працездатності кривошипно-шатунного механізму двигуна, є зноси та вихід із ладу головних його сполучень, у даному випадку підшипників, різьбових, зубчастих, шлицьових, шпоночних з'єднань, а також перекіс вісі і знос шийок колінчатого валу, поршнів, поршньових кілець, пальців, шатунів та ін.

1.3. Обґрунтування теми магістерської роботи

«Однією із актуальних проблем машинобудівного і ремонтного виробництва є відновлення і зміцнення деталей машин. До числа швидкозношуваних і дорогих деталей двигунів, що лімітують їх міжремонтний ресурс, відносяться підшипники ковзання, які виготовлені з кольорових металів, у тому числі і втулки верхніх головок шатунів» [9].

Шатуні втулки двигунів внутрішнього згорання виготовляються з дорогих, дефіцитних бронз (Бр ОЦС 5-5-5, Бр ОЦС 4-4-2,5 та інш.) та належать швидкозношуваних деталей. Ці чинники, а також враховуючи їх велику кількість (число втулок на один двигун складає 4...8), вага (ремонтна втулка шатуна двигуна ЯМЗ- 236 важить 0,214 кг) і те, що при ремонті двигунів на багатьох ремонтних заводах усі втулки замінюються на нові, роблять проблему відновлення шатунових втулок актуальною.

Для підвищення якості поверхневого шару з одночасною зміною розміру поверхні, що обробляється, певний інтерес викликає використання одного із

способів поверхневого пластичного деформування (ППД) – вібраційного розкочування. Вібраційне розкочування широко використовується для утворення на поверхні деталей регулярного мікрорельєфу.

При утворенні на внутрішніх поверхнях повністю регулярного мікрорельєфу (ПРМР) трьох типів (рис.1.3), що визначають зміну розмірів заготовки при вібророзкочуванні: діаметр отвору може збільшитися, залишитися незмінним (теоретично) або зменшитися [9]. Збільшення розміру відбувається в результаті вигладжування початкової поверхні за рахунок заповнення металом виступів початкової поверхні, суміжних з виступами западин (рис.1.3, а), частним випадком може бути рівність по висоті початкових мікронерівностей (рис.1.3, б), що утворюються.

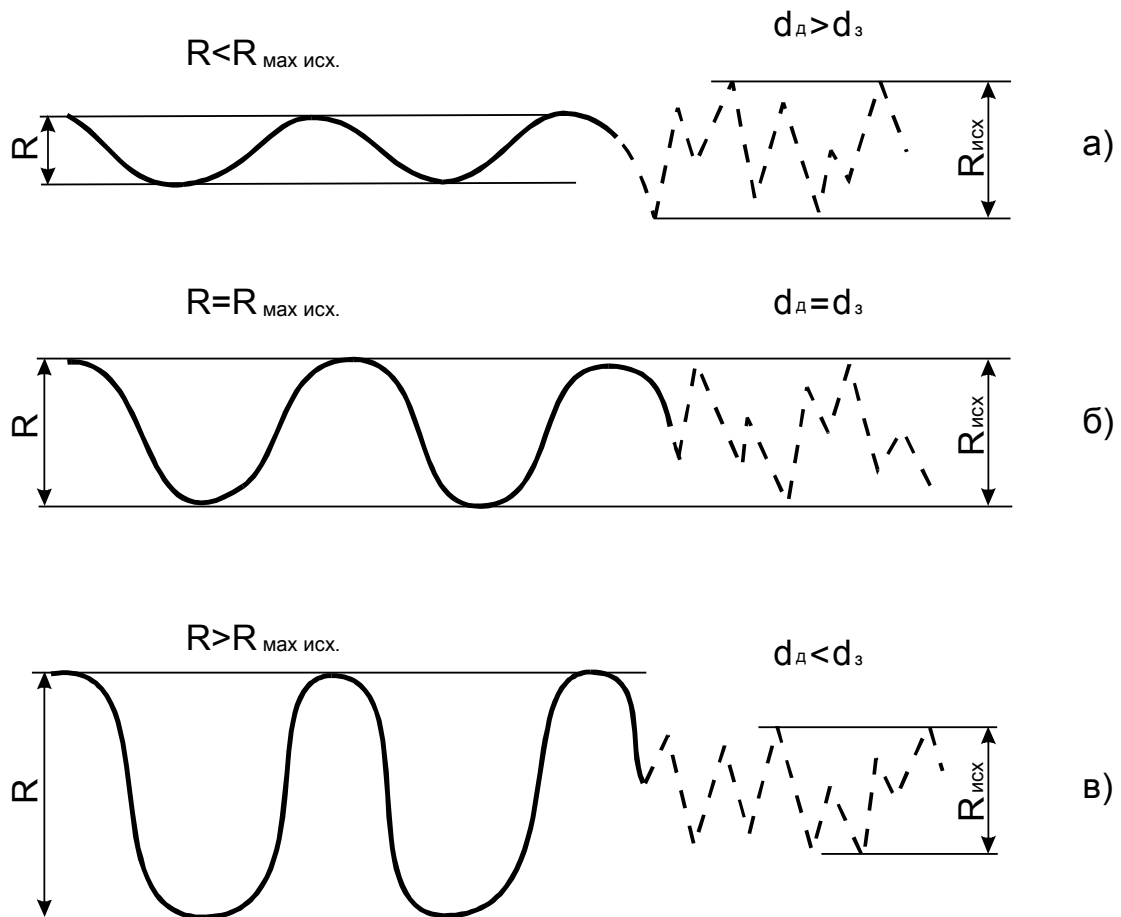


Рис.1.3. Варіанти поверхонь з ПРМР [9]

При вібророзкочуванні з певними режимами відбувається витискування металу вище за рівень максимальних мікронерівностей початкової поверхні і зменшення розміру отвору втулки (рис.1.3, в).

Таким чином, вібронакочування як зовнішніх, так і внутрішніх поверхонь в порівнянні з обкатуванням (розкочуванням) дає такі переваги: отримання більшого деформаційного ефекту при одних і тих же зусиллях деформації; нанесення повністю нового, аналітично розрахованого регулярного мікрорельєфу зі збільшеними радіусами закруглення виступів і западин елементів ПРМР; утворення шару з підвищеною маслоємністю і опорною поверхнею, що робить можливим його використання для відновлення деталей, виготовленими з пластичних металів з незначним зносом.

Властивості вібророзкочування змінювати розміри деталей з одночасним нанесенням регулярного мікрорельєфу може бути використане для відновлення внутрішніх поверхонь бронзових втулок.

1.4. Висновки по розділу 1

За результатами виконання розділу 1 магістерської роботи можуть бути зроблені наступні висновки:

1. Одним із напрямків роботи підприємства ТОВ «Калита-Нова» є ремонт двигунів внутрішнього згорання.
2. До числа швидкозношуваних деталей двигунів та таких, що лімітують їх міжремонтний ресурс, відносяться підшипники ковзання.
3. Для відновлення шатунних втулок без їх випресування можливе використання вібраційного розкочування, що дозволяє одночасно зі зміною розмірів, покращувати якість оброблюваної поверхні. Для підвищення опорної поверхні обробленої деталі доцільним виглядає використання деформуючого протягування.

РОЗДІЛ 2. ЛІТЕРАТУРНИЙ АНАЛІЗ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Особливості умов роботи деталей шатунно-поршневої групи

«Шатунно-поршнева група є однією з найбільш відповідальних частин двигуна внутрішнього згоряння, оскільки саме на неї припадають максимальні навантаження в процесі експлуатації. В конструкцію шатунно-поршневої групи входять: поршень; поршковий палець; шатун; компресійні кільця; маслос'ємне кільце; втулка верхньої головки; вкладиші (рис.2.1)» [6].

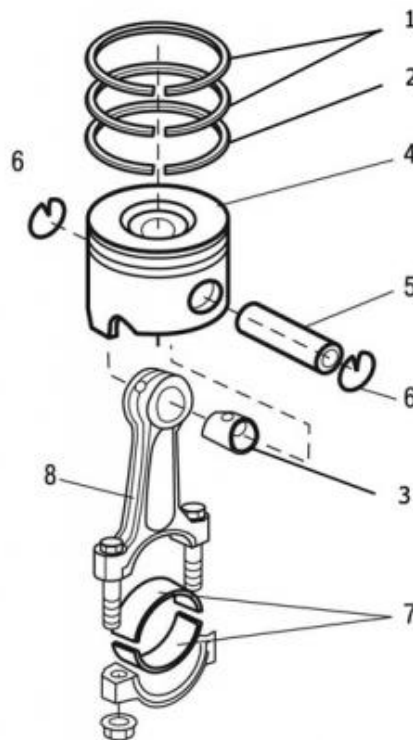


Рис.2.1. Поршнева група ДВЗ

«При роботі двигуна поршні рухаються з великою швидкістю і прискоренням, при цьому нагріваються до високих температур. Вони

виконуються з легких і міцних матеріалів, при цьому велике значення має точність виготовлення всіх елементів поршневої групи. Поршні двигуна 4 зазвичай виготовляються з алюмінієвого сплаву. Деякі автовиробники на поршні проточують невеликі поглиблення, щоб виключити удар поршня об клапан. На поверхні поршня проточені три канавки: дві для компресійних кілець 1 і одна для маслос'ємного кільця 2. Компресійні кільця забезпечують щільний контакт поршня з циліндром, що перешкоджає проходженню через зазор штовхають його газів, а маслос'ємне кільце прибирає зі стінок циліндра надлишки масла, скидаючи їх у картер» [7].

В процесі експлуатації автомобілів деталі двигуна піддаються активній хімічній та механічній дії і навантаженню значними зусиллями. Строк служби двигуна обумовлюється довговічністю його відповідних деталей.

В двигунах найбільш швидко зношуються поршневі кільця, поршні, циліндри, клапани, колінчастий вал, шатунні і корінні підшипники колінчастого валу, шатуни.

Виникаючий в результаті роботи сили тертя при зміні напрямку руху поршня, знос втулки верхньої головки шатуна призводить до збільшення зазору в sprzęженні «втулка - поршковий палець», підвищенню ударних динамічних навантажень і вібрацій при роботі шатунно-поршньової групи і прискоренню процесу зношення її деталей.

В аналогічних умовах проходять зношування отвору нижньої головки шатуна під вкладиші. Одночасно з цим зношуються вкладиші і шатунна шийка колінчастого валу.

Звичайно строк служби автотракторних двигунів визначається зносом деталей кривошипно-шатунного механізму (поршневих кілець, поршнів, циліндрів, шатунів, колінчастого валу).

Має вплив також нещільне прилягання кільця до поверхні циліндра. Навіть при малому просвіті між ними, мастильна плівка з поверхні циліндра здвигається газами, які проникають через нещільності, внаслідок чого і виникає граничне тертя. Крім того, при підвищених температурах в'язкість мастила

знижується, що викликає зменшення міцності мастильної плівки, вона місцями розривається.

На зношування циліндрів має вплив хімічна дія продуктів згорання. Поршневі кільця зношуються по зовнішньому діаметру внаслідок тертя з поверхнями циліндрів, а також по висоті, внаслідок тертя об торці поверхні канавок поршня. Також зношуються торцеві поверхні канавок поршня.

По мірі зносу циліндрів порушується поверхня поршневих кілець і різко збільшується удар в стінки.

«У канавок поршня більше зношується нижній торець, тому що ця поверхня підлягає більшому тиску кілець. Крім того, поршневі кільця майже завжди, за виключенням такту всмоктування, прилягають до цієї поверхні» [6].

«Зношування деталей циліндро-поршньової групи залежить від роботи і стану системи очищення повітря. При недостатньому очищенні в циліндр попадає велика кількість абразивних часток, які значно підвищують знос деталей» [5].

Внаслідок зносу циліндра, поршневих кілець і канавок поршня знижуються компресія при запуску і на малій частоті обертання двигуна. Так як при недостатній щільності прилягання компресійних кілець до циліндра і канавок поршня запальна частина заряду проривається через нещільність при повільному обертанні колінчастого валу.

При падінні тиску особливо ускладняється запуск двигуна в холодній період. Це трапляється тому, що в кінці стиску не досягається температура повітря, що достатня для запалення палива.

Отвори в бобишках поршня, поршневі кільця, втулки верхньої головки шатуна зношуються в результаті роботи сил тертя при зміні напрямку руху.

Основною зовнішньою ознакою зносу цих деталей є стуки, які добре прослуховуються при зменшенні частоти обертання колінчастого валу.

Шийки валів з підшипниками зношуються при дії фізичних, хімічних, та інших факторів. Усі сили виникають періодично, один раз за два оберти

колінчастого вала і змінюються по кількості і напрямку, найбільшого значення досягають при робочому ході поршня.

«На кривошипно-шатунний механізм також діють інерційні сили, які виникають внаслідок нерівномірності руху шатунно-поршневої групи. Ця сила діє вздовж вісі циліндрів періодично і найбільшого значення досягає у момент зміни напрямку руху поршня, причому значення інерційної сили в нижньому положенні поршня більше ніж у верхньому» [7].

«Періодично діюча інерційна сила і тиск газів передають колінчастому валу кручення в наслідок цього виникають пружні деформації. Крім періодично діючих сил, під час роботи виникає відцентрова сила, що діє на шатуну шийку вала. Знос корінних шийок залежить від співвісності колінчастого вала, маховика і муфти зчеплення. Властивості мастильного матеріалу впливають на зноси. Абразивні частини і продукти зносу осідають в антифрикційному шарі і зношують шийку вала. Повздовжнє переміщення вала, згин і зкручення шатунів приводе до переломів шатунів на шийках вала і поршнів у циліндрах, внаслідок цього різко збільшується зношення цих деталей» [8].

2.2. Конструктивні особливості основних деталей шатунно-поршневої групи

Шатун двигуна внутрішнього згорання з'єднує поршень з колінчастим валом і передає зусилля, діючі на поршень, колінчастому валу.

Шатун повинен бути міцним, жорстким і легким. Його штампують з високоякісної вуглецевої сталі, після чого його піддають механічній і термічній обробці.

Шатун двигуна ЯМЗ–236 виготовляють зі сталі 40Х ГОСТ 4543-81 і піддають термічній обробці нормалізацією при температурі 810⁰С і відпуску при температурі 670⁰С. Твердість шатуна знаходиться в межах НВ 217-289.

Однією з особливостей конструкції шатуна є наявність бронзової втулки верхньої головки шатуна.

Бронзові підшипники відносяться до числа найбільш важливих вузлів двигуна, що лімітують їх міжремонтний і загальний строк служби. При роботі двигуна бронзові підшипники витримують складні види навантажень, причому їх надійність і довговічність визначається в основному слідуючими трьома якостями: антифрикційними (здатність до приробітку і поглинанню абразивних частинок, протизадирочною здатністю, зносостійкістю і здатністю в парі з поршковими пальцями та не викликати їх значного зносу); опір втомлювальному викришуванню: корозійною стійкістю в середовищі окислювальних мастильних масел.

Антифрикційні якості підшипників залежать від матеріалу антифрикційного сплаву, якостей мастила і сил тертя, що виникають при роботі двигуна між поверхнями поршкових пальців і підшипників ковзання.

Втомлювальне викришування залежить від наступних факторів: витривалості підшипника, питомих навантажень, які можуть різко збільшуватись при відхиленні симетрії поршкових пальців і підшипників від правильної форми, величини зазорів, збільшення яких призводить до зняття несучої здатності мастильного шару і створенню передумов для ударної дії на підшипник.

Корозійне руйнування антифрикційного матеріалу може бути визвано дією на нього органічних кислот.

Таким чином, можна зробити такі висновки: внаслідок нерівномірного розподілення навантаження в повздовжній і поперечній площині втулки верхньої головки шатуна в поперечному розрізі представляє собою еліпс, велика вісь якого співпадає з напрямком дії основних навантажень (сила тисків газів на поршень, сила інерції зворотно-поступального руху деталей шатунно-поршневої групи і т.д.).

Інтенсивність зносу збільшується від середини втулки до її країв. Це пояснюється зміщенням вісі циліндрів в повздовжній площині, що призводить до появи не співвісності поршневого пальця і втулки верхньої головки шатуна і

викликає перекося по краям спряження «поршневий палець-втулка», що веде за собою інтенсивний знос.

Втулка верхньої головки шатуна являється однією з складових частин шатуна і шатунно-поршневої групи двигуна і служить в якості підшипника ковзання під поршневий палець. Виготовлена втулка з бронзової труби марки Бр ОЦС-5-5-5 ГОСТ 613-79.

Деякі дані про склад і якості бронзи литтєвої олов'янисто-цинко-свинцьовистої Бр ОЦС 5-5-5 ГОСТ 613-79: олово – (4-6)%, свинець – (4-6)%, цинк – (4-6)%. Домішок всього 1,3%: алюміній – (0,05)%, залізо – (0,4)%, кремній – (0,05)%, сурьма – (0,5)%, інше - мідь.

Таблиця 2.1 – Фізико механічні властивості Бр ОЦС –5-5-5 ГОСТ 613-79 [10]

Твердість по Брінеллю, кг/мм ²	Ударна в'язкість, кг/см ²	Коефіцієнт прийнятого розширення, (10 ⁻⁶)	Теплопровідність, кал/смС ⁰	Коефіцієнт тертя з мастилом	Знос сплаву при дослідженні з мастилом, мг/см ³ . КН
60	2-3	7,1	0,224	0,009	0,041-0,056

Втулка верхньої головки шатуна уявляє собою конструкцію циліндричної форми з зовнішнім $\varnothing 56^{+0,12}_{+0,09}$ мм і внутрішнім $\varnothing 50^{+0,04}_{+0,031}$ мм. Деталь виготовлена по п'ятому класу точності. На внутрішній поверхні втулки для кращого змочування деталей спряження мастилом є три повздовжніх і одна поперечна канавка, що розташовуються по колу, по діаметру якої у втулці просвердлені три отвору діаметром 5 мм.

2.3. Характеристика умов роботи і основних процесів зношування втулки верхньої головки шатуна

Однією з особливостей конструкції шатуна є наявність бронзової втулки верхньої головки шатуна.

Бронзові підшипники відносяться до числа найбільш важливих вузлів двигуна, що лімітують їх міжремонтний і загальний строк служби. При роботі двигуна бронзові підшипники витримують складні види навантажень, причому їх надійність і довговічність визначається в основному наступними трьома якостями: антифрикційними (здатність до приробітку і поглинанню абразивних частинок, протизадирочною здатністю, зносостійкістю і здатністю в парі з поршковими пальцями та не викликати їх значного зносу); опір втомлювальному викришуванню: корозійною стійкістю в середовищі окислювальних мастильних масел.

Антифрикційні якості підшипників залежать від матеріалу антифрикційного сплаву, якостей мастила і сил тертя, що виникають при роботі двигуна між поверхнями поршкових пальців і підшипників ковзання.

Втомлювальне викришування залежить від наступних факторів: витривалості підшипника, питомих навантажень, які можуть різко збільшуватись при відхиленні симетрії поршкових пальців і підшипників від правильної форми, величини зазорів, збільшення яких призводить до зняття несучої здатності мастильного шару і створенню передумов для ударної дії на підшипник.

Корозійне руйнування антифрикційного матеріалу може бути визвано дією на нього органічних кислот.

Таким чином, можна зробити такі висновки: внаслідок нерівномірного розподілення навантаження в повздовжній і поперечній площині втулки верхньої головки шатуна в поперечному розрізі представляє собою еліпс, велика вісь якого співпадає з напрямком дії основних навантажень (сила тисків газів на поршень, сила інерції зворотно-поступального руху деталей шатунно-поршнєвої групи і т.д.).

Інтенсивність зносу збільшується від середини втулки до її країв. Це пояснюється зміщенням вісі циліндрів в повздовжній площині, що призводить

до появи не співвісності поршневого пальця і втулки верхньої головки шатуна і викликає перекоси по краям спряження «поршковий палець-втулка», що веде за собою інтенсивний знос.

Підшипники ковзання, що виконані з кольорових металів, відносяться до числа дорогих і швидкозношуваних деталей двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ), що лімітують міжремонтний і загальний термін служби останніх. При роботі двигуна, підшипники ковзання, в тому числі бронзові шатунні втулки, відчувають складні види навантажень, причому їх довговічність визначається наступними трьома властивостями [9]:

- антифрикційними характеристиками (припрацьованість, здатністю до поглинання абразивних частинок, стійкістю до захоплювання, зносостійкістю і здатністю працювати в парі тертя, не викликаючи значного зносу сполученої деталі);

- опором втомлюваному викрошуванню (контактною витривалістю), що оцінюється максимальним тиском, яке підшипники можуть сприймати протягом певного числа годин роботи;

- корозійною стійкістю в окислювальному середовищі мастил.

Антифрикційні властивості підшипників залежать від матеріалу антифрикційного сплаву, якостей мастила і сил тертя, виникаючих при роботі двигуна між поверхнями поршневих пальців і підшипників ковзання.

Втомлювальне викрошування залежить від наступних факторів: витривалості підшипника, питомих навантажень, які можуть різко збільшуватися при відхиленні симетрії поршневих пальців і підшипників від правильної форми, величини зазорів, збільшення яких призводить до зняття несучої здатності мастильного шару і створенню передумов ударної дії на підшипник.

Корозійне руйнування антифрикційного матеріалу може бути визвано дією на нього органічних кислот.

Робота бронзових підшипників відбувається в умовах дії на них складних і значних за величиною навантажень, що викликають знос, пластичні

деформації і втомлювальне викрашування антифрикційного матеріалу. Схема сил, що діють на підшипник ковзання верхньої головки шатуна, наведена на рис.2.2.

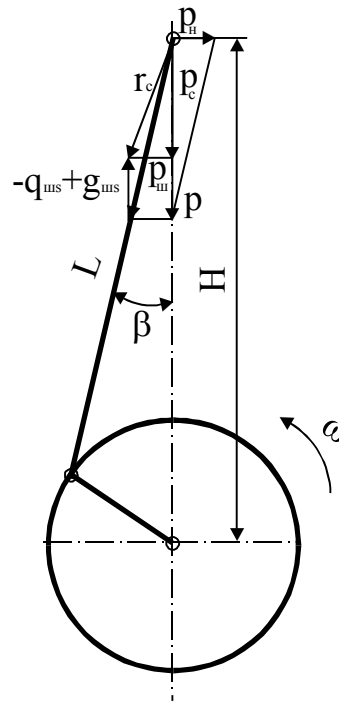


Рис.2.2. Схема сил, що діють на підшипник ковзання верхньої головки шатуна: P – тиск газів; P_c – вертикальна складова сили, що навантажує підшипник; $g_{шс}$ – вага шатуна; $q_{шс}$ – сила інерції маси шатуна; r_c – повний тиск у шатунному підшипнику; $P_{ш}$ – сила, що діє вдовж осі шатуна; P_n – нормальна сила, що діє на стінку циліндра; L – довжина шатуна; H – відстань від осі поршневого пальця до осі колінчастого вала при повороті шатуна на кут β ; ω – кутова швидкість обертання колінчастого вала

Сила P_n прижимає втулку до стінки головки шатуна, що викликає знос поверхні втулки в повздовжній площині, однак сила тиску газів P більша по модулю, що надає зношеній поверхні втулки геометрію еліпса в її геометричному розрізі.

Така геометрія зносів обумовлюється нерівномірним розподілом навантаження на поверхні втулки, що наглядно показує епюра сил, що діють на поверхню головки шатуна.

За діаграмами зносу в перехідних процесах можна судити про нерівномірність зносу поверхні бронзових втулок.

Особливо велика нерівномірність зносу відбувається під час пуску і при сприйнятті навантаження.

Загальний аналіз даних показує, що бронзові втулки мають порівняно високу інтенсивність зносу. До числа основних причин, що впливають на довговічність підшипників, можна віднести: витривалість антифрикційних матеріалів; конструктивні фактори і система змащення; вдосконалення технологічного процесу виготовлення і підвищення якості виробництва.

Таким чином, можна зробити такі висновки: внаслідок нерівномірного розподілення навантаження в повздовжній і поперечній площині втулки верхньої головки шатуна, поперечний розріз представляє собою еліпс, велика вісь якого співпадає з напрямком дії основних навантажень (сила тисків газів на поршень, сила інерції зворотно-поступального руху деталей шатунно-поршневої групи і т.д.).

Інтенсивність зносу збільшується від середини втулки до її країв. Це пояснюється зміщенням вісі циліндрів в повздовжній площині, що призводить до появи не співвісності поршневого пальця і втулки верхньої головки шатуна і викликає перекося по краях спряження “поршневий палець-втулка”, що веде за собою інтенсивний знос.

Загальний аналіз даних показує, що бронзові втулки мають порівняно високу інтенсивність зносу. До числа основних причин, що впливають на довговічність шатунних втулок, крім наведених вище, можна віднести також: точність обробки і складання циліндро-поршневої групи (перекося, зміщення осей циліндрів, збільшений або зменшений зазор в сполученні); якість поверхні (геометрія і т.д.); умови мастила (маслоємність поверхні і т.д.) та інші.

2.4. Способи відновлення внутрішніх поверхонь шатунних втулок

Шатунні втулки ДВЗ виготовляються з дорогих, дефіцитних бронз (Бр ОЦС 5-5-5, Бр ОЦС 4-4-2,5 і ін.), відносяться до числа швидкозношуваних деталей. Ці фактори, а також з огляду на їх велику кількість (число втулок на один двигун становить 4 ... 8), вага (ремонтна втулка шатуна двигуна ЯМЗ-236 важить 0,214 кг) і те, що при ремонті двигунів на багатьох ремонтних заводах все втулки замінюються на нові, роблять проблему відновлення шатунних втулок актуальною.

Невеликі габаритні розміри відновлюваної поверхні втулки (діаметр близько 40 ... 50 мм, довжина 45 ... 55 мм), малі допустимі радіальні знос (менше 0,1 мм) і важкі умови роботи (граничне тертя при високих питомих тисках і навантаженнях з наявністю абразиву і т. д.) обмежують використання ряду відомих для відновлення внутрішніх поверхонь втулок способів [11].

З урахуванням вищевикладених особливостей розроблена класифікація існуючих способів, які можна застосувати для відновлення шатунних втулок (рис.2.3). Відповідно до цієї класифікації всі способи можна розділити на дві основні групи:

- відновлення втулок нанесенням покриттів на зношені внутрішні поверхні;
- відновлення розмірів отвору втулок пластичним деформуванням.

2.4.1 Відновлення внутрішніх поверхонь втулок нанесенням металевих покриттів

Нанесення гальванічних покриттів із чистого металу. Осадження електролітичних покриттів на зношені поверхні втулок здійснюють ванним і позавайними (електронатирання, проточне осадження металу) способами.

Ванний спосіб. Деталі розташовуються у ванні між анодом і катодом без підключення до шин ванни. Під час увімкнення струму поверхня втулки, звернена до анода, заряджається негативно і, виконуючи функції анода, залишається непокритою. Описаний спосіб дає змогу виключити з

технологічного процесу електроосадження нанесення ізоляційних покриттів на поверхні деталі, які не підлягають мідненню.

Недоліком ванного способу є необхідність випресовування (запресовування) втулок із сполучуваної деталі, що здорожує процес відновлення.

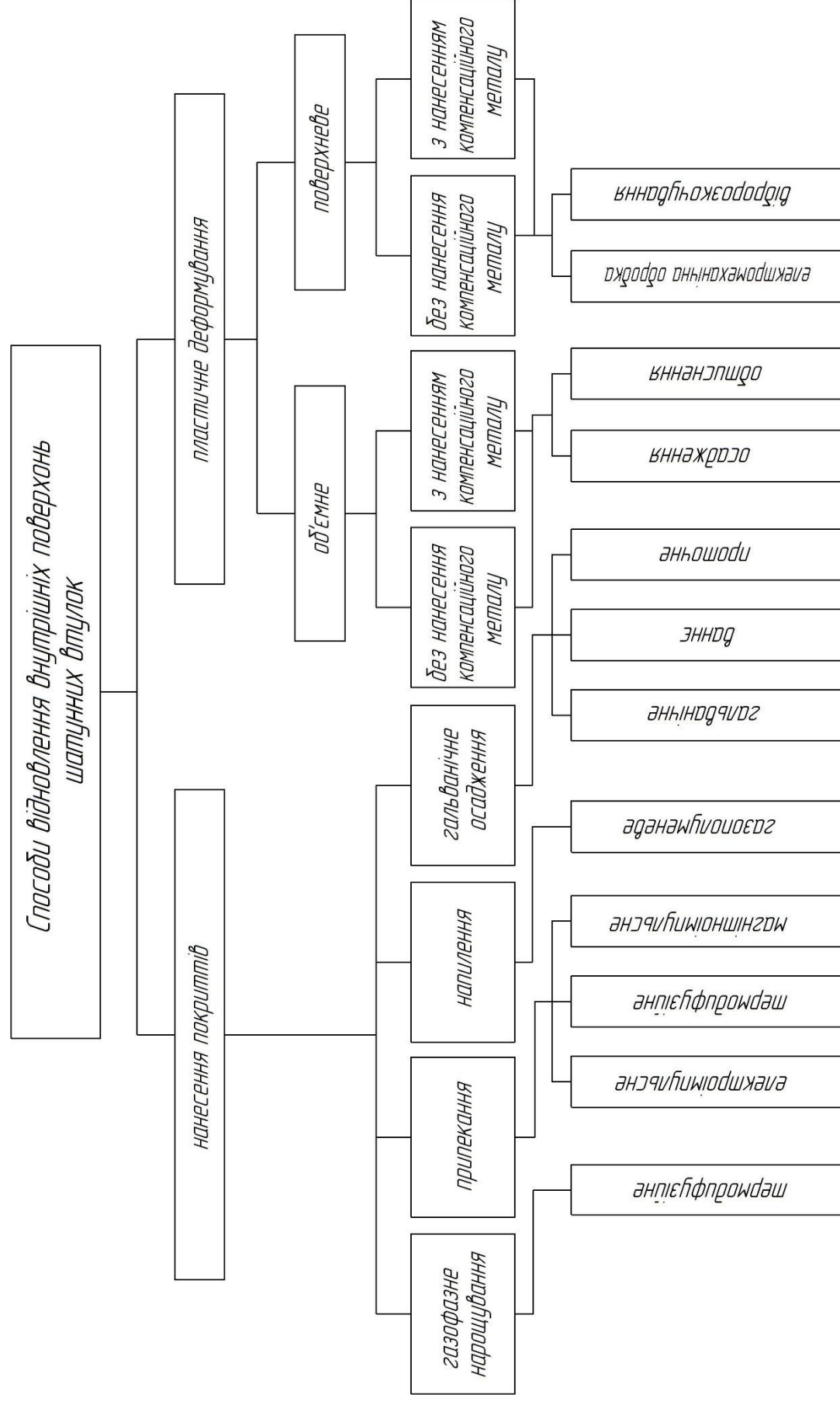


Рис. 2.3. Класифікація способів відновлення внутрішніх поверхонь шатунних втулок

Електронатирання полягає в переміщенні анода (тампона або щітки) по поверхні катода (втулки). При цьому втулку встановлюють у шпинделі токарного верстата, а анод кріплять на супорті. Тампон, просочений електролітом, під час зіткнення з поверхнею втулки утворює місцеву ванночку, в якій протікають усі електрохімічні процеси, властиві гальванічному виділенню металу. Відносно переміщення анода-катода перешкоджає зростанню кристалів покриттів, що зародилися, знижує їхню внутрішню напругу, а тому дає змогу підвищити щільність струму, а отже, швидкість осадження. Натиранням можна отримувати на поверхні бронзових втулок високоякісні опади цинку і міді.

Недоліками електронатирання є підвищена витрата електроенергії, що витрачається на привід обертального механізму (токарного верстата); наявні установки дають змогу наносити покриття тільки на одну деталь.

Проточне осадження металу. Принцип електролітичного осадження металу в проточному електроліті полягає в тому, що в зоні поверхні, що покривається, створюється місцева ванна, через яку циркулює електроліт, анод і деталь нерухомі. Недоліками проточного осадження є необхідність у виготовленні спеціальних установок із кислотостійкими насосами та електролітичними комірками; додаткові витрати електроенергії на електроприводи насосів.

Основним недоліком перерахованих вище способів є те, що антифрикційні властивості відновлених поверхонь втулок або погіршуються, або залишаються на колишньому рівні.

Напилення. Для відновлення внутрішніх поверхонь бронзових втулок використовується газополум'яне напилення [12]. Для цієї мети розроблено спеціальну насадку. Для напилення застосовується бронзовий порошок ПГ-19М-01. Покриття наносять розпилювачем у пропан-бутан-кисневому полум'ї. Міцність зчеплення покриттів з основою - понад 30 МПа. Робочий тиск газів, МПа: кисень - 0,2-0,4; пропан-бутан - 0,1; повітря - 0,4-0,5. Витрата газів, м³/год: кисень - 4,0; пропан-бутан - 1,0; повітря - до 50. Недолік способу -

висока вартість порошків, а також технологічні складнощі під час напилення втулок малого діаметра.

Електроімпульсне припікання [13] передбачає електронагрів металевого порошку, розміщеного між внутрішньою поверхнею втулки та циліндричним електродом, за рахунок теплової енергії, що виділяється електричним струмом при активному опорі. Метод електроімпульсного припікання поєднує в одній операції спікання і пресування. У процесі припікання між частинками порошку і підкладкою, а також між частинками порошку в об'ємі шару встановлюються міжатомні зв'язки, що забезпечують певну міцність зчеплення.

Магнітно-імпульсне припікання [13]. Фізичною основою методу слугує взаємодія змінного струму магнітного поля індуктора з вихровими струмами електропровідної оболонки (остання перебуває між індуктором і поверхнею, що відновлюється), що спричиняє відштовхування оболонки від індуктора та пресування порошку, вміщеного між оболонкою і деталлю. Перевагами процесу магнітно-імпульсного нанесення покриттів є гнучкість процесу: одним і тим самим індуктором можна напресовувати покриття на деталі різних розмірів і конфігурації; можливість концентрації енергії на окремих ділянках заготовки завдяки використанню концентраторів; радіальна схема прикладання навантаження, що забезпечує створення високих (до 1000 МПа) динамічних зусиль на порошковий шар.

Недоліки методу: необхідність виготовлення для кожної деталі технологічної оболонки, питання її видалення після напресування, а також відносно невисока точність розмірів сформованих покриттів. Крім того, виникає низка труднощів, пов'язаних зі створенням та експлуатацією високовольтного електрообладнання для здійснення технологічного процесу.

2.4.2 Використання композиційних електролітичних покриттів для відновлення внутрішніх поверхонь втулок

Композиційні електролітичні покриття (КЕП) являють собою композицію на основі металу, в об'ємі якого може міститися 1...50% і більше часток наповнювача різного розміру та видів, які мають властивості, що відрізняються від властивостей металевої основи [13]. Різними комбінаціями матеріалів і дисперсних часток наповнювачів можливо отримувати велику кількість різних композиційних електролітичних покриттів, а також змінювати їхні властивості залежно від умов експлуатації. Композиційні електролітичні покриття отримують із суспензій, що являють собою електроліти (водні розчини металів) із додаванням певної кількості дисперсного порошку, під дією електричного струму.

Найприйнятнішими для відновлення зношених бронзових втулок є КЕП на основі міді, оскільки вони найбільш близькі за теплофізичними властивостями, що унеможливорює відшаровування покриттів. З великої різноманітності КЕП на основі міді [30, 31, 38-49] для відновлення бронзових втулок найбільший інтерес представляють антифрикційні. Такі покриття містять як другу фазу дисульфід молібдену, графіт, тальк, слюду, фталоціанін міді, полімери тощо. КЕП на основі міді має високу зносостійкість і антифрикційні властивості, завдяки здатності генерувати на робочій поверхні твердозмастильну плівку, що забезпечує мінімальне зношування поверхонь, що труться [14].

Ванний спосіб. Для відновлення шатунних втулок двигунів автором [14] розроблено технологію та оснащення, а також всебічно досліджено властивості нанесених КЕП на основі міді. При осадженні покриттів застосовувався дешевий сульфатний електроліт. Як дисперсну фазу (ДФ) використовували полімерні матеріали: фенілон і полікапронід (капрон). Для отримання однорідної суспензії використовувалося повітряне барботування. Об'ємний вміст полімеру в покритті не перевищував 13% (для фенілону) і

16,5% (для висадженого капрону). Наявність полімерних включень підвищила мікротвердість покриттів у 1,27...1,33 рази, міцність - у 1,30...1,40 рази, зносостійкість - у 1,9...2,4 рази; скоротило тривалість припрацювання в 1,4...1,5 рази.

Проточне осадження КЕП на основі міді. Для підвищення кількості ДФ у композиційному покритті в роботах [15] досліджено осадження КЕП на основі міді проточним способом з тангенціальною подачею електроліту-суспензії в електролітичну комірку. Зміна напрямку подачі ЕС з осьового на тангенціальний збільшила кількість ДФ у покритті: максимальний вміст фенілому становив 24,5 об'єм. %, а дисульфиду молібдену – 17,5 об'єм. %; підвищила продуктивність нанесення КЕП у 1,15...1,20 рази. Встановлено, що зносостійкість КЕП з фенілоном у 2,0...2,2 рази, а з дисульфідом молібдену в 2,9...3,5 рази вища, ніж електролітичної міді, тривалість припрацювання при цьому скорочується в 1,9...2,1 рази.

Основним недоліком нанесення КЕП на основі міді є низька швидкість їхнього осадження.

2.4.3 Застосування поверхневого пластичного деформування для відновлення зношених отворів

Як було зазначено раніше (розділ 1) діаметральне зношування внутрішніх поверхонь шатунних втулок не перевищує 0,2 мм, а основна їхня маса має ще менші значення. Тому для усунення зносів можливе використання деяких способів поверхневого пластичного деформування (ППД).

Під час розкочування та алмазного вигладжування [16] забезпечується незначне видавлювання металу, що обчислюється мікрометрами, і зменшення внутрішніх розмірів втулки за рахунок перерозподілу металу на її поверхні. Інтенсифікувати цей процес можливо вібророзкочуванням завдяки ускладненню відносного переміщення деталі та деформувального елемента (кулі, алмазного наконечника). При цьому робочому інструменту або деталі

[17], крім подачі, надають осцилювальний рух, а деталь (у першому випадку) або інструмент (у другому) здійснює тільки обертальний рух, що забезпечує отримання повністю регулярного мікрорельєфу із заданими параметрами.

Перевагами способів ППД є простота; можливість їх застосування на будь-яких ремонтних підприємствах; поліпшення якості поверхневого шару за рахунок деформаційного зміцнення, а також збільшення оливоємності та регуляризації мікрорельєфу під час вібророзкочування.

Стосовно до відновлення внутрішніх поверхонь спосіб вібраційного розкочування представляється найбільш перспективним, однак раніше він вивчався мало, а до відновлення отворів шатунних втулок взагалі не розглядався.

Описані вище способи відновлення вимагають завершувальної операції механічної обробки (розточування, шліфування і т.д.) з метою отримання точності розмірів і шорсткості поверхні. Отже, для відновлення внутрішніх поверхонь бронзових втулок доцільне використання комбінованих способів обробки.

2.5. Сутність вібророзкочування та деформуючого протягування, можливість їх використання для відновлення шатунних втулок

В основі способу вібраційного накочування (розкочування) покладено процес холодного пластичного деформування, що відрізняється від відомої схеми накочування тим, що інструменту - кулі або алмазному сферичному наконечнику, крім руху подачі, надається додаткове осциляційного рух уздовж твірної оброблюваної заготовки. Цей метод ППД досить широко використовується в машинобудуванні [16].

Найбільше застосування спосіб вібранакочування отримав для обробки зовнішніх (обкатування) і внутрішніх (розкочування) циліндричних поверхонь деталей - тіл обертання. Обладнанням для цього способу ППД служить токарно-гвинторізний верстат і віброголовка. Основним призначенням

віброголовки є надання осциляційного руху деформуючому елементу. За способом створення осциляційного руху вібраційні пристрої поділяють на електромеханічні, електромагнітні, поршневі (пневматичні, гідравлічні), фрикційно - електричні.

Параметри, що визначають режим вібронакочування (рис.2.4), призначають за заданими характеристиками мікрорельєфу: характеру малюнка, ширині b і глибині h канавок, відносної площі канавок [16].

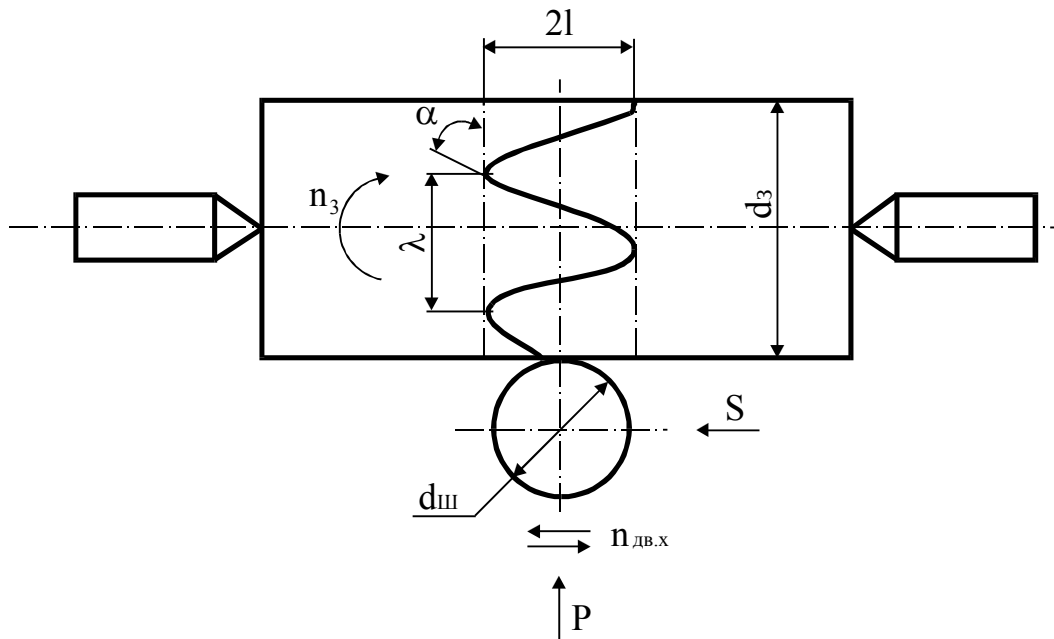


Рис.2.4. Параметри режиму вібронакочування: n_3 – частота обертання заготовки; S – подача шара за один оборот заготовки; $n_{дв.х}$ – число подвійних ходів (циклів осциляцій); l – амплітуда осциляцій; $d_{ш}$ – діаметр кулі; P – зусилля втискання кулі; d_3 – діаметр заготовки; λ – довжина хвилі канавки; α – кут сітки каналу [16]

Зусилля вдавнення вибирають в основному виходячи з глибини канавок, заданої для певного радіуса деформуючого елемента, при цьому враховують жорсткість оброблюваної деталі. Величина зусилля вдавнення з твердістю матеріалів HRC 40 ... 62 має діапазон зміни 150 ... 600 Н [16].

Радіус деформуючого елемента рекомендується вибирати в залежності від твердості матеріалу і жорсткості деталі. Обробка сталей з твердістю HRC 44

... 46, чавуну СЧ-25 НВ 190 ... 210 і бронзи Бр ОЦС 5-5-5 НРВ 75 ... 85 ведеться деформуючим елементів з радіусом їх робочої сфери від 2 до 4 мм.

Частоту обертання оброблюваної деталі і подачу вибирають виходячи із заданого малюнка мікрорельєфу з урахуванням можливостей використовуваного обладнання [16].

Таким чином, вібронакопчування як зовнішніх, так і внутрішніх поверхонь в порівнянні з обкочуванням (розкачування) має такі переваги: отримання більшого деформаційного ефекту при одних і тих же зусиллях деформування; нанесення повністю нового, аналітично розрахованого регулярного мікрорельєфу зі збільшеними радіусами заокруглення виступів і западин елементів ПРМР; утворення шару з підвищеною маслостійкістю і опорною поверхнею, що робить можливим його використання для відновлення деталей, виготовлених з пластичних металів з незначними зносами.

Однак зі збільшенням висоти виступів елементів повністю регулярного мікрорельєфу (ПРМР) зменшується радіус їх заокруглення, а отже знижується опорна площа. Так, за даними роботи [18], збільшення висоти елементів ПРМР з $R_z = 1,6$ мкм до $R_z = 12,5$ мкм (радіус заокруглення зменшується з 1200 до 1400 мкм), знижує опорну площу з 30 до 5% при зближенні поверхонь, що сполучаються на 1,5 мкм. Таким чином, для отримання оптимальної площі необхідне зближення поверхонь тертя, що викликає небажане зростання зазору рухомого сполучення.

Для збільшення опорної площі поверхонь відновлених вібророзкочуванням зі збереженням підвищеної маслостійкості можливе використання в якості фінішної операції високопродуктивного способу ППД - деформуючого протягування, відомого завдяки роботам українських вчених наукової школи Розенберга А.М. та його учнів [19, 20].

Деформуюче протягування, що застосовується для отримання підвищених точності розмірів і шорсткості поверхні, поліпшення міцності пресового сполучення деталей і ущільнення поверхневого шару, характеризується наступними параметрами (рис.2.5): натягом i (різниця

вихідного діаметра отворів d і протягування d_{np}), силою протягування або силою тяги P , швидкістю протягування V і геометричними характеристиками інструменту. Як устаткування, як правило, використовують протяжні верстати і преси різних типів. Оброблювані деталі зазвичай мають невелику довжину, тому зручно використовувати верстати і преси зі зменшеним робочим ходом [19].

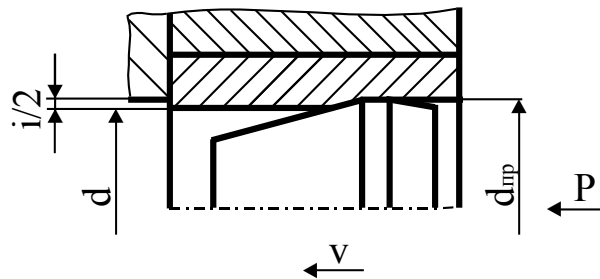


Рис.2.5. Схема процесу деформуючого протягування: i – натяг; P – сила протягування; V – швидкість протягування; d – діаметр отвору; d_{np} – діаметр протяжки

2.6. Висновки по розділу 2

За результатами літературного огляду за темою магістерської роботи зроблені наступні висновки:

1. Спряження «шатунна втулка – поршневої палець» працює в граничній фазі тертя за високих питомих тисків і навантажень за наявності абразиву.

2. З існуючих способів відновлення зношених поверхонь нанесення покриття найбільш доцільним є осадження проточним способом композиційних електролітичних покриттів на основі міді, які за своїми теплофізичними характеристиками є найближчими до основного металу, мають високі антифрикційні властивості та виключають додаткові операції «випресовування-запресовування», проте швидкість їх осадження мала і не перевищує 0,18 мм/год.

3. Для відновлення шатунних втулок з незначними зносами особливий інтерес представляє вібраційне розкочування, що дає змогу одночасно зі

змінюючи розміри покращувати якість оброблюваної поверхні; однак значне видавлювання металу під час вібророзкочування веде до різкого зниження опорної поверхні.

4. Для збільшення опорної площі вібророзкатої поверхні, із забезпеченням підвищеної маслоємності та необхідного розміру доцільним виглядає використання деформуючого протягування.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Статистичний аналіз зносів внутрішньої поверхні втулок верхньої головки шатуна двигунів ЯМЗ-238

Знос деталей машин залежить від численних і різноманітних причин, які не пов'язані між собою будь-якою залежністю і в сукупності своїй є випадковими. Тому для вивчення зносу деталей доцільне застосування статистичних методів дослідження. Досить надійним способом вивчення числових характеристик зносу деталей є їх мікрометрування і подальше опрацювання методами статистики [21].

В роботі [9] отримано дані мікрометражу зносу втулок верхньої головки шатуна двигуна ЯМЗ-236. При цьому автори [9] виконували заміри у двох взаємно перпендикулярних площинах А-А і В-В (рис.3.1). При цьому площину А-А і В-В обирали таким чином, щоб площина А-А була перпендикулярна площині кочення шатуна, а площина В-В відповідала площині кочення шатуна. У кожній площині (А-А і В-В) знос визначали в перерізах І, ІІ, ІІІ і ІV.

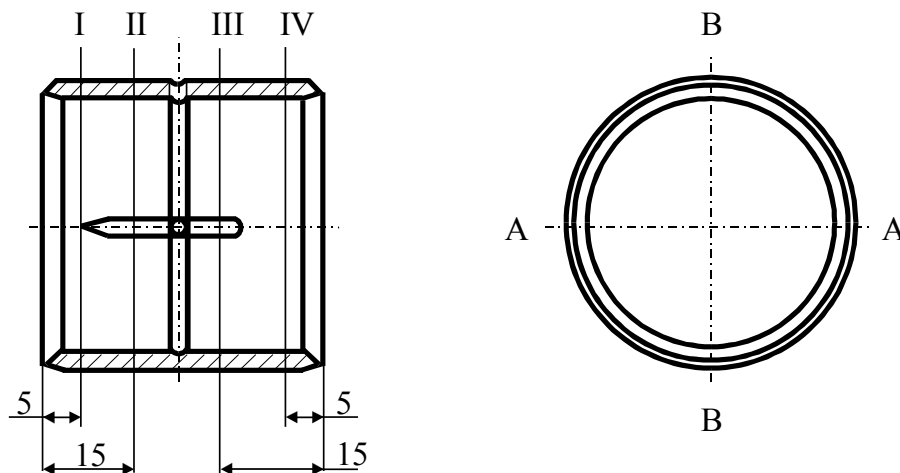


Рис.3.1. Вимірювання внутрішньої поверхні бронзових втулок

«В результаті вимірів 100 втулок у двох площинах і чотирьом перетинам було отримано 800 значень зносів внутрішнього діаметра втулки, запресованої в шатун» [].

Виконаємо математичне опрацювання даних із використанням пакета прикладних програм STATISTICA 6.

Результати первинного опрацювання експериментальних даних наведено в табл.3.1.

Таблиця 3.1 – Первинне опрацювання експериментальних даних про зношування внутрішніх поверхонь втулок верхньої головки шатуна двигунів ЯМЗ-238

Найменування параметрів	Переріз							
	А-А				В-В			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1. Кількість експериментів	100	100	100	100	100	100	100	100
2. Мінімум	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,04	0,05
3. Максимум	0,13	0,35	0,35	0,3	0,23	0,23	0,23	0,27
4. Размах	0,12	0,34	0,34	0,29	0,22	0,2	0,19	0,22
5. Середнє	0,0382	0,04165	0,04665	0,04515	0,9796	0,09855	0,09859	0,112
6. Медіана	0,03	0,03	0,035	0,04	0,1	0,1	0,095	0,11
7. Мода	0,02	0,03	0,03	0,04	0,7	0,11	0,11	0,11
8. Дисперсія	0,00046	0,00202	0,00163	0,00121	0,00218	0,00140	0,00151	0,00185
9. Стандартна помилка	0,00215	0,00450	0,00391	0,00358	0,00467	0,00374	0,00389	0,00430
10. Асиметрія	1,64125	5,24240	4,94836	4,07484	0,68652	1,71132	1,12501	1,43193
11. Екссес	3,79265	32,1782	36,1645	25,5640	0,51569	2,08023	1,66182	2,72510
12. Коефіцієнт варіації	0,56	0,47	0,108	0,38	0,83	0,39	0,79	0,38

Після проведення первинного опрацювання, перевіряємо варіаційний ряд на точки, що різко випадають. Відкинувши точки, що випадають, повторно

обробляємо експериментальні дані. Результати повторного опрацювання експериментальних даних подано в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Повторне опрацювання експериментальних даних про зношування внутрішньої поверхні втулок верхньої головки шатуна двигуна ЯМЗ-238

Найменування параметрів	Переріз							
	А-А				В-В			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1. Кількість експериментів	98	94	95	93	95	98	99	98
2. Мінімум	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,04	0,05
3. Максимум	0,1	0,07	0,11	0,08	0,18	0,2	0,21	0,22
4. Размах	0,09	0,06	0,10	0,07	0,17	0,17	0,17	0,17
5. Середнє	0,03653	0,03377	0,03828	0,03747	0,09195	0,09597	0,09726	0,10878
6. Медіана	0,03	0,03	0,03	0,04	0,095	0,0975	0,09	0,11
7. Мода	0,02	0,03	0,03	0,04	0,11	0,11	0,11	0,11
8. Дисперсія	0,00033	0,00027	0,00033	0,00032	0,00145	0,00112	0,00135	0,00136
9. Стандартна помилка	0,00183	0,00170	0,00193	0,00186	0,00391	0,00338	0,00369	0,00373
10. Асиметрія	1,06739	0,51897	0,74081	0,53858	0,04728	0,87745	0,98367	0,93502
11. Експес	4,31379	-0,32738	2,86916	-0,12537	-0,42016	1,45496	1,31092	0,82112
12. Коефіцієнт варіації	0,50	0,49	0,47	0,47	0,41	0,34	0,37	0,34

Аналіз даних (табл.3.2) показав, що ми маємо однотипний вид розподілу. Для підтвердження або спростування цієї гіпотези було визначено випадковість розбіжності між двома вибірковими дисперсіями. Порівняння обраних дисперсій дало змогу отримати дані, подані в табл. 3.3.

У результаті проведеного аналізу вибірових дисперсій бачимо, що розбіжність між ними з довірчою ймовірністю $\alpha=0,95$ можна вважати

випадковою, що дає нам право об'єднати ці вибірки. Результати перерахунку точкових характеристик випадкової величини наведено в табл. 3.4.

Таблиця 3.3 – Результати порівняння випадковості розбіжності між двома вибірковими дисперсіями

Порівнювані розподіли	Обчислене значення критерію F_z	Табличне значення критерію $F_{\text{табл.}}$	Висновок про випадковість розбіжності
Площина А-А			
<u>Сечения</u> I-II	0,099	0,291	Випадкове
<u>Сечения</u> I-III	0,024	0,291	Випадкове
<u>Сечения</u> I-IV	0,029	0,291	Випадкове
<u>Сечения</u> II-III	0,219	0,291	Випадкове
<u>Сечения</u> II-IV	0,157	0,291	Випадкове
<u>Сечения</u> III-IV	0,061	0,291	Випадкове
Площина В-В			
<u>Сечения</u> I-II	0,279	0,291	Випадкове
<u>Сечения</u> I-III	0,078	0,291	Випадкове
<u>Сечения</u> I-IV	0,074	0,291	Випадкове
<u>Сечения</u> II-III	0,070	0,291	Випадкове
<u>Сечения</u> II-IV	0,072	0,291	Випадкове
<u>Сечения</u> III-IV	0,007	0,291	Випадкове

Приймаючи довірчу ймовірність $\alpha=0,95$, за якої $k_\alpha=1,96$, довірчу ймовірність можна подати в такому вигляді.

Для одиничного виміру в площині А-А:

$$0,016 \leq a_i \leq 0,0714$$

Для одиничного виміру в площині В-В:

$$0,0264 \leq a_i \leq 0,171$$

Таблиця 3.4 – Точкові характеристики випадкової величини зносу внутрішнього діаметра втулки верхньої головки шатуна

Найменування параметрів	Переріз	
	A-A	B-B
1. Кількість експериментів	375	390
2. Мінімум	0,01	0,01
3. Максимум	0,22	0,22
4. <u>Размах</u>	0,21	0,21
5. Середнє	0,0364933	0,0985359
6. Медіана	0,03	0,1
7. Мода	0,03	0,11
8. Дисперсія	0,00316213	0,00135279
9. Стандартна помилка	0,0177824	0,0367803
10. Асиметрія	0,0009182	0,0018627
11. Експес	0,739523	0,65854
12. Коефіцієнт варіації	0,231991	0,803844
1. Кількість експериментів	0,49	0,37

Для середнього значення в площині А-А:

$$0,0347 \leq \bar{a} \leq 0,0383$$

Для середнього значення в площині В-В:

$$0,0948 \leq \bar{a} \leq 0,1022$$

Абсолютна похибка одиничного виміру для площини А-А і В-В

$$\Delta a_i = 1,96 \times 0,0177824 = 0,0349; \Delta a_i = 0,0721$$

Абсолютна похибка середнього значення в площині А-А і В-В відповідно:

$$\Delta \bar{a} = 1,96 \times 0,0009182 = 0,0018; \Delta \bar{a} = 0,0037$$

Відносна похибка для одиничного виміру в площині А-А і В-В:

$$\varepsilon_{A-A} = \frac{0,0349}{0,0364933} = 0,96; \varepsilon_{B-B} = \frac{0,0721}{0,0985359} = 0,73$$

Відносна похибка для середнього значення в площині А-А і В-В відповідно

$$\varepsilon_{A-A} = \frac{0,0018}{0,0364933} = 0,049; \varepsilon_{B-B} = \frac{0,0037}{0,0985} = 0,037$$

Дані довірчих інтервалів, а також абсолютної та відносної похибки подано в табл.3.5.

Таблиця 3.5 – Розрахунок довірчих інтервалів, абсолютної та відносної похибок

Найменування параметрів	Довірчий інтервал		Абсолютна похибка		Відносна похибка	
	А-А	В-В	А-А	В-В	А-А	В-В
Для одиничного виміру	$0,016 < a_i < 0,0714$	$0,016 < a_i < 0,0714$	0,0349	0,0721	96	73
Для середнього значення	$0,0347 < \bar{a} < 0,0382$	$0,0948 < \bar{a} < 0,1021$	0,0018	0,0037	0,049	0,037

$$\Delta a_i = 0,0721$$

Використовуючи програму STATISTICA 6.0, обчислюємо диференціальні та інтегральні функції і будуємо їхні криві (рис. 3.2, 3.3).

Застосування критерію згоди Пірсона χ^2 дало змогу підтвердити правильність обраного теоретичного закону.

Отримані криві дали змогу визначити, що кількість втулок зі зносом до 0,05 мм становить 9,3 %. Таку кількість втулок доцільно відновлювати

вібраційним розкочуванням. Втулки з більшими зносами пропонується відновлювати КЕП на основі міді.

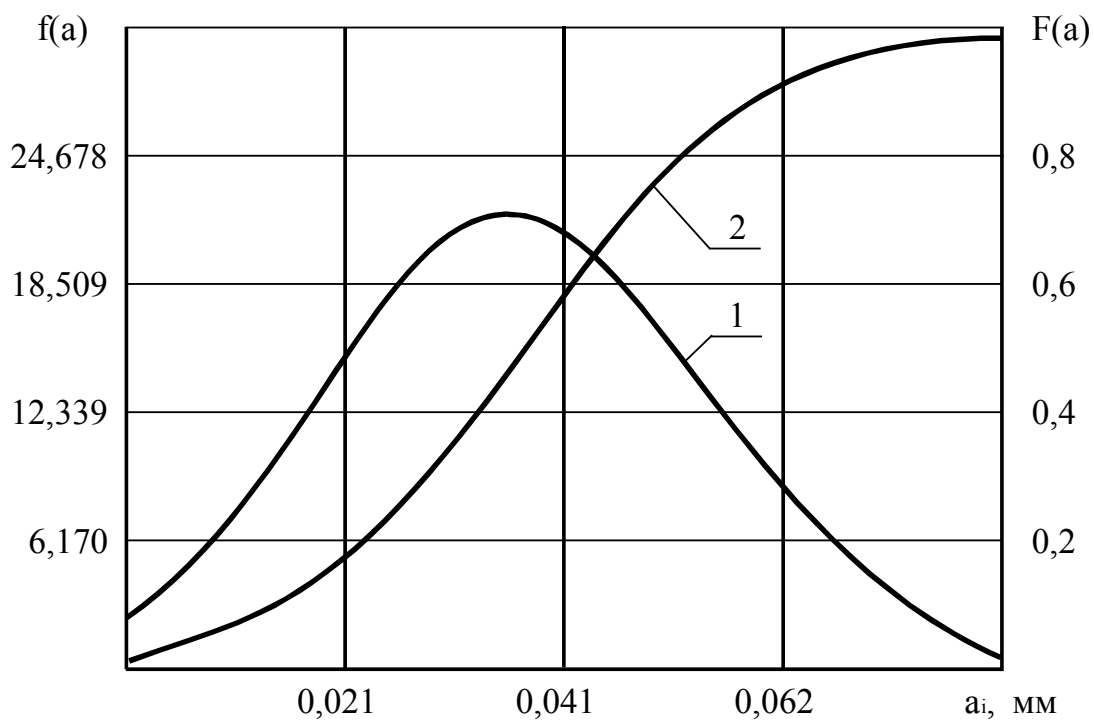


Рис.3.2. Диференціальна (1) та інтегральна (2) криві розподілу зносу внутрішнього діаметра втулок верхньої головки шатуна для площини А-А

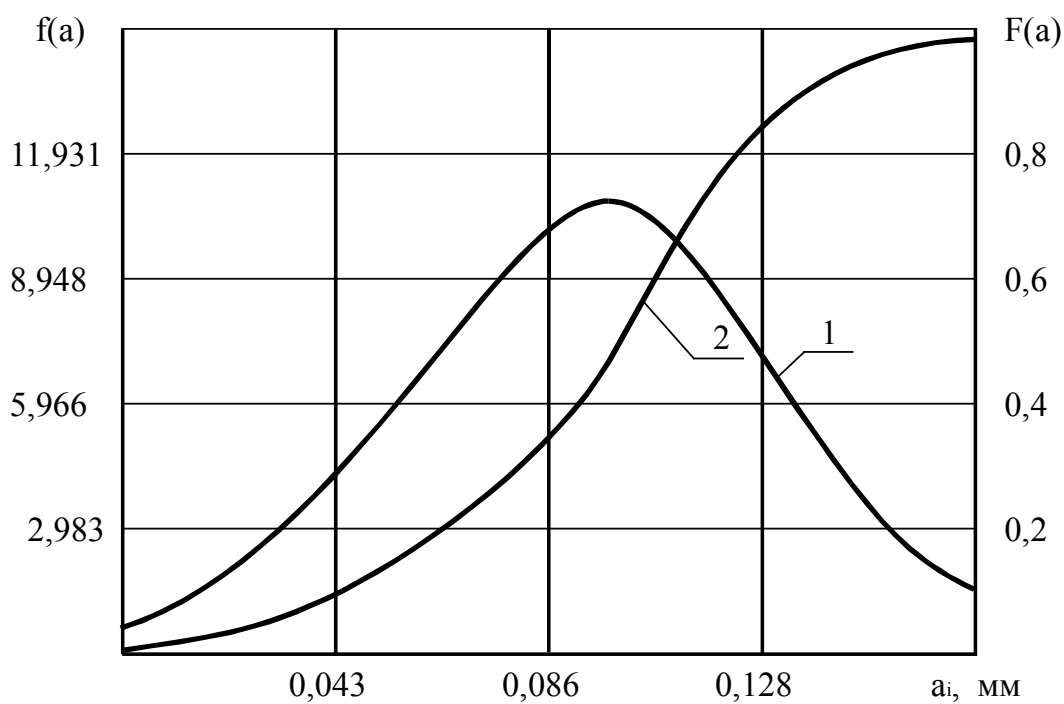


Рис.3.3. Диференціальна (1) та інтегральна (2) криві розподілу зносу внутрішнього діаметра втулок верхньої головки шатуна для площини В-В

3.2. Теоретичне обґрунтування можливості використання вібраційного розкочування під час відновлення деталей

Під час використання вібророзкочування та протягування для відновлення зношених поверхонь виникає необхідність в оцінці зміни внутрішнього діаметра зразка. Схема для визначення розмірних параметрів зношеного отвору під час вібророзкочування та протягування наведені на рис. 3.4.

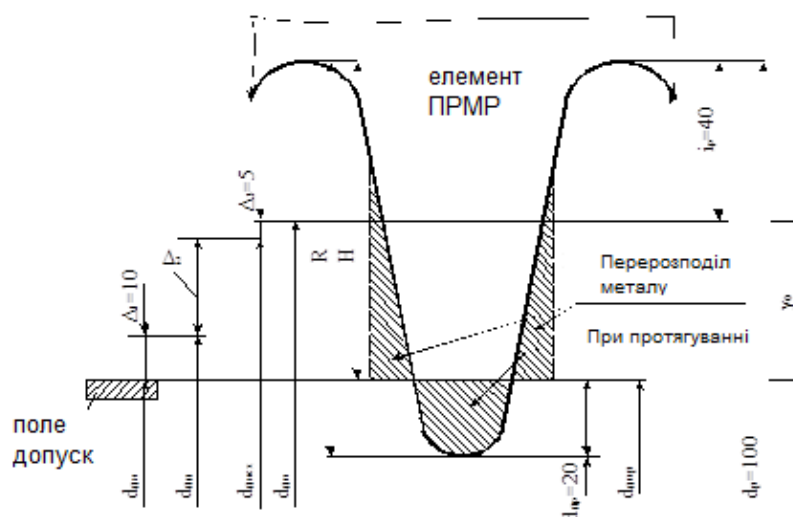


Рис.3.4. Розрахункова схема для визначення розмірних параметрів зношеного отвору під час вібророзкочування і протягування: $d_{\text{Дн}}$ – номінальний діаметр; $d_{\text{Дд}}$ – допустимий без ремонту розмір; $d_{\text{Двих}}$ – діаметр зношеного отвору; $d_{\text{Дп}}$ – діаметр протягання (розточування); $d_{\text{Др}}$ – діаметр після вібророзкочування; $d_{\text{пр}}$ – діаметр протягування; $d_{\text{р}}$ – діаметр розкатника; Δ_1 , Δ_2 , Δ_3 – відповідно величина допустимого зносу, величина зносу, припуск на механічну обробку; $i_p = \frac{(d_{\text{Дп}} - d_{\text{р}})}{2}$ – натяг під час вібророзкочування;

$i_p = \frac{(d_{\text{Дп}} - d_{\text{р}})}{2}$ – натяг під час протягування; R – висота елемента ПРМР після вібророзкочування; H – висота елемента ПРМР після протягування

Зміну діаметра зразка оцінювали за формулами:

- після вібророзкочування $\delta d_{др}$

$$\delta d_{др} = 2(i_d + \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3) = d_{др} - d_{дп}$$

- після протягування $\delta d_{дор}$

$$\delta d_{дор} = d_{дп} = 2(R - H) = 2[R - (\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + i_p)] = d_{дор} - d_{др}$$

3.3. Технологічний процес відновлення втулок верхньої головки шатуна

Відновлення втулок верхніх головок шатунів залежно від величини зносу внутрішніх поверхонь здійснювалося за двома варіантами:

1. без нанесення додаткового металу на зношену поверхню (збільшення діаметра отвору втулки $\leq 0,060$ мм).
2. з електролітичним нарощуванням антифрикційних покриттів на основі міді (зношення внутрішньої поверхні понад 0,060 мм).

Оскільки другий варіант охоплює, крім специфічних, призначених тільки для нього, всі операції технологічного процесу першого, то нижче докладно розглянуто призначення і зміст операцій технології відновлення внутрішньої поверхні шатунних втулок за другим варіантом.

Цей технологічний процес складається з таких операцій:

1. Механічна обробка (протягування, розточування) для видалення слідів зносу і надання внутрішній поверхні правильної геометричної форми.
- 2 Знежирення (хімічне) для видалення жирових плівок у лужних розчинах такого складу: каустична сода 20...30 кг/м³, кальцинована сода 20...30 кг/м³, фосфат натрію 50...60 кг/м³, рідке скло 5...10 кг/м³, температура розчину 343...363 К.
3. Травлення (хімічне) для видалення оксидних плівок у 20%-му розчині сірчаної кислоти; температура розчину 298...313 К.
4. Монтаж шатунів на установці.

5. Проточне нанесення КЕП – для розмірного нарощування металу на зношену поверхню. Під час відновлення втулок шатунів застосовували електроліт міднення такого складу: мідь сірчаноокисла $200...250 \text{ кг/м}^3$, кислота сірчана $50...70 \text{ кг/м}^3$, температура електроліту $293...303 \text{ К}$, щільність струму 1 кА/м^2 .

6. Демонтаж шатунів з установки виконується в порядку зворотному тому, що наведений у пункті 4.

7. Нейтралізація – для видалення кислотних залишків у 10%-му розчині їдкого натрію.

8. Вібророзкочування – для нанесення повністю регулярного мікрорельєфу на відновлюваній поверхні з метою зміни її розмірів і поліпшення якості поверхневого шару, а також підвищення його експлуатаційних властивостей.

9. Протягування – для отримання номінального розміру та оптимальної опорної площі оброблюваної поверхні.

Після знежирення, травлення, проточного осадження КЕП і нейтралізації відновлювані поверхні необхідно промити водою.

3.4. Дослідження якості робочої поверхні після вібраційного розкочування та деформуючого протягування

3.4.1 Структура, мікротвердість та глибина зміцненого шару

Зміна мікротвердості, механічної міцності та інших властивостей зміцненого поверхневого шару безпосередньо пов'язано зі структурними і субмікроструктурними перетвореннями, що відбуваються в них під час деформаційної обробки. Для пояснення суті явищ, що відбуваються при зміні властивостей металу внаслідок поверхнево-пластичної обробки, виникає необхідність у вивченні структури і субмікроструктури поверхневого шару після вібророзкочування і деформуючого протягування.

Мікроструктура поверхневих шарів кільцевих зразків до і після вібророзкочування і ВРДП представлені на рис.2.11-2.12 (режими обробки $d_{ш}=3,97$ мм; $N_{ш}=2$; $l=15$ мм; $i_p=50$ мкм; $i_{пр}=30$ мкм; $S=0,78$ мм/об; $n_p \approx 2$ с⁻¹).

У початковому стані в структурі нетравлених зразків видно компактні темні включення свинцю. Цей елемент практично не розчинний в α -твердому розчині олова і цинку в міді (рис.3.5, а). Спостерігається певна орієнтація включень свинцю, пов'язана з їх розміщенням в междендритних просторах. Після травлення реактивом на основі хлорного заліза, в структурі зразків виявляється дендритна будова - ділянки твердого розчину, віддалені від осі дендритів і збагачені цинком і оловом, що труються більш інтенсивно (рис. 3.5, б).

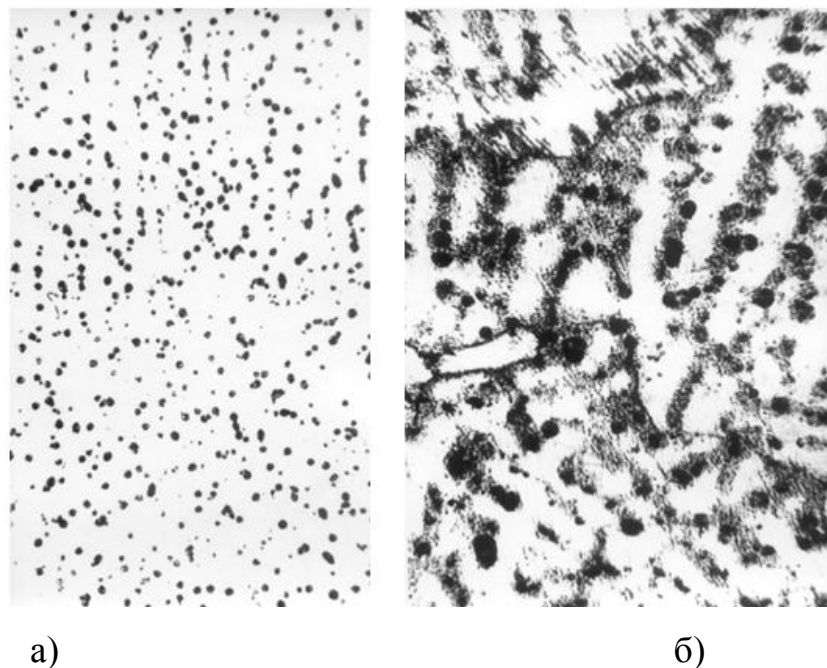


Рис.3.5. Вихідна структура зразка з бронзи Бр ОЦС 5-5-5: а) нетравлений шліф, $\times 100$; б) травлений шліф, $\times 350$

Після вібророзкочування в структурі нетравлених зразків спостерігається витягування включень свинцю в напрямку деформаційної течії на глибину 0,1 - 0,3 мм в залежності від натягу в процесі деформування (рис.3.6, а). Структура має високу ступінь текстурування. Гілки дендритів зміщуються в напрямку деформаційної течії. Найбільш текстуровані структури

на ділянках шириною $\sim 0,3 b_k$ під віссю тиску деформуючого елемента (рис. 3.6, б).

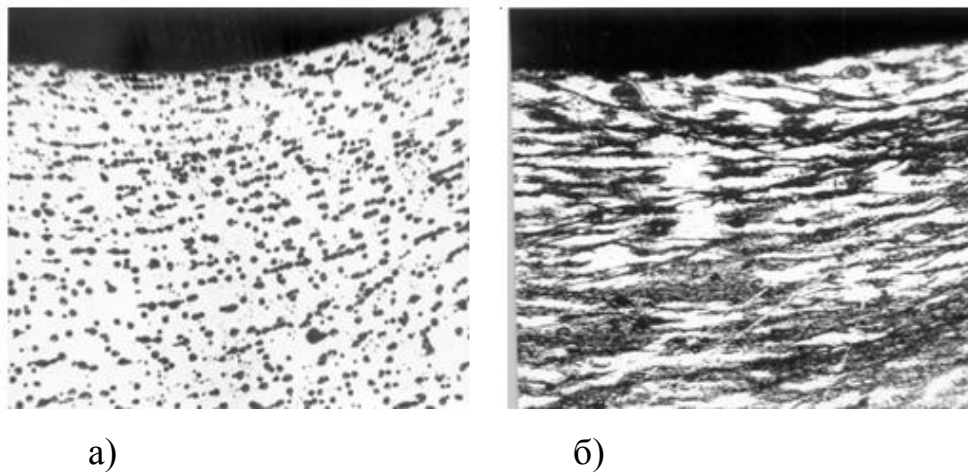


Рис.3.6. Структура зразка після вібророзкочування у перерізі перпендикулярному осі канавки, $\times 100$: а) нетравлений шліф; б) травлений шліф

При утворенні регулярного мікрорельєфу в процесі вібророзкочування лінії ковзання, отримані при формуванні суміжних канавок, перетинаються (рис.3.6). У просторі між канавками спостерігаються ділянки, де відбувається розворот групи блоків структури. Особливо складний характер деформаційних процесів відбувається у вершин виступів, утворених витісненням метала. На цих ділянках спостерігається найбільша кількість структурних дефектів, що виходять на поверхню, деформовані включення свинцю можуть бути джерелом утворення мікротріщин (рис.3.7).

Мікротвердість поверхневого шару деталей є одним з найважливіших критеріїв працездатності деталі, багато в чому визначає такі найважливіші експлуатаційні властивості як зносостійкість поверхні, контактна міцність і втомлювана витривалість деталі в цілому і т.п.



Рис.3.7. Структура бронзи Бр ОЦС 5-5-5 у виступі регулярного мікрорельєфу після вібророзкочування, $\times 350$

Підвищення мікротвердості, а отже, і міцності поверхневого шару зменшує зминання і стирання поверхонь тертя при їх безпосередньому контакті. Також зменшується ступінь впровадження поверхневих шарів в процесі їх механічної та молекулярної взаємодії. Виникають перешкоди розвитку спільної пластичної деформації металів, викликає холодне зварювання - схоплювання, яка є найбільш інтенсивним видом зносу. Дані про вплив ВРДП на ступінь і глибину наклепу мідних сплавів в літературі відсутні.

На рис. 3.8 показані залежності мікротвердості внутрішньої поверхні бронзових кільцевих зразків з ПРМР від натягів вібророзкочування і деформуючого протягування (ВРДП).

З наведених графіків видно, що зі збільшенням натягу вібророзкочування мікротвердість як западин так і виступів елементів ПРМР підвищується, причому з огляду на неодноразовий вплив деформуючого елемента на кожен ділянку оброблюваної поверхні, а також меншого рівня дефектності структури, наклеп западин трохи вище, ніж виступів (рис.3.8, криві 1 і 2). При деформуючому протягуванні поверхонь з ростом натягу прошивки мікротвердість западин на початку залишається незмінною, а потім незначно

підвищується (рис.3.8, крива 3). Мікротвердість виступів при збільшенні натягу (зусилля деформування) зростає, так як поверхня прошивки, безпосередньо контактуючи з вершинами елемента ПРМР, перерозподіляє поверхневий шар металу зразка, збільшуючи його наклеп.

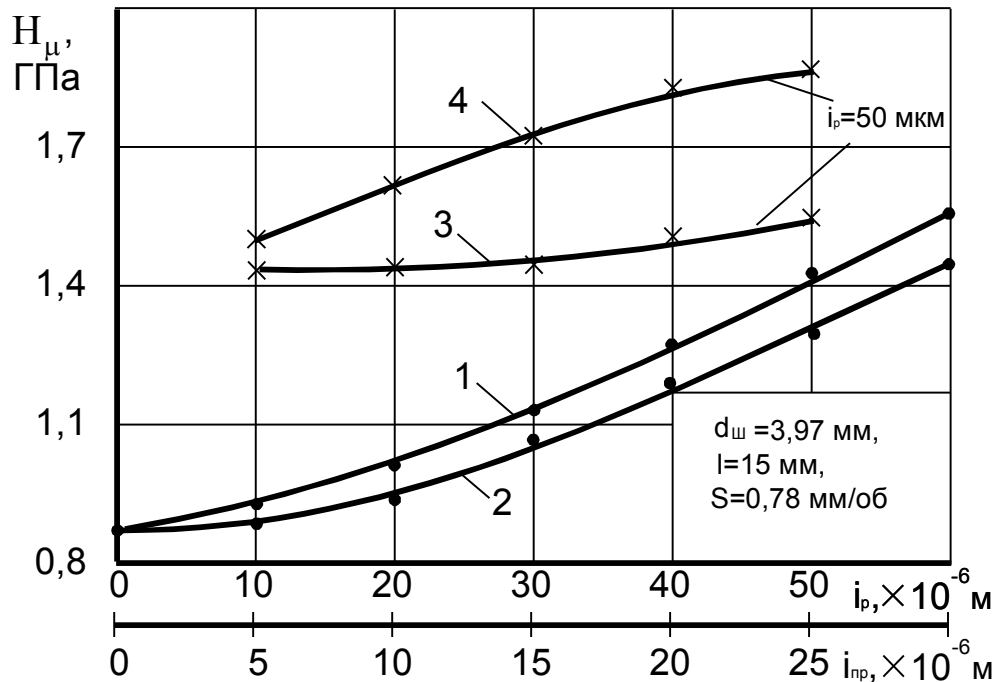


Рис. 3.8. Залежність мікротвердості H_μ від натягів вібророзкочування i_p (1, 2) та деформуючого протягування $i_{пр}$ (3, 4) на поверхнях впадин (1, 3) та виступів (2, 4)

Залежність глибини наклепу (вимірювання виконувалося в площині виступів) від величини натягу при вібророзкочуванні і ВРДП приведена на рис 3.9. З графіків видно, що зі збільшенням натягу обробки глибина зміцненого шару підвищується, що пов'язано зі зростанням деформаційного ефекту при збільшенні обсягу перерозподіляється поверхневого шару металу і створенням великих тисків в зоні контакту інструменту і зразка.

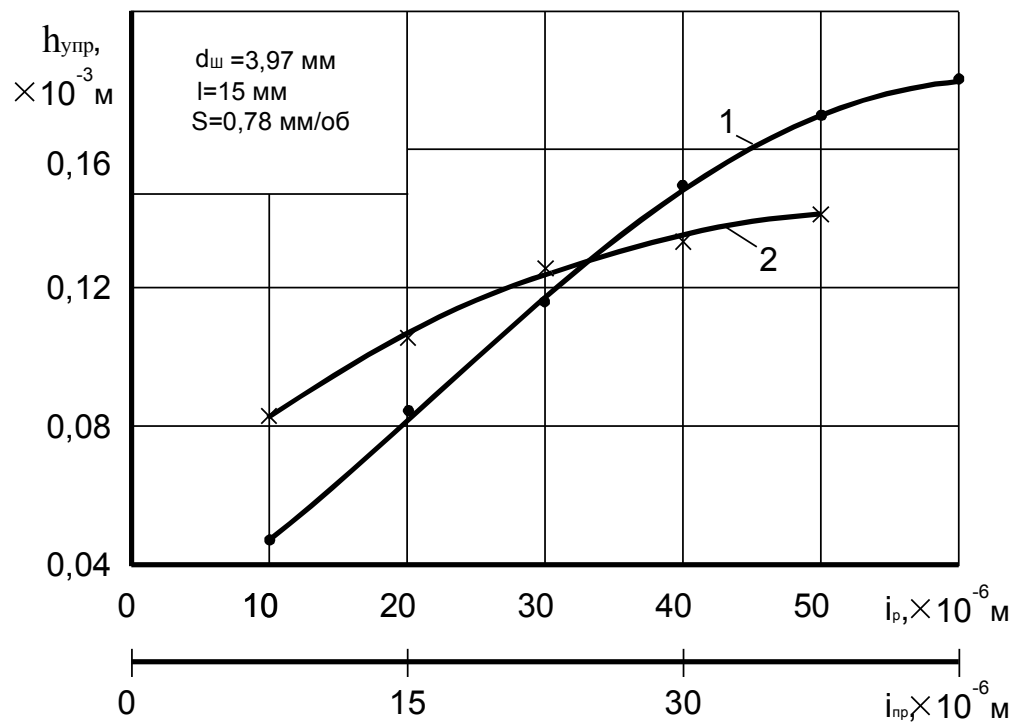


Рис.3.9. Залежність глибини зміцненого шару $h_{упр}$ від натягу при вібророзкочуванні i_p (1) та наступного деформуючого протягування $i_{пр}$ (2)

На експлуатаційні властивості деталей машин, зміцнених ППД, значний вплив мають фізико-механічні властивості матеріалу, які оцінюються трьома основними показниками - ступенем зміцнення поверхневого шару, що обчислюється як відношення різниці найбільшої твердості зміцненого шару і твердості незміцненого матеріалу до останньої, глибиною зміцненого шару, а також величиною, характером розподілу і знаком залишкових внутрішніх напружень, що діють в поверхневому шарі деталі.

Результати досліджень свідчать, що навіть при першому циклі деформування досліджуваній матеріал зміцнюється до його граничного значення (HV 1750 - 1800). Подальше нарощування циклів деформування помітного збільшення твердості не викликає. Максимально що досягається таким чином зміцнення бронзи Бр ОЦС 5-5-5, з яких виготовляються шатунні втулки, становить HV 1800 МПа, ступінь зміцнення - 125%.

Дослідження розподілу мікротвердості за перерізом деформованого шару після вібророзкочування показує нерівномірний характер зміцнення сплаву. Найбільше зміцнення має місце в канавці безпосередньо під центральною

ділянкою тиску кульки завширшки $0,3 - 0,4 b_k$. Водночас у виступах, утворених завдяки витісненню металу, спостерігається зміцнення металу меншою мірою, що пов'язано з особливістю напруженого стану і підвищеним вмістом дефектів на цих ділянках (рис. 3.10, а).

В результаті деформуючого протягування відбувається зміцнення твердого розчину переважно на ділянках виступів. Мікротвердість на опорних ділянках виступів унаслідок такої обробки на глибину від 0 до 15 мкм досягає значень, що максимально досягаються в процесі зміцнення. Водночас характер зміцнення западини канавки практично не змінюється (рис. 3.10, б).

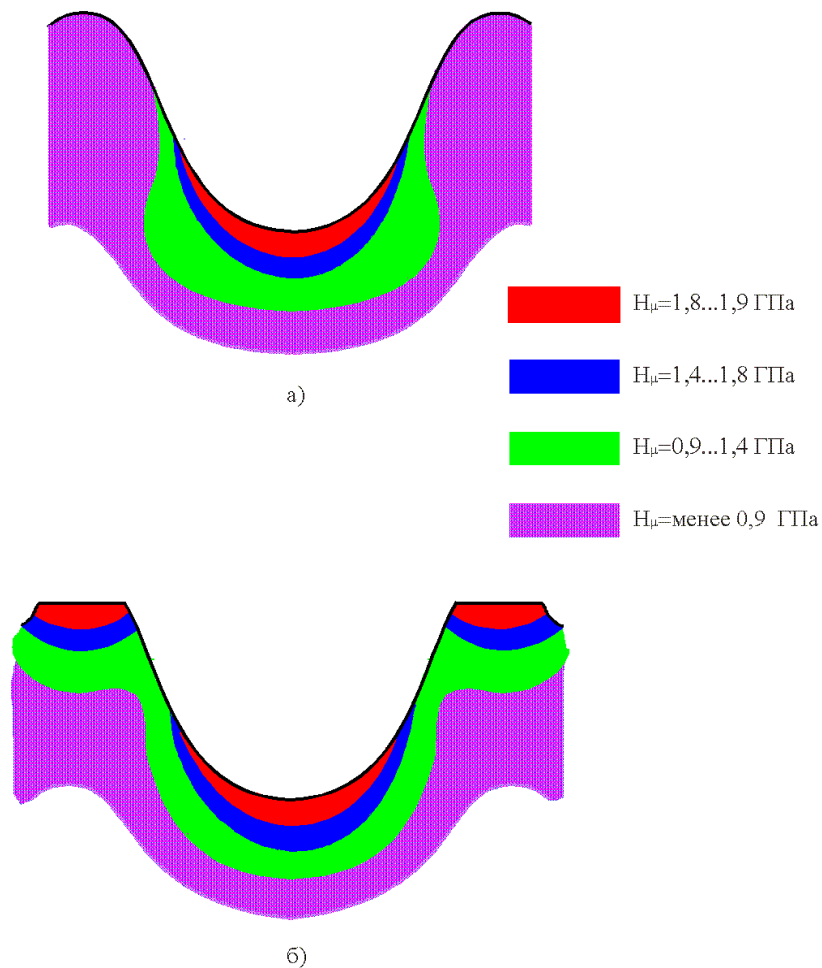


Рис.3.10. Характер розподілу мікротвердості в перерізі деформованого шару після вібророзкочування (а) і подальшого деформуючого протягування (б)

Отже, досліджена бронза в процесі холодної пластичної деформації при статичному додаванні навантаження здатна зміцнюватися до певної межі.

Запропонована технологія відновлення бронзових втулок з використанням ВРДП дозволяє досягнути значну ступінь зміцнення поверхні, що обробляється.

3.4.2 Припрацювання поверхні після ВРДП

Методика проведення досліджень. Тривалість припрацювання визначалася часом від початку роботи пари тертя до моменту переходу граничного тертя в рідинне на парі тертя: «ролик - кільцевий сектор (вкладиш)». Для цього використовувалося спеціальний пристрій (рис.3.11), який монтується на токарно-гвинторізному верстаті 16К20 і містить качалку з роликом, навантажувальний вузол з кільцевим сектором і електричну частину [].

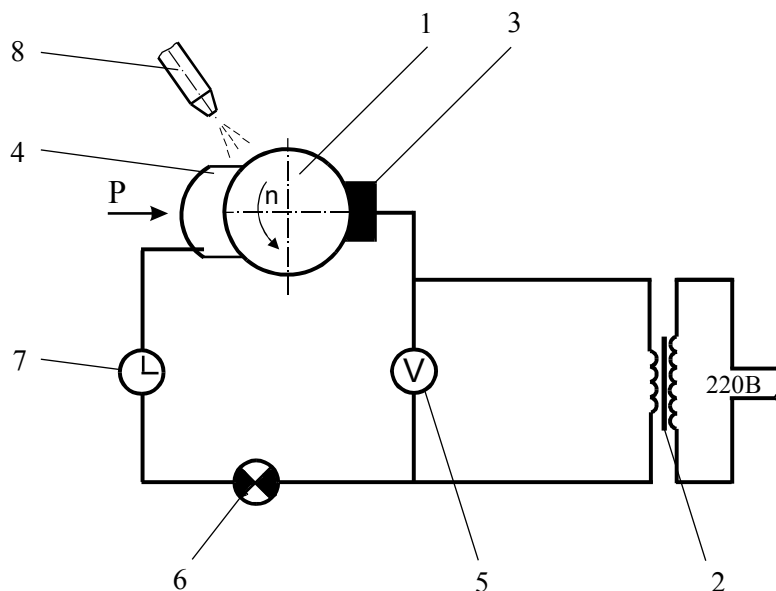


Рис.3.11. Схема випробування поверхонь тертя на припрацювання: 1 – ролик; 2 – трансформатор понижуючий; 3 — струмопідвід; 4 – вкладиш; 5 – вольтметр; 6 – електролампочка; 7 – електрогодинник; 8 – пристрій для подачі змащувальної рідини

Підведення струму до ролика 1 (рис. 3.11) від трансформатора 2 здійснюється через обертальний патрон, підпружинений мідно-графітової щіткою 3, встановленої в щіткотримачі, закріпленому на станині верстата (на рис.2.15 не

показано), а до кільцевому сектору 4 – безпосередньо через опору. Наявність напруги в ланцюзі контролюється вольтметром 5, а електричного струму - електролампочкою 6 і електрогодинником 7. Змащуюча рідина в зону тертя подається насосом верстата через наконечник 8.

При роботі установки ролик і кільцевий сектор, електрично пов'язані із сигнальним пристроєм (електролампочки) і реєструючим приладом (електронний годинник), піддаються тертю в умовах подачі рідини в зону контакту зразків. У початковий момент контакти досліджуваних зразків електроланцюзі сигнального і реєструючого пристроїв замкнуті, загорається електрична лампочка, і включаються електрогодинники. У момент закінчення припрацювання, коли опорні поверхні зразків, що труться, настільки зростають, що вихідний тиск виявиться недостатнім, щоб прорвати масляну плівку, контакт між ними порушується, і вимикається сигнальна лампа і електрогодинники.

Результати досліджень. Встановлено, що при зростанні висоти елемента ПРМР (рис.3.12), період припрацювання збільшується, що пов'язано зі зменшенням радіуса заокруглення вершини елемента r_b (при розточування $r_b=40 \times 10^{-6}$ м; при вібророзкочуванні r_b змінювався від 60 до 7200×10^{-6} м). При цьому для отримання оптимальної опорної поверхні $F_{оп}$ зразків, що труться, необхідно їх більше зближення, що викликає відповідно збільшення зазору в сполученні.

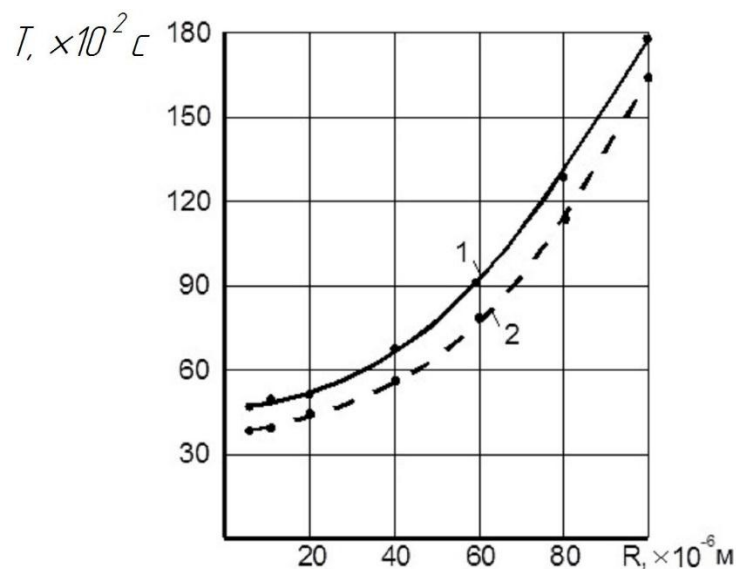


Рис. 3.12. Залежність тривалості припрацювання від висоти R елемента ПРМР після вібророзкочування: Ролик: — сталь 45 (гартування СВЧ); — сталь 45 (без термообробки). Сектор: 1, 2 – Бр ОЦС 5-5-5

Для зменшення зазору, пов'язаного з припрацювальним зносом, після нанесення ПРМР з різною висотою елемента виконувалося деформуюче протягування внутрішньої поверхні кільцевих зразків інструментом однакового діаметра з метою зміни вихідної опорної поверхні. Як видно з графіків, при малій величині опорної поверхні (до 30%) і при великих їх значеннях (понад 50%), тривалість припрацювання зростає (рис.3.13, криві 1 і 2), що пов'язано, на наш погляд, з великими питомими тисками, які витісняють масляну плівку із зони контактування поверхонь зразків (в першому випадку) і зниженою шорсткістю ($R_a = 0,16$ мкм) поверхонь, які погано утримують мастило в зоні тертя (у другому випадку).

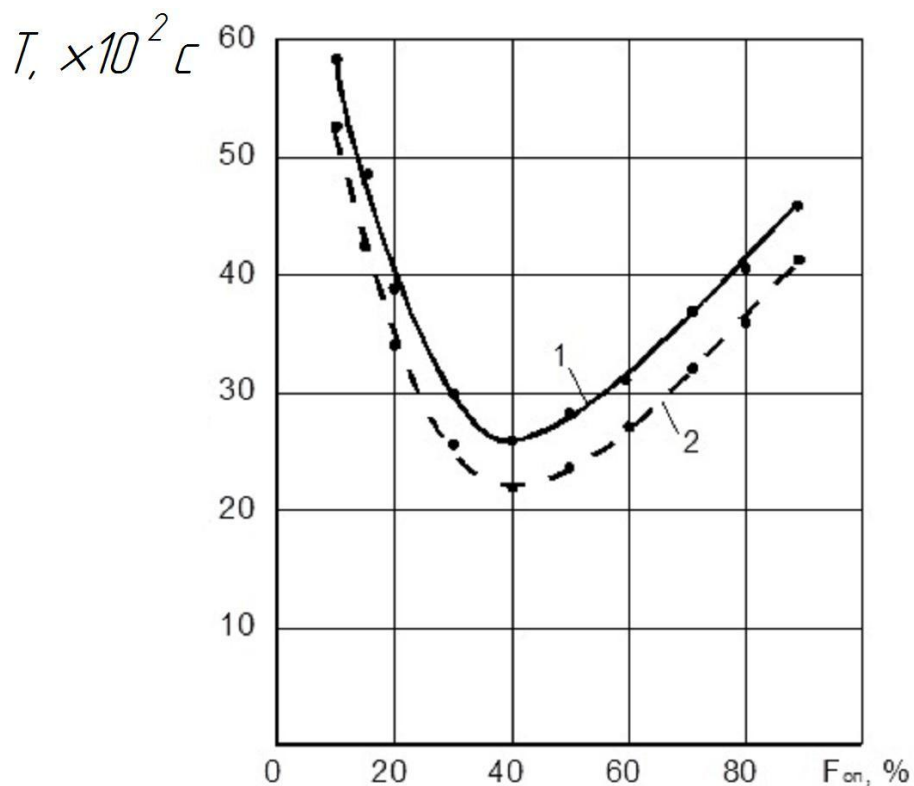


Рис. 3.13. Залежність часу припрацювання від площі опорної поверхні $F_{оп}$ після деформуючого протягування (позначення см. на рис.2.17)

На рис.3.14 зображена діаграма тривалості припрацювання сполучень при вищевказаних способах обробки внутрішніх поверхонь кільцевих секторів. Як видно з діаграми, період припрацювання зразків, оброблених тиском, істотно коротше, ніж оброблених різанням (при вібророзкочуванні бронзових кільцевих секторів в порівнянні з розточеними в 1,8 і 2,0 рази, а при ВРДП - в 3,5 і 4,0 рази при терті з контртілом із загартованої і не термозміцненої сталі 45 відповідно). Час припрацювання з контртілом, яке має більш низьку поверхневу твердість, менше у порівнянні з більш твердим.

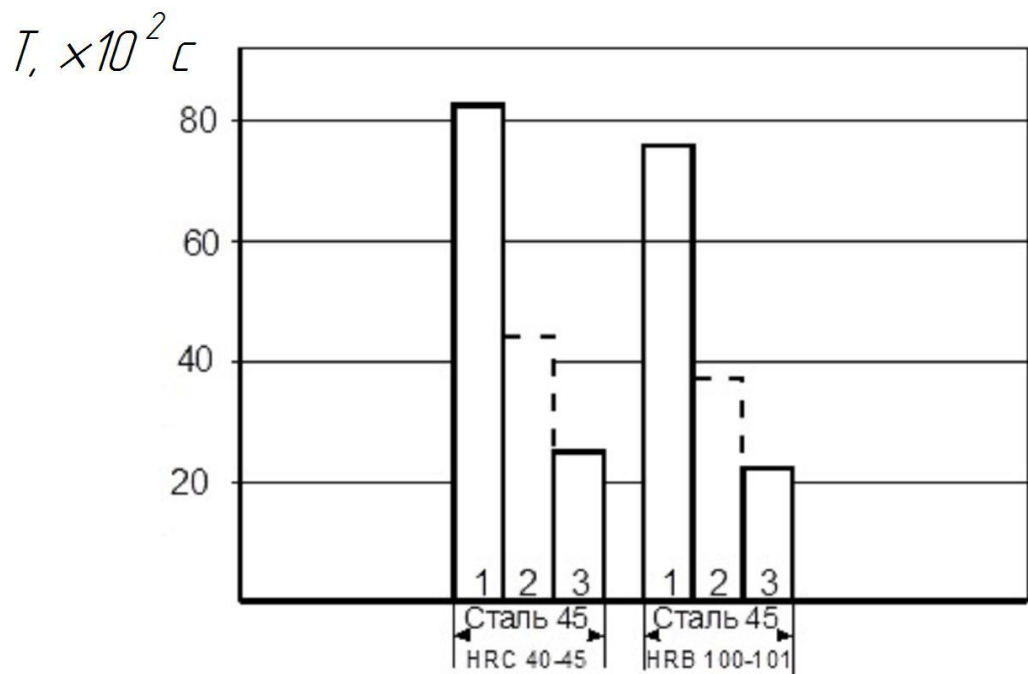


Рис. 3.14. Діаграма тривалості припрацювання при різних способах обробки і матеріалах зразків: 1 – розточування; 2 – вібророзкочування; 3 – вібророзкочування з подальшим деформуючим протягуванням

З наведеної на рис.3.15 діаграми видно, що вібророзкочування без деформуючого протягування і з подальшим деформуючим протягуванням знижує інтенсивність початкового зношування поверхневих шарів.

Отже, можна стверджувати, що нанесення ПРМР з великим радіусом заокруглення вершини його елемента; створення на етапі фінішної обробки оптимальної або близько до неї опорної поверхні дозволяє поряд зі скороченням періоду припрацювання зменшити зазор в сполученні, пов'язаний

з припрацювальним зносом, покращує припрацьовуваність поверхні пари тертя: сталь (ролик) - бронза (кільцевий сектор).

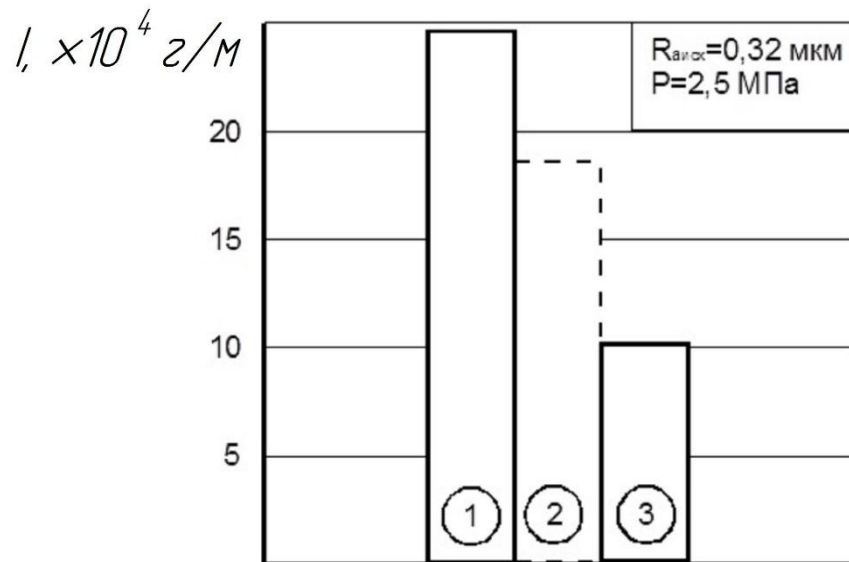


Рис. 3.15. Діаграма інтенсивності початкового зношування сектора при різних способах обробки (позначення см. на рис.3.14)

3.4.3 Зносостійкість поверхні після вібророзкочування з подальшим деформуючим протягуванням

Методика проведення досліджень. Дослідження зносостійкості проводилися на машині тертя СМЦ-2 за схемою «ролик - кільцевий сектор» при постійній швидкості ковзання 1 м/с. Як контртіло застосовувалися ролики, виготовлені зі сталі 45 твердістю HRC 40...45. Вихідна шорсткість робочих поверхонь роликів була у всіх дослідах однакова і становила $R_{вих} = 0,32$ мкм. Температура поблизу зони тертя визначалася за допомогою термопари «ХК» і потенціометра ПСМГ-0,1. Величина зносу при вивченні зносостійкості оцінювалася ваговим методом.

Виявлення критичних навантажень захоплення проводилося ступінчастим вантаженням зразків. Вихідне навантаження у всіх випадках була 1,0 МПа. Інтервал навантаження становив 0,5 МПа. Перехід від одного

питомого навантаження до наступного проводився після стабілізації моменту тертя і температури в зоні тертя.

Результати досліджень. Проведені дослідження довели, що знос (рис. 3.16) та інтенсивність зношування сполучень (рис.3.17, 3.18) залежать від способу фінішної обробки поверхонь.

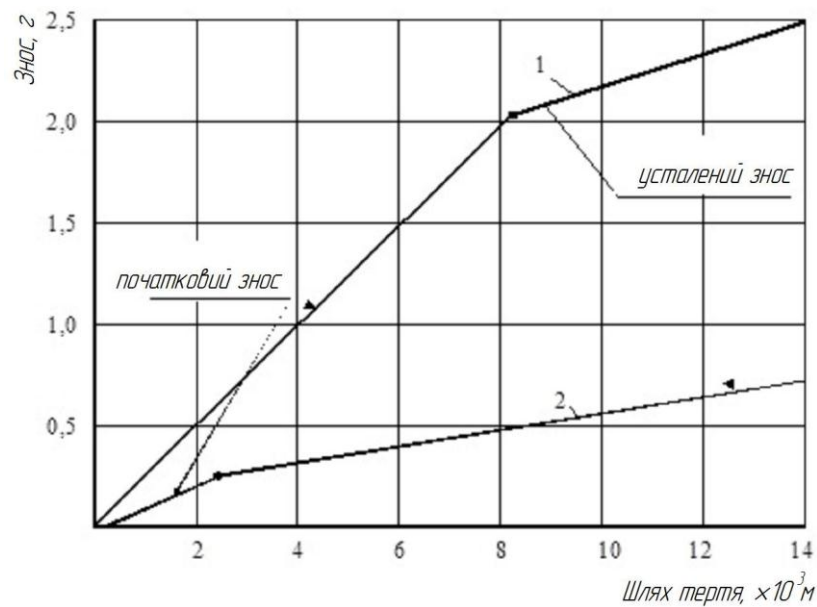


Рис.3.16. Залежність зносу кільцевого сектора від шляху тертя: 1 – розточування; 2 – вібророзточування з подальшим деформуючим протягуванням

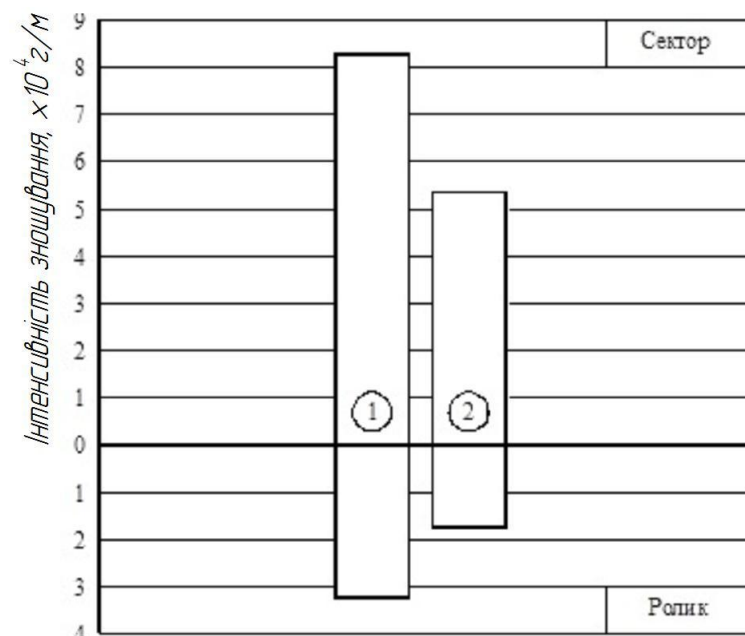


Рис.3.17. Діаграма інтенсивності зношування спряжень при різних способах обробки поверхні сектору (граничне тертя) (позначення см. на рис.3.16)

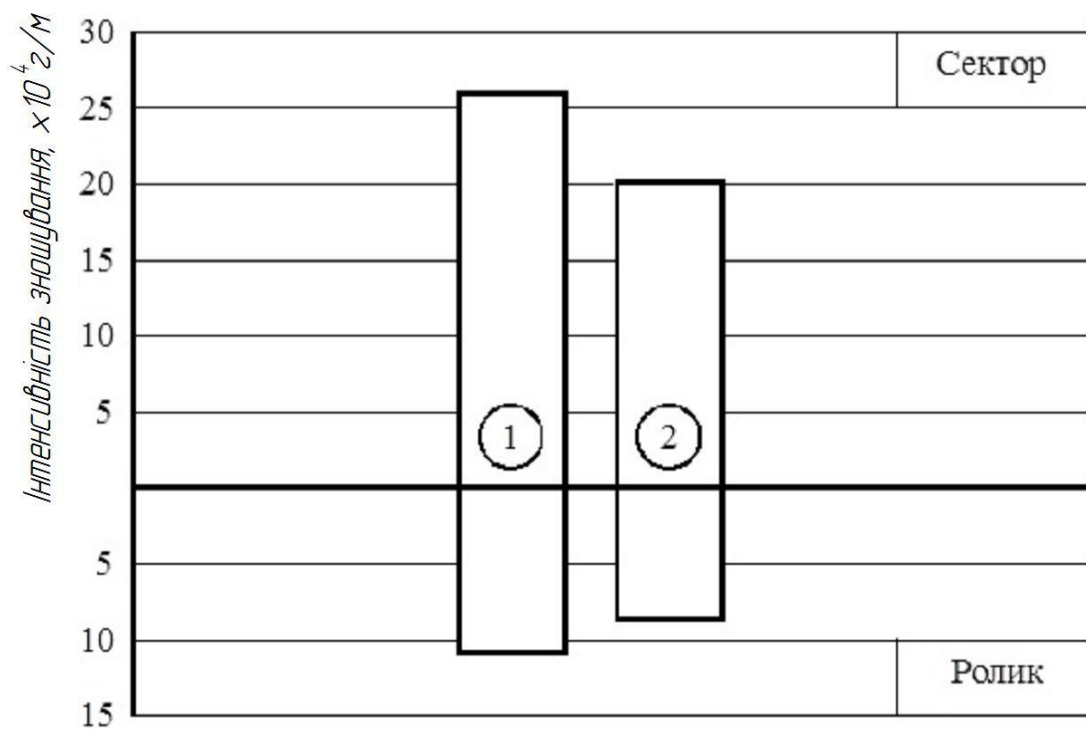


Рис.3.18. Діаграма інтенсивності зношування спряжень при різних способах обробки поверхні сектору (сухе тертя) (позначення см. на рис.3.16)

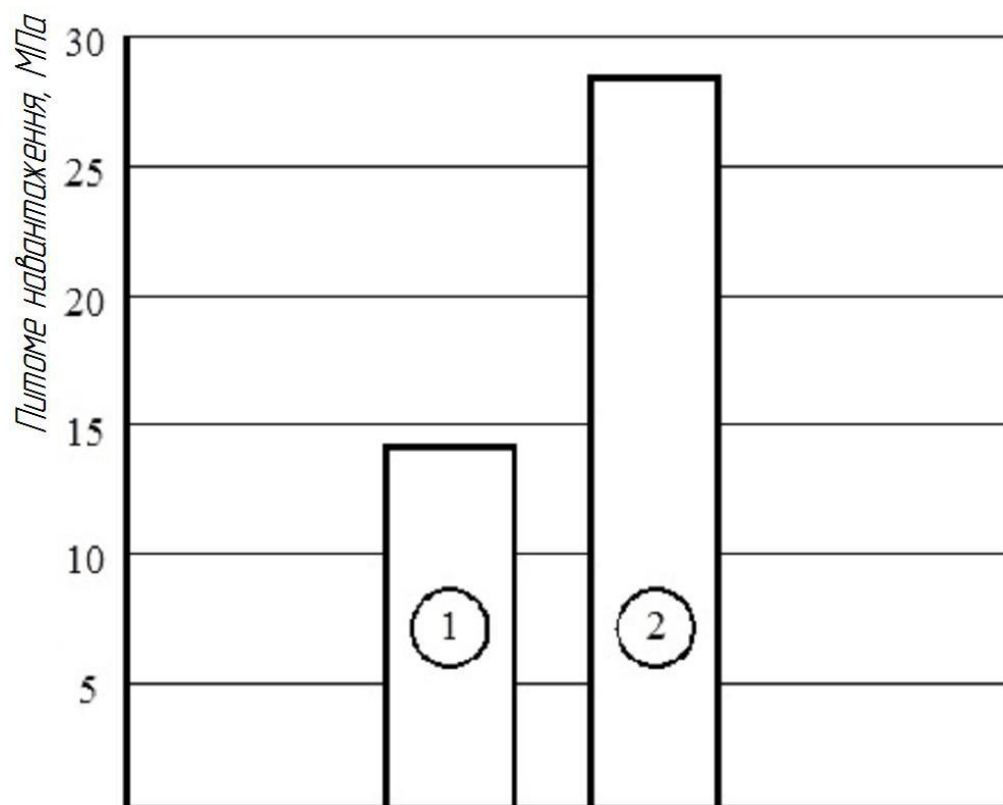


Рис.3.19. Діаграма навантаження захоплення спряжень при різних способах обробки (позначення см. на рис.3.16)

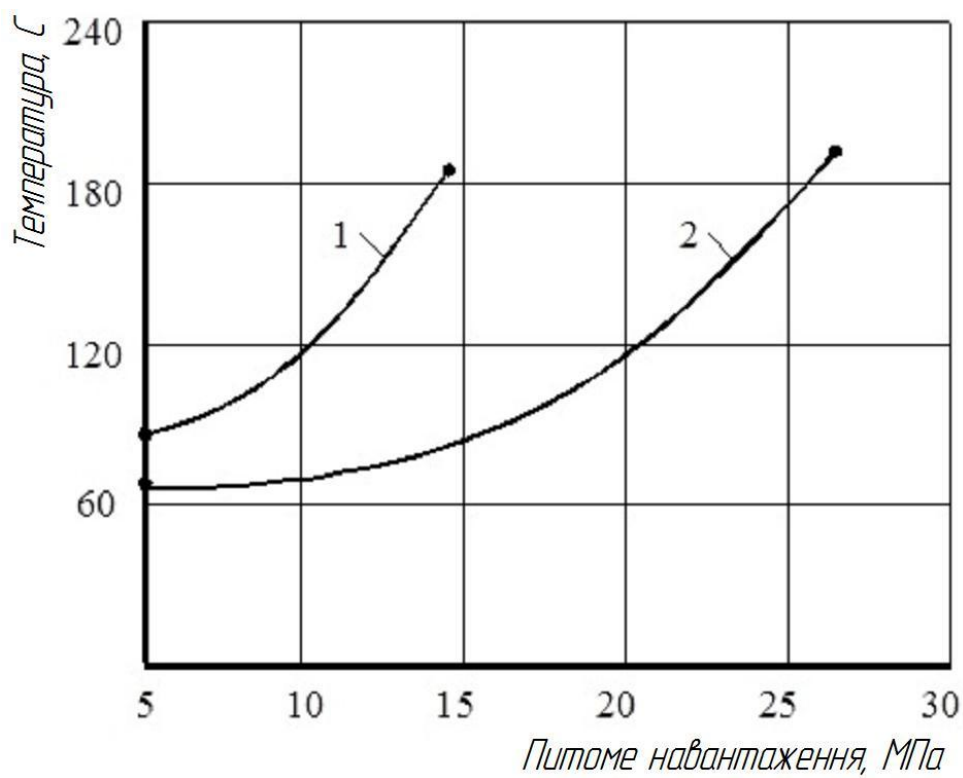


Рис.3.20. Залежність температури в зоні тертя від навантажень при різних способах обробки (позначення див. на рис.3.16)

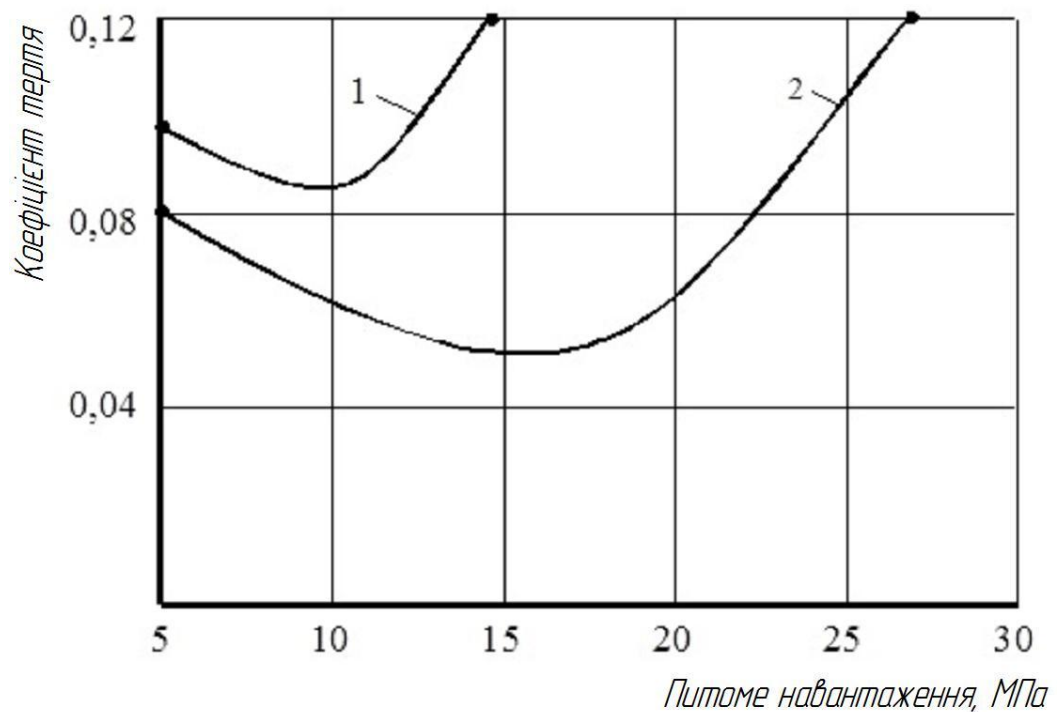


Рис.3.21. Залежність коефіцієнта тертя від навантажень при різних способах обробки (позначення див. на рис.3.16)

При нанесенні ПРМР вібророзточуванням та його подальшого деформуючого протягування, зносостійкість різко підвищується (рис. 3.16, крива 2) як при граничному (рис.3.17) так і при сухому (рис.3.18) терті.

Підвищення зносостійкості бронзових зразків, на наш погляд, можна пояснити регулярної дискретністю опорної поверхні, що різко зменшують ймовірність захоплення (рис.3.19), великими радіусами заокруглень елементів ПРМР, ніж мікронерівностей після розточування (при сухому терті), а також збільшенням маслоємності поверхонь (при граничному терті). При цьому підвищується навантаження захоплення (рис.3.19), а температура (рис.3.20) і коефіцієнт тертя (рис.3.21) значно зменшуються.

Отже, можна стверджувати, що ВРДП забезпечує підвищення зносостійкості в умовах граничного і сухого тертя.

3.5. Висновки по розділу 3

За результатами наукових досліджень зроблені наступні висновки:

1. Аналіз зносного стану показав, що кількість втулок із зносом до 0,05 мм становить 9,3%. Ці втулки доцільно відновлювати вібророзкочуванням з подальшим деформуючим протягуванням. Втулки з зносом більше 0,05 мм пропонується відновлювати нанесенням композиційних електролітичних покриттів на основі міді з подальшим вібророзкочуванням і деформуючим протягуванням.

2. Запропонована технологія відновлення бронзових втулок з використанням технології вібророзкочування з подальшим деформуючим протягуванням дозволяє досягати граничного ступеня зміцнення оброблюваної поверхні.

3. Створення на етапі фінішної обробки оптимальної або близькою до неї опорної площі (30 ... 50% поверхні тертя) дозволяє поряд зі скороченням періоду припрацювання, зменшити зазор в сполученні, пов'язаний з припрацювальним зносом.

4. Вібророзкочування з подальшим деформуючим протягуванням забезпечує підвищення зносостійкості в умовах граничного і сухого тертя. Отже, запропонований технологічний процес відновлення шатунних втулок з використанням вібророзкочування з подальшим деформуючим протягуванням може бути використаний для підвищення довговічності сполучення «втулка - поршневий палець».

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

4.1. Визначення ефективності відновлення шатунних втулок використанням технології вібророзкочування та деформуючого протягування

Рішення про доцільність відновлення зношених деталей із використанням вібраційного розкочування та деформуючого протягування ухвалюють на основі розрахунку річного економічного ефекту, який визначають за формулою:

$$E_{p.n.} = [(C_1 - C_2) \cdot N_1 - E_H \cdot (K_2 - K_1)],$$

де $E_{p.n.}$ – річний економічний ефект в умовах ремонтного підприємства;
 C_1 , C_2 – собівартість серійної шатунної втулки та відновленої
вібророзкочуванням та деформуючим протягуванням; N_1 – кількість шатунних

втулок, що відновлюються за розробленим технологічним процесом; E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень ($E_n=0,15$); K_1 , K_2 – капітальні витрати під час упровадження технологічних процесів базового (заміна втулки) та пропонованого відповідно.

Для визначення річного економічного ефекту для ремонтного підприємства визначали собівартість відновлення за двома варіантами.

I варіант – базовий (заміна шатунної втулки);

II варіант – вібраційне розкочування та деформуюче протягування.

Розрахунок собівартості відновлення шатунних втулок за вищенаведеними варіантами представлено в таблиці 4.1.

$$E_{p.n.} = [(126,88 - 33,55) \cdot 3000 - 0,15 \cdot (17840 - 13400)] = 279324 \text{ грн.}$$

Застосування запропонованої технології відновлення шатунних втулок з використанням вібраційного розкочування та деформуючого протягування дасть змогу збільшити довговічність сполучення, що підтверджується стендовими та експлуатаційними випробуваннями.

Таблиця 4.1 – Розрахунок собівартості відновлення шатунної втулки за різними варіантами

Статті витрат	Витрати, грн.	
	Варіанти	
	I	II
1. Матеріали	65,20	15,50
2. Основна та додаткова заробітна плата	36,60	8,40
3. Різні відрахування	14,60	4,70
4. Витрати на утримання обладнання	5,68	2,40
5. Накладні витрати	4,80	2,55
Разом:	126,88	33,55

Економічний ефект за рахунок збільшення довговічності відновлених деталей визначається за формулою [8]:

$$E_{p.o} = \left[(C_1 + E_H \cdot K_1^I) \cdot \frac{P_1 + E_H}{P_2 + E_H} - (C_2 + E_H \cdot K_2^I) \right] \cdot N_1,$$

де P_1, P_2 – величини, зворотні строкам служби деталей, відновлених за базовим і пропонованим варіантами; K_1^I, K_2^I – питомі капіталовкладення за базовим і пропонованим варіантами, грн.

Величина P визначається за формулами:

$$P_i = \frac{1}{T_i}; \quad T_i = \frac{L_i}{\alpha_p},$$

де T_i – термін служби деталі, відновленої за i -м варіантом, у роках; L_i – пробіг автомобіля до вибракування відновленої за i -м варіантом деталі, км; α_p – середній річний пробіг автомобілів, на яких встановлено досліджувані деталі.

$$T_1 = \frac{L_1}{\alpha_p} = \frac{56500}{56500} = 1,0 \text{ рік}; \quad T_2 = \frac{L_2}{\alpha_p} = \frac{81925}{56500} = 1,45 \text{ року};$$

$$P_1 = \frac{1,0}{1,0} = 1,0; \quad P_2 = \frac{1,0}{1,45} = 0,69;$$

$$E_{p.o} = \left[(126,88 + 0,15 \cdot 4,47) \cdot \frac{1,0 + 0,15}{0,69 + 0,15} - (33,55 + 0,15 \cdot 5,95) \right] \cdot 3000 = 420527,85 \text{ грн.}$$

Загальний річний економічний ефект дорівнює сумі економії, одержуваної ремонтним підприємствам $E_{p.n.}$ та економії від збільшення довговічності деталі $E_{p.o}$.

$$E_p = E_{p.n.} + E_{p.o} = 279324 + 420527,85 = 699851,85 \text{ грн.}$$

4.2. Аналіз небезпечних і шкідливих факторів під час виконання робіт на гальванічній дільниці

Оскільки одним з варіантів відновлення шатунних втулок (якщо їх знос перевищує 0,05 мм) є використання технології нанесення електролітичних

покриттів на основі міді та вібраційного розкочування та деформуючого протягування як фінішні операції, тому розглянемо основні небезпечні та шкідливі фактори при виконанні гальванічних робіт.

Процеси приготування і коригування електролітів, обробки поверхні та нанесення гальванічних покриттів характеризуються різноманіттям застосовуваних хімічних речовин. Це солі нікелю, міді, цинку, кадмію, хрому та інших металів, хромовий ангідрид, нітрит натрію, ціаністі солі, солі амонію, формальдегід, поверхнево-активні речовини, луги, кислоти та інші шкідливі речовини. Розчини багатьох із цих речовин застосовуються в нагрітому стані. Робота з хімічними речовинами створює небезпеку отруєнь, опіків і професійних захворювань. Ступінь негативного впливу хімічних речовин на організм людини залежить від їхніх фізико-хімічних властивостей, агрегатного стану, класу небезпеки речовини, часу та характеру впливу, шляхів надходження речовини в організм, стану організму та інших шкідливих факторів. У разі недотримання запобіжних заходів і техніки безпеки шкідливі речовини можуть надходити в організм людини через органи дихання, шкіру і травний тракт. Вдихання шкідливих речовин у вигляді газів, парів або аерозолів призводить до ураження верхніх дихальних шляхів і загальнотоксичного впливу при всмоктуванні речовин через кров. У разі вдихання парів кислот (соляної та азотної) спостерігаються ураження слизової оболонки носоглотки та гортані, що може призвести до хронічних захворювань (риніту, фарингіту, бронхіту) і руйнування зубної емалі [22].

Під час виконання ручних операцій шкідливі речовини проникають через шкіру. Вплив кислот і лугів може спричинити подразнення або опіки шкіри. Опіки лугами протікають значно важче. Крім того, луги мають яскраво виражену знежирювальну дію на шкіру, що призводить до порушення її захисних функцій і в результаті одночасного або подальшого контакту з хромом і нікелем, сприяє розвитку шкірних захворювань.

Найбільш токсичні хром та його сполуки. Вони чинять шкідливий вплив на печінку, нирки, травну, серцево-судинну систему, шкіру і слизові оболонки.

У тих, хто працює з хромом і його сполуками, можуть виникати кашель, нежить, чхання аж до кровотеч із носа, виразки тканин верхніх дихальних шляхів, перфорація носової перегородки. При впливі на шкіру навіть слабких розчинів хромових сполук починаються виразки, дерматит, екзема.

У виробництві гальванопокриттів широко застосовують ціаністі сполуки. У разі постійного контакту з ціаністими солями можуть виникнути ураження шкіри, що супроводжуються свербіжем, виразками, хронічною екземою. Вдихання парів синильної кислоти або ціаністого водню небезпечно! У початковій стадії спостерігається металевий присмак у роті, слинотеча, почервоніння очей, нудота, блювота, задишка, пульсація скроневих артерій, судоми. При тривалому впливі цих речовин настає швидка втрата свідомості та припинення дихання. Для забезпечення безпечного рівня забруднення атмосфери в робочій зоні використовується вентиляція [22].

Характер негативного впливу на працюючих залежить від фізико-хімічних властивостей речовин. Вплив хімічних речовин і сполук в умовах високих температур значно посилюється. За високої температури повітря розширюються шкірні судини, посилюється потовиділення, частішає дихання працівника, що прискорює проникнення шкідливих речовин в організм. Крім того, при високій температурі збільшуються швидкість випаровування і летючість речовин, що сприяє зростанню концентрації забруднень у повітрі робочої зони.

Поряд із хімічними небезпечними та шкідливими факторами технологічний процес нанесення гальванопокриттів характеризується і фізичними факторами: шумом, вібрацією тощо.

Джерелами шуму і вібрацій у гальванічних цехах є шліфувальні та полірувальні верстати, гідропіскоструминне і дробоструминне обладнання, галтувальні барабани, генератори постійного струму, випрямлячі змінного струму і вентилятори.

Вплив шуму на організм людини призводить до швидкої стомлюваності, зниження продуктивності праці, шкідливо впливає на органи слуху, нервову

систему. Тривала дія шуму може призводити до гіпертонічної хвороби, приглухуватості та інших захворювань.

Підвищена вологість у приміщенні (75 % і більше), наявність агресивних середовищ, можливість одночасного дотику людини до заземлених частин і корпусів електрообладнання (вони можуть випадково опинитися під напругою) дають змогу класифікувати гальванічні цехи за ступенем небезпеки ураження електричним струмом як особливо небезпечні приміщення.

За вибухопожежною та пожежною небезпекою гальванічна дільниця належить до категорії Д, за класом приміщень за вибухонебезпечністю є не вибухо- і не пожежонебезпечною. У приміщеннях дільниці слід передбачити пінні вогнегасники [22].

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

За результатами виконання кваліфікаційної магістерської роботи, яка присвячена підвищенню довговічності деталей шатунно-поршневої групи використанням технології відновлення, що вміщують операції нанесення металевих покриттів для компенсації зношеного шару, вібраційного розкочування – для підвищення маслоємності поверхні та деформуючого протягування – для збільшення опорної поверхні, зроблені наступні загальні висновки:

1. З'ясовано, що шатунна втулка, яка виготовлена з дороговартнісного кольорового металу – бронзи, відноситься до швидкозношуваної деталі, яка визначає в цілому ресурс шатунно-поршневої групи двигуна внутрішнього згорання.

2. З існуючих способів відновлення зношених поверхонь нанесення покриття найбільш доцільним є осадження проточним способом композиційних електролітичних покриттів на основі міді, які за своїми теплофізичними

характеристиками є найближчими до основного металу, мають високі антифрикційні властивості та виключають додаткові операції «випресовування-запресовування».

3. Для відновлення шатунних втулок з незначними зносами особливий інтерес представляє вібраційне розкочування, що дає змогу одночасно зі зміною розмірів покращувати якість оброблюваної поверхні; однак значне видавлювання металу під час вібророзкочування.

4. Статистичний аналіз зносів шатунних втулок дозволив визначити кількість втулок, відновлення яких використанням вібраційного розкочування з подальшим деформуючим протягуванням, а також відсоток, який потребує відновлення з нанесенням металевого покриття.

5. Створення на етапі фінішної обробки оптимальної опорної площі дозволяє поряд зі скороченням періоду припрацювання, зменшити зазор в сполученні, пов'язаний з припрацювальним зносом.

6. Доведена можливість використання вібророзкочування з подальшим деформуючим протягуванням для підвищення зносостійкості бронзових втулок.

7. Обґрунтовано, що запропонований технологічний процес відновлення шатунних втулок з використанням вібророзкочування з подальшим деформуючим протягуванням може бути використаний для підвищення довговічності сполучення «втулка - поршневий палець».

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ремонт автомобілів: Навчальний посібник / Упор. В.Я. Чабанний. – Кіровоград: Кіровоградська районна друкарня, 2007. – 720 с.
2. Технологічні методи ремонтного відновлення деталей машин. Навчальний посібник / Д.Л. Радик, М.Г. Левкович, В.В. Васильків, М.Д. Радик. – Тернопіль: Видавництво ТНТУ імені Івана Пулюя, 2014. – 213 с.
3. <https://erm.kntu.kr.ua/materiali/pidgotovka.html>
4. Ремонт машин і обладнання: Навчальний посібник / Упор. І.О. Хітров, В.С. Гавриш. – Рівне: НУВГП, 2012. – 184 с.
5. Ремонт машин та обладнання: підруч. для вищ. навч. закл. / О.І. Сідашенко, О.А. Науменко, Т.С. Скобло та ін. ХНТУСГ. – 2 вид., перероб. і доп. – Х.: Міськдрук, 2014. – 740 с.
6. Практикум з ремонту машин. Технологія ремонту машин, обладнання та їх складових частин. Том 2 / Сідашенко О.І., Тіхонов О.В., Скобло Т.С. та

інші./ За ред. О.І. Сідашенка, О.В. Тіхонова. Навчальний посібник. - Харків: ТОВ «Пром-Арт», 2018. – 491 с.

7. Практикум з ремонту машин. /За ред. О.І. Сідашенка, О.А. Науменка О.А. - К.: Урожай, 1995. – 224 с.

8. Ремонт машин: підруч. для вищ. навч. закл. /О.І.Сідашенко, О.А.Науменко, Т.С.Скобло та ін. За ред. проф. О.І.Сідашенка, О.А. Науменка. - К.: Агроосвіта, 2014. – 665с.

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

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

11. Технологія ремонту машин та обладнання. Курс лекцій. / Сідашенко О.І. Тіхонов О.І., Лузан С.О. та інші. Навч. посібник – Харків: ХНТУСГ, 2017.– 361 с.

12. Нанесення покриття: навчальний посібник / [Корж В.М., Кузнецов В.Д., Борисов Ю.С., Ющенко К.А.]; за редакцією НАН України К.А. Ющенко – К.: Арістей, 2005 р. – 204 с.

13. Інженерія поверхні. Підручник / [Ющенко К.А., Борисов Ю.С., Кузнецов В.Д., Корж В.М.] – К.: Наукова думка, 2007 р., –559 с.

14. Черновол М.І., Наливайко В.М., Солових Є.К., Солових А.Є., Шепеленко І.В. Підвищення довговічності деталей сільськогосподарських машин нанесенням електrolітичних полімерометалічних покриттів на основі міді// Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин.- Кіровоград: КІСМ. - 1996.- випуск 24-26.- С. 131-135.

15. Черновол М.І., Наливайко В.М., Солових Е.К., Солових А.Е. Проточне мідніння шатунових втулок двигунів внутрішнього згорання// Проблеми розробки, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки.- Кіровоград: КІСМ. - 1995.- С. 84-88.

16. 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.

17. Пристрій для нанесення регулярного мікрорельєфу методом вібророзкочування: Пат. 33202 України, МКВ В24В39/00 / М.І.Черновол, В.М.Наливайко, Є.К.Солових, І.В.Шепеленко, А.Є.Солових, С.Є.Катеринич (Україна). - №99010212; Заявл. 14.01.1999; Опубл. 15.02.2001, Бюл.№1. – 2 с.

18. 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.

19. 9. Інженерія деталей, оброблених протягуванням: монографія / Посвятенко Е.К., Немировський Я.Б., Шейкін С.Е., Шепеленко І.В., Чернявський О.В. – Кропивницький : Видавець Лисенко В.Ф., 2021. – 466 с.

20. Протягування та протяжний інструмент: монографія / Посвятенко Е.К., Немировський Я.Б., Шепеленко І.В. – Кропивницький : Видавець Лисенко В.Ф., 2020. – 298 с.

21. Павленко П.М. Математичне моделювання систем і процесів: навч. посіб. – К. : НАУ, 2017. – 392 с.

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