



ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА ЕНЕРГЕТИКИ

КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»



КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

«Підвищення довговічності шатунів автотракторних двигунів на базі ТОВ
«Калита-Нова» м. Кропивницький»

Виконав:

магістрант групи ТС-23М-2 _____ Костянтин СУПЕРЕНКО
(шифр групи) (підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник:

~~к.т.н.~~, доцент _____ Іван ВАСИЛЕНКО
(науковий ступінь, ім'я та прізвище) (підпис) (ім'я та прізвище)

«ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри:

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

«__» _____ 2024 р.

Рецензент:

_____ (підпис) _____ (ім'я та прізвище)
(науковий ступінь, ім'я та прізвище) «__» _____ 2024 р.

Кропивницький – 2024 р.

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА ЕНЕРГЕТИКИ
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
«__» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

Суперенка Костянтина Олексійовича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Підвищення довговічності шатунів автотракторних двигунів на базі ТОВ «Калита-Нова» м. Кропивницький»

керівник роботи Василенко Іван Федорович,

к.т.н.
(науковий ступінь)

доцент
(вчене звання)

(прізвище, ім'я, по батькові)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «__» 09 2024 року № ____

2. Строк подання здобувачем роботи «02» грудня 2024 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». Обґрунтування теми магістерської роботи.

4.2 Розділ 2. Вплив характерних зносів та деформацій на працездатність автотракторних двигунів. Характерні дефекти шатуна та причини їх виникнення. Існуючі методи відновлення шатунів.

4.3 Розділ 3. Теоретична оцінка надійності шатунів. Дослідження зносного стану шатунів. Особливості отримання електроіскрових покриттів. Експериментальні дослідження режимів електроіскрового наплавлення. Розробка технологічного процесу відновлення шатуна.

4.4 Розділ 4. Розрахунок економічної ефективності запропонованої технології відновлення деталей. Загальні правила техніки безпеки при виконанні ремонту автотракторних двигунів. Подальші перспективи використання електроіскрового оброблення при відновленні деталей автотракторної техніки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: Схема роботи шатунно-поршневої групи. Конструктивні елементи шатуна ДВЗ. Характерні дефекти автотракторних шатунів. Теоретичні розрахунки надійності шатуна. Статистичний аналіз зносного стану автотракторних шатунів. Інтегральні та диференціальні криві зносу. Епюри зносу верхньої та нижньої головки шатуна. Експериментальні дослідження режимів електроіскрового наплавлення. Ремонтне креслення деталі.

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	04.11.2024	
2	Розділ 2. Літературний аналіз за темою досліджень	11.11.2024	
3	Розділ 3. Результати наукових досліджень	28.11.2024	
4	Розділ 4. Економічна ефективності прийнятих технічних рішень та охорона праці при відновленні деталей	02.12.2024	
5	Оформлення ілюстративного матеріалу	02.12.2024	

Магістрант _____
(підпис)

Суперенко К.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Іван ВАСИЛЕНКО
(ім'я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна магістерська робота присвячена підвищенню довговічності шатунів автотракторних двигунів використанням сучасних методів реновації.

Метою представленої роботи є підвищення довговічності шатунів автотракторних двигунів відновленням зношених поверхонь отворів нижньої голівки комбінованою обробкою, що включає застосування електроіскрового наплавлення та з металополімерної композиції.

Об'єкт дослідження – технологічний процес відновлення шатунів автотракторних двигунів використанням комбінованої обробки.

Предметом дослідження є зношені та відновлені шатуни автотракторних двигунів.

Для досягнення поставленої мети в роботі визначені наступні завдання:

1. Обґрунтувати можливість застосування технологічного процесу відновлення шатунів із застосуванням електроіскрового наплавлення та полімерних композицій.
2. Провести експериментальні дослідження якості утворення електроіскрових покриттів залежно від і режимів наплавлення
3. Обґрунтувати параметри та режими відновлення нижньої головки шатуна комбінованим способом.
4. Розробити технологічний процес відновлення нижньої голівки шатуна і дати їй техніко-економічну оцінку.

Визначено, що одним із напрямків роботи підприємства ТОВ «Калита-Нова» є відновлення деталей. З'ясовано, що шатуни автотракторних двигунів належать до динамічно навантажених деталей, і в процесі експлуатації в них виникають ряд характерних дефектів.

Під час відновлення шатунів необхідно виправляти геометричну форму отвору нижньої головки та просторову геометрію шатуна.

Можливості електроіскрового наплавлення цілком можуть бути застосовні під час відновлення отвору нижньої головки шатуна.

Показано вплив характерних зносів та деформацій на працездатність автотракторних двигунів. Визначені характерні дефекти шатуна, причини їх виникнення, а також методи їх усунення.

Мікрометражні дослідження показали, що порядка 62% шатунів мають деформовані отвори нижньої головки, про що свідчить зменшення діаметра в площині замків нижньої головки, 5% мають риски та задирки на поверхні отвору. Кількість шатунів з відхиленнями непаралельності осей головок, які потребують правки, становить 28%.

Запропоновано відновлювати поверхню отвору нижньої головки шатуна комбінуванням електроіскрового покриття з нанесенням полімерного матеріалу. Відновленню комбінованим покриттям підлягають шатуни з відхиленням діаметра отвору нижньої головки вище 0,2 мм (40%).

Розроблений технологічний процес відновлення поверхні отвору нижньої головки шатуна. Доведений економічний ефект від реалізації запропонованого технічного рішення.

Кваліфікаційна магістерська робота складається з вступу, 4 розділів, висновків; містить 69 сторінок тексту, 23 рисунки, 6 таблиць.

ЗМІСТ

стор.

ВСТУП.....

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

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

1.3. Обґрунтування теми магістерської роботи.....

1.4. Висновки по розділу 1.....

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

2.1. Вплив характерних зносів та деформацій на працездатність
автотракторних двигунів

2.2. Характерні дефекти шатуна та причини їх виникнення

2.3. Існуючі методи відновлення шатунів

2.6. Висновки по розділу 2.....

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Теоретична оцінка надійності шатунів
.....

3.2. Дослідження зносного стану шатунів
.....

3.3. Особливості отримання електроіскрових покриттів

3.4. Експериментальні дослідження режимів електроіскрового
наплавлення
.....

3.5. Розробка технологічного процесу відновлення шатуна.....

3.6. Висновки по розділу 3

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРИЙНЯТИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ

4.1. Розрахунок економічної ефективності запропонованої технології
відновлення деталі

4.2. Загальні правила техніки безпеки при виконанні ремонту
автотракторних двигунів

4.3. Подальші перспективи використання електроіскрового
оброблення при відновленні деталей автотракторної
техніки.....

4.4. 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» [4].

Підвищення надійності відремонтованої сільськогосподарської техніки в теперішній час залишається одним із визначальних завдань ремонтного виробництва.

Актуальність цієї проблеми ще більше зросла останнім часом, коли ремонтні підприємства змушені конкурувати як між собою, так і з заводами виробниками. Розв'язання цієї проблеми вбачається, з одного боку, у підвищенні якості ремонту, з іншого боку, у зниженні собівартості відновлення деталей.

Варто також зазначити, що методи відновлення, які застосовують нині, часто не забезпечують заданих триботехнічних і міцнісних властивостей відновлених деталей.

Зокрема, слід зазначити проблему відновлення шатунів, яка привернула увагу вже давно. Однак наявні способи відновлення не завжди можуть бути ефективно використані в ремонтному виробництві. Це пов'язано з тим, що більшість відомих технологій дуже трудомісткі та складні. Тому підприємства

не завжди можуть собі дозволити відновлення шатунів з огляду на невелику різницю в ціні відновленого і нового шатуна.

Особливо гостро стоїть питання про відновлення шатунів автотракторних двигунів. Технологій відновлення таких типів шатунів доволі мало, і всі вони вимагають значних капіталовкладень, оскільки ґрунтуються або на складній механічній обробці, або на застосуванні гальванопокриттів.

Таким чином, питання підвищення довговічності шатунів автотракторних двигунів шляхом відновлення їх дефектів, 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» почала своє існування 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» [1].

«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» [1].

«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» [1].

«В 1997 році на підприємстві введено дільницю 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» [1].

«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)» [1].



a)



б)



в)

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

Останнім часом підприємство успішно засвоює нові технології ремонту вузлів та відновлення деталей автотракторної техніки на підставі сучасних досягнень науки.

1.2. Обґрунтування теми магістерської роботи

Шатуни автотракторних двигунів належать до динамічно навантажених деталей, і в процесі експлуатації в них виникають такі дефекти, як вигин і скручування тіла шатуна, зношування і деформація отворів головок.

Вигин і скручування шатунів є наслідком накопичення динамічних ушкоджень, температурної деформації під час заїдання вкладишів, пружних прогинів колінчастого валу, нерівномірного зношування шатунних підшипників і деталей циліндро-поршневої групи, викривлення блока циліндрів, переданих навантажень. Вигин і скручування тіла шатуна спричиняє зміну його довжини, що, своєю чергою, призводить до зміни міжцентрової відстані отворів у голівках шатуна, неприпустимого перекосу і непаралельності осей отворів.

Основною причиною зносу отвору в нижній голівці шатуна є порушення посадки вкладок, що призводить до фретинг-корозії пари тертя «зовнішня поверхня вкладки-нижня голівка шатуна», проворот вкладки. До деформації головки призводить дія знакозмінних динамічних навантажень.

Таким чином, під час відновлення шатунів необхідно виправляти геометричну форму отвору нижньої головки та просторову геометрію шатуна.

З цього випливає, що шатуни, які надійшли на ремонт, потребують попереднього розточування нижньої голівки, що дає змогу компенсувати похибку форми нижньої голівки і просторової геометрії шатуна.

Наразі є великий обсяг експериментальних матеріалів з електроіскрового наплавлення різних матеріалів.

Можливості електроіскрового наплавлення цілком можуть бути застосовні під час відновлення отвору нижньої головки шатуна.

Метод електроіскрового наплавлення ґрунтується на явищі електричної ерозії та полярного перенесення матеріалу електрода (анода) на поверхню деталі (катод) під час протікання імпульсних розрядів у газовому середовищі.

Електроіскрове наплавлення відбуватиметься тим успішніше, чим більша кількість матеріалу електрода (анода) зруйнується і закріпиться на поверхні деталі (катода) в одиницю часу.

Поєднання покриттів, одержуваних електроіскровим наплавленням і полімерною композицією, дасть змогу забезпечити хороші адгезійні властивості через високу шорсткість підполімерного шару. Характеристики полімерного шару при відновленні даним способом нічим не відрізняються від властивостей при звичайному способі відновлення полімерами. Застосування електроіскрового наплавлення дасть змогу компенсувати більший знос деталі.

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 відновлення деталей.

2. Шатуни автотракторних двигунів належать до динамічно навантажених деталей, і в процесі експлуатації в них виникають ряд характерних дефектів.

3. Під час відновлення шатунів необхідно виправляти геометричну форму отвору нижньої головки та просторову геометрію шатуна.

4. Можливості електроіскрового наплавлення цілком можуть бути застосовні під час відновлення отвору нижньої головки шатуна.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Вплив характерних зносів та деформацій на працездатність автотракторних двигунів

Працездатність автотракторних двигунів виявляється за зміною його техніко-експлуатаційних параметрів, насамперед за зниженням потужності та збільшенням витрати палива, які мають пряму залежність від зношування деталей двигуна, що труться. Знос з'єднань деталей призводить до зміни просторово-геометричних параметрів деталей, збільшення зазорів у з'єднаннях, що сприяє ще швидшому процесу зношування.

За даними досліджень, проведених під час експлуатаційних випробувань автотракторних двигунів, можна дійти висновку, що в розглянутих умовах основна кількість відмов 49,4% спричинена зносом робочих поверхонь деталей.

Понад 50% мають абразивне спрацьовування в поєднанні з фретинг-корозією та іншими видами спрацьовування, а також руйнування поверхневого шару [2].

Фретинг-корозія є результатом руйнування сполучених поверхонь нерухомих деталей унаслідок їхніх відносних зворотно-поступальних переміщень з дуже малою амплітудою і високою частотою [2].

Під час фретинг-корозії відбувається руйнування оксидних плівок на поверхні посадкового місця механічним способом, видалення частинок матеріалу з поверхні отворів у тонкоподрібненому вигляді, абразивний вплив оксидів на поверхню тертя.

Процес руйнування контактуючих поверхонь під час фретинг-корозії визначається дією хімічного і механічного чинників. Інтенсивність руйнування перебуває в прямій залежності від величини шорсткості сполучених поверхонь. Чим чистіше поверхні оброблені, тим повільніше розвивається процес фретинг-корозії.

Інтенсивність руйнування під час фретинг-корозії залежить значною мірою від параметрів зовнішнього механічного впливу на сполучені поверхні, з яких найважливішими є: питома контактне навантаження, амплітуда відносного переміщення, частота коливань, кількість циклів навантаження.

Унаслідок тривалої циклічної деформації поверхневі шари деталей втрачають стійкість і відокремлюються від основного матеріалу.

Зазор, що збільшується при цьому, призводить або до провертання вкладишів і виникнення умов абразивного зношування, або ж збільшення амплітуди взаємного переміщення деталей, виникнення ударних навантажень і, як наслідок, навіть їхнє руйнування.

Фретинг-корозія є домінуючим процесом, що впливає на зношування деталей і руйнування нерухомості їхніх з'єднань. За інтенсивністю цей процес перевищує всі інші види зношування. Причому якщо присутність кисню може зменшити зношування за звичайного тертя ковзання, то в умовах фретинг-корозії кисень посилює пошкодження.

Однак можна сформулювати основні методи захисту деталей від цього виду зношування:

1. Запобігання та зменшення відносного переміщення сполучених деталей у нерухомих з'єднаннях.
2. Зменшення доступу повітря в зону контакту деталей.
3. Зменшення шорсткості контактуючих поверхонь.
4. Застосування менш твердих матеріалів для однієї з деталей.
5. Зменшення питомого тиску в зоні контакту деталей.

Основною причиною підвищених і аварійних зносів з'єднань є спотворення форми деталей і точність їхнього взаємного розташування, яке веде до виникнення або різкого збільшення перекосів деталей.

Великий перекіс поршня в циліндрі в площині осі колінчастого вала знижує довговічність двигуна за рахунок підвищеного зносу циліндрів, вкладишів шатуна, шатунних шийок колінчастого вала (рис. 2.1).

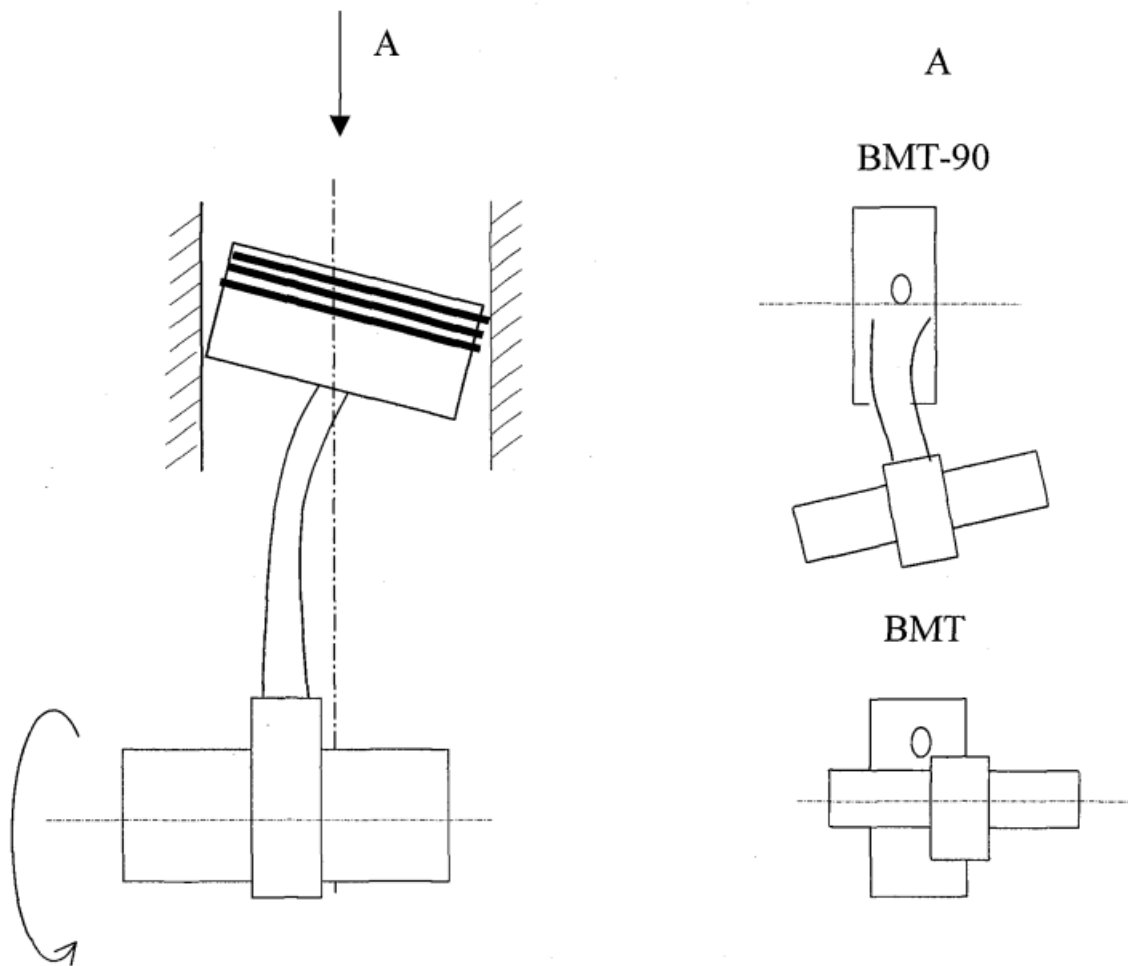


Рис. 2.1. Перекіс поршня в циліндрі в площині осі колінчастого вала [5]

Причиною такого перекосу є похибки складових ланок циліндро-поршневої групи і кривошипно-шатунного механізму. Наявність похибок пояснюється порушенням розмірів і геометрії деталей. У разі відхилень від паралельності осей нижньої і верхньої головок шатуна зростає несиметричний тиск на цілу низку робочих поверхонь циліндро-поршневої групи.

Перекіс деталей циліндро-поршневої групи є основним фактором, що впливає на інтенсивність зношування гільз циліндрів, особливо в разі недостатньо якісного ремонту.

У половини гільз більша частина овалу після експлуатації розташовується по осі колінчастого вала, що спричинено комплектуванням циліндро-поршневої групи шатунами з величиною вигину більшою за допустиму за технічними умовами.

Під час експлуатації шатуни двигунів зазнають складного навантаження від газових та інерційних сил. Тіло шатуна під час здійснення зворотно-поступального руху працює поперемінно на розтягнення і стиснення, верхня голівка на розрив. Під дією сили інерції від власної маси відбувається вигин шатуна в поперечному напрямку.

Перекіс верхньої і нижньої головок шатунів веде до збільшення зносу вкладишів і наростання конусності шатунних шийок колінчастого вала.

Допустиме за технічними умовами відхилення не повинно перевищувати, як правило, 0,05 мм. Зазор у з'єднанні «втулка верхньої головки шатуна-поршневий палець» має бути в межах 0,0045-0,0095 мм. Непаралельність осей отворів нижньої і верхньої головок не повинна перевищувати 0,03-0,05 мм на довжині 100 мм. Надмірна непаралельність, а також зношення втулки верхньої головки шатуна ведуть до підвищеного зношування всіх з'єднань кривошипно-шатунного механізму двигуна [5].

Під дією сил інерції мас, що поступально рухаються, в процесі роботи двигуна відбувається зношування нижньої головки шатуна, збільшується конусність і овальність. Поява зазору між посадковим місцем під вкладиш і його зовнішньою стінкою призводить до погіршення теплопровідності, до інтенсивного зносу і фреттинг-корозії посадкових місць і поверхні шатунних вкладишів.

У 40-50% шатунів двигуна ЗІЛ-130 після пробігу 100 тис. км. зношення отворів нижньої голівки шатуна становить 0,03-0,08 мм, при цьому в процесі експлуатації вкладиші починають провертатися [8].

Найбільший знос отворів нижньої головки виявлено в площині під кутом 45° до осі шатуна.

Більшість шатунів, що надходять на ремонт, мають перекіс і непаралельність осей отворів нижньої і верхньої головок шатуна. Спотворення форми відбувається внаслідок холодного правлення шатунів без зняття внутрішніх напружень, деформації шатунів затискними пристроями під час їх ремонту. Після ремонту, знятий із пристосування шатун через релаксацію напружень набуває колишньої форми, що призводить до порушення його просторово-геометричних параметрів.

Дефекти вигину і скручування шатуна обумовлюють їхню придатність для подальшого використання близькою до нуля.

Встановлено, що в процесі ремонту міжосьова відстань шатунів навіть одного двигуна змінюється в значних межах. Згідно даних [9] міжцентрову відстань верхньої та нижньої головок шатуна витримують за технічними вимогами під час ремонту тільки у 56% деталей. Допуски на розміри на деталі кривошипно-шатунного механізму і міжосьова відстань шатуна впливають на ступінь стиснення двигуна.

Оскільки ступінь стиснення має суворо відповідати вимогам заводу-виготовлювача, то в процесі ремонту необхідно суворо дотримуватися просторово-геометричних параметрів деталей кривошипно-шатунного механізму і міжосьової відстані отворів шатуна [10].

Зношування шатунів та їхні дефекти призводять до зношування деталей, що сполучаються, повертання вкладишів, зміни ступеня стиснення, зниження ефективної потужності, збільшення витрати палива.

Знос деталей циліндро-поршневої групи є одним з основних критеріїв довговічності ДВЗ. Так, наприклад, зміщення осей циліндрів двигунів ГАЗ-53 понад 0,2 мм знижує термін служби двигуна на 25-30%. Зсув осей сприяє утворенню додаткового навантаження на шатун, нижня головка якого тисне через вкладиш на шийку вала із силою до 1400 Н.

Розглянуті характерні дефекти і зноси деталей автотракторних двигунів часто призводять до виникнення поступових або раптових відмов, тому що є найімовірнішими причинами їхньої появи.

Проведення ретельного і всебічного аналізу цих причин, їх усунення в процесі відновлення і ремонту дасть змогу значно знизити кількість відмов в експлуатації, а отже, значно збільшити довговічність двигунів.

З наведеного аналізу літературних даних можна зробити висновок, що для підвищення терміну служби відремонтованих деталей необхідне дотримання просторово-геометричних параметрів деталей двигуна під час відновлення та збирання, проведення точного розмірного аналізу розмірних ланцюгів циліндро-поршневої групи та кривошипно-шатунного механізму, виявлення та усунення причин, які призводять до появи характерних дефектів і відмов.

2.2. Характерні дефекти шатуна та причини їх виникнення

Основою кривошипно-шатунного механізму будь-якого поршневого двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) є шатун. З одного боку, несправності кривошипно-шатунного механізму доволі швидко призводять до виходу з ладу двигуна, з іншого боку, під час ремонту двигуна саме шатуни потребують найбільшої прецизійності (точності) оброблення, що висувають виробники сучасних ДВЗ. Шатун двигуна з'єднує поршень двигуна з колінчастим валом і під час роботи двигуна передає всі зусилля від поршня на колінчастий вал і, навпаки, від колінчастого вала до поршня. На шатун впливають великі знакозмінні зусилля, що змінюються за величиною, викликані тиском газів, що розширюються в циліндрі, та інерцією деталей поршневої групи.

У конструкції шатуна виокремлюють 3 основні елементи (рис. 2.2): верхня і нижня головки та стрижень.

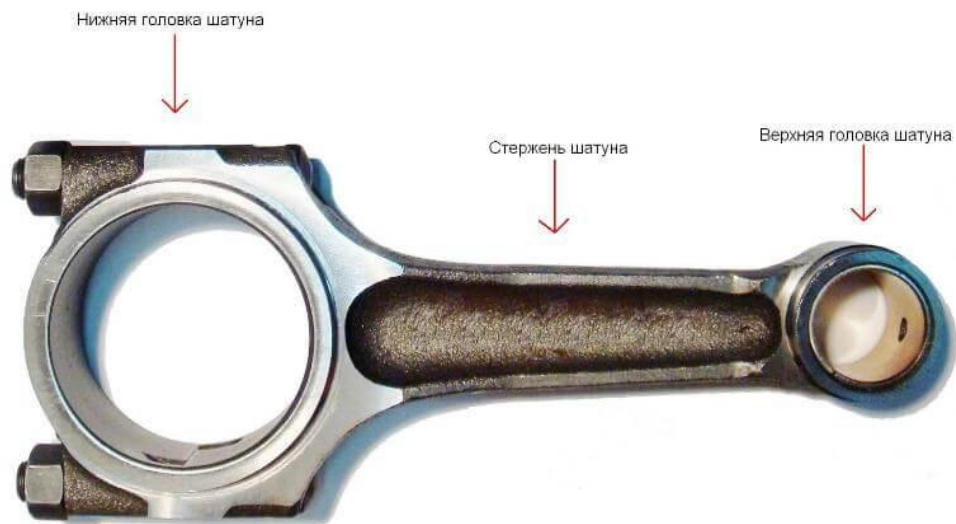


Рис. 2.2. Конструктивні елементи шатуна ДВЗ

Шатун складається з верхньої поршневої головки, стрижня і нижньої кривошипної головки. У поршневую головку запресовується бронзова втулка, яка виконує роль підшипника поршневого пальця. Масло до підшипника подається під тиском через канал у стрижні шатуна від нижньої головки або прямою подачею через отвір у верхній головці шатуна.

До дефектів, що найчастіше трапляються, слід віднести:

1. Знос і деформація отворів нижньої головки в разі несправності шатунного підшипника (рис. 2.3). Основна причина: зношування поверхні, перегрівання, масляне «голодування», руйнування, провертання. Загальний вигляд нижньої головки шатуна після ремонту показано на рис. 2.4.



Рис. 2.3. Знос отвору нижньої головки шатуна



Рис. 2.4. Нижня головка шатуна після ремонту

2. Деформація стрижня шатуна (рис. 2.5).



Рис.2.5. Загальний вигляд деформації стрижня шатуна

Ці пошкодження є наслідком гідравлічного удару, після потрапляння води в камеру згоряння через впускний тракт разом із повітряною сумішшю. Відбувається це на такті «стиснення», оскільки газоподібна паливоповітряна суміш (або повітря у ДВЗ з уприскуванням у камеру згоряння) значно змінюють свій об'єм під час зміни тиску, то рідина, в цьому разі вода, змінює свій об'єм у настільки малому ступені, що її вважають практично нестисливою. У зв'язку з цим, якщо на такті стиснення в циліндрі виявиться достатня кількість води, поршень не зможе дійти до верхньої мертвої точки (В. М. Т.) і зазнає високих навантажень, що передаються на стрижень шатуна, що, своєю чергою, призводить до його вигину.

3. Знос і деформація бронзової втулки верхньої голівки шатуна (рис. 2.6). Причиною цього дефекту є: неправильний тепловий режим експлуатації двигуна, нестача мастила, зношування і гідравлічний удар. Загальний вигляд цієї частини шатуна після ремонту показано на рис. 2.7.

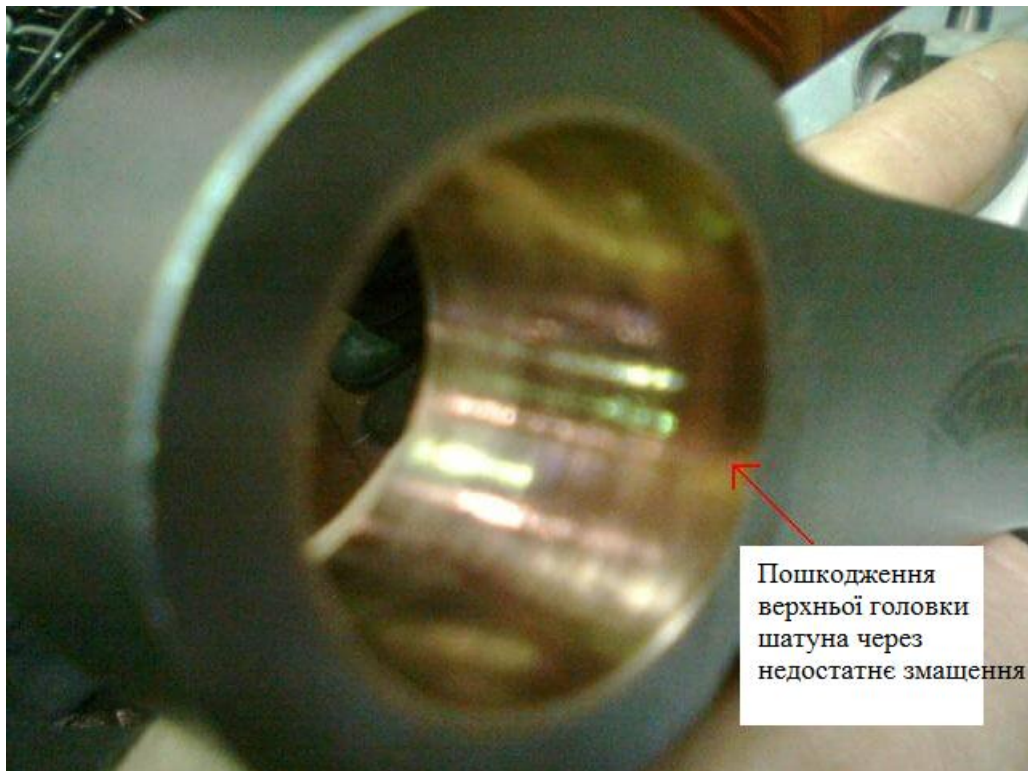


Рис.2.6. Знос верхньої головки шатуна

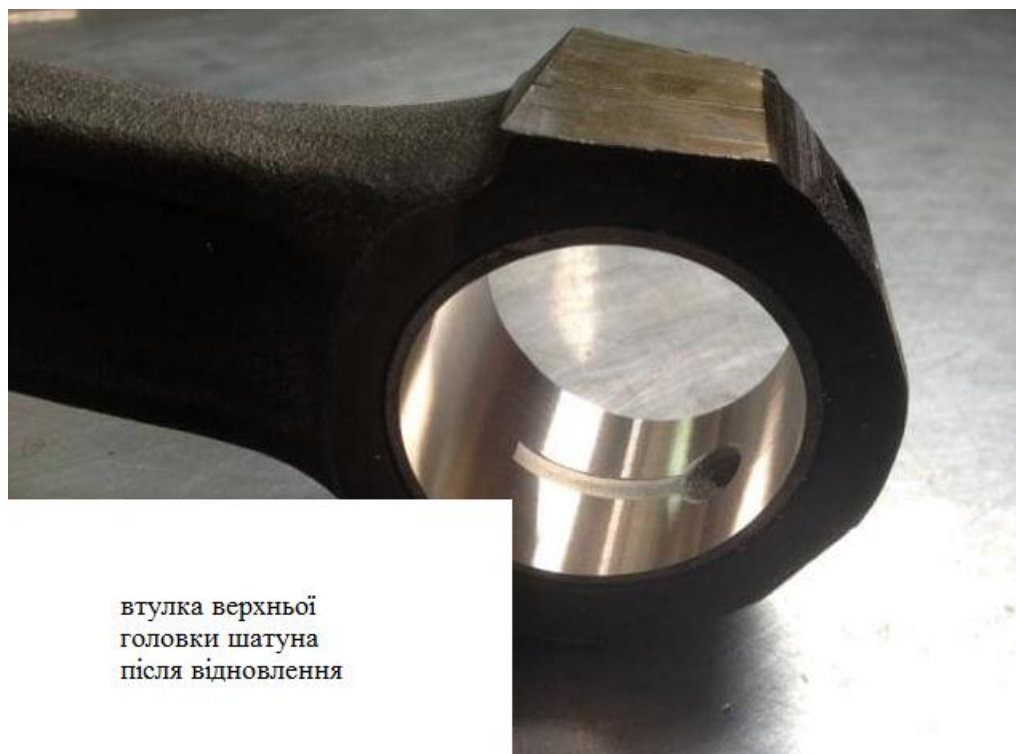


Рис. 2.7. Втулка верхньої головки шатуна після відновлення

2.3. Існуючі методи відновлення шатунів

Основними способами відновлення шатунів є відновлення під ремонтний розмір.

На ряді ремонтних підприємств застосовують технологію відновлення отвору нижньої головки шатуна шляхом знімання металу з опорних поверхонь роз'єму кришки та стрижня з наступним розточуванням до номінального розміру.

Міжцентрова відстань між нижньою та верхньою головкою досягається за рахунок розточування втулки верхньої головки шляхом зміщення осі. Однак шатуни, відновлені за такою технологією, вдруге, як правило, відновленню не підлягають.

Відомі різні технології відновлення зношених отворів головок шатунів: електролітичне натирання міддю, залізнення, наплавлення і напаявання сталевий стрічки, нанесення полімерних покриттів, газополум'яне напилення тощо.

Компенсувати міжцентрову відстань до необхідного значення під час відновлення шатунів можна за рахунок раціонального вибору припусків: під час оброблення втулки верхньої головки (тобто створення в допустимих межах ексцентриситету її внутрішньої поверхні відносно зовнішньої); під час розточування отворів головки під ремонтний розмір; під час оброблення отвору нижньої головки, зокрема і за наявності ремонтних розмірів під шатунну вкладку, збільшену по зовнішньому діаметру; розтяжкою шатуна; нарощуванням матеріалу на зношені поверхні.

Аналіз літератури показує, що найпоширенішим способом відновлення отворів нижніх головок шатунів є різні види залізнення.

Електролітичні покриття (залізнення, електролітичне натирання тощо) мають низку переваг, а саме: не спричиняють змін у структурі матеріалу деталі, тому що вони під час відновлення практично не нагріваються; дають змогу відновлювати незначні зношування, процес піддається механізації та автоматизації.

Біль детально зупинимось на цієї технології, яку виконують в такій послідовності: попередні механічна та електрохімічна обробки, нанесення покриття необхідної товщини, механічна обробка після залізнення до номінального розміру. Попередню механічну обробку перед залізненням проводять на внутрішньо-шліфувальному або розточувальному верстатах з метою виправлення геометричних параметрів зношеної поверхні.

Електрохімічна обробка шатунів заключається в їх анодному травленні. Анодне травлення дає змогу підвищити міцність зчеплення покриття із відновлюючою поверхнею. Нанесення покриттів відбувається в холодному електроліті, що містить 200...250 г/л двохлористого заліза, 30...50 г/л хлористого марганцю, 1...1,5 г/л соляної кислоти, на асиметричному струмі. Відновленні шатуни розточують на алмазнорозточному верстаті, шліфують та хонінгують до ремонтного розміру.

Для шатунів ЯМЗ-236 застосовується проточне залізнення на асиметричному струмі в гарячому електроліті [17]. Застосування залізнення не є оптимальним варіантом для відновлення нижніх головок шатунів з таких причин:

1. Процес залізнення, як ванного, так і в проточному електроліті, є трудомістким, що включає в себе велику кількість операцій.
2. Перед залізненням необхідна вельми ретельна механічна обробка відновлюваних поверхонь.
3. Під час залізнення потрібна ізоляція частин деталі, що не підлягають відновленню.
4. У процесі ванного залізнення в гарячому електроліті необхідно, щоб коливання температури не перевищували 1°C. Тому технологічний процес ускладнюється необхідністю попереднього нагрівання деталі, наявності терморегулювальних пристроїв, термоізоляції та підігрівачів.
5. Спосіб безванного залізнення простий, але не продуктивний і рекомендований лише для дрібносерійного виробництва.

6. Спосіб проточного залізнення вирізняється складністю, особливо при застосуванні гарячого електроліту.

7. Процес залізнення досить тривалий. Так, наприклад, для отримання покриття товщиною 0,25 мм потрібно близько двох годин.

8. Недостатня міцність зчеплення покриттів з основним металом, нестабільність процесу.

9. Виробництво є найбільш екологічно «брудним» порівняно з іншими наявними способами відновлення.

На ряду ремонтних підприємств використовують технологію відновлення отвору нижньої головки шатуна шляхом з'єму металу з опорних поверхонь роз'єму кришки та стрижня, наступного розточування до номінального розміру із збереженням міжцентрової відстані за рахунок стінки втулки верхньої головки. Відновити отвори нижньої головки шатуна можна також контактним приварюванням сталльної стрічки.

Суть цього методу полягає у взаємодії зварювальних імпульсів. Для виключення нагріву деталі та покращення умов загартування зварювального шару в зону зварювання додають охолоджувальну рідину [13, 14].

Під час відновлення внутрішньої поверхні нижньої головки шатуна методом високотемпературного паяння попередньо розточують отвір і наносять суміш флюсу НВ-201 і порошкового припою у співвідношенні 1:1.

На суміш накладаються спеціальні напіввкладиші з того ж матеріалу і нагріваються струмами високої частоти до 950°C протягом 25...30 с. Охолодження в повітрі проводять з метою створення ідентичної структури наплавленого металу з матеріалом відновлюваного шатуна.

Для відновлення отворів нижніх головок шатунів запропоновано полімерну композицію на основі анаеробного герметика «Анатерм-6В», що складається з 0,01.0,015 вагових частин бронзової пудри, 0,15.0,20 вагових частин тальку та 1 вагової частини герметика.

Основні характеристики композиції:

- час затвердіння 1,5...2 години при $t = 15.20^{\circ}\text{C}$ і 0,5 години при $t = 60.80^{\circ}\text{C}$;

- межа міцності на зсув при терті 11 МПа;

- коефіцієнт тертя після припрацювання 0,14;

- твердість після полімеризації 140...160 НВ.

Суть технологічного процесу полягає у формуванні шару композиції в отворах нижніх головок шатунів за допомогою спеціальної формувальної оправки з одночасним забезпеченням потрібної відстані між осями отворів верхньої й нижньої головок та інших параметрів під час базування оправки по отвору у верхній голівці та у спеціальному пристосуванні без механічного оброблення сформованого шару композиції.

Технологічний процес містить такі основні операції з відновлення отворів у нижніх головках шатунів [12]:

- відвертання гайок кріплення кришок шатунів і зняття кришок;

- знежирення поверхонь під вкладиші в шатуні та кришці шатуна;

- нанизування шатунів отворами верхніх головок на формувальну оправку і встановлення оправки в опори спеціального пристосування;

- нанесення композиції на поверхні під вкладиші в нижніх голівках і в кришках шатунів;

- надягання кришок на відповідні шатуни і загвинчування гайок кріплення кришок;

- витримування шатунів (у зборі) у пристосуванні протягом трьох годин до повної полімеризації композиції в отворах нижніх головок;

- відвертання гайок кріплення кришок шатунів, зняття кришок з шатунів і виїмка шатунів з пристосування;

- зняття напливів композиції з фасок отворів і торців нижніх головок і кришок шатунів.

Існує технологія відновлення отворів нижніх головок шатунів, що полягає в нагріванні шатунів до високої температури та їхньому витягуванні, тим самим домагаються збільшення довжини тіла шатуна. Потім отвори нижніх головок

розточують до номінального розміру і хонінгують. Але в результаті високотемпературного нагрівання відбувається зміна структури матеріалу шатуна, а його деформація призводить до появи внутрішніх напружень, що, безсумнівно, позначається на різкому зменшенні його втомної міцності.

За даними [5] велися експериментальні дослідження з усунення зазначеного дефекту приварюванням сталеві стрічки. Там же для здійснення цього процесу відновлення розроблено пристосування й автомат, що дає змогу виконувати всі операції з ремонту нижньої головки шатунів ЗМЗ-53. Незважаючи на позитивні сторони вищезазначеного способу відновлення, він має високу собівартість, витрату дефіцитних матеріалів і подальше механічне оброблення.

Відновлення геометрії отворів головок шатунів і міжцентрової відстані можна здійснити однією механічною обробкою за умови позитивного або рівного балансу між наявним надлишком припуску на оброблення втулки верхньої голівки, запасами ремонтних розмірів під втулку верхньої голівки та під вкладку нижньої голівки, збільшену по зовнішньому діаметру, з одного боку, та розмірами, необхідними для компенсації геометричних параметрів шатуна, - з іншого. Ця умова передбачає відновлення отвору нижньої голівки зняттям металу з поверхонь роз'ємів шатуна і його кришки і подальшим розточуванням і хонінгуванням або тільки хонінгуванням під номінальний розмір. Однак при цьому не завжди вдається домогтися відповідності овальності і конусності отворів нижньої головки шатуна технічним вимогам на ремонт.

Крім того, цей спосіб призводить до порушення міжцентрової відстані між верхньою і нижньою головками шатунів, а саме до її зменшення, що, своєю чергою, призведе до зменшення стиснення під час експлуатації відремонтованого двигуна.

Останніми роками на низці ремонтних підприємств для відновлення деталей стали використовувати плазмову металізацію. Цей спосіб дає змогу наносити на зношену поверхню практично будь-які тугоплавкі матеріали:

вольфрам, оксид алюмінію, карбіди нітридів тощо. При цьому коефіцієнт використання матеріалу досягає 60-80%. Однак цей метод вимагає подальшої точної механічної обробки, і, найчастіше, не забезпечує необхідної зчіплюваності напиленого металу з матеріалом деталі.

Загальним недоліком практично всіх перерахованих способів відновлення є те, що необхідна високоточна механічна обробка. Крім того, вони не знижують інтенсивність фретинг-корозійного зношування сполучених деталей. Традиційні методи відновлення виявляються не завжди ефективними в тих випадках, коли з'єднання зазнають впливу високих температур, знакозмінних навантажень та інших факторів.

Крім перерахованих вище методів відновлення ще існує спосіб електроіскрової обробки [19]. Перевагою цього методу відновлення є його відносна дешевизна в ремонтному процесі.

Сутністю цього способу є нанесення на відновлювану поверхню, за допомогою короткочасних електричних розрядів, металу.

Під час електроіскрової обробки металевої поверхні майже відсутній термічний вплив на шари основного металу, розташовані безпосередньо під легуванням шаром [19]. Це досягається при використанні коротких (50-150 мкс) електричних імпульсів, що дає змогу легувати поверхні термічно оброблених деталей.

Вельми цінною властивістю поверхневих шарів, які отримують під час електроіскрового наплавлення, є винятково міцний їхній зв'язок із металом-основою.

Товщина шару, що наноситься, за такого виду відновлення може досягати 50-90 мкм, залежно від матеріалу електродів і режимів нанесення покриттів.

Перед відновленням не потрібна спеціальна підготовка поверхні для її наплавлення, наприклад ретельне знежирення або протруювання. Однак якщо на поверхні є окислені точки, то це негативно впливає на суцільність шару. Не придатна також поверхня після грубої механічної обробки. Поверхня для

легування має бути відшліфована, і що чистіша, то кращою буде суцільність шару. Зазвичай достатня шорсткість поверхні $R_a < 6,3$ мкм.

Оброблені електроіскровим способом поверхні мають знижену схильність до схоплювання порівняно з вихідним матеріалом того ж складу. Це пояснюється зміною структури поверхні, спотворенням кристалічної решітки і появою різних дефектів у поверхневих шарах [19].

Після електроіскрової обробки поверхня більш-менш шорстка, що дуже позитивно впливає на зменшення фактору розвитку фреттинг-корозії в сполученні деталей вкладиша і шатуна.

Деталі, піддані електроіскровій обробці, не потребують подальшої механічної обробки.

Застосування електроіскрової обробки має хороші перспективи в ремонтному виробництві. Застосовуючи його можна домогтися підвищення надійності.

Довговічності з'єднання, оскільки метал, нанесений на відновлювану поверхню, має високу механічну міцність і зносостійкість. Даний спосіб відновлення легко механізується у великосерійному виробництві, а так само застосуємо під час ручного оброблення при відновленні невеликої кількості деталей.

Перспективним напрямком, так само, є відновлення деталей із застосуванням неметалевих матеріалів, зокрема полімерів і композицій на їх основі.

Найбільшого поширення серед полімерних матеріалів набули композиції на основі епоксидних смол. Українською філією ГОСНИТИ розроблено ефективний спосіб відновлення посадкових отворів калібруванням епоксидної композиції, особливістю якого є виключення розточування відновлених отворів.

Технологія відновлення складається з таких операцій: знежирення поверхні, приготування епоксидної композиції, нанесення композиції на

відновлювану поверхню, формування посадкового місця спеціальною оправкою, термообробка [12].

Поряд з перерахованими перевагами епоксидні композиції мають і низку істотних недоліків. Це невисока життєздатність складу 20-25 хв., дуже висока токсичність і канцерогенність компонентів, що зумовлює необхідність використання окремих приміщень з додатковою вентиляцією. Після затвердіння епоксидна композиція перебуває в склоподібному стані, маючи малу еластичність.

Для відновлення нерухомих з'єднань використовують також полімерні матеріали, що перебувають у високоеластичному стані, - еластомер ГЕН-150 і герметик 6Ф. Технологічний процес складається з таких операцій: знежирення поверхні, приготування і нанесення складу, термообробка і складання з'єднання. Цей спосіб дає змогу відновлювати зношування отворів до 0,2 мм, при цьому в 3 рази знижується швидкість його зношування за період експлуатації.

Недоліком цього способу відновлення слід вважати дуже високу трудомісткість і тривалість. Так відновлення зношеного отвору до 0,2 мм вимагає нанесення п'яти шарів полімеру з інтервалом 10-15 хвилин. При цьому не завжди вдається відновити просторову геометрію з'єднання.

Новий етап у застосуванні полімерних матеріалів у ремонтному виробництві настав із початком випуску нашою хімічною промисловістю анаеробних герметиків прискореного затвердіння []. Анаеробні герметики мають гарну адгезію до металів, стійкість до впливу мастил, мають хорошу проникаючу здатність.

Таким чином, застосування анаеробних герметиків і композицій на його основі забезпечують відсутність мікроскопічних зазорів і збільшують площу контакту в з'єднанні, зменшуючи при цьому питомі навантаження.

Загальним недоліком при застосуванні полімерних матеріалів є те, що відновленню можуть підлягати деталі з незначними зносами, оскільки

полімерним матеріалам притаманна усадка, значення якої зростає зі збільшенням товщини шару.

Одним із напрямком вирішення цієї проблеми в застосуванні комбінованого методу відновлення.

Сутністю цього способу є відновлення зношених поверхонь методом електроіскрового наплавлення з подальшим калібруванням відновлюваної поверхні металополімерною композицією.

Поєднання покриттів, одержуваних електроіскровим наплавленням і полімерною композицією, дають хороші адгезійні властивості через високу шорсткість підполімерного шару. Характеристики полімерного шару під час відновлення даним способом нічим не відрізняються від властивостей під час звичайного способу відновлення полімерами і зазначаються вище.

Застосування цього методу відновлення виключає практично всі недоліки вищенаведених способів відновлення і має низьку собівартість.

Також розглянемо найбільш часто застосовані методи відновлення отвору верхньої головки шатуна.

Верхню головку шатуна рекомендується розточувати до ремонтного розміру з подальшим запресовуванням втулки, збільшеної за зовнішнім діаметром. Розточування проводять на токарно-гвинторізному верстаті в пристосуванні спеціальним оправленням із двома різцями з твердого сплаву ВКЗМ для попередньої та остаточної обробок. Налаштовують різець індикаторним пристосуванням. При цьому припуск на чистовий різець в оправці має становити 0,07...0,1 мм/об, глибина різання 0,25 мм, число проходів 1 [5].

На гідравлічному пресі П-6326 за допомогою пристосування в розточувальний отвір верхньої головки (попередньо її підігрівають до 200°C) запресовують втулку. Після запресовування втулки розточують, використовуючи обладнання та оснащення, що застосовуються під час розточування верхньої голівки шатуна, розточування здійснюють із припуском під розкочування в такому режимі: частота обертання шпинделя верстата 1000

хв⁻¹, подача 0,07 мм/об, глибина різання 0,35 мм, кількість проходів 1. Під час налаштування різців в оправці припуск на чистовий різець повинен становити 0,05...0,07 мм, шорсткість поверхні втулки після розточування $R_a = 1,25 \dots 0,63$ мм, але не більше.

Після розточування у втулці zenкують фаски $0,5 \times 45^\circ$ на вертикально-свердлильному верстаті 2A135 зенковкою у пристосуванні.

Потім проводять розточування втулки на вертикально-свердлильному верстаті 2A135 розточуванням у пристосуванні за такого режиму: частота обертання шпинделя верстата 1000 мм⁻¹, подача – ручна, число проходів – 1, деформація – 0,01 мм.

Втулки верхніх головок шатунів виготовляють найчастіше з бронзи БР ОЦС-5-5. Також набули поширення біметалеві втулки зі зйомними вкладишами з антифрикційного матеріалу на основі міді.

Можливі три основні дефекти втулок, які піддаються відновленню: знос внутрішньої поверхні, зовнішній діаметр менший за допустимий, відхилення за зовнішнім і внутрішнім діаметрами. У першому випадку втулка відновлюється шляхом продавлювання її через отвір у чавунній або сталевій оправці (отвір має бути меншим за зовнішній діаметр втулки на 0,3-0,5 мм). Потім зовнішню поверхню втулки проточують, нарізаючи на ній рвану різьбу, металізують м'якою сталлю і знову проточують до необхідного розміру. Можна замість металізації запресувати обтиснуті і проточні по зовнішній поверхні бронзові втулки в тонкостінні сталеві. Цей спосіб прийнятний і для усунення другого дефекту. Третій дефект усувається шляхом поєднання способів, що застосовуються для усунення першого і другого дефектів. Однак найпоширенішим є метод осадження.

Пристрій для реалізації цього методу складається з двох оправок, пальця, розтискного вкладиша із пружинними кільцями. Втулка деформується оправками, розтискний вкладиш захищає від руйнування олійну канавку. У головку шатуна вставляють вкладку, а потім палець.

Сухарі розтискаються та закріплюють його в голівці. Шатун разом із вкладишем і пальцем поміщають між оправками, після чого встановлюють на прес [6].

Зношені втулки можуть бути відновлюють мідненням з наступним обтисканням по зовнішньому діаметру до номінального або одного з ремонтних розмірів.

Перед цим зовнішню поверхню втулки полірують волосяним колом та пастою ГОІ. Обтискання втулок роблять за допомогою пристосування на пресі. З метою збереження профілю масляної канавки у втулку перед обтисканням (осадою) вкладають кільце розрізне зі Сталі 65Г, яке попередньо загартоване і відпущене при 500-550°C.

2.4. Висновки по розділу 2

Матеріали, наведені в розділі 2 магістерської роботи, дозволяють зробити такі висновки:

1. Для підвищення терміну служби відремонтованих деталей необхідне дотримання просторово-геометричних параметрів деталей двигуна під час відновлення та збирання, проведення точного розмірного аналізу розмірних ланцюгів циліндро-поршневої групи та кривошипно-шатунного механізму, виявлення та усунення причин, які призводять до появи характерних дефектів і відмов.

2. На шатун впливають великі знакозмінні зусилля, що змінюються за величиною, викликані тиском газів, що розширюються в циліндрі, та інерцією деталей поршневої групи. В умовах експлуатації автотракторних двигунів детально розглянуто ряд характерних дефектів.

3. Проаналізовано існуючі методи відновлення дефектів шатунів автотракторних двигунів. Показано їх переваги та недоліки.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Теоретична оцінка надійності шатунів

Шатуни автотракторних двигунів досягають граничного стану за такими критеріями, як: ризики і задираки поверхонь отворів, збільшення діаметра

отвору нижньої голівки, викривлення і скрученість, збільшення тіла шатуна. Тому, з точки зору надійності, шатун є послідовною системою, і її напрацювання до відмови розподілене за законом Вейбулла:

$$F(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{a} \right)^b \right], \quad (3.1)$$

де a, b – відповідно параметри масштабу і форми розподілу.

Для $k > 5$, де k – число дефектів, у роботі [] запропоновано залежності для визначення параметрів a і b у вигляді:

$$b = \bar{b} \left[1 - 5\nu^2 \left(1 - \sqrt{4,5/k} \right) \right], \quad (3.2)$$

$$a = \left(\sum_{i=1}^k a_i^{-b_i} \right)^{-1/b}. \quad (3.3)$$

$$\text{де } b = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k b_i;$$

$$\nu = \frac{1}{b} \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (b_i - \bar{b}^2)}$$

де a_i і b_i – параметри закону Вейбулла i -го елемента;

ν – коефіцієнт варіації параметрів b_i .

Оскільки значення ж коефіцієнта варіації ресурсу ν , як правило, більше 0,4, тому потрібне коригування формули (3.2).

Під час оцінювання безвідмовності та довговічності шатунів за даними рядової експлуатації двигунів первинна інформація являє собою багаторазово усічену вибірку.

Для вирішення таких завдань, під час оцінювання безвідмовності та довговічності шатунів, коефіцієнт форми розподілу ресурсу шатунів можна визначити зі співвідношення:

$$b_i \left[\frac{1}{b_0} \psi \left(1 + \frac{b_i}{b_0} \right) + \ln a_0 - \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r \ln t_j \right] = 1 \pm 0,01,$$

де $\psi \left(1 + \frac{b_i}{b_0} \right)$ – логарифмічна похідна гамма-функції;

$\frac{1}{r} \sum_{j=1}^r \ln t_i$ – середнє значення логарифма напрацювання деталі, що

відмовила;

b_0 – параметр форми розподілу доремонтного ресурсу двигуна;

a_0 – параметр масштабу розподілу ресурсу двигуна;

r – число шатунів, що відмовили;

t_i – ресурс i -ого шатуна, що відмовив.

Тоді значення ресурсів двигунів і шатунів можуть бути визначені таким чином:

$$\bar{t}_p = \frac{\Gamma\left(1 + \frac{1}{b_i}\right) t_0 \left(\frac{r_i}{n}\right)^{\frac{1}{b_i}} \left[\Gamma\left(1 + \frac{b_i}{b_0}\right) \right]^{\frac{1}{b_i}}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{b_0}\right)}. \quad (3.4)$$

У разі відновлення шатунів, які пропрацювали міжремонтний період, реалізований залишковий ресурс буде:

$$\bar{t}_{ocm}^{(1)} = \bar{t}_{op}^{(1)} \alpha_{\Sigma}, \quad (3.5)$$

де $\bar{t}^{(1)}$ – міжремонтний ресурс двигунів, укомплектованих шатунами, що були в експлуатації, але зберегли свої номінальні параметри і відновленими шатунами;

α_{Σ} – імовірність надходження шатунів на дефектацію.

У другому міжремонтному періоді шатуни, які пропрацювали перший міжремонтний період і відновлені під номінал, реалізують залишковий ресурс:

$$\bar{t}_{ocm}^{(2)} = \bar{t}_{op}^{(2)} \alpha_{\Sigma}^{(2)}, \quad (3.6)$$

де $\bar{t}_{op}^{(2)}$ – середній ресурс двигунів, укомплектованих відновленими під номінальні параметри шатунами, і шатунами, що зберегли свої номінальні параметри після експлуатації в першому періоді.

Кількість ремонтів шатунів, як встановлено в [], не має перевищувати двох. Це пов'язано з тим, що в процесі експлуатації в шатунах відбуваються незворотні процеси, які значно знижують втомну міцність шатуна.

Залишковий ресурс шатунів двигунів після доремонтної експлуатації залежить від частки шатунів, що зберегли свій номінальний розмір; від частки вибракуваних шатунів, які можуть бути відновлені. Це дає можливість уточнити потреби в нових шатунах і обсяги їх відновлення.

3.2. Дослідження зносного стану шатунів

Мікрометражні дослідження необхідні для виявлення найменш довговічних параметрів на зноси та дефекти основних деталей двигуна.

Методика проведення досліджень. Об'єктом дослідження стали двигуни ЯМЗ-236, ЯМЗ-238.

Під час розбирання двигунів положення деталей у механізмі фіксується нанесенням на їхній неробочій поверхні міток і порядкових номерів. Це дає змогу швидко визначити порядковий номер деталей у двигуні та порядковий номер двигуна, якому належала дана деталь, а також забезпечити правильне орієнтування деталей під час виконання вимірювань згідно з прийнятими схемами.

Статистичному опрацюванню підлягали мікрометражні дані 360 шатунів.

Схема вимірювання дефектів шатуна показана на рис.3.1.

У табл. 3.1 - 3.2 наведено номінальні розміри контрольованих деталей, дефекти, що вивчаються, та їхні позначення.

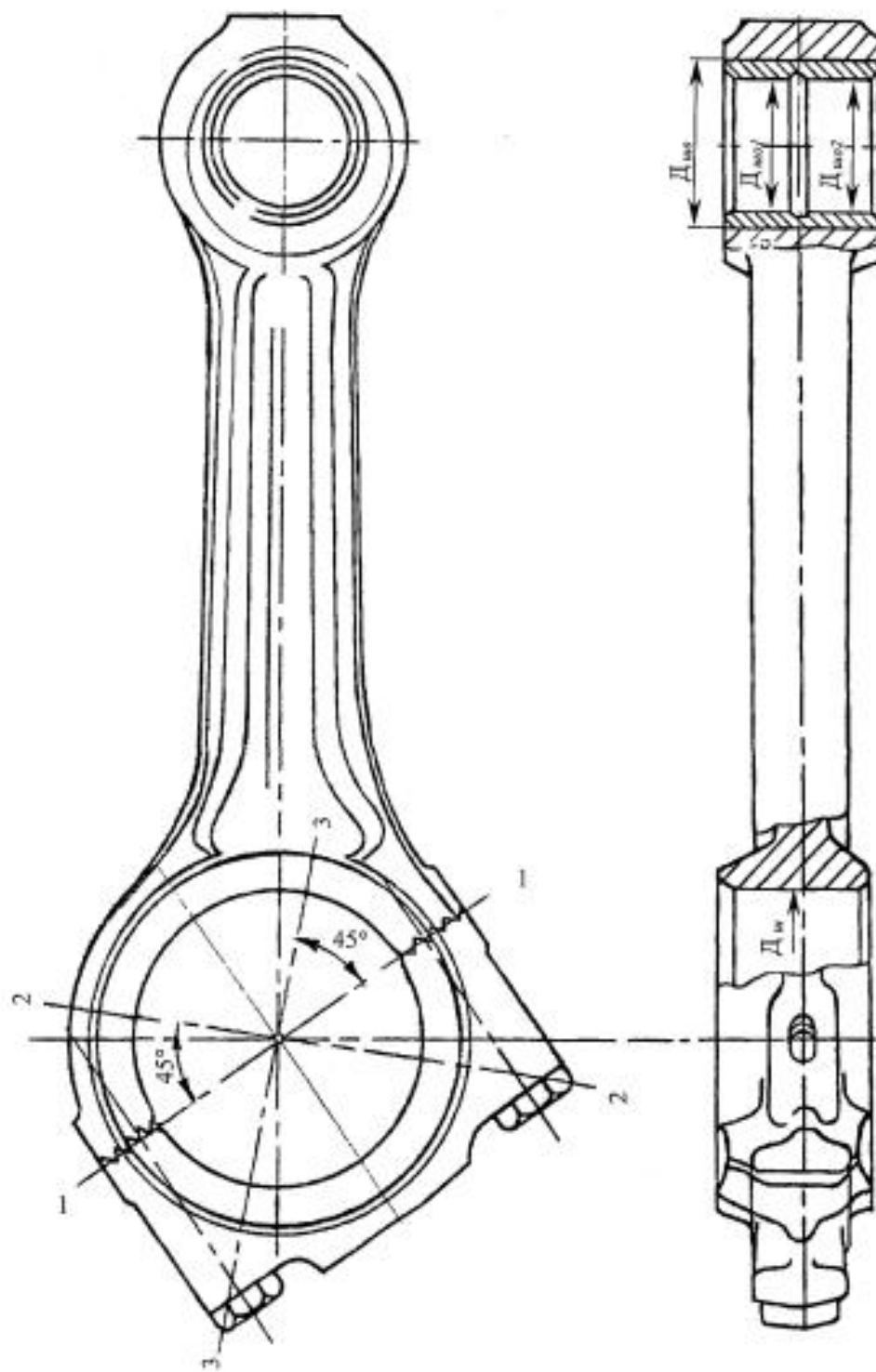


Рис. 3.1. Схема вимірювання дефектів шатуна

Таблиця 3.1 – Таблиця дефектів, що контролюється та їх позначення

Місце заміру	Дефект, що контролюється	Позн. дефект.	Кількість перерізу та площин у місці заміру	Вимірювальний інструмент
Верхня головка	Знос внутрішньої поверхні втулки поршньового пальця	$D_{\text{шо}}$	2 перерізу, 2 площини	Індикатор, нутромір
Нижня головка	Деформація постелі під вкладиш	$D_{\text{ш}}$	1 переріз, 3 площини	
Тіло шатуна	Скручування вісі отвору верхньої і нижньої головок	С		Пристосування
	Не паралельність вісі отворів верхньої і нижньої головок (вигин)			

Таблиця 3.2 – Таблиця розмірів шатуна, що контролюються

№ п/п	Розмір, дефект	Розміри			
		Номінальні		Гранично допустимі	
		H1	P1	H1	P1
1	Внутрішній діаметр втулки поршневого пальця ($D_{шп}$)	$50^{+0,04}_{+0,031}$		50,04	
2	Діаметр постелі під вкладиш ($D_{ш}$)	$93^{+0,021}$	$93,5^{+0,021}$	$93^{+0,03}$	$93,5^{+0,03}_{-0,012}$
	Овальність	0,012	0,012	0,012	0,012
3	Скручування осей отворів верхньої та нижньої головок на довжині 100 мм	0,04	0,04	0,05	0,05
4	Непаралельність осей отворів верхньої та нижньої головок на довжині 100 мм	0,03	0,03	0,05	0,05

Для обґрунтування об'єктів мікрометражу коефіцієнт варіації величин дефектів деталі прийнято рівним 0,8, відносну помилку дослідження прийнято рівною 0,2, а довірна ймовірність дорівнює 0,95. Виходячи з прийнятої умови мінімальна кількість об'єктів дослідження не менше 50 [].

Скручування і непаралельність осей отворів верхньої і нижньої головок шатунів визначали безпосередньо на спеціальному пристосуванні за показаннями індикаторів.

Обробку статистичних даних виконували з використанням пакетів прикладних програм.

Результати статистичних досліджень нижньої головки шатуна.

Мікрометражним дослідженням було піддано нижні головки шатунів. Усі відхилення діаметра від номінального розміру - $\varnothing 93^{+0,021}$ фіксувалися і стали підставою для проведення мікрометражних досліджень.

Обробка всієї сукупності шатунів дала змогу виявити закономірність розподілу відхилень по нижній голівці.

Дослідження всієї сукупності шатунів засвідчило, що вимірів, які проводять у трьох площинах, недостатньо, тому що вони не дають змоги повною мірою судити про ступінь деформації та зносу отвору. Тому було необхідним ввести додаткову площину вимірювання (площину IV).

Епюра зносу і деформації отвору нижньої голівки шатунів показана на рис.3.2

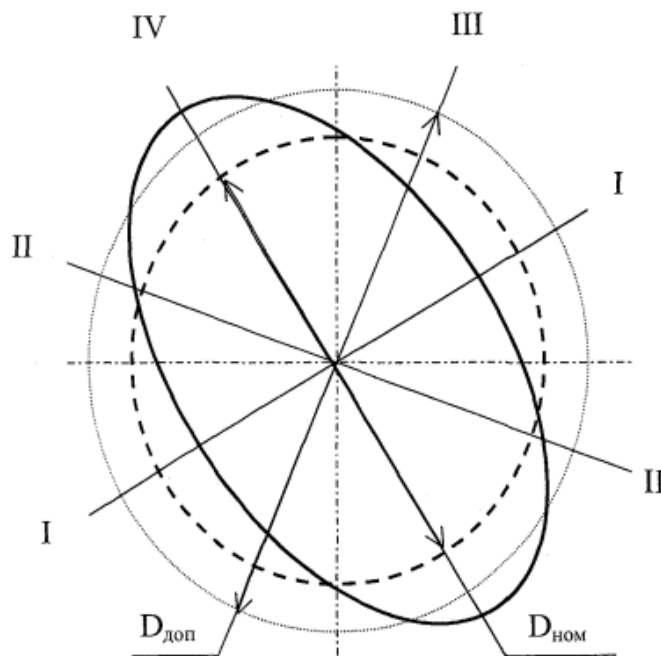


Рис. 3.2. Епюра зносу і деформації нижньої головки шатунів

За результатами статистичних досліджень видно, що близько 62% шатунів мають деформований отвір нижньої голівки, тобто зменшення діаметра, як правило, в площині роз'єму тіла і кришки шатуна. Це пов'язано з деформацією нижньої головки під дією динамічних навантажень.

Графік щільності розподілу (диференціальна крива) відхилень діаметра нижньої голівки від номіналу за всією сукупністю шатунів показано на рис. 3.3. Як видно з рис.3.3 графік підпорядковується закону розподілу Вейбулла.

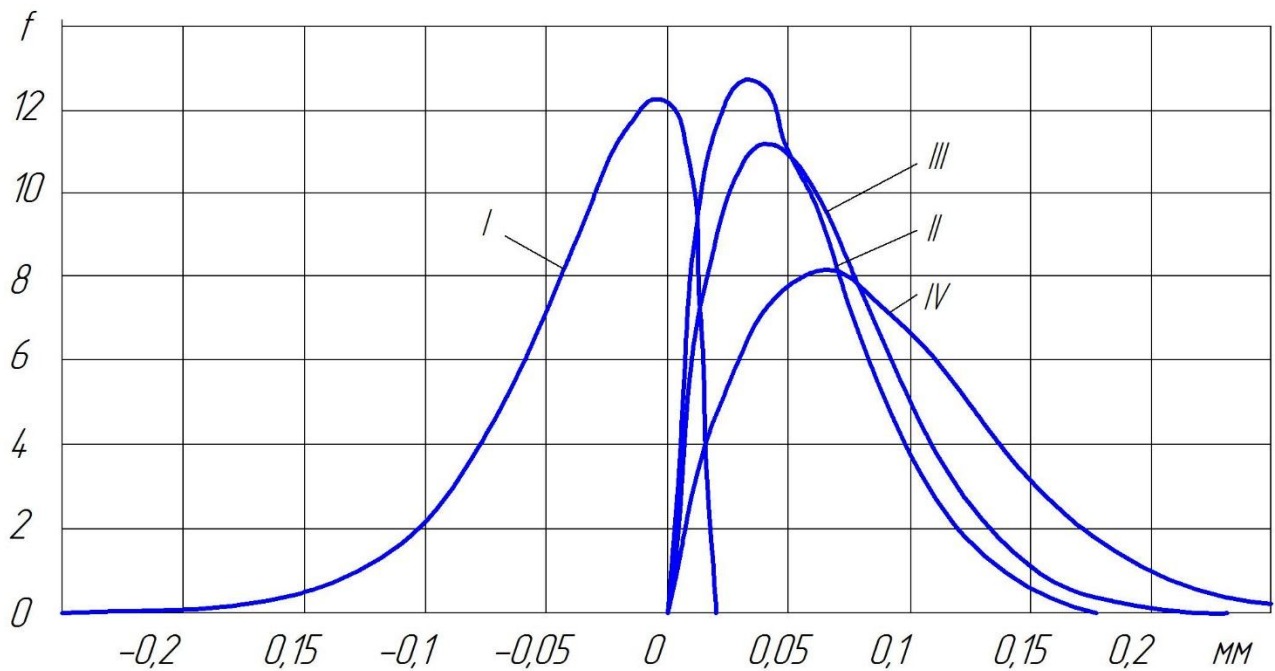


Рис.3.3. Щільність розподілу відхилення діаметра нижньої головки від номінального значення

Результати статистичних досліджень верхньої головки шатуна. Вимірюванню підлягали втулки поршневого пальця. Вимірювали відхилення діаметра внутрішньої поверхні від номінальної величини - $\varnothing 50^{+0,04}_{+0,031}$ мм.

Отримані дані дозволили встановити таке. Гранично допустиме значення відхилення дорівнює верхньому відхиленню нової втулки і відповідає 0,04 мм. Овальність втулок не більша за 0,01 мм, як у нових, так і у зношених виробів.

Епюра зносу отвору втулки під поршневий палець верхньої голівки шатуна показана на рис.3.4

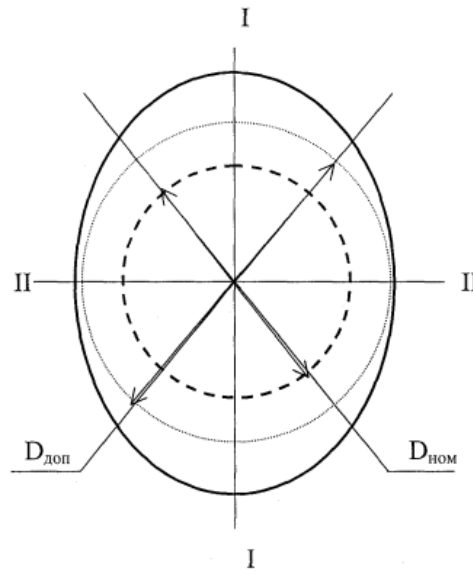


Рис.3.4. Епюра зносу отвору втулки верхньої головки

З епюри видно, що зношування втулки відбувається по осі шатуна. Зі статистичних спостережень випливає, що відсоток шатунів із відхиленнями за внутрішньою поверхнею втулок більшими, ніж номінальний, становить 96% (безпосередній підрахунок за даними мікрометражу склав 94,5%). Графіки щільності розподілу відхилень внутрішнього діаметра від номінального розміру та овальності втулки поршневого пальця показано на рис.3.5-3.6.

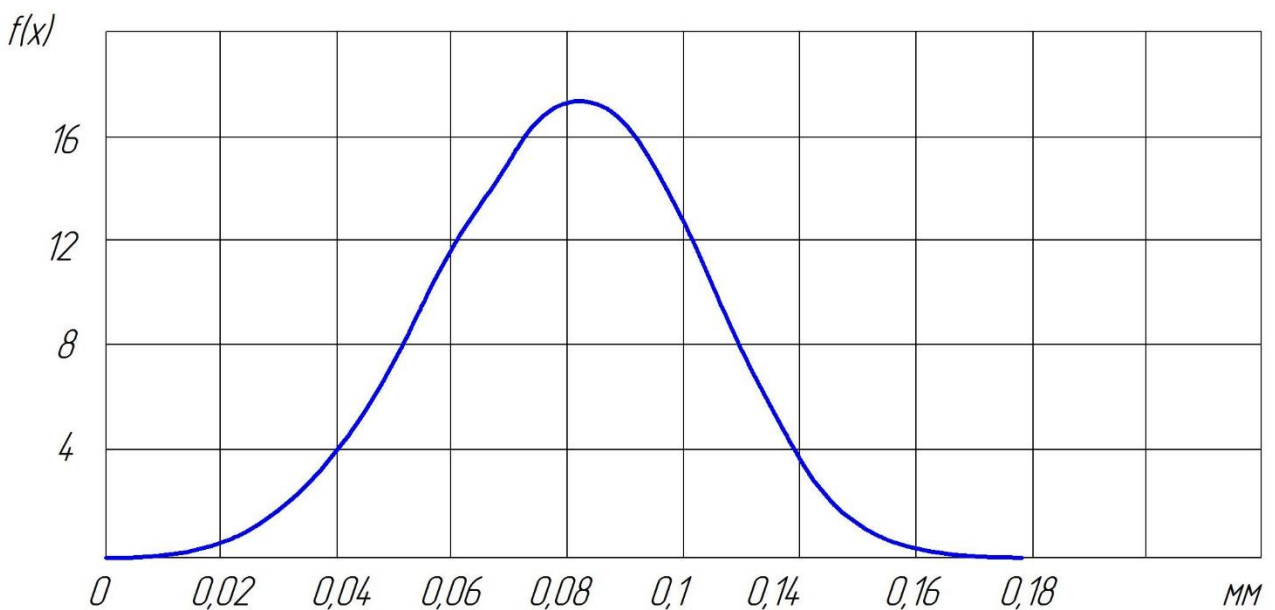


Рис. 3.5. Щільність розподілу відхилення внутрішнього діаметра втулки поршневого пальця

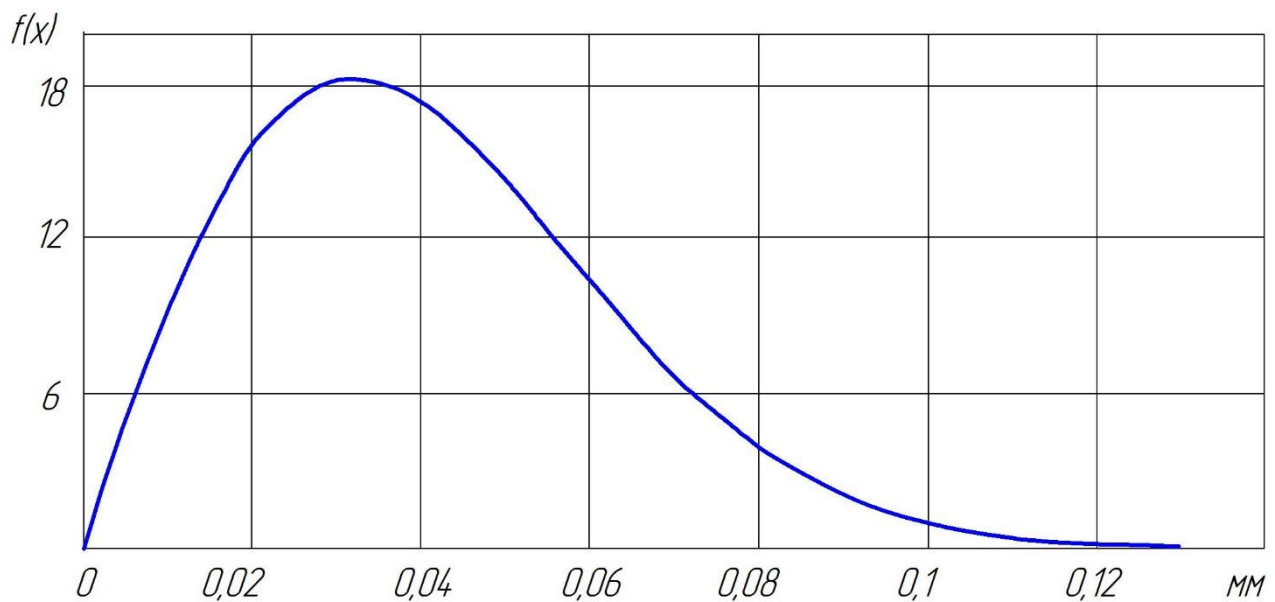


Рис. 3.6. Щільність розподілу відхилення овальності втулок під поршневий палець

З даних рис.3.5-3.6 випливає, що шатуни з овальністю втулки верхньої головки, більшою за 0,015 мм, становлять 90%.

Результати статистичних досліджень перекосу осей отворів верхньої та нижньої головок шатуна. Оцінювання по всій сукупності шатунів проводили за законом розподілу Вейбулла.

Графік щільності розподілу відхилень скрученості осей головок шатунів представлений на рис. 3.7. Кількість шатунів зі скручуванням, більшим за гранично допустиме ($c > 0,05$ мм), становить 25%.

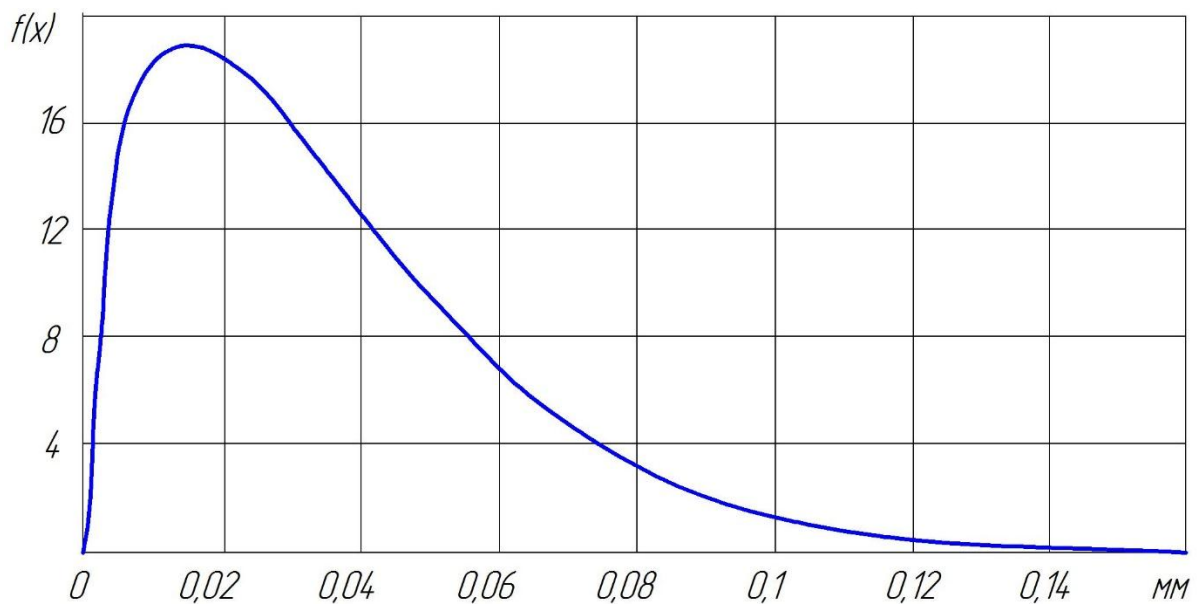


Рис.3.7. Щільність розподілу відхилення перекосу осей головок

Результати статистичних досліджень непаралельності осей отворів нижньої та верхньої головок шатунів. Однією з основних причин непаралельності осей отворів головок шатунів є дія сили інерції від власної маси.

Графік щільності розподілу відхилень непаралельності осей головок шатунів показано на рис.3.8. Гранично допустима непаралельність становить 0,05 мм. Шатуни, що потребують відновлення, становлять 28%.

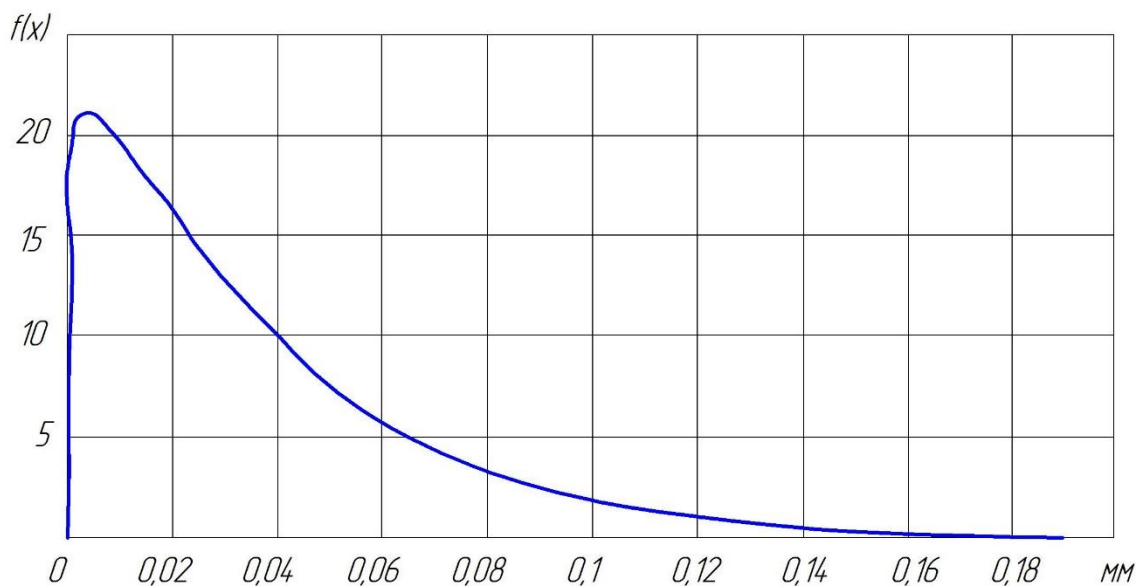


Рис.3.8. Щільність розподілу відхилень непаралельності осей отворів верхньої і нижньої головок

Результати статистичних досліджень зміни міжцентрової відстані отворів головок шатуна. Як правило, причиною зміни міжцентрової відстані отворів нижньої і верхньої головок є вигин і скручування тіла шатуна, що спричиняє зміну його довжини.

Графік щільності розподілу відхилень міжцентрової відстані отворів шатуна показано на рис. 3.9.

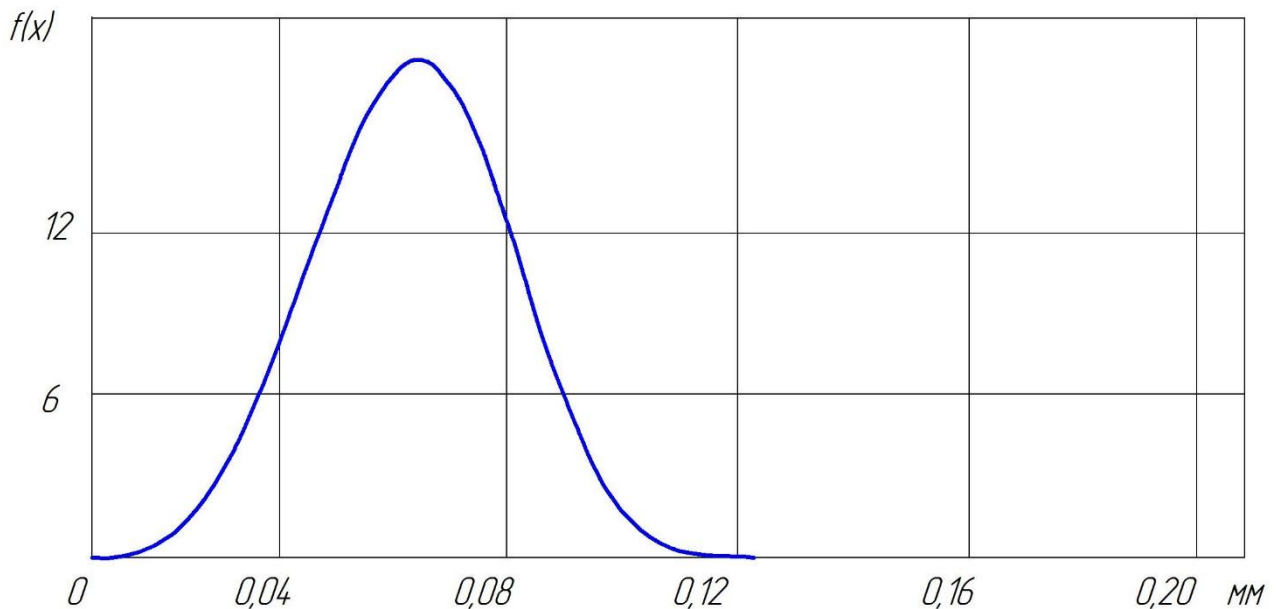


Рис.3.9. Щільність розподілу відхилень міжцентрової відстані отворів шатуна

Гранично допустиме відхилення міжцентрової відстані становить $\pm 0,03$ мм. З мікрометражу випливає, що шатуни, які потребують відновлення, становлять 62 %.

Із проведених досліджень статистичного аналізу дефектів шатуна випливає, що у 62% шатунів, які надійшли на ремонт, є зменшення міжцентрової відстані отворів головок.

Крім цього, 25% шатунів мають перекіс осей більше 0,05 мм і 28% не задовольняють вимогам на непаралельність осей отворів. У 62% шатунів є похибка форми отвору нижньої голівки і близько 35% мають знос понад 0,021 мм..

Пропонується виправляти похибку форми отвору та просторову геометрію шатуна шляхом механічного оброблення отвору нижньої головки.

Більш детально зупинимося на розробці технологічного процесу відновлення шатуна (№236-1004045).

3.3. Особливості отримання електроіскрових покриттів

До теперішнього часу вже накопичено значний досвід застосування електроіскрової обробки (ЕІО) різними ремонтними підприємствами. Поряд з цим, використання методу електроіскрової обробки не завжди є достатньо ефективним, через відсутність необхідної кількості знань про основні причини обмеженого ресурсу деталей та інструменту, про фактори, які сприяють збільшенню зносостійкості, а також нерозуміння особливостей протікання процесу електроіскрової обробки [18-20].

Технологічний процес електроіскрової обробки поверхонь деталей машин умовно можна розділити на дві групи:

1. ЕІО поверхні без механічної обробки,
2. ЕІО поверхні із застосуванням механічного оброблення.

Своєю чергою кожен групу можна розділити на кілька підгруп.

Перша група: одношарове монопокриття, складне монопокриття, багатшарове покриття, комбіновані покриття, комплексні покриття.

Друга група: покриття з механічною обробкою; покриття, отримані послідовною обробкою.

Одношарові монопокриття, найбільш повно досліджені та ефективно застосовуються на виробництві. Даний вид покриттів формується за нескладною технологією одним електродним матеріалом за незмінного електричного режиму, будь-які зміни властивостей оброблюваної поверхні можливі за рахунок зміни часу оброблення або за рахунок одного чи декількох проходів. Прикладом застосування цього виду покриття є зміцнення поверхонь деталей машин та інструментів, відновлення розмірів зношених виробів тощо.

Складні монопокриття. Цей вид покриттів утворюється при використанні одного електродного матеріалу на різних електричних режимах. Прикладом такого покриття може слугувати зниження шорсткості оброблюваної поверхні, спочатку поверхня обробляється на потужнішому, а потім на легшому режимі або навпаки.

Багатошарові покриття. Процес нанесення багатошарових покриттів відбувається в кілька циклів із застосуванням електродного матеріалу різного складу. На практиці цей метод застосовують під час зміцнення поверхні деталей та інструментів, чергуючи твердосплавні електроди з графітом, а також під час поліпшення антифрикційних властивостей поверхонь тертя деталей машин, наносячи на електроіскрові покриття (ЕІП) шар легкоплавкого металу.

Комбіновані покриття. Цей вид покриттів утворюється в результаті механізованої обробки поверхонь деталей та інструментів багатоелектродними електрод-інструментами роторного типу. Електрод-інструменти роторного типу являють собою два суміжні диски між якими закріплюються електроди з різного електродного матеріалу. ЕІП формується за один прохід, оскільки поверхня піддається багаторазовому впливу іскрових імпульсів при послідовному контакті з різними електродними матеріалами. Застосування електродів різного складу розширює можливість управління структурою і властивостями створюваного покриття.

Комплексні покриття. Комплексні покриття отримують поєднанням електроіскрової обробки з іншими видами обробки, наприклад, лазерним, плазмовим, гальванічним, електродуговим наплавленням. За рахунок поєднання вищевказаних методів поліпшуються якісні параметри покриттів, а також можливе збільшення товщини шару шару покриття, що наноситься.

Покриття з механічною обробкою. Покриття з механічною обробкою отримують унаслідок поєднання електроіскрового покриття з подальшою механічною обробкою, під час якої видаляється частина поверхневого шару, не змінюючи властивостей оброблюваного шару. Механічна обробка може поєднуватися з будь-яким видом електроіскрової обробки. Механічну обробку

проводять лезовим інструментом, шліфуванням або притиранням, після чого поліпшуються параметри шорсткості та збільшується площа опорних поверхонь деталей.

Покриття з поверхнево-пластичним деформуванням. У результаті обробки електроіскрових покриттів методом ППД відбувається осідання поверхні оброблюваної деталі зі зміною розміру та якості шару, покриття ущільнюється, збільшується площа опорної поверхні, а також розтягувальні залишкові напруження перетворюються на стискальні.

Класифікація електроіскрових покриттів представлена в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Класифікація електроіскрових покриттів за технічними ознаками

Вид покриття	Умовне найменування	Умовне познач.	Коротка характеристика
1	2	3	4
1. Технології без використання механічної обробки поверхневого шару			
1.1.	Одношарове монопокриття	ЕП	Один цикл обробки одним інструментом
1.2.	Складне монопокриття	ЕП + ЕП	Кілька циклів обробки одним електродним матеріалом зі зміною електричних режимів
1.3.	Багатошарове покриття	ЕП1 + ЕП2	Кілька циклів обробки різними електродними матеріалами
1.4.	Комбіноване покриття	ЕП1,2	Один цикл обробки різними електродними матеріалами (механізоване оброблення)

Продовження табл.3.3

1	2	3	4
1.5.	Комплексне покриття	ЕП та ін.	Поєднання з іншими методами обробки, що змінюють товщину і якість покриття
2. Технології з використання механічної обробки поверхневого шару			
2.1.	Покриття з механічною обробкою	ЕП + МО	Видалення частини покриття без зміни якості шару
2.2.	Покриття з поверхнево пластичним деформуванням	ЕП + ППД	Осідання поверхні зі зміною розміру та якості шару

Можна зробити висновок, що всі розглянуті види електроіскрової обробки ефективно застосовуються на виробництві під час збільшення експлуатаційного ресурсу деталей машин, а також відновлення їхніх розмірів, зношених у процесі експлуатації. Електроіскрове наплавлення дає змогу відновлювати в автоматичному режимі зношену поверхню до 0,30 мкм. Відновлюваними матеріалами може бути як чорний метал - сталь, чавун, так і кольорові метали, а в нашому випадку - виверт нижньої головки шатуна.

Під час наплавлення вироби не деформуються, тому що немає сильного нагрівання. Це дає змогу відновлювати вироби з мінімальним шаром будь-яких діаметрів, у тілах обертання в автоматичному режимі). Залежно від використовуваних матеріалів твердість поверхні досягається 55-58 HRC.

Електроіскрове наплавлення зазвичай здійснюють на установці «Елітрон-22Б» (рис. 3.10), що живиться від побутової електромережі.



Рис.3.10. Установка для электроискрового наплавления «Елітрон-22Б»

Установка заснована на тиристорно-транзисторному генераторі імпульсу струму. Основні енергетичні характеристики установки «Елітрон-22Б» наведено в табл. 3.4.

Таблица 3.4 – Основні енергетичні характеристики установки «Елітрон-22Б»

Найменування параметра	Режими установки				
	1	2	3	4	5
Середнє значення зарядного струму, А	0,3	0,4	0,6	2,6	3,8
Амплітуда напруги на накопиченому конденсаторі, В	45	67	67	96	96
Ємність накопичених конденсаторів	60±20	60±20	60±20	360±120	360±120

Енергія розряду, Дж	0,06	0,13	0,28	0,81	1,66
---------------------	------	------	------	------	------

За малих значень зносу, отвори нижньої головки шатуна пропонується відновлювати полімерною композицією без застосування електроіскрового наплавлення.

3.4. Експериментальні дослідження режимів електроіскрового наплавлення

Методика проведення досліджень. Ця методика полягає у виборі оптимального часу легування сталевих зразків марки 40Х різними матеріалами на кількох режимах. Під час експерименту досліджувався час легування та частота подачі імпульсів. Амплітуду коливання, товщину електрода та інші параметри приймали постійними (для кожного режиму), оскільки вони не чинили істотного впливу на зміну товщини. Однак слід зазначити, що ці фактори впливають на якість формованого шару.

Зразки обробляли до отримання максимальної товщини шару і фіксували початок його руйнування. Досліджувана площа становила 1 см². Обробку проводили з урахуванням необхідності проведення технологічних перерв для запобігання перегріву установки та електрода. Як катод використовувалися сталеві плоскопаралельні (з допуском непаралельності 5 мкм) зразки 40Х розміром 20 × 20 × 10 мм і шорсткістю поверхонь за R_a 1,6. За вищевказаних умов експеримент проводився вібруючим електродом.

Перед нанесенням шару зразки тричі зважували на терезах і вимірювали мікатором (ціна поділки індикаторної головки 1 мкм).

Після нанесення шару зразки так само тричі зважували і вимірювали. Крім того, їх піддавали візуальному контролю, водночас визначали якість сформованого шару і наявність у ньому дефектів із використанням лупи п'ятикратного збільшення. Кожен експеримент проводили тричі.

Мета експериментальних досліджень полягала у виборі часу наплавлення сталевих зразків марки 40Х електродом на різних частотах подачі імпульсів із різних матеріалів на різних режимах роботи установки «Елітрон-22БМ».

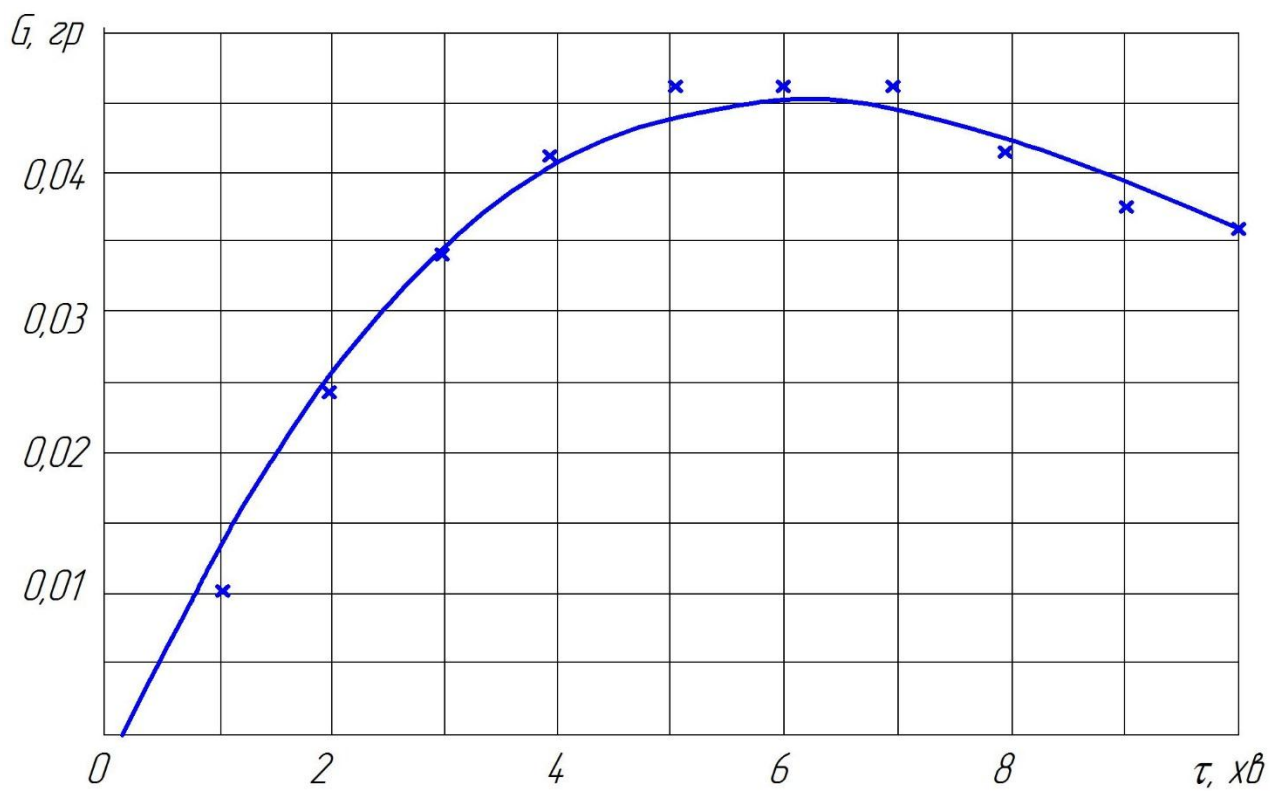


Рис. 3.11. Зміна маси покриття 95X12 за часом

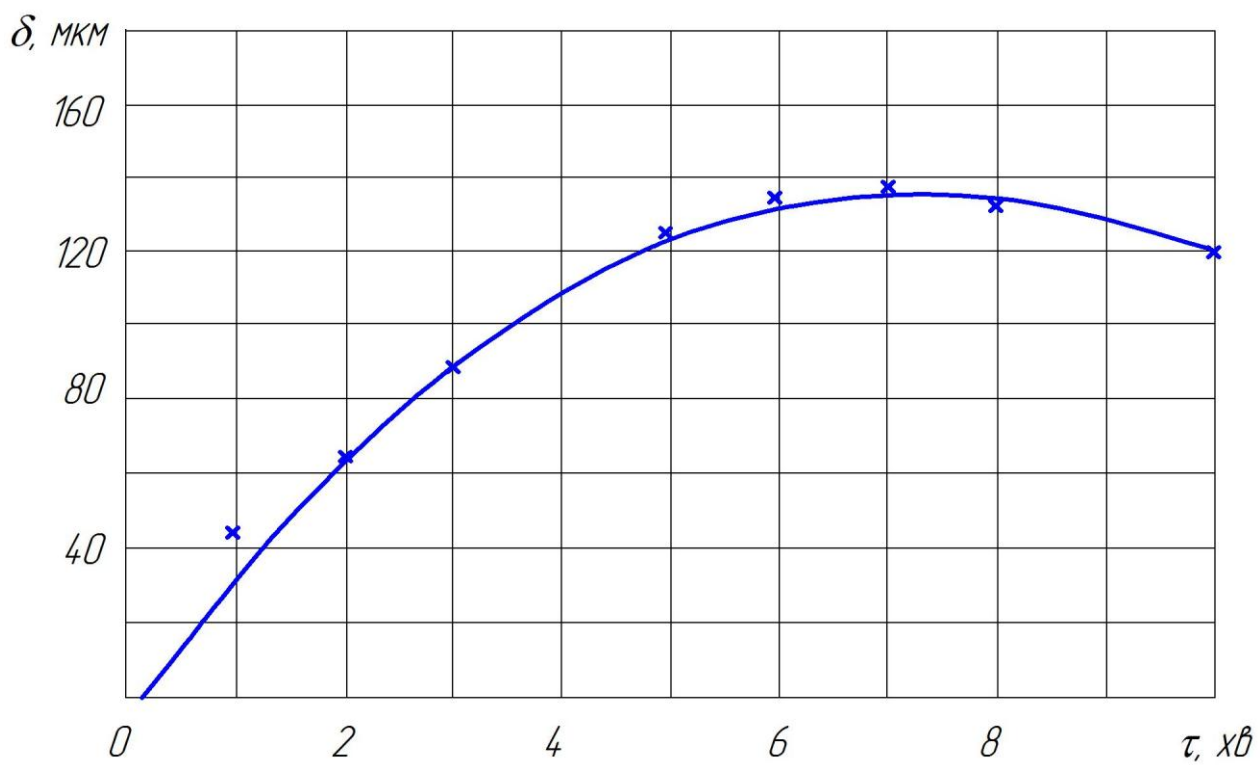


Рис. 3.12. Зміна товщини покриття 95X12 за часом

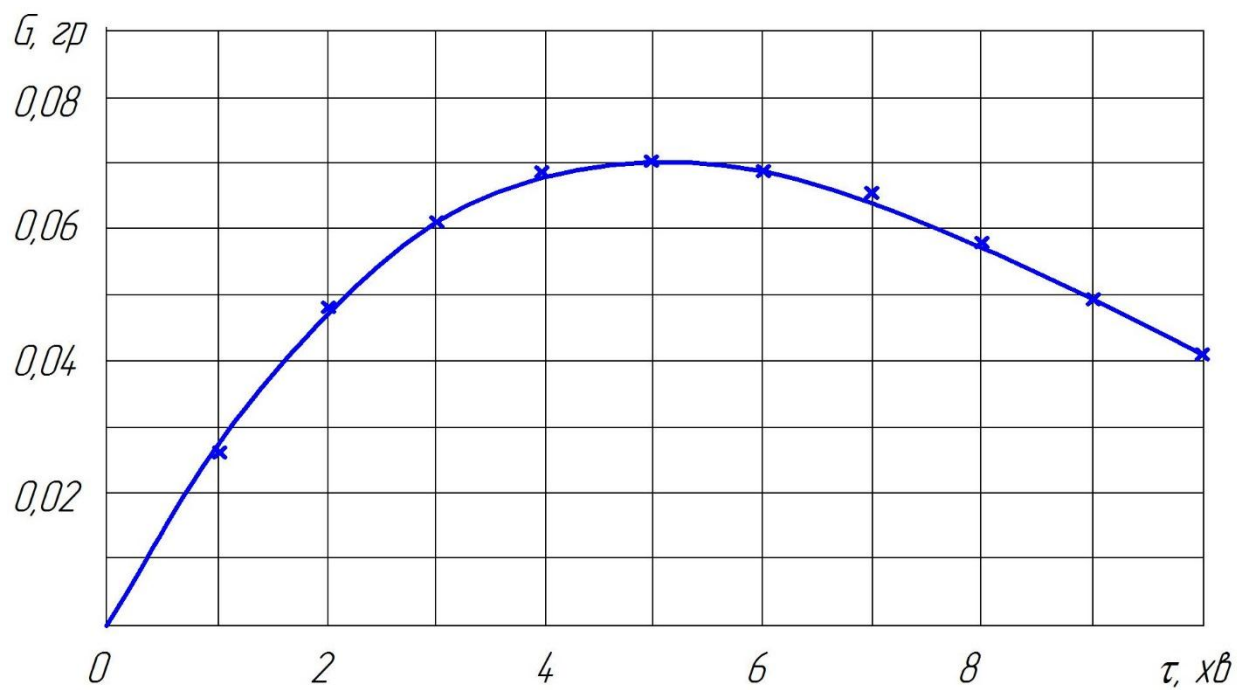


Рис. 3.13. Зміна маси покриття 95X12 за часом

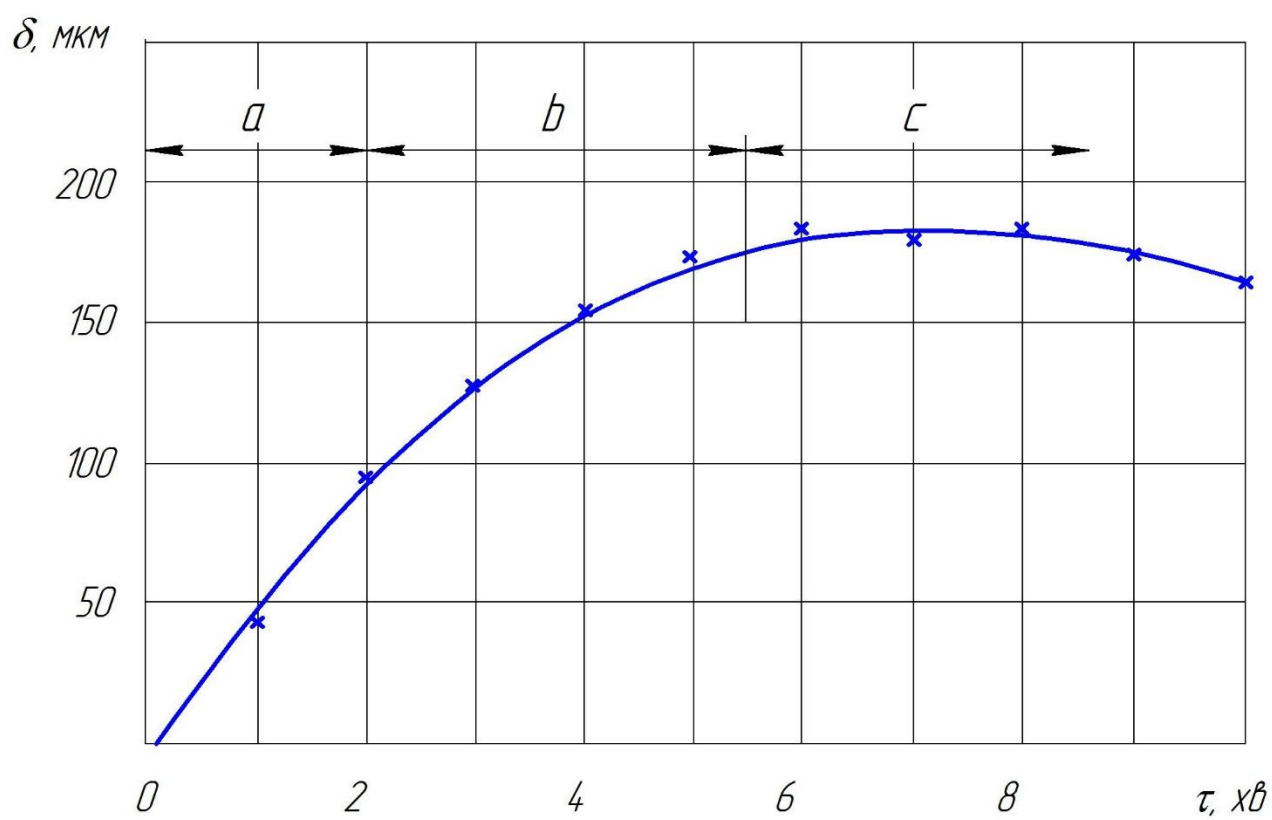


Рис. 3.14. Зміна товщини покриття 95X12 за часом

Усі експериментальні криві $\Delta\delta$ (товщини покриття) залежно від часу наплавлення τ містять:

- ділянку a , де суцільність покриття зростає від нуля до 60%;
- ділянку b , де суцільність монотонно зростає від 60% до 80-95%), потім монотонно падає до 70-75%.
- ділянку c , де суцільність падає до 30-40%;

Падіння суцільності зумовлене різко зростаючою шорсткістю і руйнуванням частини сформованого покриття. Найкраща якість покриття, що наноситься, має місце при τ_{opt} .

Виявлено, що під час обробки методом ЕІН необхідно передбачати технологічні перерви або застосовувати примусове охолодження електрода, оскільки це суттєво впливає на якість шару, що формується. При цьому діаметр електрода, в мм, раціонально приймати не нижче номера режиму установки. Застосування меншого діаметра електрода сприяє якнайшвидшому перегріву його, що, зрештою, негативно впливає на якість шару, що формується.

З рис. 3.11-3.14 випливає, що застосування підвищеної частоти під час електроіскрової обробки скорочує час досягнення максимального значення суцільності покриття й істотно покращує його якість.

Для відновлення зношених головок, як показали дослідження (рис.3.11-3.14), всі розглянуті матеріали електродів дають змогу вирішити це завдання.

Вибір найоптимальнішого матеріалу електрода для конкретного завдання залежить від багатьох факторів. Стосовно відновлення головок шатунів необхідно провести, зокрема, зносні випробування спеціальних модельних зразків з розглянутих матеріалів у сполученні з моделлю вкладиша зі сталі Св.0,8.

3.5. Розробка технологічного процесу відновлення шатуна

Ремонте креслення деталі показано на рис. 3.15.

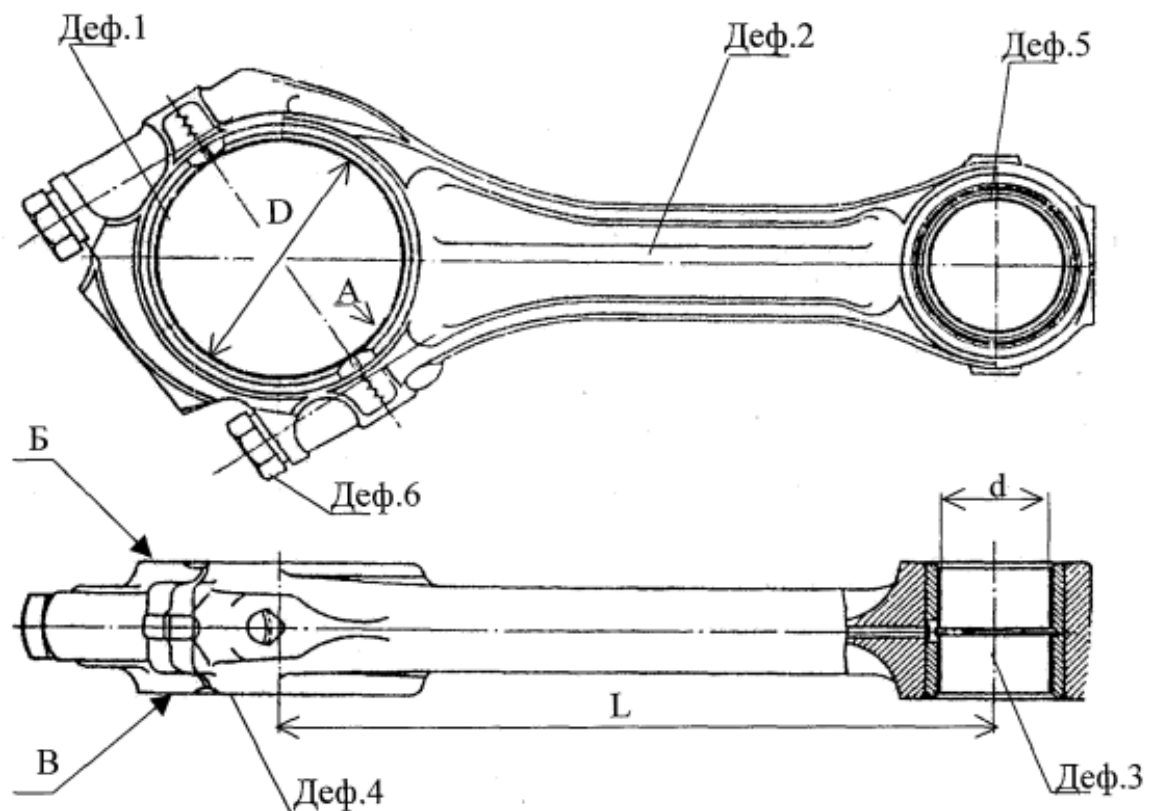


Рис. 3.15. Шатун у складанні

Основні дефекти деталі (рис. 3.15) та способи їх усунення наведенні в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Дефекти шатуна (№236-1004045) та способи їх усунення

№ п/п	Найменування дефекту	Основний спосіб усунення дефекту	Додатковий спосіб усунення дефекту
1	2	3	4
1	Риски і задирки на поверхні отвору в нижній голівці, збільшення діаметра отвору понад 93,05 мм	Розточування – нанесення шару композиції на основі анаеробного герметика – формування – полімеризація	Залізнення

Продовження табл.3.5

1	2	3	4
2	Зменшення відстані між осями отворів у верхній і нижній голівках менше 264,95 мм	Заміна втулки - розточування отвору у втулці із забезпеченням відстані між осями отворів	
3	Відхилення від паралельності (зокрема перекіс) осей отворів у голівках на довжині 100 мм понад 0,04 мм	Правка шатуна в зборі – заміна втулки – прошивка і розточування отвору у втулці	
4	Риски і задирки на торцях нижньої головки	Шліфування	
5	Збільшення діаметра отвору у верхній голівці понад 50,08 мм	Розточування до ремонтного розміру	
6	Зрив або знос різьблення, тріщини в болтах	Заміна дефектних болтів	

Розроблюваний технологічний процес передбачає відновлення отвору нижньої головки шатуна.

Технічний ефект розробленого технологічного процесу полягає в можливості відновлення отворів з великими зносами та отриманні якісного шару високої суцільності.

Це досягається тим, що спосіб відновлення отворів нижніх головок шатунів містить: нанесення електроіскрового покриття та полімерної композиції, що містить анаеробний герметик і наповнювачі, на поверхню отворів.

Як матеріал для електроіскрового покриття використовують сталь 95X12, а як полімерну композицію використовують такий склад (масова частка):

анаеробний герметик Анатерм-6В - 90-110, алюмінієвий порошок - 150-156, пічна сажа - 17,5-19.

Під час відновлення шатунів необхідно спочатку провести розточування, метою якого є компенсація похибки форми отвору нижньої головки і просторової геометрії.

Основні особливості розроблюваного технологічного процесу полягають у такому.

При комбінованому способі відновлення робочим матеріалом електрода обрано сталь 95Х12. Технологічні режими електроіскрового наплавлення: $I = 3,8$ А, $V = 96$ В, $W = 1,66$ Дж, $f = 350$ Гц.

За малих значень зносу отвори нижньої головки шатуна рекомендується відновлювати полімерною композицією без застосування електроіскрового наплавлення.

Повний перелік операцій і застосовуване обладнання представлено в

Таблиця 3.6 – Технологічний процес відновлення отвору нижньої головки шатуна

Найменування операцій	Зміст операцій	Обладнання, інструмент
1	2	3
005 Мийна	Очистити шатун від бруду та мастила	Мийна машина АКТБ-114
010 Слюсарна	1. Установити шатун на стенд і закріпити. 2. Зібрати шатун, замінивши дефектні болти. 3. Затягнути гайки. 4. Правити шатун.	Стенд ОР-11440.

Продовження табл.3.6

1	2	3
015 Дефектувальна	Дефектувати згідно з технічними вимогами на приймання у відновлення і переліком дефектів, що усуваються.	Стіл 12-11-291
020 Розточувальна (хонінгувальна)	1. Установити шатун у верстат. 2. Розточити отвір нижньої головки шатуна витримавши розмір Ø93,190	Верстат УРБ-6
025 Шліфувальна	1. Встановити шатун у верстат. 2. Шліфувати торцеві поверхні верхньої головки з двох боків.	Верстат шліфувальний 3Б722
030 Електроіскрова	Нанести покриття на відновлювані поверхні нижньої головки шатуна, що відновлюються	Установка «Елітрон-21Б»

Продовження табл.3.6

1	2	3
035 Слюсарна	Відновити поверхні (діаметри) нижніх головок шатунів шляхом нанесення композиції на основі герметика	
040 Розточна	1. Установити шатун на верстат. 2. Розточити втулку шатуна. 3. Розточити втулку шатуна. 4. Зняти шатун із верстата. 5. Перевірити діаметр втулки	Верстат УРБ-6П
045 Контрольна	Перевірити шатун на відповідність технічним вимогам	Стіл 12-11-191 Універсальний прилад для перевірки шатунів

3.7. Висновки по розділу 3

За результатами наукового розділу 1 магістерської роботи сформульовані наступні висновки:

1. Представлено теоретичний розрахунок надійності автотракторних шатунів.

2. Проведені дослідження зносного стану шатунів двигуна ЯМЗ-236. Це дозволило обґрунтовано підійти до вибору раціонального способу відновлення деталі.

3. Розглянуто особливості електроіскрового наплавлення та його використання стосовно відновлення поверхні отвору нижньої головки шатуна.

4. Обґрунтовано режими електроіскрового наплавлення.

5. Розроблений технологічний процес відновлення поверхні отвору нижньої головки шатуна з використанням комбінованої обробки, що містить електроіскрове наплавлення та нанесення полімерної композиції.

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРИЙНЯТИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ

4.1. Розрахунок економічної ефективності запропонованої технології відновлення деталі

Економічний ефект визначають із зіставлення наведених витрат на відновлення за базовою і запропованою технологіями:

$$E = \left[(C_1 + E_n K_1) \frac{P_1 + E_n}{P_1 + E_n} - (C_2 + E_n K_2) \right] A,$$

де C_1, C_2 – собівартість відновлення, відповідно за базовим і новим способами, грн.;

K_1, K_2 – питомі капітальні вкладення, необхідні для базового і нового способів відновлення, грн./шт.;

P_1, P_2 – величини, зворотні строкам служби з'єднання, відновленого базовим і новим способами;

E_n – коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, $E_n = 0.15$;

A – програма відновлення, шт.

$$P_1 = \frac{T}{W_1}; \quad P_2 = \frac{T}{W_2}.$$

T – середнє річне напруження, год;

W_1, W_2 – середні міжремонтні ресурси з'єднань, відновлених відповідно базовим і новим способами.

Собівартість відновлення за базовим і новим способами відновлення розраховується за формулою:

$$C = C_{\text{озп}} + C_{\text{дзп}} + C_{\text{сс}} + C_{\text{м}} + C_{\text{тзр}} + C_{\text{ц}} + C_{\text{о}} + C_{\text{вв}} + C_{\text{зв}},$$

де $C_{озп}$ – основна зарплата виробничих робітників, грн.;

$C_{дзн}$ – додаткова зарплата, грн.;

$C_{сс}$ – нарахування за соцстрахом, грн.;

C_m – вартість матеріалів, грн.;

$C_{тзр}$ – транспортно-заготівельні витрати на матеріал, грн.;

$C_{ц}$ – цехові витрати, грн.;

C_o – витрати на утримання обладнання, грн.;

$C_{вв}$ – позавиробничі витрати, грн.;

$C_{зв}$ – загальновиробничі витрати, грн.

Однією з широко застосовуваних технологій відновлення нижніх головок шатунів є заливання з подальшим хонінгуванням у номінальний розмір. Але як показала практика, шатуни ДВЗ ремонту не піддаються і замінюються новими.

Розрахуємо собівартість відновлення головок електроіскровим наплавленням із застосуванням металополімеру.

Основна заробітна платня за запропонованою технологією визначається за формулою:

$$C_{озп} = k_B \cdot T,$$

де k_B – норма часу на відновлення одного шатуна за новою технологією;

T – годинна тарифна ставка слюсаря IV розряду.

Додаткова заробітна плата

$$C_{дзн} = 14,6 C_{озп} / 100$$

Нарахування за соціальним страхуванням

$$C_{сс} = \frac{14(C_{озп} + C_{дзн})}{100},$$

Цехові витрати:

$$C_{ц} = \frac{116,3 C_{озп}}{100}.$$

Витрати на утримання обладнання:

$$C_o = \frac{118,3 C_{озп}}{100}.$$

Загальнозаводські витрати:

$$C_{cc} = \frac{73,7 C_{озп}}{100}.$$

Вартість матеріалу визначаємо за формулою:

$$C_m = k_p \cdot C_e,$$

де k_p – норма витрати електрода на відновлення одного шатуна – 0,009 кг; норма витрати полімерної композиції на відновлення одного шатуна – 0,035 кг.

Враховуючи вищезазначені витрати собівартість відновлення за запропонованою технологією складатиме 296,8 грн.

Економічна ефективність впровадження запропонованої технології

$$E = [400 - (296,8 - 0,15 \cdot 48,13)] \cdot 1000 = 110420 \text{ грн.}$$

4.2. Загальні правила техніки безпеки при виконанні ремонту автотракторних двигунів

При виконанні технологічних процесів ремонту двигунів можуть виникнути наступні забруднення навколишнього середовища.

Забруднення повітряного басейну газами, які виникають при проведенні розбірно-мийних, гальванічних, зварювально-наплавочних, випробувальних робіт, водяними парами з підвищеним складом шкідливих речовин, а також підвищене виділення пилу при проведенні механічної обробки, складально-розбиральних та випробувальних робіт.

З метою захисту атмосфери від промислових відходів в системах вентиляції цехів та дільниць повинні бути встановлені пилові камери і газовідводи. На дільницях з підвищеним виділенням шкідливих газів (зварювально-наплавочним, гальванічним, розбірно-мийний) встановлені пилегазовловлювачі типу «циклон», очищують відходні гази і пил з частинками більше 10мкм на 80-95%, для останнього очищення після «циклонів» використовуються електричні фільтри.

Основні джерела забруднення водних басейнів в умовах виробництва по ремонту двигунів являються забруднені виробничі сточні води, які одержуються як органічним способом, так і неорганічним (хімічним) способом (мийні розчини; розчини електролітів; відпрацьовані мастила, використовуємі для змащування вузлів і двигунів і інші.).

По фізичним властивостям мийні розчини та електроліти мають температуру кипіння порядку 110-120⁰С, мастила 250⁰С, при цьому мають концентрацію хімічних речовин більше 30 г/л.

З метою захисту водних басейнів, діляниці по ремонту двигунів обладнанні спеціальною каналізацією для технічної води, ділянками. Система очищення сточних вод підприємства обладнана динамічними прямоточними відстійниками з трубчатими та пластинчастими фільтруючими елементами.

Пункти приймання двигунів в ремонт обладнанні спеціальними ємностями для зливу відпрацьованого мастила.

В цілому захист навколишнього середовища повинен забезпечується на повному рівні, так як його розташування практично на границі сільського поселення може наносити великі шкідливості екології та здоров'ю людей і посівів.

Таким чином, запропоновані заходи із захисту навколишнього середовища повинні забезпечити необхідний рівень очищення повітряного та водного басейнів при проведенні капітального ремонту ДВЗ.

4.3. Подальші перспектив використання електроіскрового оброблення при відновленні деталей автотракторної техніки

Електроіскрова обробка металів – це сучасний інноваційний процес, за якого поверхня металу обробляється з використанням електричного розряду. Головна перевага цього методу - висока точність і мінімальний вплив на структуру матеріалу, що відрізняє його від традиційних методів обробки, таких як фрезерування і токарна обробка.

Електроіскрова обробка металів пропонує низку значних переваг, що робить цей метод привабливим для промислового застосування.

Однією з головних переваг ЕІО є його здатність забезпечувати високу точність обробки. Завдяки можливості контролювати параметри процесу, такі як амплітуда і частота розряду, ЕІО дає змогу отримувати деталі з мінімальними відхиленнями і високим ступенем геометричної точності.

На відміну від деяких традиційних методів обробки металів, таких як фрезерування і токарне оброблення, ЕІО забезпечує мінімальний вплив на структуру матеріалу. Це дає змогу виготовляти деталі з мінімальним рівнем деформацій і спотворень.

ЕІО металів може бути успішно застосована до різних типів металів та їх сплавів, а також до інших матеріалів, включно з керамікою і карбідами. Це робить цей метод універсальним і придатним для широкого спектра промислових завдань.

ЕІО має високу енергетичну щільність, що дає змогу проводити обробку з високою швидкістю та ефективністю. Цей метод обробки дає змогу скорочувати час виробництва і підвищувати загальну продуктивність виробництва. Мінімальна необхідність у подальшій обробці. Завдяки високій точності та якості обробки, що досягаються за допомогою ЕІО, часто немає необхідності в додатковій обробці або обробці виробів після процесу обробки. Це дає змогу скоротити час і витрати на виробництво

На відміну від деяких традиційних методів обробки, які можуть призводити до утворення токсичних відходів або забруднення довкілля, ЕІС є відносно екологічно чистим методом. Це зумовлено відсутністю застосування хімічних реагентів і мінімальним утворенням відходів. Таким чином, електроіскрова обробка металів пропонує низку суттєвих переваг, що роблять цей метод привабливим для використання в різних галузях промисловості.

ЕІО має високу енергетичну щільність, що дає змогу проводити обробку з високою швидкістю та ефективністю. Цей метод дає змогу скорочувати час виробництва і підвищувати загальну продуктивність виробництва.

У сучасній промисловості електроіскрова обробка металів посідає важливе місце завдяки своїй високій точності, ефективності та можливості обробки різних матеріалів. Цей інноваційний метод обробки відкриває нові можливості для виробництва високоточних деталей з мінімальним впливом на матеріал і навколишнє середовище. З постійним розвитком технологій і вдосконаленням процесів, електроіскрове оброблення металів продовжить відігравати ключову роль у промисловості, забезпечуючи високі стандарти якості та продуктивності.

4.4. Висновки по розділу 4

За результатами виконання розділу 4 магістерської роботи зроблені наступні висновки:

1. Економічна ефективність впровадження технології відновлення поверхні отвору нижньої головки шатуна складає 110420 грн при програмі ремонту 100 шатунів.
2. Розглянуті загальні правила техніки безпеки при виконанні ремонту автотракторних двигунів.
3. Наведені перспектив використання електроіскрового оброблення при відновленні деталей автотракторної техніки.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

За результатами виконання кваліфікаційної магістерської роботи, яка присвячена підвищенню довговічності шатунів автотракторних шатунів, зроблені наступні загальні висновки:

1. Одним із напрямків роботи підприємства ТОВ «Калита-Нова» є відновлення деталей, в тому числі шатунів автотракторних двигунів.

2. Аналіз основних параметрів шатунів показав, що деталі досягають граничного стану за відхиленням діаметра отвору нижньої та втулки верхньої головок, перекосу та непаралельності осей отворів.

3 Огляд наявних методів відновлення показує, що в більшості випадків технологія ремонту ґрунтується на застосуванні гальванопокрыттів із подальшим точним механічним обробленням.

4. Мікрометражні дослідження засвідчили, що приблизно 62% деталей мають деформовані отвори нижньої головки, про що свідчить зменшення діаметра в площині замків нижньої головки, 5% мають риски та задирки на поверхні отвору. Кількість шатунів з відхиленнями непаралельності осей головок, які потребують правки, становить 28%.

5. Запропоновано відновлювати поверхню отвору нижньої головки шатуна комбінуванням електроіскрового покриття з нанесенням полімерного матеріалу. Відновленню комбінованим покриттям підлягають шатуни з відхиленням діаметра отвору нижньої головки вище 0,2 мм (40%).

6. Розроблений технологічний процес відновлення поверхні отвору нижньої головки шатуна. Доведений економічний ефект від реалізації запропонованого технічного рішення.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://erm.kntu.kr.ua/materiali/pidgotovka.html>
2. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні: Навч. посібник. / П.О. Руденко – К.: Вища школа, 1993. – 414 с.
3. Хітров І.О. Ремонт машин і обладнання: Навч. посібник/ І.О. Хітов, В.С. Гавриш. – Рівне: НУВГП, 2012. – 184 с.
4. Надійність сільськогосподарської техніки: Підручник. Друге видання, перероблене і доповнене / М.І.Черновол, В.Ю.Черкун, В.В.Аудін та ін. / За ред. М.І.Черновол – Кіровоград: КОД, 2010. – 320 с.
5. <https://uk.wikipedia.org/wiki/Шатун>
6. Ремонт автомобілів: Навчальний посібник / Упор. В.Я. Чабанний. – Кіровоград: Кіровоградська районна друкарня, 2007. – 720 с.
7. 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.
8. 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.
9. 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
10. 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.
11. Попович В.В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: Підручник/ В.В. Попович, В.В. Попович. – Львів: Світ, 2006. – 623 с.

12. 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.

13. 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.

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

15. Черновол М.І., Пермьяков О.А., Немировський Я.Б., Шепеленко І.В., Горбулик В.І. Методологія технологічного проектування процесу відновлення деталей // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні: 36. наук. пр. – Харків : НТУ «ХПІ», 2023. № 2 (8) 2023. – С. 10–16.

16. Скобло Т.С. Особливості структурних змін лежить на поверхні тертя // 36. Підвищення надійності відновлюваних деталей машин: – Харків, 1997. – С. 4–10.

17. 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.

18. <https://studfile.net/preview/8896980/page:3/>

19. Боришкевич В. Ю. Комплексна електроіскрова та іонно-плазмова обробка сталі 40X13 : магістерська дис. : 132 Матеріалознавство / Боришкевич Віталій Юрійович. – Київ, 2018. – 94 с.

20. <http://www.tsatu.edu.ua/tsst/laboratoriji-kafedry/laboratorija-zvarjuvannja-i-naplavlennja/elektroiskrova-obrobka-detalej-na-ustanovci-efi-25m/>

21. Сучасний інструмент і машини для інтенсифікації слюсарно-ремонтних робіт: навч. посібник/ І.М. Рибалко, О.В. Тіхонов, О.А. Науменко, І.В. Шепеленко, О.Д. Мартиненко, О.О. Гончаренко, С.В. Лисенко – Харків: «Діса плюс», 2024 – 214 с.

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