

НУБІП України

НУБІП України

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

01.12 – КМР. 1855 “С” 2020.11.25. 009 ПЗ

БУШТАРЕНКО АРТЕМ ДМИТРОВИЧ

2022 р.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

НУБІП України

Факультет (ННІ)

Конструювання та дизайну

УДК 621.431.72

ПОГОДЖЕНО

Декан факультету

Конструювання та дизайну

Завідувач кафедри

Надійності техніки

УДК 621.431.72

ПОГОДЖЕНО

Декан факультету

Конструювання та дизайну

(назва факультету)

ДОВУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

Надійності техніки

(назва кафедри)

Ружицко З.В.

Новицький А.В.

“ ” 2022 р.

“ ” 2022 р.

(підпис)

(ПІБ)

(підпис)

(ПІБ)

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Удосконалення технології відновлення чавунних коінчастих валів
електроконтактним приварюванням сталеві стрічки»

Спеціальність 133 – «Галузеве машинобудування»

Спеціальність

133 – «Галузеве машинобудування»

(код і назва)

Освітня програма «Машини та обладнання сільськогосподарського
виробництва»

Орієнтація освітньої програми ОСВІТНЬО-НАУКОВА

Освітня програма

«Машини та обладнання сільськогосподарського

виробництва»

(назва)

Орієнтація освітньої програми

ОСВІТНЬО-НАУКОВА

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

Д.Т.Н., професор

Ловейкін В.С.

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

(ПІБ)

Гарант освітньої програми

Д.Т.Н., професор

(науковий ступінь та вчене звання)

Ловейкін В.С.

(підпис)

(ПІБ)

Керівники магістерської кваліфікаційної роботи:

К.Т.Н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Банний О.О.

(ПІБ)

Виконав:

Бушгаренко А.Д.

(підпис)

(ПІБ студента)

Виконав:

(підпис)

Бушгаренко А.Д.

(ПІБ студента)

КИЇВ - 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет (ННІ)

Конструювання та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Надійності техніки

(назва кафедри)

к.т.н., доцент

Новицький А.В.

(підпис)

(ПНБ)

“ ” _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Буштаренко Артем Дмитрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність

133 – «Галузеве машинобудування»

(код і назва)

Освітня програма «Машини та обладнання сільськогосподарського
виробництва»

(назва)

Орієнтація освітньої програми

освітньо-наукова

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської роботи: «Удосконалення технології відновлення чавунних
колінчастих валів електроконтактним приварюванням сталевих стрічки»

затверджена наказом ректора НУБіП України від 25 листопада 2020р.
№ 1855 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру

2022.05.015

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи електроконтактне приварювання стрічки
ЕКПС, колінчасті вали ЗМЗ-24.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Виконати аналіз існуючих методів відновлення колінчастих валів.
2. Визначити параметричні залежності експлуатаційних показників в залежності від режимів технологічного процесу відновлення.
3. Розробити математичну модель процесу відновлення і визначити оптимальні технологічні режими.

Дата видачі завдання “15” жовтня 2020 року

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

к.т.н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Банний О.О.

(ПНБ)

Завдання прийняв до виконання

Буштаренко А.Д.

(підпис)

(прізвище та ініціали студента)

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	6
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ, МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	9
1.1 Основні дефекти чавунних колінчастих валів та способи їх усунення	9
1.2 Втомна міцність відновлених чавунних колінчастих валів	15
1.3 Фізичні основи та реалізація процесу електроконтактного приварювання	18
1.4 Установки для відновлення деталей електроконтактним приварюванням	19
1.5 Мета та завдання дослідження	22
Висновки до розділу 1	23
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДО ВІДНОВЛЕННЯ ШИЙОК ЧАВУННИХ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ ЕЛЕКТРОКОНТАКТНОЇ ПРИВАРКИ СТРІЧКИ ЧЕРЕЗ ПРОМІЖНИЙ ШАР	25
2.1 Використання проміжного шару для підвищення якості відновлення чавунних колінчастих валів електроконтактним приварюванням сталевोї стрічки	25
2.2 Вплив основних технологічних факторів процесу електроконтактного приварювання сталевої стрічки на межу витривалості відновлених чавунних колінчастих валів	30
2.3 Модернізація елементів конструкції експериментальної установки 011-1- 02Н «Ремдеталь»	39
Висновки до розділу 2	46
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	47
3.1 Програма експериментальних досліджень	47
3.2 Устаткування для отримання покриттів електроконтактним приварюванням сталевої стрічки	48

3.3. Методика дослідження структури та фазового складу, форми що стоїть при електроконтактному приварюванні сталеві стрічки.....	50
3.3.1. Методика металографічних досліджень покриттів, разовим електроконтактним приварюванням сталеві стрічки.....	50
3.4. Методика триботехнічних досліджень нових та відновлених пар тертя.....	54
Висновки до розділу 3.....	61
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	62
4.1. Результати металографічних досліджень покриттів, утворених електроконтактним приварюванням сталеві стрічки.....	62
4.2. Результати прискорених стендових випробувань чавунних колінчастих валів ЗМЗ-24 на опір втоми.....	66
4.3. Результати триботехнічних випробувань нових та відновлених пар тертя.....	72
Висновки до 4 розділу.....	76
РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА УДОСКОНАЛЕНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ЧАВУННИХ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ ЗМЗ-24 І ОЦІНКА ЙОГО ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.....	78
5.1. Розробка технологічного процесу відновлення чавунних колінчастих валів.....	78
5.2. Розрахунок економічної ефективності впровадження удосконаленого технологічного процесу у виробництво.....	85
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	91
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	93
ДОДАТКИ.....	96

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

НУБІП України

ЕКПС – електроконтактне приварювання стрічки

КВ – колінчастий вал

ККД – коефіцієнт корисної дії

ЕКП – електроконтактне приварювання

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВСТУП

Відомо, що ресурс двигуна значною мірою визначається станом шийок колінчастого валу (КВ), зношування яких призводить до виходу двигуна з ладу.

В даний час розроблені різноманітні способи відновлення шийок чавунних КВ, при цьому жоден із них за надійністю не відповідає вимогам нормативно-технічної документації. Це пов'язано і з тим, що залишкова межа витривалості відновлених КВ має бути не нижчою за 0,85 від рівня нових, тоді як у зношених чавунних КВ вона становить 0,77-0,89. Отже, при відновленні КВ необхідно застосовувати технології, що забезпечують як збереження, а й підвищення ресурсу.

Одним з перспективних способів відновлення КВ є електроконтактне приварювання стрічки (ЕКПС), однак він не отримав достатньо широкого виробничого застосування для відновлення чавунних КВ з низки об'єктивних та суб'єктивних причин, у тому числі через недосконалість технології.

В умовах невеликих ремонтних підприємств та виробничих ділянок для ремонту та відновлення деталей різної номенклатури розробка ефективної технології відновлення чавунних КВ залишається актуальним завданням.

Мета дослідження. Удосконалення технологічного процесу відновлення чавунного КВ ЕКПС із застосуванням в якості проміжного шару порошкових матеріалів.

Об'єкт дослідження. Технологічний процес відновлення чавунних КВ 24-1005011-20 двигуна ЗМЗ.

На захист виносяться:

- математична модель процесу ЕКПС, що дозволяє встановити залежність межі витривалості відновлених чавунних КВ від параметрів режиму приварювання;

- особливості формування структур та фаз на поверхні чавунних КВ при відновленні ЕКПС;

- методика оцінки характеристик небезпечного перерізу шийк КВ на основі втомних зламів;

- результати прискорених стендових випробувань на втому зношених та відновлених чавунних КВ;

- результати дослідження триботехнічних властивостей пар тертя, одержаних нанесенням на поверхню зразків покриттів методом ЕКПС;

- результати оцінки міцності зчеплення покриттів, утворених ЕКПС;

- удосконалений технологічний процес відновлення чавунних КВ методом ЕКПС із проміжним шаром.

Наукова новизна роботи:

- отримано математичну модель, що адекватно описує залежність межі витривалості від параметрів режиму ЕКПС;

- визначено структуру, фази та фізико-механічні властивості шару, отриманого ЕКПС на поверхні шийок чавунних КВ,

- визначено межі витривалості зношених та відновлених методом ЕКПС чавунних КВ на основі прискорених стендових випробувань на втому;

- встановлені триботехнічні властивості пар тертя, отриманих нанесенням на поверхню зразків покриттів методом ЕКПС.

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота складається із вступу,

п'яти розділів, загальних висновків, списку літератури та додатків. Робота

викладена на 95 сторінці машинописного тексту, включає 13 малюнків та 9 таблиць, список літератури містить 31 найменувань.

1.1 Основні дефекти чавунних колінчастих валів та способи їх усунення

Колінчастий вал є однією з найбільш відповідальних та складних деталей двигуна. У процесі експлуатації під впливом періодичних навантажень [1, 2, 3] від сил тиску газів, сил інерції та їх моментів, сили тертя змінюються фізико-механічні властивості та геометричні параметри КВ, що спричиняє втрату його працездатності. Нерівномірність навантажень веде до нерівномірного зносу шийок, отже, при відновленні працездатності КВ першому етапі необхідно усунути дефекти мікро- і макрогеометрії корінних і шатунних шийок. У міру збільшення терміну служби КВ різко зростає частка відмов або порушень працездатності, пов'язаних з дефектами втомі, поява яких обумовлено накопиченням пошкоджень. Тому на другому етапі необхідно не тільки відновлювати геометрію шийок, а й підвищувати межу витривалості зношених КВ.

Основними дефектами КВ є:

- знос шийок вище допустимого значення - 42-52%, задираки та скопювання (аварійний знос) шийок - 9% [4 - 7] (рис. 1.1, а);
- тріщини на поверхнях шатунних та корінних шийок, жолобників, кромок масляних каналів - 3-16 % [8, 9, 10] (рис. 1.1, б);
- злам валів - 2-8%, як правило, руйнування мають втомний характер [11-16] (рис. 1.1, в);
- вигин валів вище за допустиме значення - 8-35 %, проявляється в результаті зміни зазорів між валом і корінними вкладишами внаслідок нерівномірного зносу.



Рисунок 1. - Дефекти КВ.

а - природний знос; б - тріщини; в - злісм

Аналіз стану капітально відремонтованих двигунів показує [17], що вони комплектуються новими колінчастими валами в середньому на 10%, на 75% – шліфованими під ремонтні розміри та на 15% – відновленими.

Дослідженню різних способів відновлення зношених КВ метсдали нарощування металопокриттів присвячені роботи В. І. Чернованова, Ф. Х.

Бурумкулова, В. М. Аскіназі, Д. Г. Вадивасова, Н. І. Доценко, Н. Н. Дорожкіна,

В. І. Казарцева, В. М. Кряжкова, І. Є. Ульмана, І. І. Фруліна та ін. поширення.

Класифікація найвідоміших способів представлена на рис. 1.2.

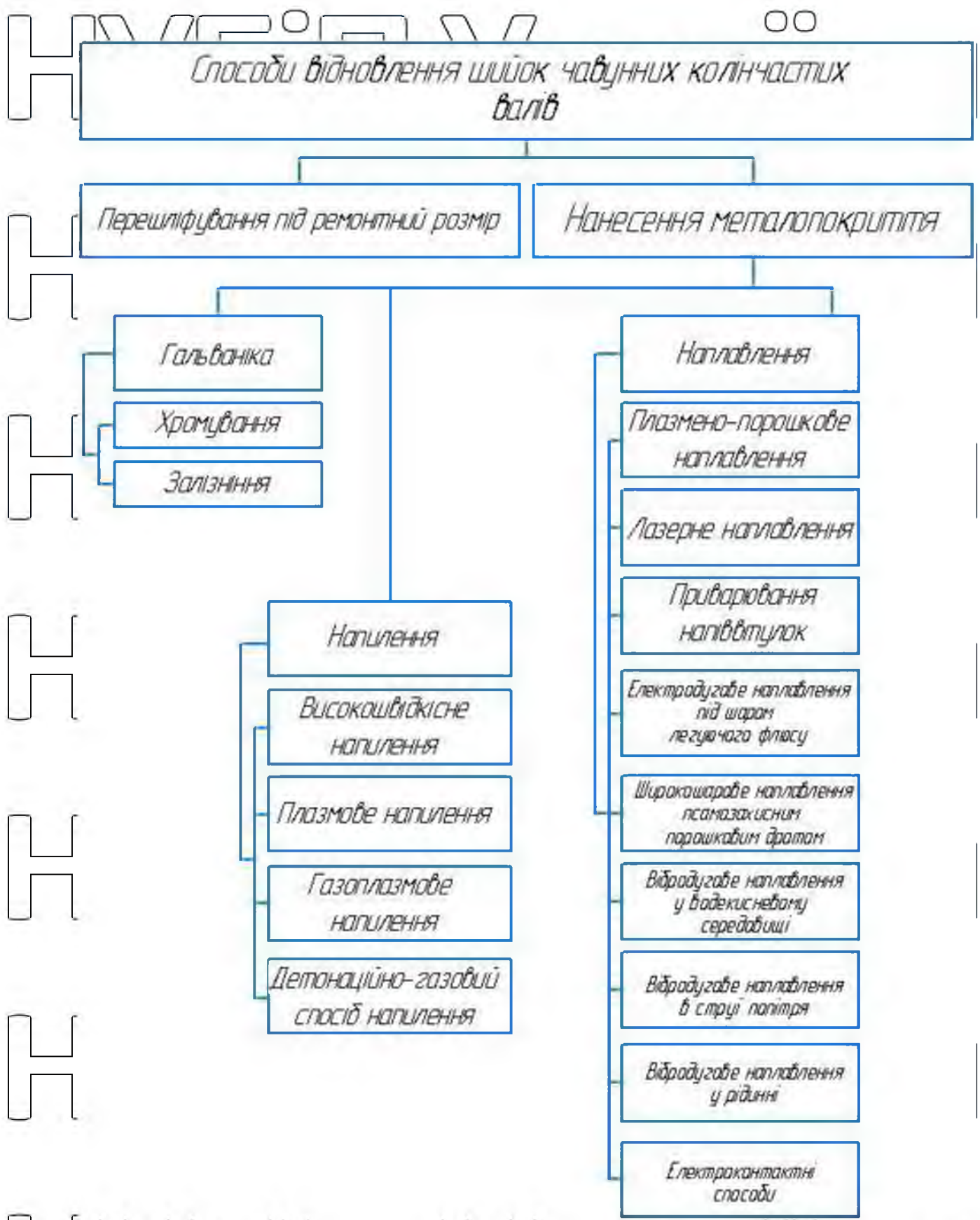


Рисунок 1.2- Класифікація способів відновлення шийок чавунних КВ

Спосіб відновлення КВ перешліфуванням під ремонтний розмір [18, 19] відрізняється простотою та низькою вартістю. Недоліки способу збільшення питомого навантаження на шийки внаслідок зменшення їх діаметра і відповідно збільшення інтенсивності зношування та руйнування КВ; Вибір необхідного ремонтного розміру лімітується наявністю необхідних вкладишів. За відсутності необхідних вкладишів, що на практиці зустрічається нерідко, шийки перешліфуються під вкладиші, діаметр яких менший за необхідний розмір на два і більше ремонтних інтервалів, внаслідок чого значно скорочується загальний ресурс. В результаті механічної обробки суттєво перерозподіляються залишкові напруги. Замість залишкових напруг стиснення можуть утворюватися напруги розтягування, які сприяють виникненню втомних тріщин.

Одним з відомих способів відновлення КВ металопокриття є гальванічний (хромування, залізнення) [20, 21]. Переваги способу хромування: висока твердість покриття (50 ІКС); низький коефіцієнт тертя; висока антикорозійна стійкість та зносостійкість (в 2 рази вище, ніж у сталі 45). Недоліки: низька продуктивність (величина максимального покриття на бік не більше 0,2-0,25 мм), оскільки зі збільшенням покриття значно знижується твердість та зростає нерівномірність відкладення хрому; Висока вартість процесу.

Переваги способу залізнення: простий і дешевий електрод, його висока здатність, що розсіює; низька вартість технологічного процесу. Недоліки: значною мірою знижується втомна міцність металу; ККД ванни не перевищує 10-12%; низька швидкість осадження – 280-350 мкм/год; невелика міцність зчеплення з основою – 60-80 МПа; виникнення залишкових розтягуючих напруг - 100-300 МПа; висока вартість процесу; необхідність використання очисних споруд.

При високошвидкісному напиленні [22] відбувається нагрівання порошкових частинок та їх нанесення зі швидкістю 2000 м/с на поверхню деталі.

Спосіб дозволяє отримувати покриття товщиною від 50 мкм до декількох міліметрів і забезпечує їхнє щільне прилягання, невелику пористість і високу

твердість. Недоліком є значна вартість обладнання, що ускладнює його застосування у ремонтному виробництві.

При відновленні плазмовим напиленням [23] здійснюються незначні тепловкладення, що суттєво не знижує межу витривалості КВ. Спосіб забезпечує рівень межі витривалості щодо нового КВ, що дорівнює 0,82, а у разі застосування зміцнювальних технологій, що значно його перевищує. Недоліком способу є зниження межі витривалості при підготовці поверхні шийок під відновлення через порушення мікро-і макрогеометрії гальтельних переходів (зменшення радіусу, зниження чистоти поверхні).

Газоплазмове напилення - процес розпилення нагрітого до рідинного або в'язкотекучого стану диспергованого матеріалу швидкієм газовим струменем [24]. За дотримання технології твердість покриттів становить 20-65 ІКС. Як тонкошарові покриття (десяти частки міліметра), і покриття товщиною 2-3 мм наносяться швидко і точно. Недоліки: відшарування та здуття покриття через недостатню адгезію до основного металу, тріщини, пористість та неоднорідність структури.

Детонаційно-газовий спосіб [25] напилення є одним із видів газотермічного нанесення покриттів, що використовують енергію горючих газів у суміші з киснем та стисненим повітрям. У цьому досягається висока адгезія покриття (80-250 МПа); низька пористість (0,5-1%); відсутність деформації деталі. Недоліки: низька продуктивність та недостатня надійність обладнання.

Найбільш ефективним способом відновлення КВ є електродугова металізація [26, 27]. Переваги способу є: висока продуктивність (20 кг/год); невеликі тепловкладення в основу деталі; втомна міцність КВ не знижується; низька собівартість (у 2 рази нижче за наплавлення); низька енергоємність (9 кВт); простота та технологічність, можливість неодноразового ремонту; специфічна структура покриття, що забезпечує маслостійкість і високу задиростійкість. Недоліки: - низька міцність зчеплення покриття з основою; необхідність ретельної підготовки поверхні перед напиленням.

Спосіб плазмово-порошкового наплавлення [28, 29], полягає в одночасному подачі порошку з живильника транспортуючим газом і струмоведучого дроду. При цьому утворюється шар завтовшки до 5 мм за один прохід. Наплавлення виконується по гвинтовій лінії з одночасними коливаннями плазмотрона, які сприяють регулюванню тепла введення в деталь. Недоліки: складні умови роботи (шум та інтенсивне ультрафіолетове випромінювання), висока вартість обладнання та великі експлуатаційні витрати.

При лазерному напавленні [30, 31] створюється монолітний шар, який має міцний металургійний зв'язок з основою; локальність процесу нагрівання дозволяє здійснювати напавлення різноманітних поверхонь. Недоліки: висока собівартість відновлення; необхідність обслуговування персоналом найвищої кваліфікації.

Значне зменшення нагрівання деталі досягається при використанні способу приварювання напіввтулок [32]. Технологічний процес простий і забезпечує технічну можливість відновлення КВ за мінімальних витрат; напіввтулки на шийках мають стабільні фізико-механічні властивості по товщині. Недоліки: локальне нагрівання в процесі приварки супроводжується появою внутрішньої напруги, що знижує втомну міцність; нещільне прилягання напіввтулок до шийки призводить до порушення гідродинаміки мастила сполучення, падіння зносостійкості та задиристійкості; появи тріщин та руйнування зварювального шва, що призводить до зриву напіввтулок.

Способи електродугового наплавлення технологічні та забезпечують більш продуктивний процес нанесення покриття порівняно з гальванічними способами. Для відновлення чавунних КВ використовуються електродугова напавка під шаром легованого флюсу, широкошарова напавка самозахисним порошковим дродом, вібродугова напавка у водокисневому середовищі, в струмені повітря дродом, що самофлюсується, в рідинному середовищі дротиками та ін. [33, 34]. Недоліки: зниження надійності та довговічності КВ; інтенсивна теплова дія на матеріал основи викликає зміни фізико-механічних

властивостей; нерівномірність нагріву призводить до виникнення в поверхневих шарах мікротріщин, що знижують міцність втомі.

Аналіз літературних джерел показує [41], що найбільш перспективними є електроконтактні способи приварювання матеріалів, що отримали розвиток завдяки дослідженням

А.В. Поляченко, Ю.В. Клименко, Р.А. Латипова, М.Н. Фархшатова, М.З. Нафікова, П.Т. Бурака та інших учених. Ці способи мають ряд переваг: незначне нагрівання деталі; застосування різних присадних матеріалів; загартування металопокриття в процесі приварювання; відсутність необхідності у захисному середовищі; висока продуктивність процесу.

Як присадочні матеріали для нанесення металевих покриттів застосовують сталеву стрічку і дрот різного хімічного складу або металеві порошки, причому можуть бути використані як однокомпонентні порошки металів і сплавів, так і порошкові суміші.

Більшість вивчених способів відновлення чавунних КВ знижують межу витривалості і тим не забезпечують його нормативний ресурс (0,85), отже, для вибору оптимального способу відновлення необхідно провести аналіз впливу способів на втомну міцність відновлених чавунних КВ.

1.2 Втомна міцність відновлених чавунних колінчастих валів

Результати випробувань на втому нових чавунних КВ двигунів ЗМЗ-53 та ЗМЗ-24 показують, що їх межі витривалості розподілені відповідно в інтервалах 64-122 та 88-121 МПа, а 50 - відсоткові їх значення дорівнюють 92 та 103 МПа [42].

Ремонтні перешліфування чавунних КВ, як випливає з результатів випробувань та аналізу апріорної інформації [43, 44], призводять до зниження їх меж витривалості на 10-25 % та зменшення міжремонтного ресурсу порівняно з доремонтним у 2,5-4,5 рази [45]. Отже, КВ двигунів ЗМЗ-53 і ЗМЗ-24 вже за перших ремонтних перешліфування вимагають проведення зміцнювальної обробки.

Аналіз результатів випробувань чавунних КВ, відновлених різними способами електродугового наплавлення [43-45], показав, що їх відносна межа витривалості коливається в інтервалі значень

$$\sigma_{-1B} / \sigma_{-1H} = 0,5...0,6.$$

Після електролітичного хромування зниження межі витривалості чавунного КВ досягає 10-25% [42], що можна порівняти з втратами при перешифуванні шийок КВ. Можна стверджувати, що сам метод хромування значимо не знижує міцності валів, проте, дозволяє відновлювати шийки КВ

тільки величину одного ремонтного розміру, тобто. на 0,25 мм за діаметром.

Таким чином, обмежена товщина покриття, що наноситься, може бути перешкодою до широкого впровадження даного способу.

Плазмове напилення як «холодний» метод відновлення забезпечує рівень межі витривалості, приблизно

відповідний рівню гранично зношених КВ [42-44], а у разі застосування зміцнювальних технологій [45,46] значно його перевищує. Відновлені КВ двигуна ЗМЗ-24 після граничного зношування плазмовим напиленням порошковою сумішшю за технологією ВНВО «Ремдеталь» мали відносну межу витривалості [42]

$$\sigma_{-1B(Плаз)} / \sigma_{-1H} = 0,77.$$

Використання плазмового напилення з ультразвуковий зміцнюючою обробкою шийок при відновленні забезпечує межу витривалості

$$\sigma_{-1B(Плаз+УЗЗ)} / \sigma_{-1H} = 0,88.$$

Випробування КВ двигунів ЗМЗ-24 (ГАЗ-21, УМЗ-451), відновлених плазмовим напиленням порошковою сумішшю ПГС-4ВМ+ПН73Х18С3Р3+ПН85Ю15 (див. табл, п.1.4 та п.1.6, серія 4) і порошком ПГС-27 (див. додаток 5, 9 серія 5), підтвердили висновок методу відновлення на

межу витривалості валів Отримане зниження межі витривалості відповідно

$$\sigma_{-1B(Плаз+ПГС)} / \sigma_{-1H} = 0,77 \text{ і } \sigma_{-1B(Плаз+ПГС)} / \sigma_{-1H} = 0,68.$$

значною мірою, мабуть, пов'язано з перешліфуванням КВ під відновлення [43, 45].

Випробування КВ ЗМЗ-24, відновлених електроконтактним приварюванням дроту за технологією ВНВО «Ремдеталь» [42], призвели до руйнування по щоках (див. додаток 5, серія 7). Відносна межа витривалості в цьому випадку складала:

$$\sigma_{-1(BOEKTC)} / \sigma_{-1N} = 0,65.$$

Стосовно чавунних КВ спосіб ЕКП дроту вимагає доопрацювання в частині дослідження раціональних режимів зварювання, подальшої термічної обробки для зняття шкідливої залишкової напруженості в зварних стиках та введення спеціальних додаткових методів зміцнення (ПНД, ЕМУ, УЗП та ін.). Розрахункові значення меж витривалості по щоках відновлених ЕКП дроту КВ ЗМЗ-24 демонструють перспективність технології при вирішенні питань про пом'якшення режимів зварювання та зміцнення шийки валу в зоні руйнування.

Проте задля забезпечення нормативного рівня ресурсу капітально відремонтованого двигуна необхідно додаткове зміцнення КВ. Відновлення ЕКП вигідно відрізняється від інших способів можливістю зміцнення отриманого металопокриття у процесі приварювання. Більш м'які режими зварювання і низька залишкова напруженість привареного шару утворюються при ЕКПС через проміжний шар, але це вимагає додаткового експериментального підтвердження.

Напрямки розвитку даного способу:

- продовжити підбір матеріалів та режимів приварювання стрічки для подальшого зниження теплової напруженості КВ при відновленні, яке вплине на зміцнюючу дію, тобто дозволить зберегти залишкову межу витривалості;

- форсувати розробку та виготовлення установок для приварювання стрічки стосовно КВ;

- форсувати дослідження щодо вдосконалення системи підготовки шийок КВ до відновлення сталеві стрічки із запровадженням подвійних

жолобників, вільних від приварювання стрічки. Це також шлях до збереження залишкового моменту опору втомі.

Таким чином, з наведених у п. 1.1, 1.2 способів відновлення найбільш перспективним відновлення шийок чавунних КВ є ЕКПС.

1.3 Фізичні основи та реалізація процесу електроконтактного приварювання

Електроконтактне приварювання є ефективним способом отримання на робочих поверхнях деталей машин та механізмів шарів з необхідними

експлуатаційними властивостями [47-59]. Її відмінністю від електродугових

способів є те, що вона здійснюється у твердій фазі за рахунок деформування присадного матеріалу та поверхневого шару металу деталі, нагрітих методом

електроопору до пластичного стану. Процес приварювання складається з

електромеханічних циклів, що включають притискання матеріалу до поверхні

деталі і нагрівання її короткими імпульсами струму (0,02-0,1 с) великої величини

(до 20 кА). Внаслідок дії одного такого циклу на поверхню деталі приварюється

одичний майданчик. Суцільний шар металу на поверхні деталі утворюється в

результаті приварювання одичних майданчиків із перекриттям сусідніх.

З'єднання привареного шару з основою, рівномірне основному металу, при

електроконтактному приварюванні може бути отримано при різних послідовностях

технологічних параметрів (I , P і t). Для вибору їх оптимального послідовності

необхідно мати чітке уявлення про особливості формування покриття та

з'єднання його з основою.

При відновленні КВ доцільно використовувати як присадний матеріал

стадеву стрічку. Спосіб ЕКПС розроблений та досліджений у ДЕРЖСНПІ

колективом дослідників під керівництвом А.В. Поляченко.

Раніше для відновлення шийок КВ застосовувалися вузькі стрічки, які

наплавлялися з перекриттям по гвинтовій лінії за допомогою ролика, ширина

якого дорівнює ширині стрічки (3 мм). При цьому якість зчеплення

металопокриття з основою складала 50 МПа.

В роботі [60] показано, що при відновленні циліндричних поверхонь легованими сталевими стрічками завтовшки 0,25-0,35 мм на оптимальних режимах міцність зчеплення становить 400-500 МПа. За даними для різних присадних матеріалів, межа витривалості при симетричному згині не перевищує 50% межі витривалості нормалізованої сталі 45.

Одним з перспективних напрямків є спосіб електроконтактного приварювання металопокриттів через проміжний шар з порошкового матеріалу з розплавленням і без розплавлення останнього, що дозволить зменшити втомну довговічність деталей, що відновлюються. Сутність способу ось у чому.

Порошковий матеріал закладається між металевим покриттям та деталлю, через контакт покриття – проміжний шар – деталь пропускаються короткі імпульси струму. Відбувається взаємодія частинок порошкового матеріалу між собою, а також металів поверхонь, що з'єднуються при пластичній деформації за рахунок генерування теплоти в перехідних опорах. Виготовляється обкатка зварювальним роликком по гвинтовій лінії з перекриттям зварних майданчиків. Спосіб дозволяє формувати з'єднання при важкозварюваних матеріалах.

Слід зазначити, що електроконтактне приварювання сталеві стрічки через проміжний шар не знайшло ще широкого застосування для відновлення робочих поверхонь чавунних КВ, так як цей процес недостатньо вивчений стосовно таких деталей. Тому метою є удосконалення технологічного процесу відновлення чавунних КВ ЕКПС через проміжний композиційний шар. До причин, що стримують її застосування, слід також віднести відсутність достатньо надійного універсального обладнання для відновлення та зміцнення деталей ЕКП.

1.4 Установки для відновлення деталей електроконтактним приварюванням

Дослідними заводами «Ремдеталь» розроблено та випущено установки для відновлення деталей електроконтактним приварюванням різних присадних матеріалів [61].

Установка 01-11-022 призначена для електроконтактного приварювання сталеві стрічки та дроту на зношені зовнішні поверхні циліндричних деталей.

Однією з відмінних рис установки є пристрій, що виконує в автоматичному режимі цикл переходів по приварці сталеві стрічки (дроту) до повного закінчення процесу. Обертання шпинделя та переміщення каретки здійснюються за допомогою електродвигуна змінного струму та коробки передач. Регулювання частоти обертання шпинделя та переміщення коробки здійснюється за допомогою важелів управління. Управління зварювальним процесом провадиться з пульта управління. Стиснення зварювальних роликів здійснюється за допомогою пневмоциліндрів та важільних механізмів. Конструкція установки дозволяє відновлювати великогабаритні деталі.

Установка ОКС-12296 призначена для відновлення шийок валів. Використання в установці гідравлічного приводу дозволило забезпечити безступінчасте регулювання частоти обертання шпинделя та швидкості подачі каретки за високої надійності. Є досвід використання установок після модернізації – для відновлення шийок валів приварюванням дроту. Установка забезпечує високу продуктивність, сприяє зниженню витрати присадних матеріалів, дозволяє отримати високу твердість.

Установка 011-1-04 призначена для приварювання латок із листової сталі до ділянок зовнішньої поверхні гільз, що мають кавітаційні руйнування. Також може застосовуватися для відновлення шлицевих ділянок валів. Установка складається з наступних основних вузлів: трикулачкового шпинделя, передньої та задньої бабок, циліндричних напрямних, зварювальної головки та пульта управління. Установка працює в напівавтоматичному режимі та відрізняється високою продуктивністю, забезпечує загартування шару та гарні санітарно-гігієнічні умови праці.

Установка 011-1-05 призначена для відновлення різбових ділянок валів невеликого діаметра. Особливо ефективно її застосування для відновлення різблення корпусів форсунок та штуцерів. Установка має один ролик, що дозволяє забезпечувати швидкий перехід до технології приварювання вільних порошків. Вона складається з обертача, струмомознімача, приводу подачі, зварювальної головки, пневмопінолі, пульта управління, систем охолодження та

пневмоелектрозабезпечення. Установа працює в напівавтоматичному режимі, відрізняється високою продуктивністю, економічною витратою присадного матеріалу, забезпечує мінімальне нагрівання деталі та сприятливі умови праці.

Установа 011-1-06 призначена для відновлення внутрішньої поверхні гільз циліндрів, а також може бути використана для гартування дзеркала гільз.

Вона складається з обертача, приводу подач, зварювальної головки, ходового гвинта, напрямних, пульта управління, переривника зварювального струму та системи пневмоелектрозабезпечення. Установа працює в напівавтоматичному

режимі та відрізняється високою продуктивністю, забезпечує загартування шару та гарні санітарно-гігієнічні умови праці.

Установа 011-1-07 призначена для контактного приварювання сталеві стрічки до зношених поверхонь посадкових поєсів гільз циліндрів двигуна. Вона

складається з обертача, приводу подач, зварювальної головки, переривника зварювального струму та трансформатора. Відновлювані деталі розміщують на

спеціальних розтискних оправках, що монтуються на шпинделі установки.

Посадкові паски відновлюють товщиною 0,4 - 0,6 мм.

Установа 011-1-08 призначена для відновлення внутрішніх поверхонь шатунів, склянок підшипників та ін. Вона складається з наступних вузлів:

обертача, приводу подач, зварювальної головки, переривника зварювального струму та трансформатора. Завдяки охолодженню водою нагрівання та деформація деталей відсутні.

Установа 011-1-10 призначена для відновлення зовнішніх та внутрішніх циліндричних поверхонь чавунних та сталевих деталей, у тому числі склянок підшипників.

Конструкція установки забезпечує швидке переналагодження робочих органів відновлення внутрішніх чи зовнішніх поверхонь деталей.

Завдяки універсальності коефіцієнт завантаження установки в цехах та майстернях становить 0,75-0,8 %. Установа складається з наступних основних

вузлів: обертача, струмомірача, приводу подач, зварювальної головки, пульта управління, систем охолодження та пневмозабезпечення.

Установка 011-1-11 призначена для відновлення поверхонь отворів корпусних деталей. Вона складається з наступних основних вузлів: обертача, приводу подачі, супорта, стійки, зварювальних роликів, пульта управління, ходового гвинта, станини. Особливістю установки є безступінчасте регулювання частоти обертання та швидкості подачі. Товщина шару, що приварюється, відповідає величині зносу деталей, що дозволяє в 2-3 рази знизити витрату присадочних матеріалів і зменшити припуск на механічну обробку. Установка працює у напівавтоматичному режимі.

З серійно випускаються в даний час установок для електроконтактного приварювання найбільший інтерес представляє установка 011-1-02Н Ремдеталь. Вона складається з наступних основних частин: станини, шпинделя, напрямних, каретки, зварювальної головки, пневмопінолі, ходового валика, зубчастої рейки, механізму переміщення каретки, пульта управління, систем охолодження, енергопостачання та пневмопостачання. Як привод використані тиристорні двигуни, що дозволяють в широких межах регулювати частоту обертання шпинделя і швидкість подачі каретки. Обертання шпинделя та переміщення каретки здійснюються від тиристорних електроприводів двигунами постійного струму. Частота обертання шпинделя та подачі регулюється потенціометрами, розташованими на пульті керування. Зварювальні ролики стискаються за допомогою пневмоциліндрів та важільного механізму.

При відновленні шийок КВ на установці 011-1-02Н «Ремдеталь» застосовуються зварювальні ролики збільшеного діаметра (залежно від висоти шийки КВ), що викликає підвищений їх зношування внаслідок перекоосу щодо площини відновлюваної поверхні і призводить до нестабільності процесу приварювання стрічки. Для усунення цього недоліку необхідно провести модернізацію установки.

1.5 Мета та завдання дослідження

З аналізу літературних джерел можна дійти невтішного висновку, що відновлення чавунних КВ методом ЕКП сталевих стрічок з проміжним підшаром матеріалів є перспективним напрямом у створенні зносостійких покриттів.

Однак до цього часу практично не вивчена можливість використання порошкових матеріалів як проміжний шар при ЕКПС для чавунних деталей. Відсутні дані експериментальних досліджень технологічних властивостей приварених металевих стрічок через проміжний шар з порошково-композиційного матеріалу, визначального процесу формування покриття та відповідального за його фізико-механічні властивості, дані про вплив параметрів режиму процесу ЕКПС на формування покриття з цих матеріалів та якість його з'єднання з основним металом, а також про фізико-механічні властивості такого покриття.

Таким чином, метою цієї роботи є вдосконалення технологічного процесу відновлення чавунного КВ ЕКПС із застосуванням як проміжний шар порошкових матеріалів.

З урахуванням мети дослідження, а також особливостей питання, що вивчається, були сформульовані наступні завдання.

1. Теоретично обґрунтувати використання проміжного шару для підвищення міцності з'єднання матеріалів у твердій фазі без плавлення.
2. Модернізувати установку 011-1-02Н для відновлення КВ.
3. Модернізувати стенд для втомних випробувань і провести втомні випробування чавунних КВ типу ЗМЗ-53 з різним технічним станом.
4. Визначити параметри субструктури, напруженого стану та фізико-механічні властивості відновленої поверхні чавунних КВ.
5. Визначити триботехнічні властивості пар тертя і міцність зчеплення стрічки, що приварюється, з поверхнею шийок чавунних КВ, відновлених методом ЕКПС.
6. Удосконалити технологічний процес відновлення чавунних КВ способом ЕКПС через проміжний шар із порошково-композиційного матеріалу та визначити економічну ефективність його впровадження.

Висновки до розділу 1

1. З аналізу літературних джерел обґрунтовано вибір оптимального методу відновлення чавунних КВ.

2. Дана характеристика втомної міцності при різних способах відновлення чавунних КВ.

3. Визначені проблеми та шляхи вдосконалення установок, для процесу відновлення КВ ЕКПС.

4. Визначено мету та поставлено завдання дослідження.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДО ВІДНОВЛЕННЯ ШИЙОК ЧАВУННИХ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ ЕЛЕКТРОКОНТАКТНОЇ ПРИВАРКИ СТРІЧКИ ЧЕРЕЗ ПРОМІЖНИЙ ШАР

2.1 Використання проміжного шару для підвищення якості відновлення чавунних колінчастих валів електроконтактним приварюванням сталеві стрічки

Як було зазначено, ЕКПС відбувається за рахунок розплавлення поверхні
деталі і стрічки, а результати їх пластичної деформації (дифузійні процеси) під

час проходження імпульсу струму I , кА, потужністю $Q = \eta U I t_M$ кДж, де η - кКД

процесу ЕКП, % U - напруга, В; t_M - тривалість імпульсу струму, під тиском
стиснення P , кН.

При ЕКП присадного матеріалу одночасно проводиться загартування
проточною водою, що забезпечує швидкість охолодження ω , °С/с.

Сукупність цих параметрів визначають температуру T у зоні проходження
імпульсного струму, швидкість пластичної деформації $\dot{\epsilon}$ її величину ϵ .

Якщо між основою (деталлю) та стрічкою ввести компактний порошковий
матеріал із меншою температурою плавлення (рис. 2.1), то з'єднання матеріалів
відбудеться при менших тепловкладеннях, що сприятливо вплине на втомну
міцність відновлених чавунних КВ.

З'єднання стрічки, що приварюється, з основою через проміжний шар
відбувається в твердій фазі без розплавлення поверхонь. Проміжний шар активує
дифузійні процеси, в результаті яких можна отримати зварні з'єднання з високою
міцністю зчеплення при нижчій температурі зварювання, менших тиску та часу
витримки.

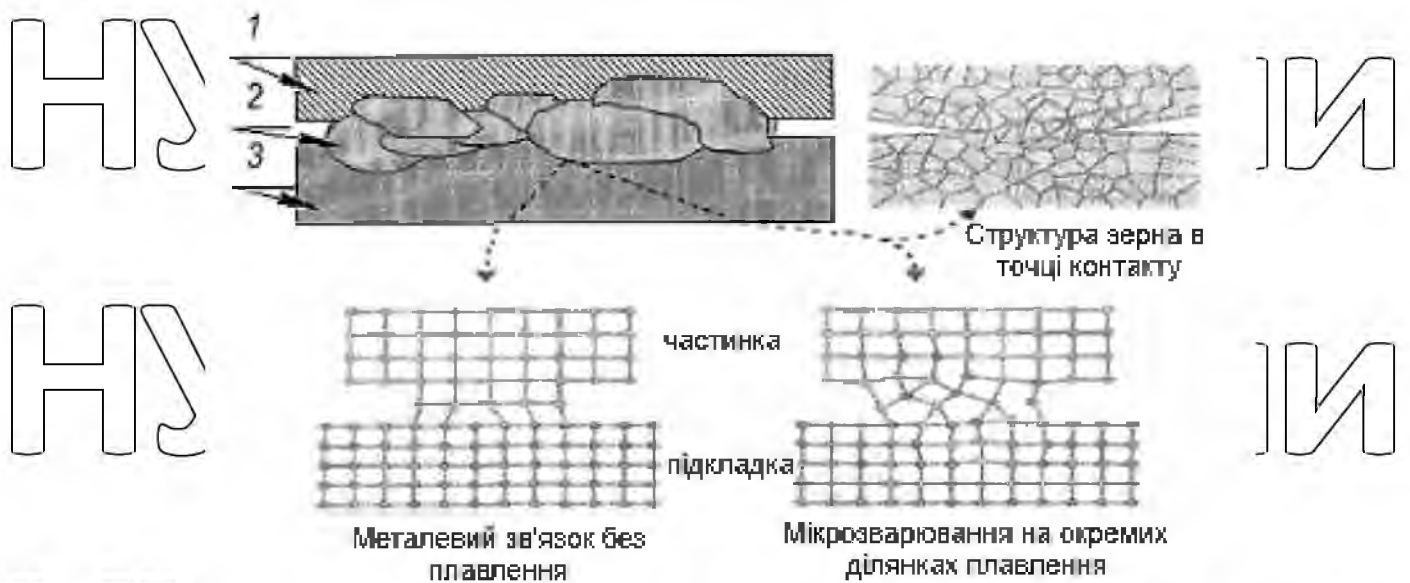


Рисунок 2.1 – Схема процесу взаємодії проміжного шару з поверхнею деталі та стрічки:

1 - стрічка; 2 - проміжний порошковий шар; 3 - деталь

Як було встановлено В. І. Чорноівановим, Е. С. Каракезовим, Б. А. Молчановим та Р. А. Латиповим [62], залежно від T і β у зоні з'єднання утворюються (рис. 2.1):

- 1) міжатомні зв'язки на окремих ділянках або по всій площі контакту, а релаксація напруг проходить до ступеня, необхідного для збереження зв'язків, що утворюються;
- 2) загальні зерна або нові фази (за наявності в зоні з'єднання загальних зерен зварні з'єднання можуть мати високу пластичність і в'язкість, а при вмісті нових фаз залежати від властивостей цих фаз);
- 3) міжатомні зв'язки, які частково або повністю руйнуються залишковими розтягуючими напругами після припинення дії стискаючих напруг, що врівноважуються.

Таким чином, можна припустити, що при зварюванні твердих сплавів введення проміжних порошкових матеріалів дозволить вирішити два завдання. По-перше, знизити зварювальний тиск і температуру нагрівання, так як згладжування мікронерівностей в даному випадку вже відбувається не між

твердими сплавами, а між твердим і пластичним сплавом метал-прокладки. По-друге, проміжний порошковий матеріал активує процеси взаємної дифузії між проширком, поверхнею деталі та стрічки. За даними [63], при приварюванні твердих сплавів з проміжним матеріалом проміжний шар сприяє усуненню або зменшенню термічної напруги.

На рис. 2.2 представлені залежності міцності на зріз τ з'єднання привареного шару з основою від параметрів I, t, P [64].

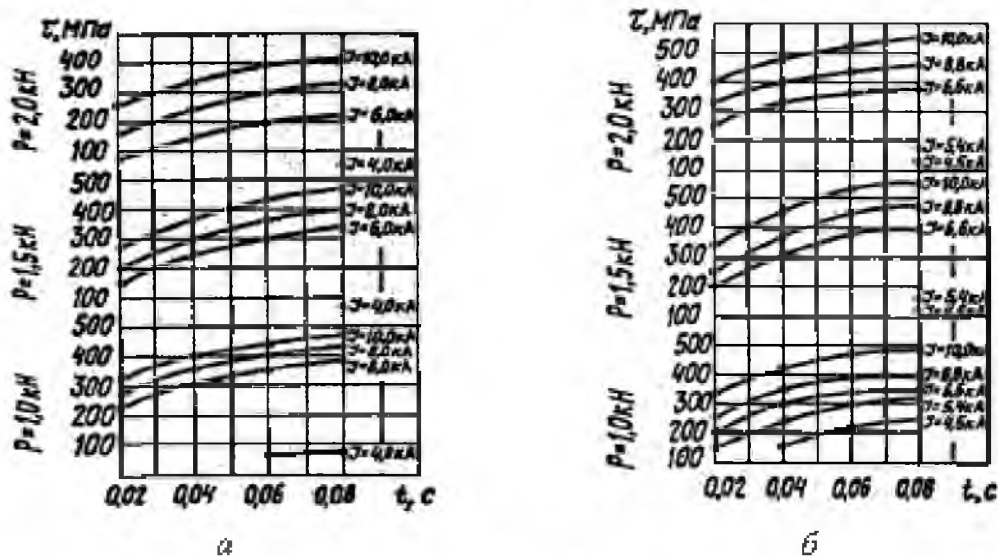


Рисунок 2.2 - Залежність $\tau(I, t, P)$ при ЕКП низьковуглецевої сталі до сталі 45 (а) та бронзи БрКМц 3-1 до чавуну СЧ15-32 (б)

Як випливає з рис. 2.2 в області досліджених значень параметрів ЕКП - I, t, P для кожного зусилля стиснення P існують мінімальні значення імпульсу струму і його тривалості, при яких можна отримати з'єднання, що володіють високою міцністю на зріз. Причому для з'єднання низьковуглецевої сталі зі сталлю 45 (рис. 2.2, а) при однакових значеннях імпульсу струму та його тривалості, ще дорівнює 0,02, зі зростанням тиску міцність зчеплення на зріз падає, а для з'єднання бронзи БрКМц 3-1 з чавуном СЧ15-32 практично залишається постійною (рис. 2.2, б).

У межах розглянутих завдань підвищення тиску стиснення не призводить до збільшення міцності з'єднання. Зі зростанням тривалості імпульсу струму при різних значеннях імпульсного струму та зусиль притискання міцність зчеплення

покриття з основою монотонно зростає. Отже, для кожного поєднання приварюваних матеріалів існує область режимів, в якій забезпечується отримання з'єднання із заданими характеристиками міцності.

Досвід експлуатації КВ, відновлених різними методами, показує, що міцність з'єднання на зріз вище за 80 МПа забезпечує працездатність металопокриття [65].

На думку Е. С. Каракозова [66] прошарки з нікелю та сплаву монель знижують температуру приварювання, тому є оптимальними. Прошарок із сплаву системи М-Сі необхідно додатково легувати зміцнюючими елементами.

Надпластичні прошарки дозволяють максимально локалізувати пластичні деформації поблизу контактних поверхонь, тим самим активізувати процес утворення з'єднання в умовах трифазної взаємодії [67]. Порошкові прошарки дозволяють зменшити вимоги до якості підготовки поверхонь і в деяких випадках знизити температуру процесу. Крім цього, вони перешкоджають утворенню інтерметалідів при приварюванні різнорідних матеріалів і знижують рівень залишкових напруг.

Для прошарку використовуються фольга або порошкові суміші з температурою плавлення нижче, ніж у матеріалів, що зварюються. Проміжний шар може складатися з одного або кількох матеріалів, нанесених у вигляді суміші або кількох шарів. Багатошарові прокладки (два і більше шарів) дозволяють компенсувати надмірні термічні напрути, що виникають при зварюванні різнорідних матеріалів, за рахунок правильного їх підбору, послідовності їх чергування та товщини елементів прошарку.

У роботах [68, 69] наведено порівняльний аналіз властивостей та можливі варіанти застосування проміжних шарів на основі різної фольги, покриттів та порошоків. Відзначено, що важливою перевагою порошкових проміжних прокладок є можливість підбору їх складу таким чином, що він відповідатиме хімічному складу матеріалів, що зварюються. А це, крім міцності, дозволить отримувати сполуки, які мають електрфізичні властивості, аналогічні властивостям матеріалів, що зварюються.

Автори роботи [70] встановили, що при використанні прошарку з нікелю, пермалою (50 % М), монельметалу (80 % М-Сі) та тришарових Сі-№ з збільшенням межі плинності матеріалу прошарку від 500 до 1 600 МПа, міцність з'єднання зростає від 260 до 430 МПа.

У роботах [71, 72] показано, що застосування порошку у вільно насипаному вигляді як проміжну прокладку не забезпечує стабільності характеристик зварних з'єднань. Оптимальним є пориста стрічка, яка отримується прокаткою ультрадисперсних порошків металів. При цьому її активність у процесі зварювання аналогічна активності порошку у вільно насипаному вигляді.

Попередні дослідження показали, що температура плавлення порошкових матеріалів, що використовуються як проміжний шар, повинна лежати в інтервалі 850-1150 °С. З метою зменшення впливу температурного циклу ЕКПС на експлуатаційні властивості деталі процес необхідно здійснювати в інтервалі температур 0,7-0,95 Tпл порошкового матеріалу, що використовується як проміжний шар.

При відновленні деталей ЕКПС доцільно поєднувати процес нанесення покриття з термообробкою, охолодженням зони з'єднання покриття проточною водою. Температура нагрівання порошкового матеріалу повинна дорівнювати або вище загартованої температури стрічки.

Вищевикладеним вимогам відповідають проміжні шари: нікелеві, мідно-цинкові, мідно-нікелеві тощо, які забезпечують високу міцність з'єднання за мінімального опору деформування. При цьому властивості отриманого з'єднання покриття - деталь великою мірою залежать від хімічного складу порошкового матеріалу, який застосовується як проміжний шар, а також сполучної речовини, необхідної для закріплення частинок порошку на поверхні металевої стрічки.

Досвід відновлення деталей ЕКПС показав, що як сполучний матеріал можна використовувати акриловий лак, індустриальне масло, технічний вазелін або інші подібні матеріали. До сполучних речовин у паєтоподібних прошарках пред'являється ряд вимог: у процесі приварювання вони не повинні окислювати

проміжний шар і поверхні, що з'єднуються, при вигоранні не залишати на поверхні сажистого залишку, а продукти горіння не повинні бути токсичними.

На підставі проведеного аналізу та результатів попереднього експерименту можна зробити висновок, що використання проміжного шару при ЕКПС на сталеві або чавунні деталі дозволить істотно знизити вплив термомеханічного циклу на метал деталі і, отже, підвищити її експлуатаційні характеристики при динамічних навантаженнях.

На підставі викладеного видно, що потрібно провести дослідження властивостей приварених металевих покриттів через проміжний шар порошкового матеріалу, встановити вплив параметрів режиму ЕКП стрічки на формування покриття з даних матеріалів і визначити якість з'єднання і фізико-механічні властивості покриття.

2.2. Вплив основних технологічних факторів процесу електроконтактного приварювання сталеві стрічки на межу витривалості відновлених чавунних колінчастих валів

Метою цих досліджень була розробка математичної моделі зв'язку межі витривалості відновлених чавунних КВ зі статистично значущими факторами процесу ЕКПС та їх взаємним впливом. Для отримання математичної моделі потрібно вибрати параметр оптимізації. Від правильного його вибору значною мірою залежить достовірність і можливість практичного використання отриманих результатів [73-76].

Як параметр оптимізації прийнята межа витривалості відновлених валів, що відповідає наступним вимогам.

змінюється за будь-якої зміни (комбінації) факторів, що визначають працездатність КВ;

- є інформаційним параметром, що всебічно характеризує працездатність;

- як параметр оптимізації має фізичний сенс, тобто має можливість досягнення корисного результату певної властивості;

- є статистично ефективним параметром, тобто вимірюється з найбільшою точністю, що дозволяє скоротити до мінімуму дублювання дослідів;

- є однозначним параметром, тобто максимізує або мінімізує лише одну властивість процесу.

За фактори, що варіюються, та впливають на параметр оптимізації, виходячи з умови обов'язкової можливості їх регулювання, незалежності та однозначності, приймаються: потужність джерела теплоти, зусилля стиснення зварювальних роликів, швидкість охолодження.

Межі зміни факторів визначаються так, щоб забезпечувалася умова фізичної реалізації змінних чинників.

Зв'язок параметра оптимізації Y з факторами процесу X_1, X_2, X_n в загальному вигляді записується [75]:

$$Y = \ln(X_1, X_2, \dots, X_n). \quad (2.1)$$

Вибрані фактори процесу повинні відповідати таким вимогам:

всі керовані фактори, тобто дозволяють встановлювати необхідне значення і підтримувати його постійним протягом досвіду;

- для всіх факторів виконується умова сумісності, тобто така умова, за якої можливий їхній взаємний вплив не викликає порушення процесу ЕКП;
- всі фактори незалежні, тобто мають можливість їх встановлення на будь-якому рівні незалежно від рівнів інших факторів;
- всі чинники однозначні, тобто є функцією інших;
- всі чинники безпосередньо впливають на параметр оптимізації;
- точність встановлення граничних значень факторів є максимально високою.

В експеримент для кожного фактору включаються лише два рівні: верхній та нижній. Оскільки фактори процесу неоднорідні і мають різні одиниці виміру, а числа, що виражають величини факторів, мають різні порядки, їх призводять до єдиної системи обчислення шляхом переходу від дійсних значень факторів до кодованих за формулою [75]

$$X_i = \frac{2(\ln x_i - \ln x_{i\max})}{\ln x_{i\max} - \ln x_{i\min}} + 1, \quad (2.2)$$

де X_i – кодоване значення і-го фактора,

$\ln x_{i\max}$ – верхній рівень і-го фактора;

$\ln x_{i\min}$ – нижній рівень і-го фактора.

Основний рівень для кожного фактора визначається із співвідношення.

$$x_{i\text{оос}} = \frac{x_{i\min} + x_{i\max}}{2}. \quad (2.3)$$

Інтервал варіювання визначений для кожного фактора згідно [75] становитиме.

$$\Delta x_i = \frac{x_{i\max} - x_{i\min}}{2}. \quad (2.4)$$

Вводиться умовне позначення верхнього, нижнього та основного рівнів фактора відповідно: +1, -1, 0. При побудові плану матриці планування експерименту цифри опускаються та пишуться лише їхні знаки «+» або «-».

Потім будується план матриці планування експерименту як таблиці, у рядках якої записуються дані дослідів, в стовпцях - чинники (у кодах «+» і «-») з реалізацією їх можливих поєднань. Усі точки плану для реалізації всіх можливих поєднань рівнів факторів визначаються за формулою

$$N = 2^k, \quad (2.5)$$

де N - загальна кількість різних точок у плані;

2 - число рівнів,

k - загальна кількість факторів ($k = 3$ - для межі витривалості).

Щоб отримати повний план матриці планування для підрахунку всіх коефіцієнтів, табл. 2.2 додається ще один стовпець – фіктивна змінна x_0 з метою оцінки вільного члена b_0 . Значення x_0 приймається у всіх рядках однакове, що дорівнює +1.

Для оцінки коефіцієнтів взаємодії факторів у табл. 2.2 вводяться стовпці з різноманітними комбінаціями їх творів, що дозволяють оцінити ефекти взаємодії.

Після побудови плану матриці планування перевіряються її властивості [75]:

- симетричність щодо центру експерименту - алгебраїчна сума елементів стовпця кожного фактора повинна дорівнювати нулю, крім стовпця, що відповідає вільному члену b_0 , тобто

$$\sum_{v=1}^N i_{i,v} = 0, \quad (2.6)$$

де N - число різних точок плану матриці,

v - номер точки плану;

i - номер фактора.

- нормування - сума квадратів кожного стовпця дорівнює числу точок плану матриці, тобто

$$\sum_{v=1}^N X_{i,v}^2 = N; \quad (2.7)$$

- ортогональність - сума рядкових планів матриці будь-яких двох стовпців дорівнює нулю, тобто

$$\sum_{v=1}^N X_{i,v} X_{j,v} = 0, \quad (2.8)$$

де j - комбінація факторів у v -й точці, $i \neq j$.

Середнє значення показника параметра оптимізації визначається за реалізацією паралельних спостережень за формулою [75]

$$Y_v = \frac{\sum_{j=1}^m Y_{v,j}}{m}, \quad (2.9)$$

де Y_{vp} - середнє арифметичне ш дослідів у точці з номером v ;

v - рядок плану матриці планування;

$Y_{v,j}$ - дійсне значення показника параметра оптимізації;

m - число паралельних спостережень у кожній точці.

Для оцінки відхилення показника параметра оптимізації від середнього значення обчислюється дисперсія відтворюваності за даними m паралельних спостережень в кожній точці за формулою [75]

$$S_v^2 = \frac{\sum_{j=1}^m (Y_{vcp} - Y_{v,j})^2}{m-1}, \quad (2.10)$$

де S_v^2 - дисперсія у v -й точці;

Y_{vcp} - середнє арифметичне значення показника параметра оптимізації в t

паралельних дослідах у точці v ;

$Y_{v,j}$ - значення параметра оптимізації у v -й точці;

j - порядковий номер паралельного досвіду у цій точці плану матриці;

$m-1$ - число паралельних спостережень у точках плану матриці.

Отримані значення S_v^2 сумуються за поточними номерами точок плану матриці і знаходиться максимальне значення дисперсії. Потім перевіряється однорідність дисперсії. Для перевірки гіпотези однорідності використовується критерій Кохрена [75] тобто

$$G = \frac{S_{v \max}^2}{\sum_{v=1}^y S_v^2} \quad (2.11)$$

де G - критерій Кохрена;

$S_{v \max}^2$ - максимальна дисперсія в v -й точці;

$\sum_{v=1}^y S_v^2$ - сума всіх дисперсій

По отриманому значенню перевіряється гіпотеза про відтворюваності вимірювань. Для цього задається рівень значущості $\alpha = 5\%$, визначається число ступенів свободи, знаходиться табличне значення критерію Кохрена $G_{кр}$ [76] при відповідних степенях свободи. Якщо розрахункове значення G виявляється менше знайденого табличного значення $G_{кр}$, то гіпотеза про однорідність дисперсій та відтворюваність результатів приймається. Якщо перевірка дає негативний результат, необхідно збільшити кількість паралельних дослідів.

На основі аналізу робіт О. В. Поляченко, Р. А. Латипова, М. Н. Фархшатова, Р. Н. Сайфулліна, Н. І. Бурака та однофакторних експериментів встановлено, що основний рівень та інтервали варіювання факторів мають значення, наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Досліджувані фактори в дійсних та кодованих значеннях

Фактор та одиниця вимірювання	Кодове позначення	Інтервал варіювання	Рівні варіювання натуральні			Рівні варіювання кодові		
			Верхній	Основний	Нижній	Верхній	Основний	Нижній
Q, кДж/с	X ₁	0,028	0,15	0,122	0,094	+1	0	-1
P, кН	X ₂	0,5	1,8	1,3	0,8	+1	0	-1
ω , °C/c	X ₃	450	1350	900	450	+1	0	-1

Результати багатфакторного експерименту представлені у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – План матриці планування експерименту

Номер точки плану	Значення факторів в кодових позначеннях	Комбінація творів факторів у кодових позначеннях	Справжнє/кодоване значення показника оптимізації
-------------------	---	--	--

	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁ X ₂ X ₃	Y ₁	Y ₂	Y ₃	\bar{Y}
1	+	-	-	-	+	+	+	-	105,3/4,65 6	105,8/4,66 1	104,1/4,65 4	105,1/4,65 4
2	+	+	-	-	-	-	+	+	84,1/4,432	85,6/4,449	83,7/4,427	84,5/4,436
3	+	-	+	-	-	+	-	+	100,2/4,60 7	101/4,615	100,4/4,60 9	100,5/4,61 0
4	+	+	+	-	+	-	-	-	76,2/4,333	78,2/4,359	76,1/4,332	76,8/4,341
5	+	-	-	+	+	-	-	+	103,7/4,64 1	103,2/4,63 6	102,6/4,63 0	103,1/4,63 6
6	+	+	-	+	-	+	-	-	80,1/4,383	80,2/4,384	83/4,418	81,1/4,395
7	+	-	+	+	-	-	+	-	94,8/4,551	95,3/4,557	94,4/4,547	94,8/4,552
8	+	+	+	+	+	+	+	+	71,1/4,264	71,9/4,275	74,7/4,313	72,6/4,284

де \bar{Y} - межа витривалості.

Дисперсію відтворюваності за даними трьох паралельних спостережень у кожній точці плану підсумовували ($\sum S_v^2 = 0,00159$) та знаходили

максимальне значення за поточними номерами точок плану ($S_{v_{\max}}^2 = 0,00067$).

Перевірку однорідності дисперсії проводили за критерієм Кохрена. Табличне значення критерію $G_{кр} = 0,5157$, при рівні значимості $q = 5\%$, степенях

свободи $V_{1b} = 2$ і $V_{2b} = 8$. Розрахункове значення критерію Кохрена склало $G = 0,42153$. Розрахункове значення критерію виявилось меншим за табличний ($G = 0,42153 < G_{кр} = 0,5157$), отже, гіпотеза про однорідність дисперсій приймалася.

Середня арифметична дисперсія всіх різних точок плану матриці або

дисперсія параметра оптимізації, $S^2 = S\{y\} = 0,00159/8 = 0,0002$.

Дисперсія помилки визначення коефіцієнтів регресії b_i .

$$S^2\{y\} = \frac{S^2\{y\}}{N \cdot m} = 0,0002 / 8 \cdot 3 = 0,000075,$$

де N - загальна кількість різних точок у плані;

m – число паралельних спостережень у точках плану матриці.

Середньоквадратичне відхилення дисперсії помилки визначення коефіцієнтів регресії b_i

$$S\{b_i\} = \sqrt{\frac{S^2\{y\}}{N \cdot m}} = \sqrt{0,00864}$$

Значимість розрахункових коефіцієнтів регресії проводили за критерієм Стьюдента. Критичне значення $t_{кр} = 1,745$ при рівні значимості $q = 5\%$ і ступеня свободи $V_{zn} = 16$. t -критерій для кожного розрахункового коефіцієнта регресії визначали за відомою формулою. Фактори, у яких розрахункові значення t -критерію виявилися менше критичного, визнавалися незначимими. Результати розрахунку представлені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Результати розрахунку коефіцієнтів регресії та критерію Стьюдента

Фактори і їх комбінації	Величина коефіцієнта регресії	Розрахункове значення критерію Стьюдента	Заключення о значимості
X_0	4,4889	519,768	Значимо
X_1	-0,1245	14,413	Значимо
X_2	-0,0418	4,83895	Значимо
X_3	-0,0218	2,5278	Значимо
$X_1 X_2$	-0,0097	1,12467	Незначимо
$X_1 X_3$	-0,0027	0,31026	Незначимо
$X_2 X_3$	-0,0071	0,81993	Незначимо
$X_1 X_2 X_3$	-0,00295	0,34186	Незначимо

Після розрахунку коефіцієнтів отримано рівняння регресії у вигляді:

$$\ln Y = 4,4889 - 0,1245 \ln X_1 - 0,0418 \ln X_2 - 0,0218 \ln X_3 \quad (2.19)$$

Адекватність моделі перевіряли за критерієм Фішера. Табличне значення $F_{кр} = 3,63$ при рівні значимості $q = 5\%$ і степенях свободи $V_{lad} = 2$, $V_{lad} = 16$.

Розрахункове значення $F = 3,55$, що менше табличного значення, отже, гіпотеза про адекватність моделі приймається.

Таким чином, отримана модель адекватно визначає вплив прийнятих факторів на вихідний параметр.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

2.3. Модернізація елементів конструкції експериментальної установки

011-1-02Н «Ремдеталь»

В даний час ефективна технологія створення металопокриттів способом ЕКП для різних груп деталей, у тому числі КВ, не має широкого застосування у ремонтному виробництві.

Причин декількох - відсутність технологічних прийомів, що забезпечують межу витривалості відновлених КВ на нормативному рівні; втрата спеціалістів, які володіють технологією реалізації процесу, при реорганізації ремонтних служб, а також фізичне та моральне старіння установок для ЕКП присадних матеріалів.

При реалізації процесу ЕКПС на серійній установці 011-1-02Н «Ремдеталь» спостерігається низка негативних факторів: підрізання стрічки кромками зварювальних роликів (рис. 2.3 а); знос електрода (рис. 2.3 б), тобто збільшення площі контакту зварювальний ролик - деталь призводить до зменшення щільності струму і тиску електродів і, отже, погіршує умови формування зварного шва. Велика щільність струму на поверхнях, що контактуються, викликає нагрівання і деформацію, виникають сприятливі умови для налипання матеріалу стрічки на зварювальні ролики, а також виплески перегрітого металу із зони зварювання (рис. 2.3, в) [77-78].



Рисунок 2.3 - Негативні фактори процесу ЕКПС на серійній установці 011-1-02Н «Ремдеталь»

а - підрізання стрічки; б - деформація зварювальних роликів; в - розбризкування металу

Для знаходження способу, що усуває перелічені недоліки, було проведено силовий аналіз кліщів серійної установки (рис. 2.4).

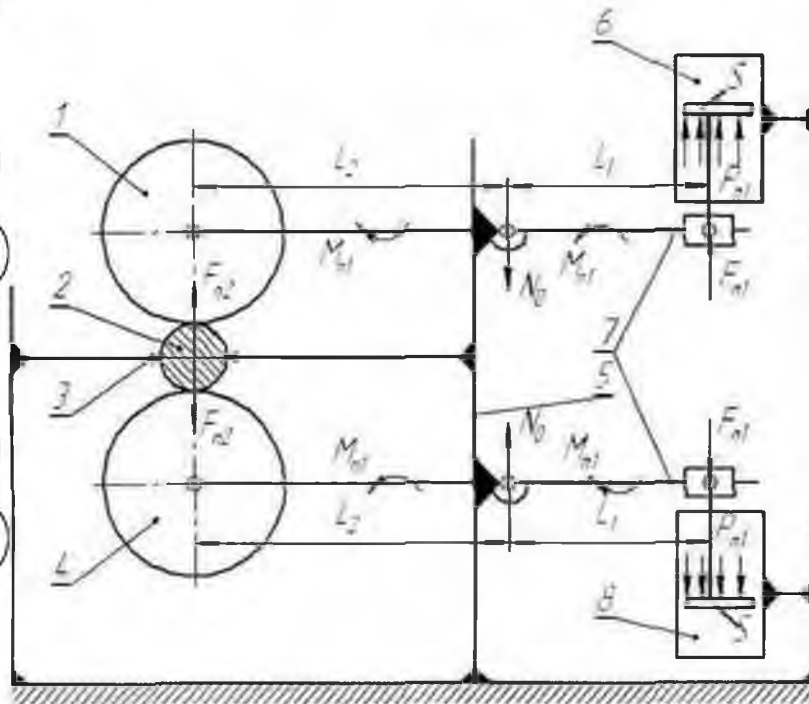


Рисунок 2.4 – Сили, що діють на кліщі

- 1 – верхній зварювальний ролик; 2 – деталь; 3 – патрон;
 4 – нижній зварювальний ролик; 5 – стійка; 6 – верхній пневмоциліндр;
 7 – кліщі; 8 - нижній пневмоциліндр

У пневмоциліндрах завдяки редуктору задається корисний тиск (P_{n1}) від 2 до 6 кгс/см². Знаючи діаметр поршня пневмоциліндра, можна визначити корисну силу F_{n1} :

$$F_{n1} = P_{n1} \cdot S_n$$

де S_n - площа робочої поверхні поршня,

$$S_n = \pi \cdot R^2$$

Корисний момент сили M_{n1} знаходиться за формулою

$$M_{n1} = F_{n1} \cdot L_1$$

а корисна сила F_{n2} - за формулою

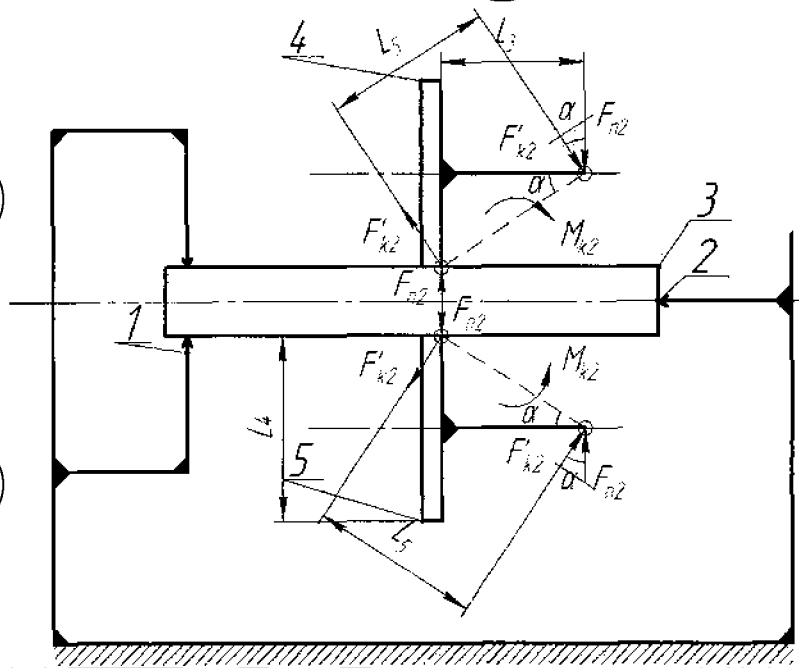
НУБІП України $F'_{n2} = \frac{M_{n1}}{L_2}$
 Обчислимо сили, що діють на осях зварювальних роликів (рис. 2.5)

Визначимо довжину гіпотенузи L_5 за формулою

НУБІП України $L_5 = \sqrt{L_3^2 + L_4^2}$
 Негативна сила F'_{H2} визначається за такою формулою:
 $F'_{H2} = F_{n2} \cdot \cos \alpha,$

$$\cos \alpha = \frac{L_2}{L_5}.$$

НУБІП України Негативний момент сили M_{H2} знаходиться за формулою
 $M_{H2} = F'_{H2} \cdot L_5$



НУБІП України Рисунок 2.5 Сили, що діють на вісь зварювальних роликів кліщів:
 1 – патрон; 2 – центр; 3 – деталь; 4 – верхній зварювальний ролик; 5 – нижній зварювальний ролик

Зведемо у табл. 2.4 дані силового аналізу кліщів при постійних параметрах:

НУБІП України R – радіус поршня (5 см); L_1 – довжина кліщів від осі кріплення штока до осі кріплення стійки (0,215 м); L_2 – довжина кліщів від осі кріплення стійки до осі кріплення зварювальних роликів (0,205 м); L_3 – відстань від центру кріплення

втулки зварювального ролика до центру зварювального ролика (0,073 м); L_4 – діаметр зварювального ролика (0,080 м); L_5 – довжина гіпотенузи (0,108 м)

Таблиця 2.4 – Дані силового аналізу кліщів серійної установки 011-1-02Н «Ремдеталь»

Тиск у пневмоціліндрах $P_{пл}$, кгс/см ²	Площа робочої поверхні поршня S см ²	Корисна сила F_{n1} , Н	Корисний момент сили M_{n1} , Н-м	Корисна сила F_{n2} , Н	$\cos\alpha$	Негативна сила F_{n2} , Н	Негативний момент сили M_{n2} , Н-м
2	78,54	1540,9	331,30	1616,1	0,67	1089,3	117,98
6	78,54	4622,8	993,91	4848,3	0,67	3268,0	353,93

Внаслідок односторонньої дії сили виникає момент F_{n2} , що лежить у межах 117,98 – 353,93 Н-м, який відхиляє зварювальні ролики, а кут відхилення β лежить у межах $30' - 1^{\circ}30'$ (рис. 2.6), що і призводить до виникнення негативних факторів процесу приварювання.

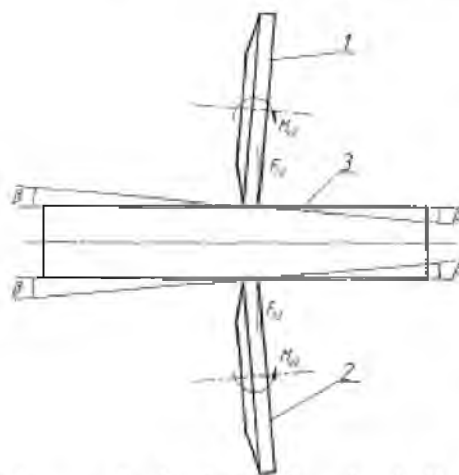


Рисунок 2.6 – Кут відхилення зварювальних роликів.

1 – верхній зварювальний ролик; 2 – нижній зварювальний ролик; 3 -

деталь

Для усунення моменту M_{n2} і, як наслідок, негативних факторів приварювання необхідно збільшити жорсткість серійних кліщів. Продублюємо

кличі правої сторони на ліву сторону (рис. 2.7). В цьому випадку по осі кріплення пневмоциліндра і ричини сила F_{n1} поділяється на дві рівні сили F'_{n1} .

$$F'_{n1} = \frac{F_{n1}}{2}$$

Відповідно момент M'_{n1} визначається як:

$$M'_{n1} = F'_{n1} L_1 = \frac{M_{n1}}{2}$$

Звідси корисна сила F'_{n2} дорівнює:

$$F'_{n2} = \frac{M'_{n1}}{L_2} = \frac{F_{n2}}{2}$$

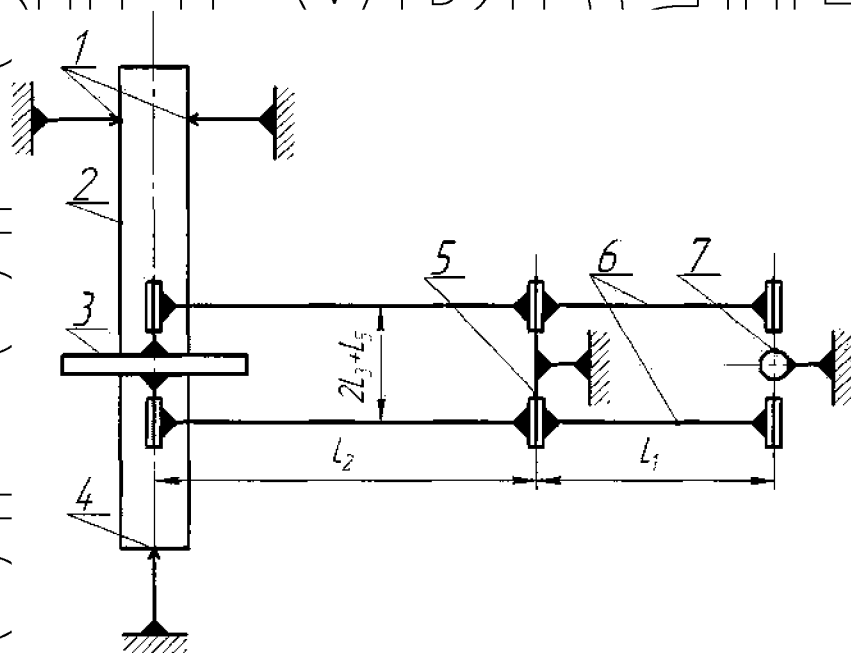


Рисунок 2.7 - Модернізовані клищі:

1 – патрон; 2 – деталь; 3 – верхній зварювальний ролик; 4 – центр; 5- стійка; 6 – клищі; 7 - верхній пневмоциліндр

У робочій лінії торкання зварювальних роликів з деталлю рівнозначні сили

F'_{n2} сходяться на корисну силу F_{n2} , не збуджуючи негативний момент

M_{n2} (рис. 2.8).

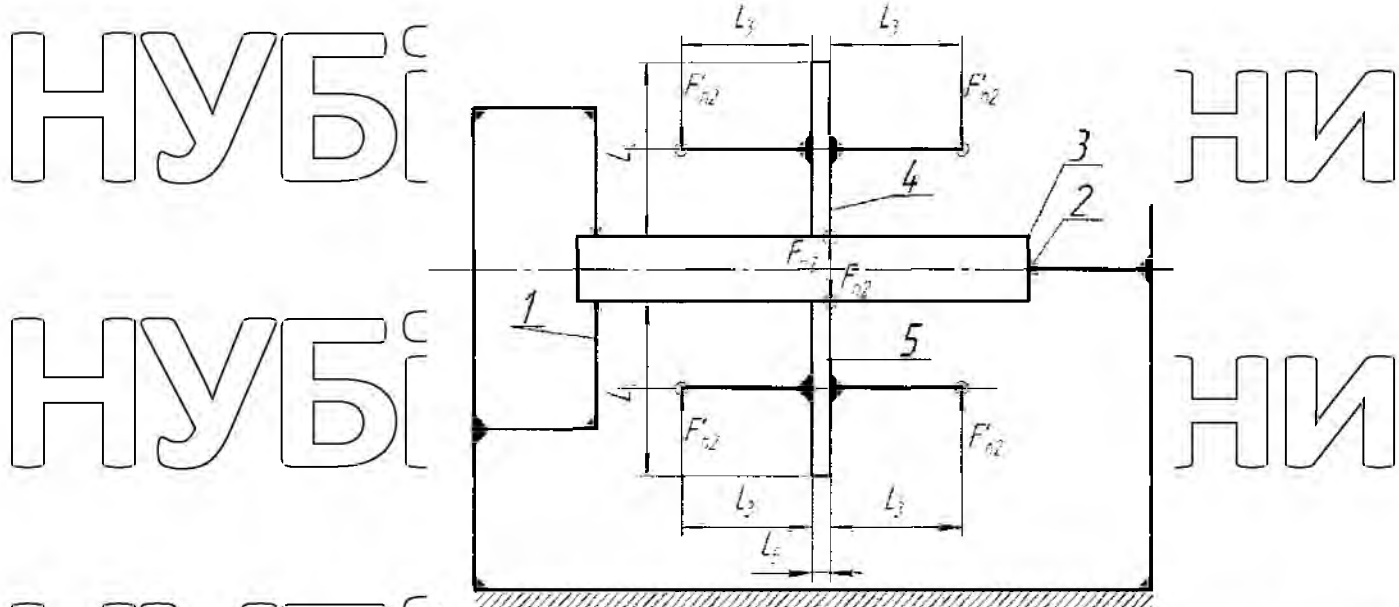


Рисунок 2.8 – Сили, що діють на вісь зварювальних роликів модернізованих кліщів:

1 – патрон; 2- центр; 3 – деталь; 4 – верхній зварювальний ролик; 5 - нижній зварювальний ролик

Корисна сила F'_{n2} дорівнює:

$$F_{n2} = 2F'_{n2}$$

Тиск на 1 мм робочої лінії торкання зварювальних роликів з деталлю

(рис. 2.9) становить:

$$P'_{n2} = \frac{F_{n2}}{L_6}$$

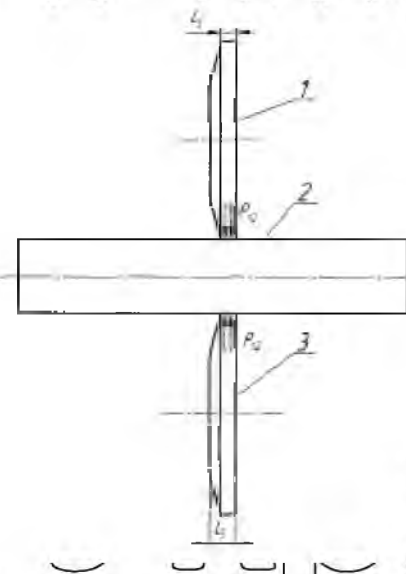


Рисунок 2.9 - Положення зварювальних роликів із модернізацією кліщів:

1 - верхній зварювальний ролик; 2 – деталь; 3 - нижній зварювальний ролик

Зведемо у табл. 2.5 дані силового аналізу модернізованих кліщів при постійних параметрах: R – радіус поршня (5 см); L_1 - довжина кліщів від осі кріплення штока до осі кріплення стійки (0,215 м); L_2 – довжина кліщів від осі кріплення стійки до осі кріплення зварювальних роликів (0,205 м); L_3 - відстань від центру кріплення втулки зварювального ролика до центру зварювального ролика (0,073 м); L_4 - діаметр зварювального ролика (0,080 м); L_5 - довжина гіпотенузи (0,108 м); L_6 – ширина зварювального ролика (0,012 м); L_6 -ширина робочої зони зварювального ролика (0,004)

Таблиця 2.5 - Дані силового аналізу модернізованих рідин

Тиск у пневмоциліндрах $P_{п1}$, кгс/см ²	Площа робочої поверхні поршня S см ²	Корисна сила $F_{п1}$, Н	Корисний момент сили $M_{п1}$, Н-м	Корисний момент сили у модернізованих клешнях $M_{п1}$, Н-м	Корисна сила $F_{п2}$, Н	Корисна сила у модернізованих клешнях $F_{п2}$, Н	Тиск на 1 мм робочої зони $P_{п2}$ Н/мм
2	78,54	1540,9	331,30	165,6	1616,1	808,06	404,03
6	78,54	4622,8	993,91	1155,7	4848,3	2424,18	1212,09

Модернізація кліщів установки дозволила виключити перекид зварювальних роликів щодо площини відновлюваної деталі, що дозволило рівномірно по всій робочій ширині передавати зусилля притискання до поверхні деталі, а також збільшити час експлуатації зварювальних роликів. Це підвищує міцність зчеплення покриття з основою, стабілізує величину деформації стрічки та зменшує зону термічного впливу (ЗТВ).

Внаслідок модернізації кліщів серійної установки 011-1-02Н «Ремдеталь» усунуті негативні фактори приварювання, при цьому металосмість кліщів не збільшується, ще не призводить до додаткових витрат [79].

Розроблену зварювальну головку було змонтовано та апробовано на установці 011-1-02Н «Ремдеталь» при відновленні КВ в умовах малого інноваційного підприємства ТОВ «Агросервіс».

Висновки до розділу 2

1. Теоретично обґрунтовано доцільність застосування проміжного шару при відновленні чавунних КВ. Проміжний шар активує дифузійні процеси, в результаті чого отримані з'єднання з високою міцністю зчеплення при нижчій температурі зварювання, менший тиск і час витримки.

2. На основі повнофакторного експерименту отримано математичну модель впливу основних технологічних факторів процесу ЕКПС на межу витривалості чавунних КВ.

3. Модернізовано встановлення 011-1-02Н «Ремдеталь» для відновлення КВ діаметром 20-200 мм шляхом збільшення жорсткості конструкцій зварювальних кліщів за рахунок рівного розподілу зусилля по осі зварювальних роликів.

РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Програма експериментальних досліджень

Програма досліджень призначалася виходячи з мети та завдань справжньої роботи. Відповідно до поставлених завдань було розроблено загальну методичку проведення досліджень, у якій передбачалися як теоретичний розгляд низки питань, і експериментальна перевірка висунутих припущень.

Весь обсяг експериментальних досліджень можна поділити на кілька етапів.

У першому етапі з урахуванням аналізу літератури виявлено основні дефекти чавунних КВ; розглянуто існуючі способи їх відновлення, виявлено переваги та недоліки цих процесів; дано аналіз втомної міцності КВ, відновлених різними методами.

З другого краю етапі здійснювалося планування багатофакторного експерименту, розроблялася методика його проведення. Реалізовано багатофакторний експеримент. Це дозволило виявити основні закономірності між межею витривалості чавунних КВ із чинниками процесу ЕКПС.

На третьому етапі проводилися експериментальні дослідження відповідно до загальних та приватних методик. На даному етапі проводилося експериментальне визначення фазового та хімічного складів поверхневого шару, отриманого при ЕКПС, їх вплив на властивості покриття, виявлялися мікроструктура та зміни величини мікротвердості за глибиною покриття, визначалися параметри субструктури та напружений стан утвореної поверхні. Проведено втомні випробування з метою оцінки накопичених пошкоджень, вивчено триботехнічні характеристики відновлених робочих поверхонь чавунних КВ, визначено міцність зчеплення покриття з основою.

Четвертий етап присвячений удосконаленню технологічного процесу відновлення чавунних КВ ЗМЗ-24 ЕКПС. Відповідно до вдосконаленої технології відновлено партію чавунних КВ та проведено їх експлуатаційні випробування.

На п'ятому етапі здійснено розрахунок техніко-економічної ефективності запропонованої технології та впровадження її у виробництво.

3.2. Устаткування для отримання покриттів електроконтактним приварюванням сталеві стрічки

Експерименти з відпрацювання технологічного процесу відновлення ЕКПС через проміжний шар чавунних КВ проводиться на модернізованій установці 014-1-02Н «Ремдеталь» (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 - Загальний вигляд модернізованої установки 014-1-02Н «Ремдеталь»

Ця установка успішно застосовується для відновлення зношених деталей. Технічні характеристики установки представлені у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Основні технічні дані та характеристики установки 011-1-02Н «Ремдеталь»

Найменування показників, од. вимірювання	Значення	
1. Тип	Стационарний	
2. Мережа приводів:	220	
- Напруга, В	50	
- частота, Гц		
3. Мережа трансформатора живлення:	3	
- число фаз	380	
- Напруга, В	50	
- частота, Гц		
4. Товщина наплавленого на зовнішню поверхню деталі шару, мм:	0,15-1,0	
- в один шар	0,25-2,0	
- у два шари		
5. Діаметр деталі, що наплавляється, мм:	20	
- мінімальний	200	
- максимальний		
6. Найбільша довжина деталі, що відновлюється, мм	1000	
7. Частота обертання шпинделя, хв	0-20	
8. Швидкість поздовжнього переміщення каретки зі зварювальною головкою, м/с	0,00015-0,0075	
9. Холосте переміщення каретки зі зварювальною головкою	Механізоване та автоматичне	
10. Потужність трансформатора, кВт	75	
11. Зусилля стиснення зварювальних кліщів, Н	1000-3000	
12. Охолодження установки	Водяне із магістралі	
13. Габаритні розміри, мм	Установки: 2670x1140x1570	ПСЛ-200: 660x350x1250
14. Маса, кг	Установки: 1180	ПСЛ-200: 95

Усі експерименти проводилися безпосередньо на шийках чавунних КВ 3МЗ-24 (ВЧ50-2 ГОСТ 7293-85). Як присадковий матеріал при ВКІС використана сталева стрічка 50ХФА ГОСТ 2283-79, порошок марки ПП-СР2 ГОСТ 21448-75 і графітове мастило УСсА ГОСТ 3333-80.

Чинне значення зварювального струму вимірювалося за допомогою вимірювача АСУ-1М. Тривалість імпульсів / струму та пауз визначалася за регулятором циклу зварювання НС Л-200, а тиск зварювальних роликів – за манометром установки.

3.3. Методики дослідження структури та фазового складу, форми що стоїть при електроконтактному приварюванні сталеві стрічки

Для дослідження структури та фазового складу покриттів, отриманих методом ЕКПС, у даній роботі використовувалися металографічний, рентгенофазовий та рентгеноструктурний методи [80, 81].

3.3.1. Методика металографічних досліджень покриттів, разовим електроконтактним приварюванням сталеві стрічки

Для оцінки якості та прогнозування працездатності відновлених зразків проводилися металографічні дослідження [82]. Для цього з шийок чавунних КВ були виготовлені зразки, що відновлювалися ЕКП сталеві стрічки 50ХФА та сталеві стрічки 50ХФА через проміжний шар ПП-СР2 (рис. 3.2).

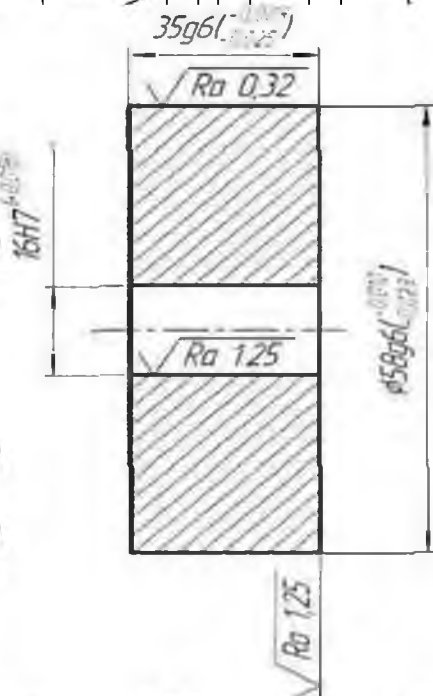


Рисунок 3.2 – Зразок для металографічних досліджень

а - креслення зразка; б - загальний вигляд

Зі зразків вирізаються сегменти для отримання поперечного шліфу за допомогою відрізного верстата IN5001/от-6 (рис. 3.3, а) з використанням абразивного кола 50A24 і застосуванням мастильно-охолоджуючої рідини (СОЖ). Застосування спеціальної СОЖ дозволяє проводити різання зразків без нагріву, отже, і зміни структури поверхонь зрізу.



Рисунок 3.3 - Устаткування для металографічних досліджень:

а - відрізний верстат Discotom-6; б - прес CitoPress-1; в- шліфувально-полірувальний верстат TegraPol-21; г - мікротвердомір Durascan-20

Відрізані сегменти піддавалися гарячому запресовуванню в смолу з використанням циліндричного преса CitoPress-1 (рис. 3.3, б), в якій міститься

сегмент разом зі смолою MultiFast для запресування. Охолоджуються отримані зразки водою, що забезпечує мінімальний час запресування. Отримання зразка відбувається у циліндрі діаметром 40 мм. Нагрів здійснюється при температурі 180 °С і докладається зусилля 18 кН протягом 4,5 хв. Наступне охолодження відбувається із високою швидкістю протягом 3 хв.

Поверхні виготовлених зразків піддаються механічній обробці на автоматичному обертачі зразків TegraForce-5 встановленому на шліфувально-полірувальному верстаті TegraPol-21 (рис. 3.3, в) за такими операціями: вирівнювання, тонке шліфування, полірування 1, полірування 2.

Вирівнювання проводилося за допомогою алмазного диска на наступних режимах: тип суспензії - вода; частота обертання диска - 300 об/хв; зусилля притискання одного зразка до поверхні диска - 30 Н; час підготовки - до вирівнювання. Тонке шліфування проводилося з використанням диска на наступних режимах: тип суспензії - алмазна 9 мкм; частота обертання диска - 150 об/хв; зусилля притискання одного зразка до поверхні диска - 30 Н; час підготовки - 2 хв. Полірування 1 проводилося за допомогою сукна на наступних режимах: тип суспензії - алмазна 3 мкм; частота обертання сукна - 150 об/хв; зусилля притискання одного зразка до поверхні сукна - 30 Н; час підготовки - 2 хв. Полірування 2 виконували за допомогою сукна на наступних режимах: тип суспензії - алмазна 1 мкм; частота обертання сукна - 150 об/хв; зусилля притискання одного зразка до поверхні сукна - 25 Н; час підготовки - 2 хв. Після кожної операції отримані зразки (рис. 3.4) ретельно промивали та просушувалися.



Рисунок 3.4 – Фото підготовлених металографічних зразків

Готові металографічні зразки (шліфи) досліджувалися на мікротвердість поверхні за допомогою мікротвердоміра (рис. 3.3 г). Оцінка мікротвердості проводилася квадратною алмазною пірамідкою з кутом при вершині 136°. Навантаження на індентор становило 100 р за ГОСТ 2789-73.

На підставі вимірної площі прямокутника, отриманого на екрані перетином дотичних до вершин відбитка ліній, прилад видає значення мікротвердості за шкалою Віккерса.

Вимірювання мікротвердості матеріалу проводили через 50 мкм. Середнє значення мікротвердості визначали за результатами усереднення щонайменше 3 вимірів.

Для виявлення структурних складових матеріалу покриттів поліровані шліфи піддавали хімічному травленню розчином азотної кислоти в етиловому спирті, занурюючи в реактив на 3-4 з. Після травлення зразки промивали проточною водою та просушували за допомогою фільтрувального паперу.

Дослідження мікроструктури з'єднання проводилося на аналізаторі фрагментів мікроструктури твердих тіл «SIAMS 700» у складі: мікроскоп Olympus GX-51, камера SIMAGIS 3M-75 та програмне забезпечення аналізатора «SIAMS Photolab v. 4.1» (рис. 4).



Рисунок 3.5 – Аналізатор фрагментів мікроструктури твердих тіл

Результати металографічних досліджень покриттів, одержаних методом ЕКПС на малих модельних зразках, представлені у н. 4.1.

3.4. Методика триботехнічних досліджень нових та відновлених пар

Триботехнічні випробування проводились відповідно до вимог РД 10.003-2009 [101]. Цей стандарт встановлює загальні положення методів оцінки

зносостійкості відновлених деталей рухомих з'єднань з використанням як навантаження оптимального значення для обраної пари матеріалів.

Випробування проводилися на матеріалах, з яких виготовляється пара тертя шийка КВ – вкладиш.

Оскільки механізм відносного переміщення в парі є обертальним рухом КВ навколо своєї осі при контактуванні з поверхнею вкладиша (рис. 3.15), то в цьому

випадку випробування проводилися за типом «колодка - ролик» (рис. 3.16) за методом групи А - порівняльні експрес-випробування, сутність яких полягає у визначенні співвідношення інтенсивностей зношування досліджуваної

(відновленої) та еталонної поверхонь, випробуваних за заздалегідь встановлених ідентичних умов.

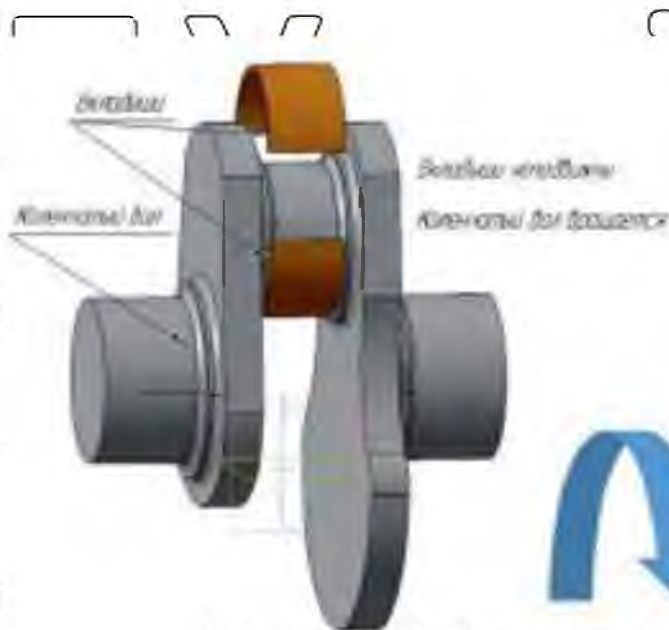
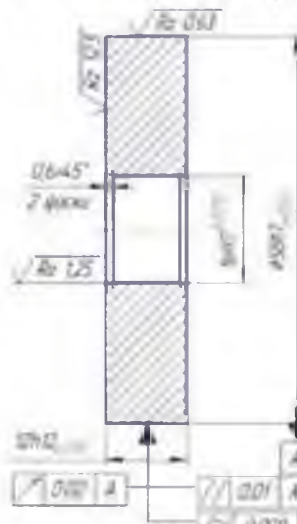


Рисунок 3.15- Схема руху в парі шийка КВ – вкладиш

НУБІП України

НУ



аїни

НУ

Рисунок 3.16- Загальний вигляд та розміри

а - колодки, б-ролика

НУБІП України

Об'єктами експериментальних досліджень були зразки-ролики, вирізані з шийок КВ ЗМЗ-24, нові та відновлені досліджуванним методом. Як контрольне використовувався фрагмент серійного вкладиша КВ двигуна ЗМЗ-24 з оснащенням.

НУБІП України

Для проведення порівняльних триботехнічних випробувань було виготовлено дві партії зразків - базову та експериментальну. За базове з'єднання при порівняльному аналізі результатів випробування приймали з'єднання з зразком-роликом високоміцного чавуну ВЧ50-2, тобто. із нового КВ. За експериментальний зразок приймався ролик із високоміцного чавуну ВЧ50-2, на поверхні якого методом ЕКП наносився шар металопокриття зі сталеві стрічки 50ХФА з проміжним підшаром із порошку ПГ-СР2. Потім випробувані поверхні зразків піддавалися обробці на круглошліфувальному верстаті моделі ЗА423. Що стосується КВ двигуна ЗМЗ-24 інтервал оптимальної шорсткості варіюється в межах $0,13 \leq Ra \leq 0,44$ мкм [102]. Шорсткість зразків контролювали на профілактографі-профілометрі «Фоггі Talysurf il20» (виробництва «Taylor-Hobson», Великобританія) (Рис. 3.17).

НУБІП України

Що стосується КВ двигуна ЗМЗ-24 інтервал оптимальної шорсткості варіюється в

НУБІП України

межах $0,13 \leq Ra \leq 0,44$ мкм [102]. Шорсткість зразків контролювали на профілактографі-профілометрі «Фоггі Talysurf il20» (виробництва «Taylor-Hobson», Великобританія) (Рис. 3.17).

НУБІГ

НУБІГ

НУБІГ



ІІНИ

ІІНИ

ІІНИ

Рисунок 3.17 - Профілограф-профілометр «Form Talysurf il20»

Триботехнічні випробування склалися з трьох етапів: притирання, припрацювання та тривалих стаціонарних зносних випробувань. При цьому виявлялося максимальне навантаження $P_{\text{ли}}$ (значення тиску, при якому починається заїдання зразка), що характеризує передзадирний стан, і оптимальне навантаження $P_{\text{оп}}$ (значення тиску, вище якого зростає коефіцієнт тертя), при якій коефіцієнт тертя f мінімальний. Стаціонарні зносні випробування проводили у фіксованому режимі при навантаженні $P_{\text{оп}}$. Час стаціонарних випробувань становив 8 год.

Відповідно до РД 10.003-2009 до випробувань на етапі підробітку допускалися зразки, у яких площа взаємного прилягання при встановленні на випробувальній машині становила не менше 90 % від номінальної. Випробування проводили при постійній лінійній швидкості ролика та фіксованій системі мастила. Мастильний матеріал - масло моторне М-53/12Г. Режим мастила - граничне тертя; подача мастила разова в картер.

Підготовлені зразки встановлювали машину тертя. Задавали необхідний режим подачі мастила у зону контакту, після чого до зразків пари тертя прикладали передбачене випробуваннями навантаження (рис. 3.21).

НУБІ

ІНИ

НУБІ

ІНИ

НУБІ

ІНИ

НУБІ

ІНИ

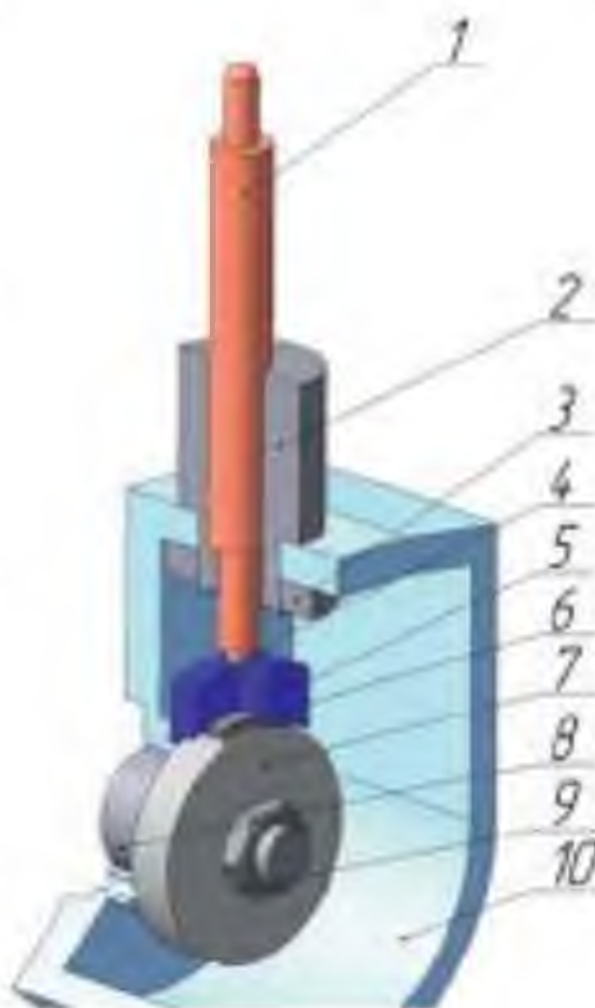


Рис. 3.21 - Схема випробувань на зношування

1 - цтовхач; 2 - напрямна; 3 - гайка; 4 - кулька; 5 - тримач; 6 - контр тіло;
 7 - зразок; 8 - притискна гайка; 9 - вал машини 2070 СМТ-1; 10 - випробувальна камера

Отримані дані про початкові маси зразків до та після кожного виду випробувань заносилися до протоколу випробувань.

Зважували зразки на аналітичних вагах MSU 225S-100-DU Cubis» (Німеччина) у триразовій повтворюваності (Рис. 3.22)

НУБІП УкРАЇНИ

НУБІГ



АІНН

НУБІГ

АІНН

Рисунок 3.22 – Аналітичні ваги вторинності MSU 225S-100-DU Cubis

3.7 Методика визначення міцності зчеплення нанесених шарів із основою

Міцність зчеплення нанесеного покриття з основою є однією з визначальних характеристик з'єднання, що зумовлює збереження протягом досить тривалого часу працездатності відновленої деталі в умовах експлуатації.

Міцність зчеплення покриття з основним металом можна визначати різними методами: відривом при нормальному додатку сили, провертання шару тангенціальною силою, зрізом (зсувом), силою, спрямованою по осі зразка.

Враховуючи, що КВ працює за умов тертя ковзання, тобто, відновлений шар відчуває зусилля зсуву, міцність зчеплення з основою досліджувалась методом зрізу за ГОСТ 8905-73 згідно з методикою, викладеною в роботі [105]. Метод

полягає в тому, що циліндричний зразок досліджуваного матеріалу з нанесеним на нього у вигляді кільцевого пояска покриттям продавлюється через матрицю.

При цьому під дією дотичних напруг покриття відшаровується. Напруга зсуву та характеризує міцність зчеплення.

Для випробувань були виготовлені зразки з КВ 3М3-24 (рис. 3.23 а) на яких формували шари металопокриттів зі сталі 50ХФА і сталі 50ХФА через проміжний шар ПП-СР2. Товщина покриттів складала 0,33 мм набік. Ширина пояска покриттів – 1,6 мм. Приварювання стрічки проводилося на модернізованій установці 011-1-02Н «Ремдеталь». Перед випробуваннями

зразки промивалися в бензині (ГОСТ 443-76) або ацетоні (ГОСТ 2603-79), а потім просушувалися на повітрі.

Відповідно до схеми випробувань (рис. 3.23 б) зразки 1 встановлювалися в матрицю 3, а матриця - в корпус 4. Матриця виготовлялася з інструментальної сталі твердістю не менше НКС 54, корпус - зі сталі 45 твердістю не менше НРС

48.

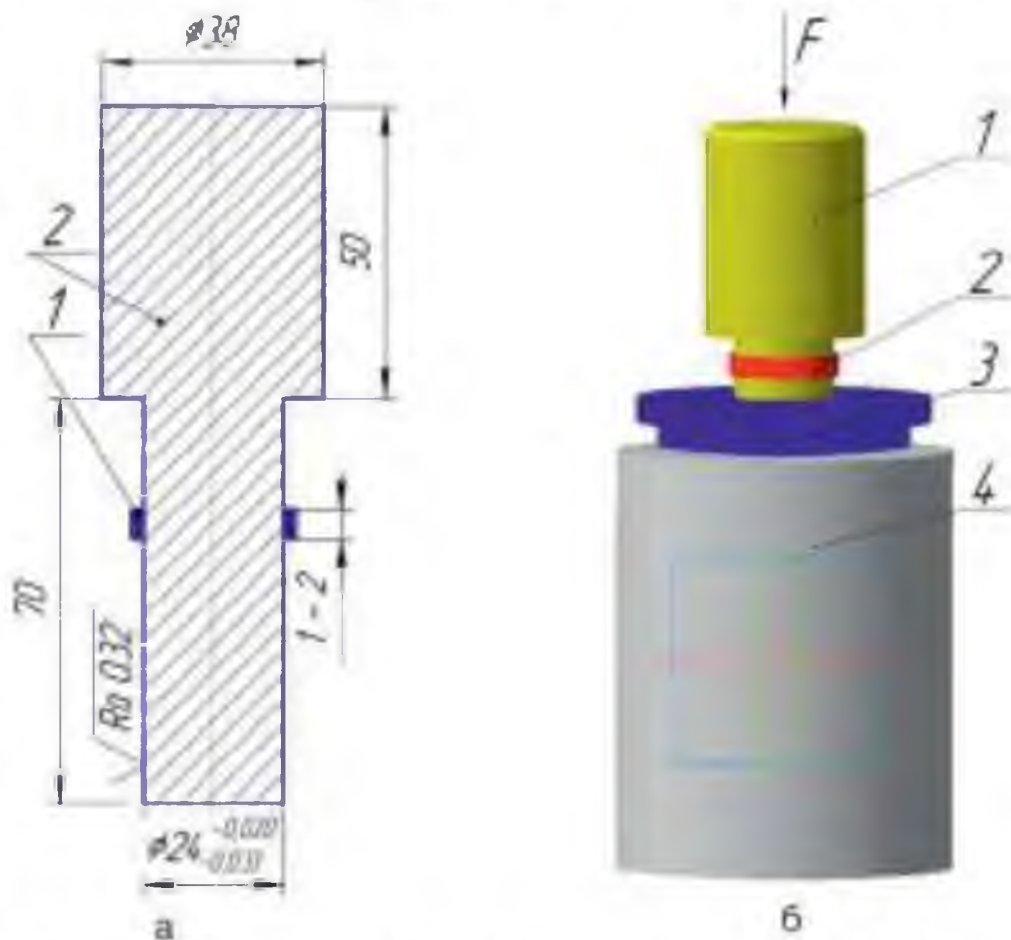


Рисунок 3.23 - Визначення міцності зчеплення при ЕКПС:

а - зразок для випробувань: 1 - металопокриття; 2 - зразок;

б - схема випробування образів на міцність зчеплення при зсуві:

1 - зразок, 2 - металопокриття; 3 - матриця; 4 - корпус

Випробування здійснювалися на прецизійній універсальній електромеханічній машині серії Autograph AG-X компанії «Shimadzu» з

програмним забезпеченням TRAPEZIUM X - «Single», призначеним для виконання випробувань в одному напрямку розтяг, стиснення, вигин, розшарування і т.д. (рис. 3.24), що забезпечує навантаження (max 100кН) із заданою постійною швидкістю переміщення штовха (від 0,0005 до 1000 мм/хв) та вимірювання навантаження з похибкою не більше 0,5 %.

Управління машиною може здійснюватися як за допомогою зовнішнього рідкокристалічного дисплея, так і через персональний комп'ютер.



Рисунок 3.24 – Загальний вигляд випробувальної машини:

1 - прецизійна універсальна електромеханічна машина серії Autograph

AG-X компанії «Shimadzu», 2 - ПК; 3 - встановлене оснастка зі зразком

У процесі випробування визначалося максимальне навантаження, що передує зсуву (руйнування) пояска. Усі дані у процесі випробувань записувалися на ПК.

Межу міцності зчеплення покриття з основним металом при зсуві визначали за такою формулою:

$$\tau = \frac{P}{\pi \cdot D \cdot h} \cdot 10^6 \text{ Па}$$

де P - максимальне навантаження, що передує руйнуванню покриття, Н;

D – діаметр зразка, мм;

h – ширина пояска, мм.

Для кожного варіанту покриття експеримент проводився семиразовою повторністю, отримані дані усереднювалися. Результати даних досліджень викладено у п. 4.6.

Висновки до розділу 3

1. Вибрано та обгрунтовано методики проведення металографічного, рентгенофазового та рентгеноструктурного дослідження, проведення дослідження дований за допомогою растрової електронної мікроскопії, прискорених стендових випробувань на втому, випробувань на зносостійкість та визначення міцності зчеплення.

2. Розроблено методику оцінки характеристик небезпечного перерізу щік КВ. В результаті розрахунку за даною програмою можуть бути отримані такі основні характеристики: згинальний момент, площа перерізу зламу щоки КВ, момент опору небезпечного перерізу, напруга в небезпечному перерізі, межа витривалості.

3. Здійснено модернізацію універсального стенду резонансного типу, призначеного для прискорених випробувань втомі.

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Результати металографічних досліджень покриттів, утворених електроконтактним приварюванням сталевих стрічки

Вихідними матеріалами при проведенні металографічних досліджень служили зразки, вирізані з чавунних шийок КВ з нанесеним шаром металопокриття зі сталі 50ХФА і сталі 50ХФА з проміжним шаром ПГ-СР2. Методика металографічних досліджень представлена у п. 3.3.1.

Кожен зразок піддавався травленню у складах, підготовлених індивідуально кожному за матеріалу. Причому травлення кожного матеріалу відновленого зразка проходило у два етапи. Спочатку зразок протравлювався складом 10% азотної кислоти в етиловому спирті, призначеним для травлення матеріалу покриття, отриманого методом ЕКПС, потім робили фотографію мікроструктури даного шару та зон з'єднання. Далі зразок піддавався поліруванню та травлення у складі 5% азотної кислоти в етиловому спирті, призначеному для травлення матеріалу основи даного зразка.

Травлення шліфів показало, що отримане покриття зі сталі 50ХФА і сталі 50ХФА з проміжним шаром ПГ-СР2 має дрібнодисперсну структуру, в якій немає тріщин та інших дефектів шару, які б знижували зносостійкість. Структура покриття – дрібнозернистий мартенсит (рис. 4.1)

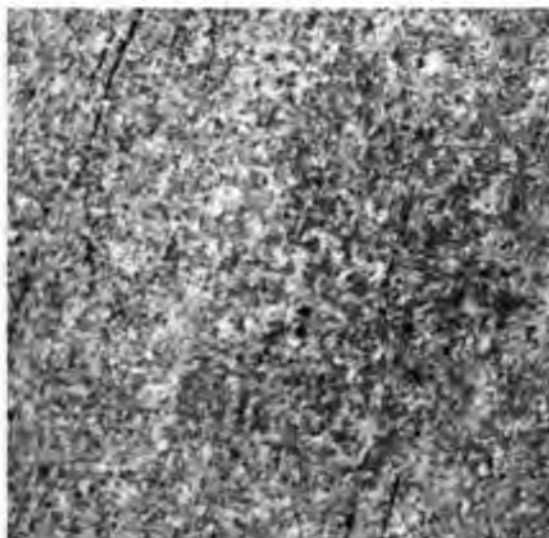


Рисунок 4.1- Мікроструктура сталі 50ХФА після ЕКПС

При приварюванні стрічки зі сталі 50ХФА в зоні з'єднання утворюється мікросуміш фериту та цементиту шириною 17 мкм (рис. 4.2, а), що безпосередньо позначається на міцності відновленої поверхні. Дана структура має високу в'язкість, але надлишковий пластинчастий цементит у межах зерен може призводити до утворення мікротріщин (рис. 4.2, б) і до відшаровування стрічки, що приварюється.

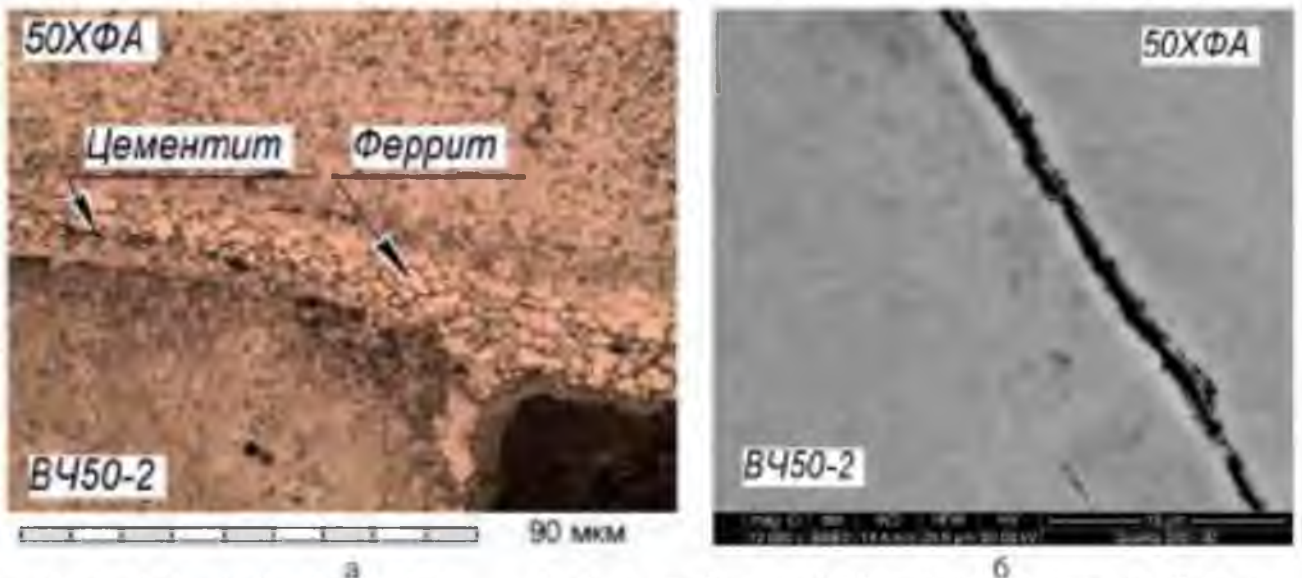


Рисунок 4.2 – Мікроструктура зони з'єднання 50ХФА – В450-2

а - мікроструктура x 1000 б - Мікротріщина x 12000

Аналіз зони з'єднання покриття 50ХФА через проміжний шар ПП-СР2 з основою В450-2 показав, що дефекти типу пор, тріщин і несплошностей у зоні з'єднання відсутні (рис. 4.3).



x200

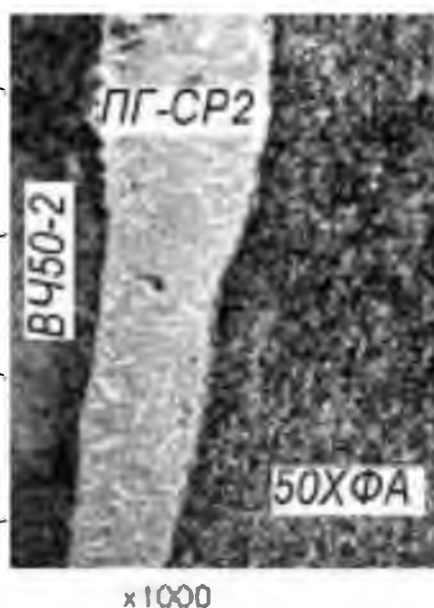
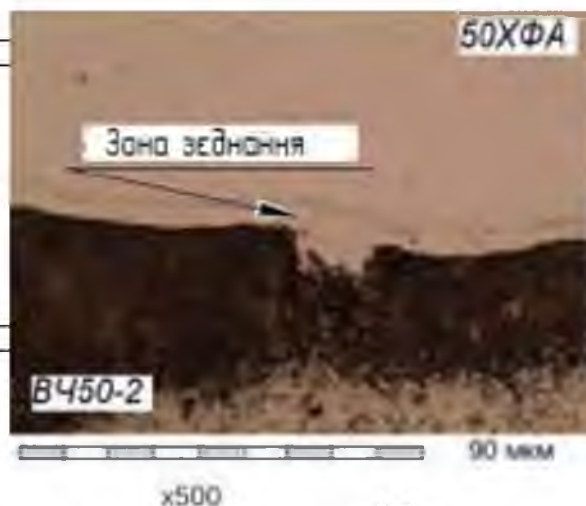


Рисунок 4.3 – Мікроструктура зони з'єднання 50XФА+ЛГ-СР2 – В450-2

Зона з'єднання має дуже незначний по ширині проміжний шар, що можна пояснити обмеженою можливістю перебігу дифузійних процесів у місці контактування матеріалів, що з'єднуються, з огляду на короткочасність утворення з'єднання при ЕКПС.

При ЕКПС чавун В450-2 як у зоні термомеханічного впливу, так і у вихідному стані має перлітно-феритну структуру із включеннями кулястого графіту (рис. 4.4). Практична відсутність зростання зерен у ЗТВ свідчить про малу тривалість перегріву металу при застосуванні проміжного шару ЛГ-СР2.



Рисунок 4.4 - Мікроструктура чавуну В450-2 після ЕКПС 50ХФА+ГЧ-СР2

Розмір мікротвердості визначалася шляхом Віккерса. На поверхні шліфу, починаючи з краю, проводилися вимірювання з визначенням відстаней між уколами (рис. 4.5). П'ятикратним повторенням вимірювань та подальшим усередненням отримано зміну значення мікротвердості за глибиною зразків.

Мікротвердість покриття зі сталі 50ХФА становить 530-600 МПа і протягом усього вздовж зони з'єднання практично не змінюється, що свідчить про досить високу стабільність її структури. Отже, після ЕКПС величина мікротвердості поверхні збільшується в 2,4-2,5 рази порівняно з матеріалом основи (207-249 МПа), що суттєво впливає на підвищення зносостійкості відновленої пари тертя.

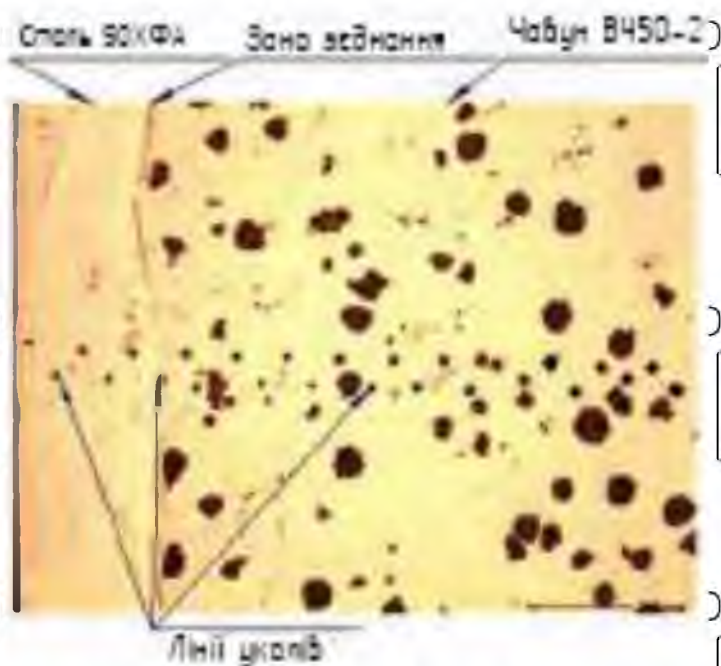


Рисунок 4.5 - Фотографія доріжок з відбитків

Глибина ЗТВ для зразків, відновлених стрічкою зі сталі 50ХФА, становить 780 мкм, мікротвердість зони варіюється від 268 до 810 МПа (рис. 4.6). Для зразків, відновлених стрічкою зі сталі 50ХФА із проміжним шаром з ПГ-СР2, глибина ЗТВ становить 550 мкм, мікротвердість зони варіює від 263 до 733 МПа (рис. 4.7). Зниження глибини ЗТВ у 1,5 рази відбивається на макронапруженому стані відновленого чавунного КВ.



Рисунок 4.6 – Розподіл мікротвердості зразка 50ХФА – ВЧ50-2



Рисунок 4.7 – Розподіл мікротвердості зразка 50ХФА+ПГ-СР2 - ВЧ50-2

4.2. Результати прискорених стендових випробувань чавунних колінчастих валів ЗМЗ-24 на опір втоми

Об'єктами експериментальних досліджень при випробуваннях на втому були натурні зразки з чавунних КВ двигунів ЗМЗ-24, що були в експлуатації та відновлені. Кожен досліджуваний КВ мав два кривошипи з відновленими шийками (2 корінні і 1 шатунна) і два кривошипи з еталонними, тобто

невідновленими, шийками з метою запобігання впливу на кінцевий результат приватної характеристики опору втомі кожного валу. Досліджувані чавунні КВ піддавалися контролю за відсутністю тріщин на магнітному дефектоскопі ДМП-2.

Відновлення шийок КВ проводилося методом ЕКПС після конструктивно-технологічної підготовки з їх зміцнення, що полягає у створенні на поверхні шийок КВ коритоподібного профілю, нанесенні розвантажуючих виточок та приварюванні стрічки з регламентованим відступом від жолобника шийки (п.

5.1). Схема нанесення виточок, що розвантажують, і коритоподібного профілю представлена на рис. 4.19.

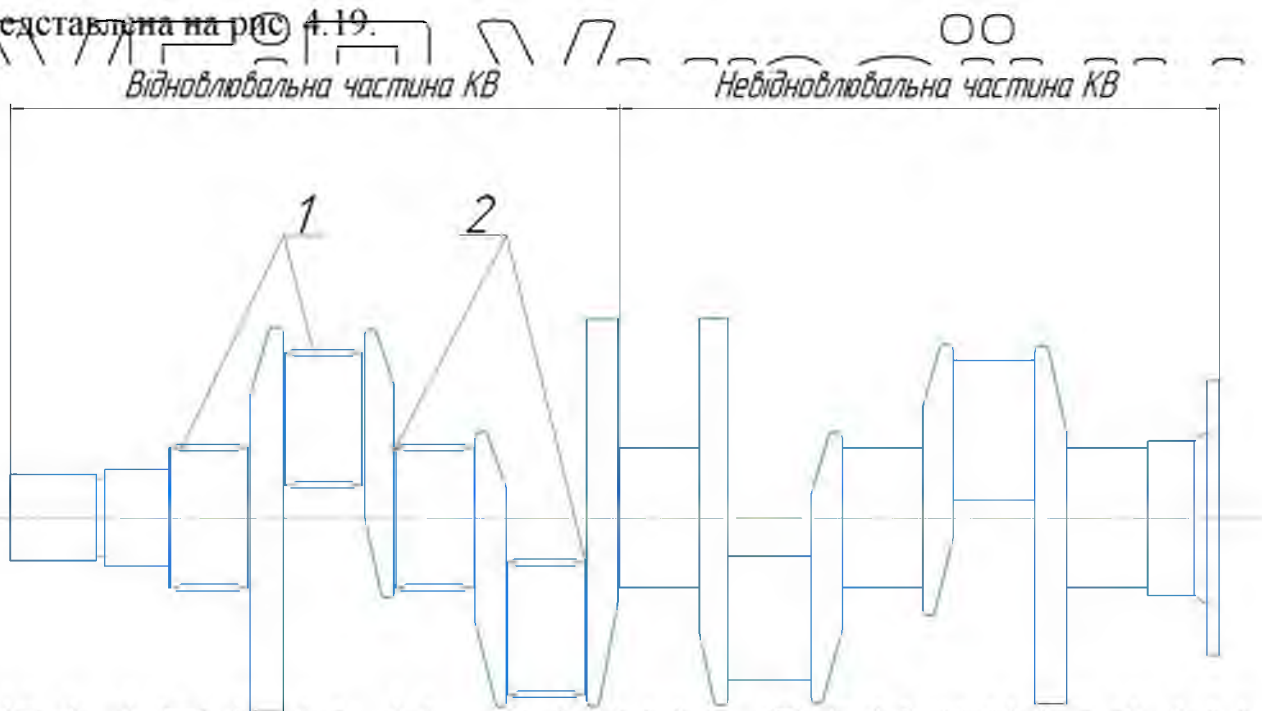


Рисунок 4.19 - Схема нанесення розвантажувальних виточок та коритоподібного профілю:

1 - коритоподібні профілі, 2 - розвантажувальні виточки

Після приварювання сталеві стрічки 50ХФА через проміжний шар ПГ-СР2 проводилися занування отворів під масляні канали та обробка поверхні шийок на круглошліфувальному верстаті мод. 3А423.

Загальний вигляд шийки чавунного КВ двигуна ЗМЗ-24, відновленої ЕКПС із сталі 50ХФА+ПГ-СР2 із застосуванням зміцнювальних конструктивно-технологічних рішень, представлений на рис. 4.20.

Розвантажувальна виточка



Коритоподібний профіль

Рисунок 4.20 - Шийка чавунного КВ двигуна ЗМЗ-24, відновленого ЕКПС із

сталі 50ХФА+ПГ-СР2 із застосуванням зміцнювальних конструктивно-

технологічних рішень:

1 - розвантажувальні виточки; 2 - металопокриття

Перевірку ефективності розробленої технології відновлення шийок чавунних КВ проведено за методикою, викладеною у п. 3.5. На основі експериментальних даних здійснено розрахунок значень межі витривалості для експлуатації та відновлених ЕКПС через проміжний шар з конструктивно-технологічною підготовкою поверхні чавунних КВ двигунів ЗМЗ-24 з використанням розрахунково-експериментальної методики, запропонованої у п.

3.5.2.

Результати стендових випробувань на втому представлені у табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Результати стендових випробувань на втому

№	Характеристика зразка КВ	M_a , Н-м	W^* , см ³	σ_a , МПа	$N \cdot 10^6$, цикл.	$(\sigma_{-li})_{Q=0}$, МПа	$(\sigma_l)_{Q=0,5}$, МПа
1.3	Зношений	650	4,47	82,6	0,095	59,5	87,1
1.4	Також	650	3,55	102,6	0,376	97,9	
2.3	- / -	650	4,50	75,6	0,414	88,3	
2.4	- / -	650	3,89	101,1	0,326	96,4	
3.3	- / -	650	4,52	77,6	0,472	90,7	
3.4	- / -	650	4,74	85,1	0,546	89,6	
1.1	Відновлений	650	3,98	96,3	0,224	85,4	94,1

1.2	Також	650	3,86	91,3	0,243	89,9
2.1	- / -	650	3,64	106,3	0,167	86,3
2.2	- / -	650	4,17	89,8	0,830	111,3
3.1	- / -	390	3,75	61,5	2,500	89,0
3.2	- / -	650	3,77	78,6	0,366	102,5

За результатами виконаних досліджень встановлено [107]:

- межа витривалості зношених чавунних КВ ЗМЗ-24 гавшихся раніше відновленню металопокриттями, становив 87,1 МПа;

- межа витривалості чавунних КВ ЗМЗ-24, відновлених після зносу шийок ЕКПС зі сталі через проміжний шар з ПГ-СР2 і зміцнених КТП, склав 94,1 МПа, що в 1,08 рази вище залишкової межі витривалості КВ до відновлення.

Межа витривалості нових чавунних КВ типу ЗМЗ-24 становить 102 МПа (А. В. Денисов, 1991), тобто. межа витривалості відновленого КВ двигуна ЗМЗ-24 (УМЗ-451, ЗМЗ-402.10, ГАЗ-21 тощо) забезпечується на рівні 0,92 від нового КВ, що відповідає встановленим нормам надійності (не менше 0,85) під час ремонту двигуна.

Порівняння результатів прискорених стендових випробувань чавунних КВ ЗМЗ-24, нових, зношених, відновлених і зміцнених різними способами [42], зокрема способом ЕКПС через проміжний шар, розробленим у межах цієї роботи, представлено на рис. 4.21.

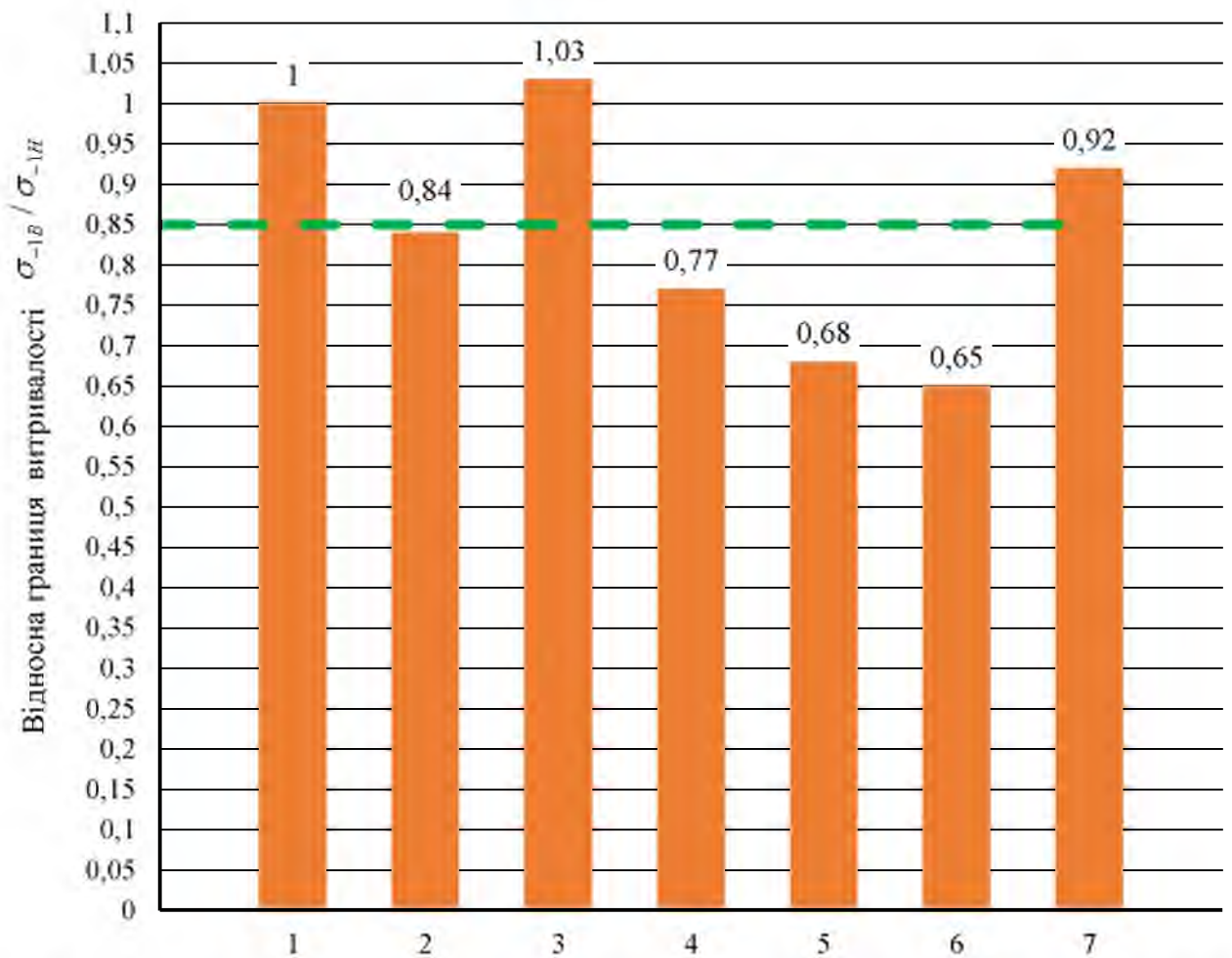


Рисунок 4.21 - Відносна межа витривалості чавунних KB 3M3-24 різного технічного стану

1 - Нові, 2 - Зношені, 3 - Зношені з розвантажувальними виточками, 4 - Відновлені плазмовим напиленням ГРЖ24ВМ+НН85Ю15, 5 - Відновлені плазмовим напиленням порішка ПГС-27, 6 - Відновлені ЕКП пр.Св15ГГСТЮЦА, 7 - Відновлені ЕКПС+2 галтелі+ розвантажувальні виточки

Оцінка опору втоми та залишкових ресурсів чавунних KB була зроблена з використанням викладеної вище методики прогнозування.

Аналіз результатів прискорених стендових випробувань зразків KB 3M3-24 різного технічного стану [42] показав (див. рис. 4.21), що в процесі експлуатації при зносі шийок рівень опору втоми чавунних KB типу 3M3-24 знижується в середньому до 0,84 від нових. Наступне їх відновлення навіть з використанням «холодних» методів зменшує залишкову межу витривалості

рівня значно менше гранично допустимого відповідно до нормативу надійності [109], рівним 0,85 від рівня нового КВ. Так, залишкова межа витривалості КВ, відновлених плазмовим напиленням порошками ПЖ24ВМ+НН85Ю15, становив 0,77 від нового, а відновленого плазмовим напиленням порошком ПГС-27 – 0,68 від нового [42]. Чавунні КВ, відновлені ЕКП дротом Св-15ГСТЮЦА, показали ще більш значуще зниження межі витривалості після відновлення, яке досягло 0,65 рівня нового КВ.

Результати випробувань показали, що чавунні КВ двигуна ЗМЗ-24 за відновлення методами нанесення покриттів для забезпечення нормативної міцності додатково вимагають застосування зміцнювальних впливів.

Аналіз результатів експериментальних досліджень різних авторів [Блох В. Є. 1991., Давидов Б. П. 1991] та проведені в цій роботі експериментальні дослідження міцності зношених чавунних КВ ЗМЗ-24 (табл. 4.5), зміцнених після проведення конструктивно-технологічних заходів (створення подвійної галтели та нанесення розвантажувальних витоків), дозволили забезпечити залишкову межу витривалості чавунних КВ ЗМЗ-24, відновлених ЕКПС через проміжний шар, на рівні 0,92 від нового КВ.

Таблиця 4.5 - Результати прискорених стендових випробувань на втому

при чистому вигині чавунних КВ ЗМЗ-24 різного технічного стану

№	Характеристика серії	σ_{-li} при Q=0.5 МПа	$\sigma_{-1B} / \sigma_{-1H}$
1	Нові	102	1,00
2	Зношені	86	0,84
3	Зношені, що раніше не піддавалися відновленню металопокриттями, з розвантажуючими виточками на шийках	105	1,03
4	Відновлені після граничного зношування плазмовим напиленням порошковою сумішшю ПЖ24ВМ+НН85Ю15	79	0,77
5	Відновлені після зношування плазмовим напиленням порошком ПГС-27	70	0,68
6	Відновлені після зношування контактним приварюванням дроту Св-15ГСТЮЦА	67	0,65

7	Відновлені ЕКПС + 2 жолобники + розвантажувальні виточки	94	0,92
---	--	----	------

Примітка: Дані серій 1,2, 4-6 отримані за результатами експериментальних досліджень [42].

4.3. Результати триботехнічних випробувань нових та відновлених пар гартя

Триботехнічним випробуванням на СМР-1 було піддано дві серії зразків-роликів, вирізаних з шийок КВ зі стандартними вкладишами (АО20-1). Перша серія зразків була вирізана з шийки КВ і була чистою ВЧ50-2; друга серія вирізана з шийки КВ після ЕКПС із ПЦ-СР2. Триботехнічні випробування проводилися згідно з РД 10.003-2009 та методикою, представленою в п. 3.6.

Зразки за допомогою спеціального інструменту оброблялися таким чином, щоб контурна поверхня їх взаємного прилягання при встановленні на випробувальній машині складала не менше 95% номінальної розрахункової поверхні контакту. Контроль прилягання здійснювався методом планиметрування плям контакту, що забезпечує похибка трохи більше 5% з його номінальної площі. Допускався взаємний попередній приробіток зразків безпосередньо на випробувальній машині під навантаженням менше, ніж при випробуваннях. Після досягнення зазначеного прилягання зразки маркували на неробочих поверхнях із зазначенням взаємної орієнтації під час встановлення на випробувальну машину.

Параметри напрацьованої шорсткості (R_a) та деякі характеристики зразків представлені в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Характеристика зразків

Зразок	Робочий шар		Геометричні параметри		Твердість	
	Вид, марка матеріалу	Технологія виготовлення	Розміри робочих	Параметр шорсткості,		
1	Ролик	ВЧ50-2	Шийка КВ	Діаметр 58 мм, ширина	0,11-0,16	HV 207...249

2	Колодка	АТ20-1	Вкладиш КВ	10x10	0,10-0,13	НВ 10 ⁻¹ 28 33
	Ролик	50ХФА+ПГ- СР2 - ВЧ50-2	Шийка КВ+ЕКП	Діаметр 58 мм, ширина	0,11-0,16	НУ 530...600
	Колодка	АО20-1	Вкладиш КВ	10x10	0,10-0,13	НВ 10 ⁻¹ 28 33

Дослідження шорсткості робочих поверхонь зразків-роликів показало, що в процесі приробітку шорсткість (T_{ak}) знижується від 0,250,32 до 0,11-0,16, а при випробуваннях на зносостійкість змінюється незначно.

За результатами обробки даних експериментів на припрацювання для досліджуваних серій визначено навантажувальні характеристики: максимальне навантаження $P_{m.n.}$, МПа, що характеризує передзадирний стан; мінімальний коефіцієнт тертя f_{min} та відповідне йому оптимальне навантаження $P_{оп}$, МПа.

Результати дослідження триботехнічних властивостей напрацьованих пар представлені в табл. 4.7.

Таблиця 4.7 - Результати випробувань на опрацювання

Зразок			$P_{m.n.}$ МПа	Серед не значе ння	$P_{оп}$ МПа	Серед не значен ня $P_{оп}$	f_{min}	Середнє значення f_{min}
Ролик Основа Покриття	Колодка Основа							
ВЧ50-2	-	АТ20-1	40 39 39	39,3	14 15 15	14,6	0,005 0,002 0,003	0,0033
ВЧ50-2	50ХФА+ ПГ-СР2	АТ20-1	50* 50* 50*	50	25 25 25	25	0,005 0,007 0,005	0,0056

* - Передзидир не визначено (вибрано максимальне навантаження, що видається 2070 СМТ-1).

Лабораторні триботехнічні випробування пар тертя показали, що мінімальний коефіцієнт тертя сталонної пари становить 0,0033, а зразків, відновлених ЕКПС сталлю 50ХФА+ПГ-СР2 - 0,0056.

Значення мінімальних коефіцієнтів тертя сталонних та відновлених зразків ЕКПС представлені на рис. 4.25.

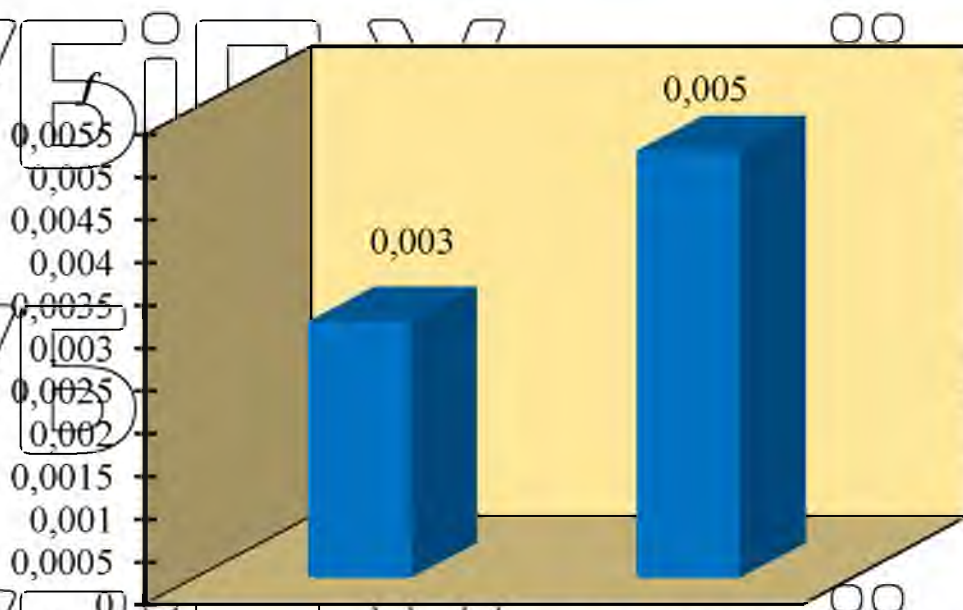


Рисунок 4.25 - Значення мінімальних коефіцієнтів тертя нових та оброблених ЕКПС пар тертя:

1 - B450-2 - AO20-1;

2 - 50XFA+ПГ-СР2 - B1750-2 - АТ20-1

Визначення коефіцієнта тертя різних ступенях навантаження показало, що з виході чергову шабел його значення стабілізується протягом часу не більше 2-3 хв і далі мало змінюється. Надалі відзначалося незначне зменшення коефіцієнта тертя, зумовлене зниженням контактного тиску внаслідок притирання зразків. При великих навантаженнях часом кілька зростає коефіцієнта тертя з підвищенням температури при фрикційному розігріві зразків.

Під час візуального огляду не виявлено суттєвих пошкоджень поверхонь.

На рис. 4.26 представлені графіки максимальних навантажень, що характеризують передзадирний стан, і оптимальних навантажень, при яких коефіцієнти тертя мають мінімальні значення, а поверхні тертя мають найкращу несучу здатність.

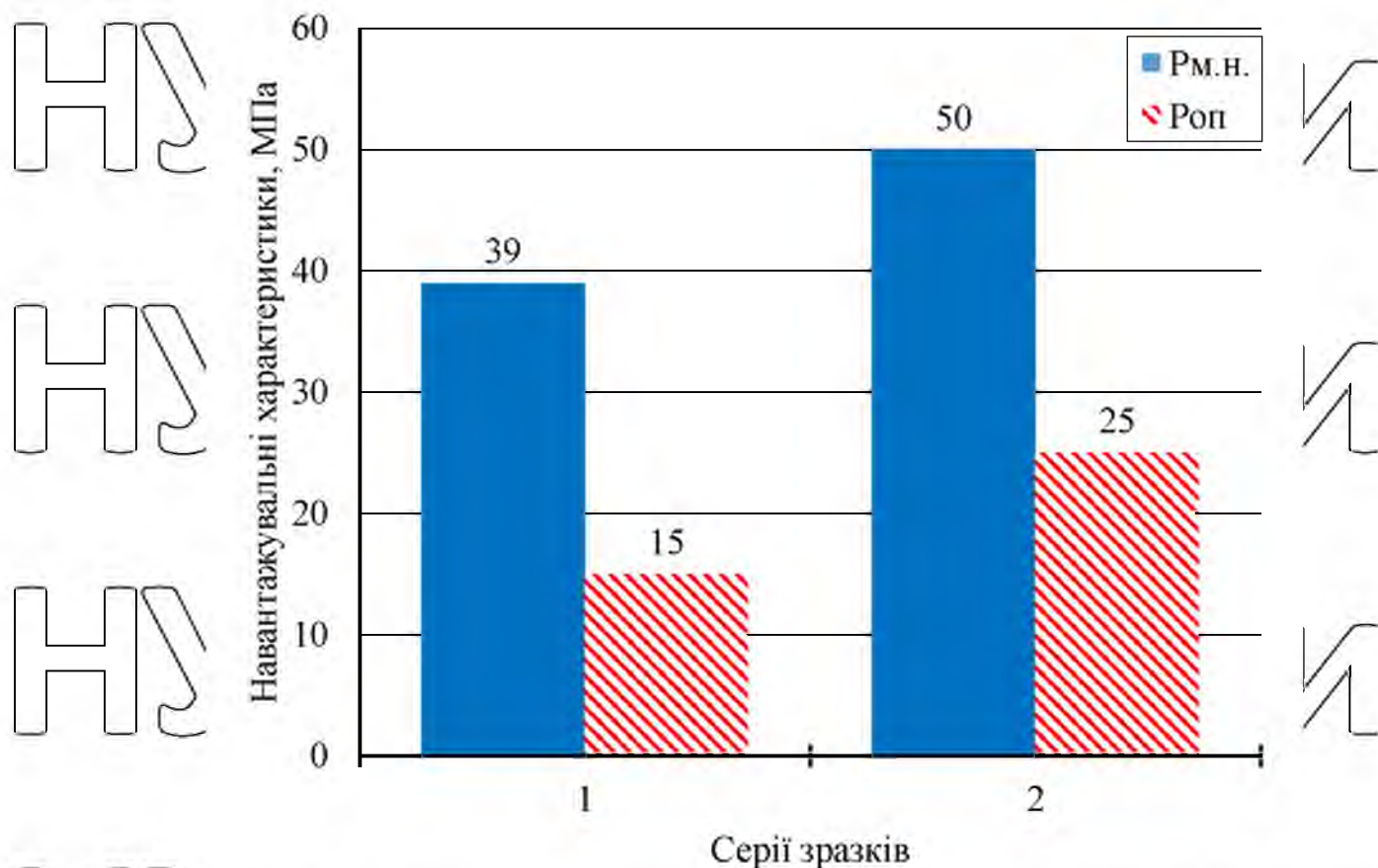


Рисунок 4.26 - Порівняння максимальної $P_{m.n}$ та оптимального навантаження $P_{опт}$ пари тертя.

1 - B450-2 - AO20-1;

2 - 50XФА + ПГ-CP2 - B450-2 - AO20-1

Аналіз рис. 4.26 показав, що максимальна здатність, що несе, у зразків, відновлених ЕКПС - 50 МПа, а мінімальна - у зразків, що не проходили додаткову обробку, - 39 МПа. Середні значення оптимальних навантажень для зразків, відновлених ЕКПС - 25 МПа, нових - 15 МПа.

Сумарна інтенсивність зношування кожної досліджуваної пари тертя визначена тривалими випробуваннями на знос при оптимальному навантаженні кожної пари тертя.

На рис. 4.29 представлена гістограма напруг зсуву для матеріалів, нанесених на міцний чавун ВЧ50-2.

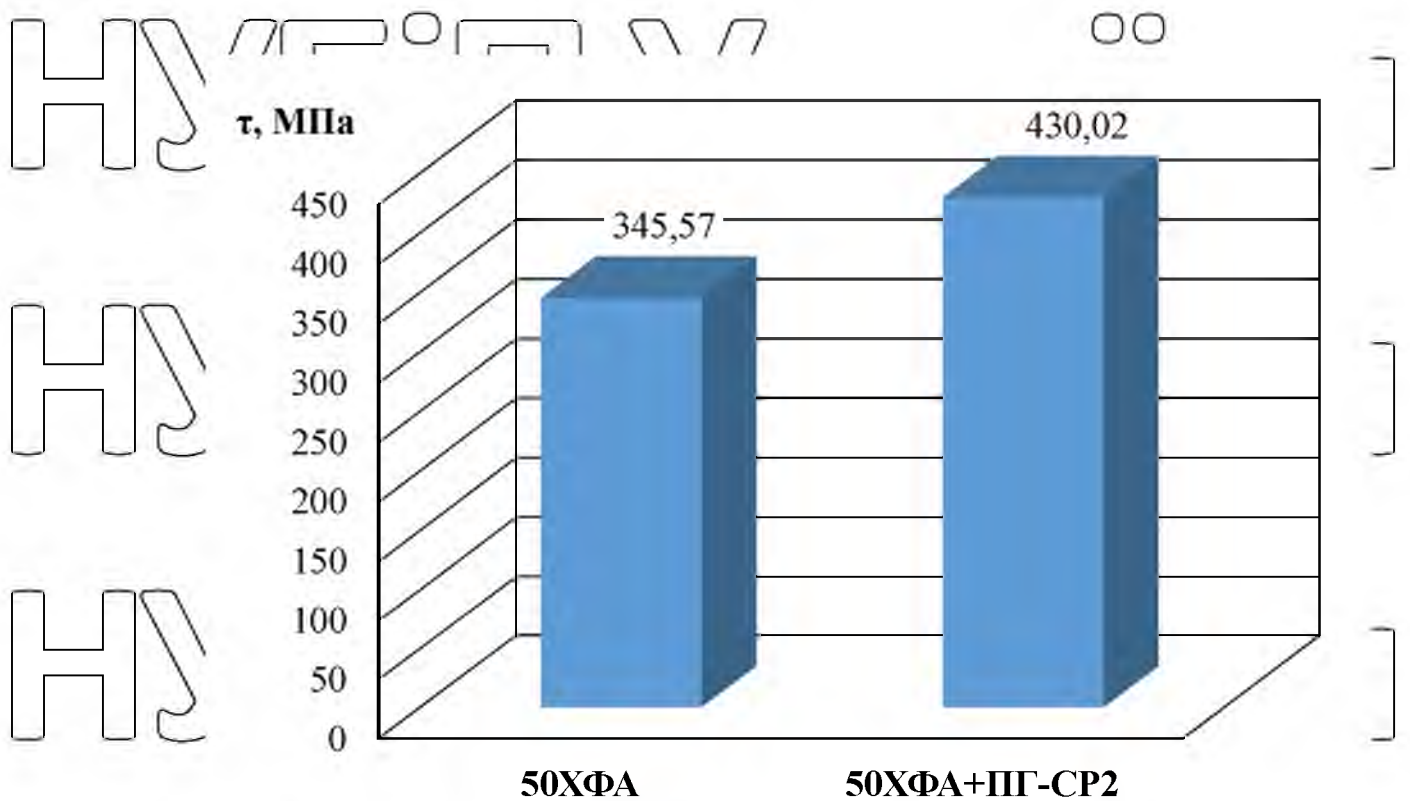


Рисунок 4.29. Розрахована напруга зсуву для матеріалів, нанесених на високоміцний чавун ВЧ50-2

Аналіз результатів визначення міцності зчеплення з основою показав, що величина напруги зсуву для металопокриття зі стрічки 50XФА становить 345,6 МПа, зі стрічки 50XФА+ПГ-СР2 - 430 для матеріалу основи ВЧ50-2 - 500 МПа. Величини напруги зсуву для металопокриття зі стрічки 50XФА+ПГ-СР2 та матеріалу основи близькі за значенням, тому як присадковий матеріал при відновленні чавунних КВ доцільно використовувати стрічку з сталі 50XФА+ПГ-СР2.

Висновки до 4 розділу

1. Металографічні дослідження натурних зразків із чавунного КВ двигуна ЗМЗ-24 показали, що після ВКПС мікротвердість поверхні збільшується у 2,4-2,5 рази порівняно з мікротвердістю матеріалу основи. Застосування проміжного порошкового шару зменшує глибину ЗТВ у 1,5 рази.

2. За результатами прискорених втомних випробувань встановлено, що межа витривалості чавунних КВ двигуна ЗМЗ-24, відновлених після зносу шийок ЕКПС через проміжний шар ПГ-СР2 і зміцнених КТП, склала 94,1 МПа, що в 1,08 разу вище залишкової межі витривалості КВ до відновлення (87,1 МПа).

Межа витривалості КВ двигуна ЗМЗ-24, відновлених ЕКПС через проміжний шар ПГ-СР2 та зміцнених застосуванням КТП забезпечується на рівні 0,92 від нового КВ, що відповідає встановленим нормам надійності (не менше 0,85 від нового) при ремонті двигуна.

3. Результати тривалих стаціонарних випробувань на зносостійкість показали, що сумарна інтенсивність зношування пар тертя, відновлених методом ЕКПС, в 1,14 рази нижче за інтенсивність зношування еталонних пар тертя. Порівняльна оцінка інтенсивності зношування за фактором зносу показує, що в оброблених методом ЕКПС пар тертя цей показник у 1,89 рази нижче, ніж у еталонних пар тертя.

4. Величина напруги зсуву для металопокриття зі стрічки 50ХФА становить 345,57 МПа; зі стрічки 50ХФА+ПГ-СР2 – 430,02 МПа, для матеріалу основи ВЧ50-2 - 500 МПа. Величини напруги зсуву для металопокриття зі стрічки 50ХФА+ПГ-СР2 та матеріалу основи близькі за значенням, тому як присадковий матеріал при відновленні чавунних КВ доцільно використовувати стрічку зі сталі 50ХФА через проміжний шар ПГ-СР2 з фракційним складом 20-63 мкм.

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА УДОСКОНАЛЕНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ЧАВУННИХ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ ЗМЗ-24 І ОЦІНКА ЙОГО ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

5.1. Розробка технологічного процесу відновлення чавунних колінчастих валів

Технологічний процес проектується відповідно до вимог стандартів ЕСКД та ЕСТД, а також з урахуванням доповнень, роз'яснень та обмежень, викладених у керівних технічних матеріалах та галузевих стандартах.

При проектуванні технологічного процесу відновлення деталі розробляється відповідна документація: маршрутні карти (МК), карти ескізів (КЕ), операційні картки (ОК), карти технологічних процесів (КТП), карти типових технологічних процесів (КТТП) та відомості оснастки (ВО).

На основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень було розроблено технологічний процес відновлення чавунних КВ 24-1005011-20 виробництва ВАТ «ЗМЗ».

Технологія відновлення зношених шийок чавунних КВ ЕКПС включає наступні операції: вхідний контроль, миття, дефектація та правка, токарна обробка, КТП, підготовка присадного матеріалу, ЕКПС, свердління масляних отворів, шліфування шийок, балансування, контроль КВ та консервація.

Перед відновленням поверхня шийок чавунних КВ готується під металопокриття з метою забезпечення міцності в'язи. Коритоподібний профіль шийок КВ забезпечується в процесі шліфування на круглошліфувальному верстаті мод. 3А423 при переміщенні шліфувального кола по довжині шийки з розрахунковим відступом країв. При цьому витримуються розміри: для корінних шийок ширина 27 мм, глибина 0,1 мм; для шатунних шийок ширина 26 мм, глибина 0,1 мм. Цим зберігається вихідна геометрія жолобника в зоні максимальної концентрації напруг, де зароджуються втомні руйнування, не вносячи до неї додаткові концентратори від механічної обробки і не виключаючи чистоту поверхні. Стрічка приварюється на попередньо прошліфовану поверхню

на деякій відстані від зав'язаного бурта шийки, що захищає небезпечні перерізи кривошипу від негативного впливу термічного способу.

Розвантажувальні виточки наносяться на шийки КВ циліндром фувальним кругом на круглошліфувальному верстаті в зоні небезпечного перерізу перпендикулярно площині кривошипу глибиною 1,5-2 мм, радіус профілю 3-4 мм. Шийка КВ із конструктивно-технологічною підготовкою поверхні представлена на рис. 5.1.



Рисунок 5.1 - Шийка КВ 24-1005011-20 з конструктивно-технологічною підготовкою поверхні

Заготівлі для відновлення шийок КВ нарізають із сталеві стрічки 50ХФА

(ГОСТ 2283-79) товщиною 0,35 мм, ширина яких дорівнює ширині ділянки, що

відновлюється, а довжина - його периметру, що визначається за формулою

$$L = 3.14 \cdot D + 1,$$

де D - Діаметр відновлюваної ділянки, мм.

Готові заготовки очищають від слідів корозії і на поверхню рівномірно наносять тонкий шар графітового мастила УСсА (ГОСТ 3333-80), який забезпечує утримання шару порошкового матеріалу, після чого порошок наносять ПГ-СР2 (ГОСТ 21448-75) (фракційний склад 20-63 мкм).

Приварювання сталеві стрічки до поверхні шийок чавунних КВ здійснюють за два прийоми: спочатку прихоплюють стрічку, а потім приварюють остаточно. Перед прихваткою встановлюють необхідні режими: обороти шпинделя - 6 об/хв, подача супорта (клішів) - 3 мм/об, зусилля стиснення зварювальних роликів - 1,5 кН, сила зварювального струму - 1,5 кА,

тривалість імпульсу - 0,04 с, тривалість паузи – 0,08 с. Потім КВ закріплюють у патроні установки і підводять зварювальні ролики, ширина робочої частини яких 4 мм, до зношеної поверхні шийки в середній її частині. Потім встановлюють стрічку таким чином, щоб край стрічки знаходився над точкою контакту верхнього зварювального ролика та шийки, після чого стискають зварювальні ролики з одночасною подачею охолодної рідини 1,5 л/хв. У момент торкання зварювального ролика та стрічки включають струм зварювання та прихоплюють стрічку коротким швом (точкою) до поверхні шийки КВ. Закінчивши прихватку стрічки, зварювальні ролики переводять у крайнє становище, після чого включають оберти шпинделя, подачу та виготовляють приварювання стрічки на вибраному режимі.

ЕКПС здійснюють зварювальними роликами, виготовленими із мідних сплавів. Найкращим матеріалом для них є бронза Бр-НБТ за ТУ 48-21-92-72.

Застосовувані зварювальні ролики для ЕКПС та їх характеристика наведено у табл. 5.1.

Таблиця 5.1 - Характеристика зварювальних роликів для ЕКПС

Матеріал зварювального ролика	Питомий опір, (Ом мм ²)/м	Твердість мінімальна, НВ	Температура розміщення, °С
Нікелеберилієва бронза Бр-НБТ	0,9385	170	510
Хромовая бронза БрХ	0,023	120	370
Кадмієва бронза БрКД	0,0219	110	370
Хромоцирконієва бронза БрХЦр 0,6-0,05	0,025	130	500
Мідь	0,017	90	240

Робота зварювальних роликів відбувається за певних умов (тиск, температура, електричне та магнітне поле, механічна дія тощо). У процесі експлуатації вони піддаються циклічному нагріванню, ударному та статичному змінюванню при високих температурах. Внаслідок механічних

впливів (частоти обертання, подачі) порушується геометрична форма контактної поверхні (рис. 5.2).



Рисунок 5.2 - Зношена поверхня зварювального ролика установки 011-1-

02Н «Ремдеталь»

Знос зварювального ролика, тобто збільшення площі контакту зварювального ролика - деталь, що призводить до зменшення кількості струму

та тиску зварювальних роликів і, отже, погіршує умови формування зварного

шва. Велика щільність струму на поверхнях, що контактуються, викликає

нагрів та деформацію, внаслідок чого виникають сприятливі умови для

налипання матеріалу стрічки на зварювальні ролики, а також виплесків

перегрітого металу із зони зварювання. Повністю компенсувати негативний

вплив зносу зварювальних роликів на якість зварного з'єднання коригуванням

технологічних режимів приварювання не вдається, тому періодично виникає

необхідність відновлення їх працездатності, тобто в зачистці форми

зварювальних роликів, що викликає певні труднощі. Для цього розроблено

технологічне пристосування (рис. 5.3), яке дозволяє виконувати зачистку

контактної поверхні зварювальних роликів безпосередньо на установці.



Рисунок 5.3 - Зварювальна головка для ЕКПС із пристосуванням для зачистки контактної поверхні зварювальних роликів

Пристосування служить для щозмінної зачистки (а при необхідності протягом зміни) контактної поверхні зварювальних роликів без зняття їх з установки. Такий спосіб їх зачистки краще, оскільки при цьому створюються сприятливі умови для заточування, не потрібно додаткове регулювання положення ролика після його зняття, заправки та монтажу.

Даний пристрій (рис. 5.4) складається з наступних елементів: корпусу

1, всередині якого за допомогою гвинта 3 переміщується повзун 2. Гвинт 3 обертається у посадкових отворах. Корпус 1 кріпиться за допомогою болтів 4 до плити 5. Дві планки 6 стягують напрямні 7 від їхньої деформації. Даний пристрій розташований на стійці 8.

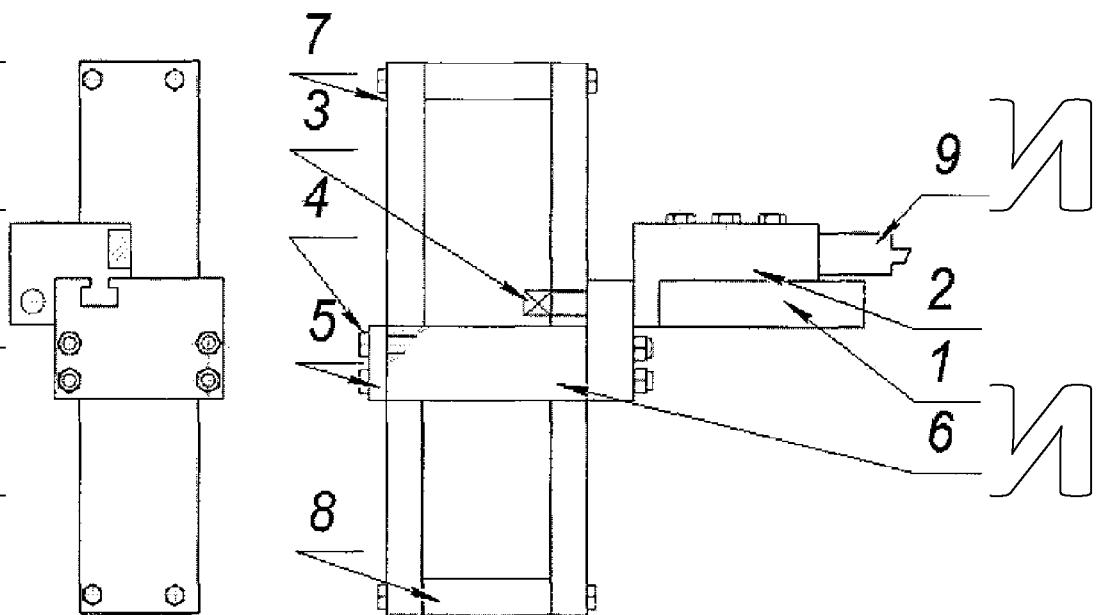


Рисунок 5.4 - Пристрій для зачистки контактної поверхні зварювальних роликів:

1- Корпус; 2 – повзун; 3 – гвинт; 4 – болт; 5 – плита; 6 – планка; 7 - напрямна; 8 – стійка; 9-різець

Для проведення робіт із зачистки зварювальних роликів необхідно встановити пристосування на стійку, різець 9 встановити в посадкове місце і закріпити болтами, вставити в патрон вал діаметром 100 мм і затиснути вал

зварювальними роликками під тиском пневмоциліндрів 1,5 кН, потім підвести різець до контактної поверхні роликів і зробити їх заточування при частоті обертання 10 об/хв.

Оброблені ролики (оптимальна ширина контактної поверхні 4 мм) далі проходять приробіток на зразку циліндричної форми на тих же режимах, на яких виготовляють приварювання стрічки до деталі (рис. 5.5).



Рисунок 5.5 – Відновлена поверхня зварювального ролика

У разі значних відхилень форми роликів, які важко усунути за допомогою описаного пристрою, ролик знімається з установки і заправляється так, як при виготовленні (тобто з використанням токарного обладнання).

Пристосування впроваджено до УНПЦ Інституту механіки та енергетики МДУ ім. Н.П. Сгарьова при відновленні КВ.

Після відновлення виробляють шліфування шийок оберігуючи жолобники від впливу абразивного кола. Допускаються лише фінішні

операції на гальтерних переходах, наприклад полірування жолобників. На рис. 5.6 показано основні етапи та обладнання розробленого технологічного процесу відновлення чавунного КВ/ЕКПС.



Правлення колінчастого вала при згині



Шліфування шийок колінчастого вала в номінальний або ремонтний розмір



Електроконтактна приварка сталюї стрічки на шийки колінчастого вала.



Обробка маєляних створів



Динамічне балансування колінчастого вала.

Рисунок 5.6 – Основні етапи технологічного процесу

Комплект технологічної документації удосконаленого технологічного процесу відновлення чавунного КВ 24-1005011-20 методом ЕКПС через проміжний шар з конструктивно-технологічною підготовкою шийок представлений у додатку 1.

Експлуатаційні випробування КВ 24-1005011-20 з відновленими шийками у період з 2010 по 2012 р. показали їхню високу надійність. Відмов двигунів у зв'язку з відмовами відновлених КВ не спостерігалось. Середній пробіг автомобілів під час випробувань становив 76 410,8 км.

5.2. Розрахунок економічної ефективності впровадження удосконаленого технологічного процесу у виробництво

Розрахуємо економічну ефективність запровадження технологічного процесу відновлення шийок КВ двигуна ЗМЗ-24 стосовно умов малого інноваційного підприємства ТОВ «Агросервіс». Ціни вказані на 18 березня 2021 року.

Економічний ефект відновлення чавунних КВ, визначаємо порівнянсь з вартістю нового КВ, яку приймемо за базову:

$$E = (C_{\text{нов}} - C_{\text{відр}} \cdot \frac{P_2}{P_1}) \cdot N_{\text{рем}} \quad (5.1)$$

де $C_{\text{нов}}$ - вартість нового КВ (6000 грн),

$C_{\text{від}}$ - собівартість відновлення КВ за вдосконаленою технологією, грн.;
 P_1, P_2 - відповідно середній міжремонтний ресурс нових КВ та відновлених за вдосконаленою технологією;

$H_{\text{рем}}$ - кількість ремонтів на рік, прийємо $H_{\text{рем}} = 200$ прим.

Проведені стендові та експлуатаційні випробування показали, що прогнозований міжремонтний ресурс відновлених за вдосконаленою технологією КВ не нижче нормативного ресурсу нового КВ, тому приймаємо

$$P_1 = P_2.$$

Собівартість відновлення за запропонованою технологією визначається за формулою

$$C_{\text{від}} \approx 3П + C_m + C_{\text{пр}} + 3_{\text{нкв}} \quad (5.3)$$

де $3П$ – заробітна плата робітників, грн.;

C_m - вартість матеріалів, грн.;
 $C_{\text{пр}}$ - виробничі витрати, грн.;
 $3_{\text{нкв}}$ - питомі витрати на капітальні вкладення, грн.

Заробітна плата виробничих робітників визначається за формулою

$$3П = (3П_0 + H_{3П}) \cdot t_{\text{від}} \quad (5.4)$$

де $3П_0$ – годинна тарифна ставка робочого 6-го розряду, $3П_0 = 24,91$ грн/год;

$H_{3П}$ - сума податкових відрахувань на заробітну плату, грн.;

$t_{\text{від}}$ - час, що витрачається на відновлення валу, визначається на основі хронометражу, год.

Сума податкових відрахувань обчислюється за формулою

$$H_{3П} = \frac{H_{\text{св}} \cdot 3П_0}{100}, \quad (5.5)$$

де $H_{\text{св}}$ - страховий внесок, що зараховується до бюджету, $H_{\text{св}} = 34\%$.

Таким чином

$$H_{ЗП} = \frac{34 - 24,91}{100} = 8,46 \text{ грн}$$
 Час, що витрачається на відновлення

$$t_{від} = t_{деф} + t_{прав} + t_{ток} + t_{нід} + t_{ЕКП} + t_{зен} + t_{шліф} + t_{бал} + t_{контр}, \quad (5.6)$$

де $t_{деф}$ - час, що витрачається на очищення та дефектацію, $t_{деф} = 0,5$ год;
 $t_{прав}$ - час, що витрачається на правку КВ, $t_{прав} = 0,6$ год,

$t_{ток}$ - час, що витрачається на токарну обробку, $t_{ток} = 0,3$ год;

$t_{нід}$ - час, що витрачається на підготовку коритоподібного профілю та розвантажувальних витоків КВ, $t_{нід} = 2$ год;

$t_{ЕКП}$ - час, що витрачається на підготовку присадного матеріалу та ЕКП,
 $t_{ЕКП} = 1,5$ год;

$t_{зен}$ - час, що витрачається на зенкування масляних каналів, $t_{зен} = 0,4$ год;
 $t_{шліф}$ - час, що витрачається на шліфування, $t_{шліф} = 1,5$ год;

$t_{бал}$ - час, що витрачається на балансування, $t_{бал} = 0,4$ год;

$t_{контр}$ - час, що витрачається на контроль та консервацію, $t_{контр} = 0,2$ год.

Тоді

$$t_{від} = 0,5 + 0,6 + 0,3 + 2 + 1,5 + 0,4 + 1,5 + 0,4 + 0,2 = 7,4 \text{ год}$$

Основна заробітна плата виробничих робітників складе:

$$ЗП = (24,91 + 8,46) \cdot 7,4 = 247 \text{ грн.}$$

Вартість матеріалів визначається за залежністю

$$C_m = H_{кр} \cdot C_{кр} + H_{стр} \cdot C_{стр} + H_{пор} \cdot C_{пор} + H_{гр} \cdot C_{гр}, \quad (5.7)$$

де $H_{кр}$ - норма витрати шліфувального кола для підготовки одного КВ,

$H_{кр} = 0,02$ кг;
 $C_{кр}$ - Вартість шліфувального кола 1141 900x25x305 (ГОСТ 2424-83),
 $C_{кр} = 4500$ грн.;

$H_{стр}$ - норма витрати сталеві стрічки на відновлення одного КВ,
 $H_{стр} = 0,145$ кг;
 $C_{стр}$ - вартість сталеві стрічки 50ХФА (ГОСТ 2283-79),

$C_{стр} = 130$ грн. / кг;
 $H_{пор}$ - норма витрати порошку відновлення одного КВ, $H_{пор} = 0,022$ кг;
 $C_{пор}$ - вартість порошку ПП-СР2 (ГОСТ 21448-75), $C_{пор} = 1250$ грн. / кг;

$H_{гр}$ - норма витрати графітового мастила УССА на відновлення одного КВ, $H_{гр} = 0,00018$ кг;
 $C_{гр}$ - вартість графітового мастила УССА (ГОСТ 3333-80),
 $C_{гр} = 122,5$ грн. / кг.

Остаточного отримаємо
 $C_{м} = 0,02 \cdot 4500 + 0,145 \cdot 130 + 0,022 \cdot 1250 + 0,00018 \cdot 122,5 = 136,37$ грн
 Виробничі витрати визначаються за формулою

$$C_{пр} = C_{ел} + C_{он} + (3П_0 + H_{ЗП}) \cdot t_{ТО}, \quad (5.8)$$

де $C_{ел}$ - вартість витраченої електроенергії, грн.;
 $C_{он}$ - витрати на опалення, комунальні послуги, освітлення, грн.
 $C_{он} = 74,64$ грн;

$t_{ТО}$ - час, що витрачається на технічне обслуговування та налаштування обладнання, $t_{ТО} = 0,25$ год.

Вартість витраченої електроенергії складається з наступних складових:

$$C_{ел} = (W_{мийн} \cdot t_{мийн} + W_{піч} \cdot t_{піч} + W_{прес} \cdot t_{прес} + W_{ток} \cdot t_{ток} + W_{шпф} \cdot (t_{шпф} + t_{шпф}) + W_{ЕКП} \cdot t_{ЕКП} + W_{свер} \cdot t_{свер} + W_{баг} \cdot t_{баг}) \cdot T_{ел}, \quad (5.9)$$

де $W_{мийн}$ - потужність мийної машини, $W_{мийн} = 4,75$ кВт-год;
 $W_{піч}$ - потужність пічки, $W_{піч} = 6$ кВт-год;

$W_{прес}$ - потужність преса, $W_{прес} = 1,5$ кВт-год;
 $W_{ток}$ - потужність токарно-гвинторізного верстата 1К62,
 $W_{ток} = 9,5$ кВт-год;

$W_{шлиф}$ - потужність круглошліфувального верстата 3А423,
 $W_{шлиф} = 11$ кВт-год;
 $W_{ЕКП}$ - потужність, установки 011-1-02Н «Ремдеталь», $W_{ЕКП} = 75$ кВт;

$W_{свер}$ - Потужність вертикально-свердлувального верстата ПК203,
 $W_{свер} = 1,1$ кВт-год;
 $W_{бал}$ - потужність балансувального верстата КІ-4274,
 $W_{бал} = 3,5$ кВт-год;

$T_{ел}$ - тариф споживання електричної енергії,
 $T_{ел} = 3,10$ грн./кВт.
 Тоді
 $C_{пр} = 491,73 + 74,64 + (24,91 + 8,46) \cdot 0,25 = 574,71$ грн

Питомі витрати на капітальні вкладення розраховуються на основі вартості, необхідної для відновлення обладнання.

На момент впровадження запропонованої вдосконаленої технології в малому інноваційному підприємстві ТОВ «Агросервіс» все обладнання, необхідне для відновлення чавунних КВ ЕКПС, вже було, у зв'язку з цим при розрахунку балансової вартості обладнання наведено його залишкову вартість.

$$Z_{ткв} = E \cdot \frac{C_{мийн} + C_{піч} + C_{прес} + C_{ток} + C_{шлиф} + C_{ЕКП} + C_{свер} + C_{бал}}{H_{рем}} + \frac{T_{варт} \cdot H_{ном}}{t_{ам} \cdot H_{рем}}, \quad (5.11)$$

де E – коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, $E = 0,15$;

$C_{мийн}$ - вартість мийної машини, $C_{мийн} = 176000$ грн.;
 $C_{піч}$ - вартість пічки, $C_{піч} = 109000$ грн.;

НУБІП УКРАЇНИ

$C_{прес}$ - вартість преса, $C_{прес} = 150000$ грн.;

$C_{ток}$ - вартість токарно-гвинторізного верстата 1К62, $C_{ток} = 190000$ грн.;

$C_{шлиф}$ - вартість круглошлифувального верстата 3А423,

$C_{шлиф} = 300000$ грн.;

НУБІП УКРАЇНИ

$C_{ЕКП}$ - вартість установки 011-1-02Н «Ремдеталь», $C_{ЕКП} = 200000$ грн.;

$C_{свер}$ - вартість вертикально-свердлувального верстата ПК-203,

$C_{свер} = 200000$ грн.;

НУБІП УКРАЇНИ

$C_{бал}$ - вартість балансувального верстата, $C_{бал} = 150000$ грн.;

$T_{варт}$ - вартість будівельно-монтажних робіт, $T_{варт} = 35000$ грн./м²;

$t_{ам}$ - термін амортизації будівлі, $t_{ам} = 50$ років.

НУБІП УКРАЇНИ

Тоді

$$z_{кв} = 0,15 \frac{176000 + 109000 + 150000 + 190000 + 300000 + 200000 + 200000 + 150000}{200} + \frac{35000 \cdot 40}{50 \cdot 200} = 2596,25 \text{ грн}$$

НУБІП УКРАЇНИ

$$C_{вид} = 247 + 136,37 + 574,71 + 2596,25 = 3554,33 \text{ грн}$$

З урахуванням вищевикладеного економічна ефективність впровадження вдосконаленої технології у виробництво на програму ремонту 200 КВ двигуна

ЗМЗ-24 складас:

НУБІП УКРАЇНИ

$$E = (6000 - 3554,33) \cdot 200 = 489134 \text{ грн.}$$

НУБІП УКРАЇНИ

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Теоретично обґрунтовано доцільність застосування проміжного шару за відновлення чавунних КВ. Проміжний шар активує дифузійні процеси, в результаті чого отримані з'єднання з високою міцністю зчеплення при нижчій температурі зварювання, менший тиск і час витримки.

2. Модернізована установка 011-1-02Н «Ремдеталь» для відновлення КВ діаметром 20-200 мм, що забезпечило збільшення жорсткості конструкцій зварювальних кліщів за рахунок рівного розподілу зусилля по осі зварювальних роликів.

3. Модернізація універсального стенду резонансного типу для прискорених стендових випробувань на втому КВ забезпечила контроль результатів експериментів з похибкою вимірювань не більше 2 %.

За результатами прискорених втомних випробувань встановлено, що межа витривалості чавунних КВ ЗМЗ-24, відновлених після зношування шийок ЕКПС через проміжний шар ПГ-СР2 і зміцнених КТН, склала 94,1 МПа, що в 1,08 разу вище залишкової межі відновлення (87,1 МПа). Межа витривалості КВ типу ЗМЗ-24, відновлених ЕКПС через проміжний шар ПГ-СР2 та зміцнених КТП забезпечується на рівні 0,92 від нового, що відповідає встановленим нормам надійності (не менше 0,85) при ремонті двигуна.

4. Металографічні дослідження натурних зразків із чавунного КВ ЗМЗ-24 показали, що щільність ЕКПС мікротвердість поверхні збільшується в 2,4-2,5 рази в порівнянні з мікротвердістю матеріалу основи.

Застосування проміжного порошкового шару зменшує глибину ЗТВ 1,5 рази.

Макронапруження розтягування у зразках із чавуну ВЧ50-2 зменшуються після нанесення способом ЕКПС покриттів із сталі 50ХФА в 1,2 рази, а зі сталі 50ХФА через ПГ-СР2 - у 2 рази. Подрібнення зерна та зменшення розтягуючих напруг призводить до збільшення твердості та зносостійкості покриття.

5. Результати тривалих стаціонарних випробувань на зносостійкість показали, що сумарна інтенсивність зношування пар тертя, відновлених методом

ЕКПС, в 1,14 рази нижче за інтенсивність зношування еталонних пар тертя. Порівняльна оцінка інтенсивності зношування за фактором зносу показує, що у оброблених методом ЕКПС пар тертя цей показник у 1,89 рази нижче, ніж у еталонних.

Розмір напруги зсуву для металопокриття зі стрічки 50ХФА становить 345,6 МПа, зі стрічки 50ХФА+ПГ-СР2 - 430, для матеріалу основи ВЧ50-2 - 500 МПа. Величини напруги зсуву для металопокриття зі стрічки 50ХФА+ПГ-СР2 та матеріалу основи близькі за значенням, тому як присадковий матеріал при відновленні чавунних КВ доцільно використовувати стрічку 50ХФА через проміжний шар ПГ-СР2 фракційного складу 20-63 мкм.

6. На підставі проведених досліджень удосконалено технологічний процес відновлення чавунних КВ ЗМЗ-24 ЕКПС через проміжний шар. Економічна ефективність від запровадження вдосконаленої технології відновлення чавунних КВ у виробництво становить 489134 грн. на програму ремонту 200 КВ на рік

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Матвеев Н. А. Технічний прогрес ливарного виробництва в автомобілебудуванні СРСР / Н. А. Матвеев, І. А. Вигодський // Ливарне виробництво. – 1977. – № 11. – С. 12-14.

2. Горшків А. А. Литі колінчасті вали. / А. А. Горшков, М. В. Волощенко -М.: Машинобудування, 1964. – 195 с.

3. Волощенко М. В. Сучасний стан виробництва та застосування високоміцного чавуну з кулястим графітом / М. В. Волощенко, О. Г. Сідлецький. - Київ: Наук, думка, 1970. - 84 с.

4. Усков В. П. Ресурсозбереження при ремонті базових деталей тракторних двигунів : дис. д-ра техн. наук/В. П. Усков. М., 1999.

5. Ціліков В. В. Дослідження спотворень геометричних параметрів колінчастих валів при їх відновленні : дис. канд. техн. наук /Ст. В. Ціліков. Володимир, 1974. – 222 с.

6. Гурвіч Б. Довговічність автомобільних двигунів. Б. Гурвіч. М.: Машинобудування, 1967. – 103 с.

7. Новіков В. Ф. Дослідження роботи та зносу вузла колінчастий вал-підшипники транспортних дизелів та заходи щодо збільшення його експлуатаційної надійності : дис. канд. техн. наук/В. Ф. Новіков. Ростов н/Д., 1966. – 203 с.

8. Батищев А. Н. Відновлення деталей сільськогосподарської техніки / Батищев А. Н., Голубев І. Г., Лялякін В. П. - М.: Інформагротех, 1995.-296 с.

9. Степанов А. Г. Технології та засоби підвищення довговічності колінчастих валів двигунів внутрішнього згоряння оптимальним використанням ремонтного припуску : дис. д-ра техн. наук/А. Г. Степанов. М., 2003.-608 с.

10. Характерні особливості дефектів та руйнувань колінчастого валу 740.1005.020. Звіт №54054-005.Т. Рукопис НТЦ ПО КАМАЗ. – Набережні човни, 1987 – 86 с.

11. Лялякін В. П. Дослідження особливостей старіння колінчастих валів автотракторних двигунів у зв'язку з процесами втоми та зносу стосовно проблеми їх ремонту : дис. канд. техн. наук/В. П. Лялякін. М., 1976.-238 с.

12. Підвищення витривалості плоских деталей поверхневим пластичним деформуванням / В. Б. Уманський, Л. М. Белкін, В. З. Вдовін [та ін.] // Вести, машинобудування. – 1980. – № 6. – С. 21 – 22.

13. Молодих Н. В. Відновлення деталей машин/Н. В. Молодих, Б. А. Лангрет, А. К. Бредун. - Київ: Урожай, 1985. - 160 с.

14. Молодих Н. В. Відновлення деталей машин: Довідник / Н. В. Молодих, А. С. Зенкін. - М: Машинобудування, 1989. - 480 с.

15. Беркман А. А. Чавунні вали // Техніка в сел. госп-ві. – 1981. – № 3. -С. 35-36.

16. Беркман А. А. Працездатність відновлених чавунних коленвалів/А. А. Беркман// Автомобільний транспорт. – 1980. – № 9. – С. 44 – 46.

17. Доремонтні та міжремонтні стани колінчастих валів автотракторних двигунів / Ф. Х. Бурумкулов, Л. М. Лельчук, Р. Т. Тошматов [та ін.]// Сучасні технології відновлення та зміцнення деталей – ефективний спосіб підвищення надійності машин. – М., 1996.-С. 81-83.

18. Горохів В. А. Ремонт та відновлення колінчастих валів / Ст. О. Горохів, П. А. Руденко, - М: Колос, 1978. - 159 с.

19. Технічне обслуговування та ремонт машин у сільському господарстві: навчальн. посібник / В. І. Черноіванов, В. В. Блідих, А. Е. Північний [та ін.]. - М. Челябінськ: ДЕРЖСНІТІ-ЧДАУ 2003. - 992 с.

20. Лісник А. В. Хромування шийок колінчастих валів // Сел. госп-во Молдови. - 1976. - № 7. - С. 49 - 50.

21. Петров Ю. Н. Перспективи розвитку електрохімічних способів ремонту деталей машин// Тр. Госніті-М., 1970. - Т.24. – 24 с.

22. Сидоров А. І. Відновлення деталей машин напильником та наплавкою / А. І. Сидоров. - М: Машинобудування, 1987. - 192 с.

23. Якуєвицький В. А. Відновлення деталей автомобілів на спеціалізованих підприємствах / В. А. Какуєвицький. - М.: Транспорт, 1988. - 149 с.

24. Лялякін В. П. Удосконалення організації відновлення деталей в СРСР і за кордоном / В. П. Лялякін, А. М. Коногоров - М., 1991. - 41 с.

25. Зверев А. І. Детонаційне напilenня покриттів / А. І. Зверев, З. Ю. Шарінкер, Є. А. Астахов. - Л.: Суднобудування, 1979. - 232 с.

26. Відновлення шийок колінчастих валів електродуговою металізацією / Н. Н. Литовченко, С. Б. Клімов, В. Г. Михайлов [та ін.] // Техніка в сел. госп-ві. - 1986. - № 10. - С. 46 - 48.

27. Шилєнков Є. І. Дослідження електродугової та плазмової металізації стосовно відновлення автотракторних колінчастих валів з високоміцного магнієвого чавуну : автореф. дис. канд. техн. наук / Є. І. Шилєнков. - Саратов: Сімесх, 1971. - 21 с.

28. Лялякін В. П. Відновлення та зміцнення деталей машин в АПК Росії та Білорусії / В. П. Лялякін, В. П. Іванов // Ремонт, відновлення, модернізація. 2004, № 2 - С. 2-7

29. Сидоров А. І. Рекомендації щодо відновлення зношених деталей машин плазмовим наплавленням / А. І. Сидоров, А. Н. Шипалов - М.: 1989. - 24 с.

30. В. В. Медюков Відновлення колінчастих валів лазерним наплавленням / В. В. Медюков, А. М. Чирков // Збірник наукових праць «МАШИНОБУДУВАННЯ» / ВятГТУ. 1998. № 3, 3-105.

31. Дорошенко А. Г. Методика вибору раціональних способів відновлення складнонавантажених деталей: автореф. дис. канд. техн. наук / А. Г. Дорошенко. - Челябінськ, 1978. - 17 с.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ДОДАТКИ

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України