

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти
«магістр»

на тему: «Удосконалення процесу відновлення зношених посадкових отворів
під підшипники корпусних деталей машин для підвищення їх надійності та
довговічності»

КРМ.133ГМмд(ОНП)_22.07.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти
за міждисциплінарною
освітньо-науковою програмою
*«Сервісна інженерія в
агропромисловому виробництві»*
за спеціальностями 133 Галузеве
машинобудування, 208 Агроінженерія
ступеня вищої освіти *магістр*
групи 133ГМ_мд_22[2](ОНП)
ЖУК Андрій

Керівник: к.т.н., доцент
ДУДНИК Володимир

Рецензент: к.т.н., доцент
ЛАПЕНКО Тарас

Полтава – 2026 року

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Міждисциплінарна освітньо-наукова програма
«Сервісна інженерія в агропромисловому виробництві»
Спеціальності: 133 «Галузеве машинобудування», 208 «Агроінженерія»
Ступінь вищої освіти *магістр*

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри механічної
та електричної інженерії,
канд. техн. наук, доцент,
Станіслав ПОПОВ
30 червня 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

ЖУК Андрій

1. Тема роботи: *«Удосконалення процесу відновлення зношених посадкових отворів під підшипники корпусних деталей машин для підвищення їх надійності та довговічності»*, керівник роботи *канд. техн. наук, доцент ДУДНИК Володимир*, затверджено засіданням кафедри, протокол №18 від 30.06.2025 р.
2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи – 20 травня 2026 р.
3. Вихідні дані до роботи: *аналіз літературних джерел Полтавської обласної універсальної наукової бібліотеки імені Івана Котляревського; аналіз літературних джерел Національної бібліотеки України імені Володимира Вернадського; сучасний досвід підприємств машинобудування та АПК за тематичним спрямуванням.*
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
Розділ 1. *Аналіз існуючих досліджень.*
Розділ 2. *Теоретичні положення.*
Розділ 3. *Методика досліджень.*
Розділ 4. *Результати експериментів.*
Розділ 5. *Практична реалізація розробок.*
5. Перелік ілюстраційного матеріалу: *1. Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи. 2. Основні завдання дослідження. 3. Дослідження впливу концентрації хлорної міді в електроліті залізнення на міцність зчеплення покриття з матеріалом основи (2 слайди). 4. Результати багатofакторного експерименту щодо визначення експлуатаційних властивостей електролітичного покриття залізо-мідь (3 слайди). 5. Оцінка економічної ефективності впровадження проектних рішень. 6. Висновки.*

6. Консультанти розділів *кваліфікаційної роботи*

Розділ	Власне ім'я, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання отримав
Практична реалізація розробок	Володимир ДУДНИК, доцент кафедри механічної та електричної інженерії		
	Петро МАКАРЕНКО, професор кафедри економіки та публічного управління		
	Павло ПИСАРЕНКО, завідувач кафедри екології, збалансованого природокористування та захисту довкілля		

7. Дата видачі завдання 30 червня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з.п.	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вибір і затвердження теми роботи	До 30.06.25	
2	Складання і затвердження розгорнутого плану та завдання на кваліфікаційну роботу	21.07-27.07.25 15.12-28.12.25	
3	Опрацювання літературних джерел		
4	Збір, вивчення і обробка інформації, необхідної для виконання роботи	20.04-26.04.26	
5	Виконання розділів роботи	27.04.26-10.05.26	
6	Оформлення тексту роботи		
7	Попередній захист роботи на кафедрі	11.05-15.05.26 18.05-20.05.26	
8	Доопрацювання роботи з урахуванням зауважень і пропозицій		
9	Нормалізаційний контроль		
10	Захист кваліфікаційної роботи	25.05-31.05.26	

Здобувач вищої освіти _____ Андрій ЖУК
(підпис)

Керівник роботи _____ Володимир ДУДНИК
(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 5 розділів, 3 додатки, 17 рисунків, 2 таблиці, 34 використаних джерел, 65 сторінок.

Об'єкт дослідження – технологічний процес нанесення електролітичного залізного покриття з властивостями, що забезпечують необхідну оброблюваність при відновленні зношених посадкових отворів корпусних деталей машин.

Предмет дослідження – експлуатаційні властивості нового електролітичного покриття залізо-мідь.

Постановка актуальної технічної задачі – розроблення та обґрунтування ефективного технологічного процесу відновлення зношених отворів під підшипники у корпусних деталях машин.

Мета роботи – розроблення та удосконалення технологічного процесу відновлення зношених посадкових отворів під підшипники у корпусних деталях машин шляхом застосування ефективних методів нанесення покриттів.

Практичне значення – полягає в удосконаленні технології відновлення зношених посадкових отворів під підшипники корпусних деталей машин. Пропоновані технологічні рішення дозволяють підвищити зносостійкість відновлених поверхонь, збільшити ресурс роботи деталей, знизити витрати на ремонт та підвищити ефективність використання машинно-тракторного парку.

У **першому розділі** проведено аналіз способів відновлення отворів під підшипники в чавунних корпусних деталях та наведено характеристику способу відновлення деталей машин електроосадженням заліза та його сплавів.

У **другому розділі** наведено теоретичні положення визначення впливу деформацій посадкових отворів корпусів коробок передач на довговічність агрегатів та деталей. Визначено допустимі концентрації хлорної міді в електроліті як функції від міцності зсуву покриття залізо-мідь.

У **третьому розділі** приведена методика визначення міцності зчеплення електролітичного покриття залізо-мідь із матеріалом основи та проведення багатофакторного експерименту.

У **четвертому розділі** приведено результати дослідження впливу концентрації хлорної міді в електроліті залізнення на міцність зчеплення покриття з матеріалом основи та експлуатаційних властивостей електролітичного покриття залізо-мідь.

У **п'ятому розділі** було приділено увагу питанням охорони праці, екологічної експертизи та економічної ефективності удосконалення.

Рекомендації щодо використання результатів роботи – результати можуть використовуватись на ремонтних та сервісних підприємствах при відновленні зношених отворів під підшипники у корпусних деталях машин.

Сфера застосування результатів роботи – машинобудування, сервісна інженерія.

Ілюстраційна частина кваліфікаційної роботи – 11 аркушів.
Результат перевірки тексту пояснювальної записки на плагіат за допомогою сервісу StrikePlagiarism: унікальність тексту – 97,34 %.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота магістра присвячена розробці та удосконаленню технологічного процесу відновлення зношених посадкових отворів під підшипники у корпусних деталях машин шляхом застосування ефективних методів нанесення покриттів.

Ключові слова: ВІДНОВЛЕННЯ, ЗАЛІЗНЕННЯ, МІКРОСТРУКТУРА, ОТВІР, СИЛА РІЗАННЯ, КОРПУСНІ ДЕТАЛІ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, МЕТАЛОПОКРИТТЯ, ЧАВУН, ЕЛЕКТРООСАДЖЕННЯ.

ANNOTATION

The master's qualification work is dedicated to the development and improvement of the technological process of restoring worn bearing holes in machine body parts by using effective coating methods.

Keywords: RECOVERY, IRONING, MICROSTRUCTURE, HOLE, CUTTING FORCE, BODY PARTS, WEAR RESISTANCE, METAL COATING, CAST IRON, ELECTRODEPOSITION.

ЗМІСТ

	ВСТУП.....	7
1	АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	9
	1.1 Аналіз способів відновлення отворів під підшипники в чавунних корпусних деталях	9
	1.2 Коротка характеристика способу відновлення деталей машин електроосадженням заліза та його сплавів	16
2	ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ	22
	2.1 Визначення впливу деформацій посадкових отворів корпусів коробок передач на довговічність агрегатів та деталей ...	22
	2.2 Визначення допустимої концентрації хлорної міді в електроліті як функції від міцності зсуву покриття залізо-мідь	28
3	МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	33
	3.1 Методика визначення міцності зчеплення електролітичного покриття залізо-мідь із матеріалом основи	33
	3.2 Методика проведення багатofакторного експерименту по визначенню експлуатаційних властивостей електролітичного покриття залізо-мідь	35
4	РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТІВ	40
	4.1 Дослідження впливу концентрації хлорної міді в електроліті залізнення на міцність зчеплення покриття з матеріалом основи	40
	4.2 Результати багатofакторного експерименту щодо визначення експлуатаційних властивостей електролітичного покриття залізо-мідь	41
5	ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБОК	48
	5.1 Екологічна експертиза.....	48
	5.2 Охорона праці	50
	5.2.1 Актуальність проблеми безпеки людини у виробничому середовищі	50
	5.2.2 Вимоги з охорони праці при нанесенні композиційних покриттів.....	51
	5.2.3 Аналіз формування травмонебезпечних ситуацій.....	53
	5.3 Оцінка економічної ефективності впровадження проектних рішень	54
	ВИСНОВКИ.....	58
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	59
	ДОДАТКИ.....	62

ВСТУП

Ресурс відремонтованих агрегатів значною мірою залежить від рівня технології та якості відновлення корпусних деталей. Відновлення зношених отворів корпусів призводить до порушення міжосьових відстаней, співвісності отворів, паралельності осей, що є причиною низького ресурсу відремонтованих вузлів та агрегатів. Так, ресурс коробок передач, зібраних із нових деталей та відновлених корпусів з порушеннями просторової геометрії, становить менше половини ресурсу нових [1].

Корпусні деталі трансмісії виготовляють переважно із сірого чавуну. Характерними дефектами корпусів є: знос посадкових отворів під підшипники та стакани, різьбових отворів, отворів під валики перемикачів передач, під штифти, тріщини та обломи, викривлення приєднувальних поверхонь. Коефіцієнти відновлення корпусів за капітального ремонту машин становлять 0,4 - 0,8 [1].

Найбільша повторюваність дефектів й у посадкових отворів під підшипники і стакани. Усунення цих дефектів становить основну складність технологічного процесу відновлення корпусних деталей. В результаті зношування, старіння і деформації корпусів порушуються не тільки розміри отворів, але і їх взаємне розташування, паралельність і перпендикулярність осей отворів між собою і щодо установчих баз. Тому в процесі відновлення поряд з доведенням розмірів отворів до номінальних значень необхідно відновлювати їхнє просторове розташування, витримуючи точні розміри.

Основне завдання при відновленні корпусів полягає в правильному виборі способу нанесення покриття, схеми базування та технології механічної обробки, що дозволяють відновити зносостійкість і задані параметри точності. У зв'язку з цим удосконалення технології відновлення отворів під підшипники у корпусних деталях з метою забезпечення можливості відновлення геометричних параметрів та необхідної зносостійкості є актуальним.

Об'єкт дослідження – технологічний процес нанесення електролітичного

залізного покриття з властивостями, що забезпечують необхідну оброблюваність при відновленні зношених посадкових отворів корпусних деталей машин.

Предмет дослідження – експлуатаційні властивості нового електролітичного покриття залізо-мідь.

Постановка актуальної технічної задачі – розроблення та обґрунтування ефективного технологічного процесу відновлення зношених отворів під підшипники у корпусних деталях машин.

Мета роботи – розроблення та удосконалення технологічного процесу відновлення зношених посадкових отворів під підшипники у корпусних деталях машин шляхом застосування ефективних методів нанесення покриттів.

Практичне значення – полягає в удосконаленні технології відновлення зношених посадкових отворів під підшипники корпусних деталей машин. Пропоновані технологічні рішення дозволяють підвищити зносостійкість відновлених поверхонь, збільшити ресурс роботи деталей, знизити витрати на ремонт та підвищити ефективність використання машинно-тракторного парку.

Практичні результати роботи – встановлені закономірності, що описують взаємозв'язок між режимами технологічного процесу нанесення електролітичного покриття залізо-мідь та його експлуатаційними властивостями.

Рекомендації щодо використання результатів роботи – результати можуть використовуватись на ремонтних та сервісних підприємствах при відновленні зношених отворів під підшипники у корпусних деталях машин.

Апробація. Основні положення виконаної роботи доповідались і обговорювались:

- на XI Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція «Інноваційні аспекти систем безпеки праці, цивільного захисту та захисту інтелектуальної власності» (Україна, Полтава, 16-17 квітня 2026 року).

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Аналіз способів відновлення отворів під підшипники в чавунних корпусних деталях

Відновлення чавунних корпусних деталей пов'язане із значними труднощами, зумовленими високою схильністю чавуну до утворення твердих структурних складових (ледебуриту, мартенситу) та підвищеної схильністю до тріщини утворення. Останнє пов'язане не лише з наявністю ледебуритної евтектики та мартенситу, але й з низькою пластичністю та міцністю чавуну. Тому роботи з відновлення посадкових отворів у чавунних корпусах деталей ведуться у напрямку створення таких процесів, які забезпечували б отримання оброблених покриттів різанням [2]:

1. Гальванічне нанесення покриттів – залізнення місцеве, залізнення проточне, електронатирання, нанесення залізо-цинкового покриття.
2. Нанесення епоксидних компаундів.
3. Газополум'яна обробка.
4. Напилення.
5. Електромікронаплавлення.
6. Газопорошкове наплавлення.
7. Низькотемпературна наплавка – паяння.
8. Вібродугове наплавлення.
9. Електроіскрове наплавлення;
10. Контактне приварювання сталеві стрічки.

У проведеному нижче огляді наведено аналіз способів відновлення поверхонь отворів в корпусних деталях і наведено деякі рекомендації щодо впровадження найбільш кращих.

Гальванічні способи знайшли певне застосування у зв'язку з розробкою вневаних способів нанесення покриттів – способу місцевих залізних ванн і проточного залізнення.

Спосіб місцевих ванн відрізняється простотою та знаходить застосування на ремонтних підприємствах. Концентрований розчин хлористого заліза (600 г/л) з кислотністю $pH=0,6-0,7$ за кімнатної температури дозволяє отримати досить якісне покриття при катодній щільності струму $D_k=4...8$ А/дм² товщиною 0,05...0,15 мм. Зчеплення покриття з основою забезпечується попереднім знежиренням поверхні та анодним очищенням у 30% розчині сірчаної кислоти при $D_a=20...70$ А/дм².

Недолік способу залізнення в місцевих ваннах – низька швидкість осадження заліза – 0,10...0,15 мм/год, а також жорсткі вимоги до стабільності режимів залізнення на всіх операціях та відсутність можливості механізації та автоматизації процесу. Причому при даному способі швидко збіднюється електроліт і його не завжди вистачає для отримання необхідної якості та товщини покриття.

Спосіб проточного залізнення полягає в тому, що поверхня, що покривається, перетворюється на замкнутий осередок, через яку прокачується електроліт зі швидкістю 5 см/сек при $D_k=30$ А/дм². В порівнянні зі способами місцевих ванн швидкість осадження заліза збільшується і становить 0,25 мм/год. Позитивною стороною залізнення є висока міцність зчеплення покриття з деталлю застосування недорогих матеріалів. До недоліків способу слід зарахувати низьку швидкість осадження.

Різновидом вневаних гальванічних методів є електронатирання. Однак невисока швидкість нарощування (3...10 мкм/хв) обмежує застосування електронатирання для деталей із зносом понад 0,1 мм.

В цинкометалевих гальванічних покриттях для нанесення добре оброблюваних покриттів завтовшки 0,3...0,4 мм рекомендується використовувати електроліт наступного складу: сірчаноокислий цинк – 250 г/л, сірчаноокисле залізо – 30...50 г/л, сірчаноокислий амоній – 50 г/л, сірчана кислота – 0,5...2,0 г/л.

Режим електролізу: катодна щільність струму 5...15 А/дм² температура електроліту 50...60°C.

Спосіб газополум'яної обробки з метою відновлення посадкових поверхонь заснований на структурних перетвореннях в чавуні при його нагріванні, які призводять до створення залишкових напружень. Радіальне усадження отвору при нагріванні до 750...850°C може досягти 0,24 мм. Однак в умовах експлуатації спостерігається релаксація залишкових напружень, що призводить до зміни геометричних розмірів, тому радіальна усадка, раніше досягнута при обробці, зменшується.

Високий нагрів деталі може призвести до її викривлення і порушення розташування поверхонь, що сполучаються і, як було показано вище, до зниження працездатності всього агрегату. В силу зазначених причин застосування способу газополум'яної обробки відновлення посадкових поверхонь є неефективним.

Металізація досліджувалась багатьма вченими в лабораторних умовах. За даними дослідників, отримані позитивні результати для відновлення отворів у корпусних деталях під підшипники плазмовою металізацією. Проте практичне використання цього способу на авторемонтних підприємствах не набуло поширення із-за складності пристосування і обслуговування плазмової установки. Крім того, матеріали для відновлення цим технологічним варіантом дефіцитні. Однак металізація може проводитись іншими способами з використанням простого обладнання для газополум'яного напилення. Так у ряді зарубіжних літературних джерел повідомляється про застосування для напилення порошкового матеріалу. Цей порошок є зерна алюмінію, покриті шаром нікелю. При нанесенні цього порошку на поверхню виробу алюміній при температурі 630°C вступає в екзотермічну реакцію з нікелем з утворенням нікелю, що міцно утримується на поверхні, що напилюється.

Діяльність дослідників доводить можливість отримання при напиленні аналогічної екзотермічної реакції при використанні порошкового матеріалу, що складається з залізоалюмінієвої композиції, і рекомендує для відновлення посадкових поверхонь під підшипники в корпусних деталях застосовувати порошковий матеріал складу [3]. Параметри оптимального режиму напилення:

сила струму плазмової дуги $J = 265$ А; напруга дуги $U = 70$ В; витрата плазмоутворюючого газу $Q = 28$ л/хв; витрата транспортуючого газу 3-5 л/хв; відстань напилення $L = 150$ мм; подача плазмового пальника $V = 370$ мм/хв; діаметр сопла пальника – 5,5 мм; кут атаки $\gamma = 60^\circ$; число оборотів деталі за хвилину – 100; грануляція залізного порошку – 160...200 мкм; грануляція порошку алюмінію – 200...250 мкм; витрати порошку – 7 г/год. За дотримання цього режиму міцність з'єднання покриття з основою становить 37,0 МПа, а середнє значення квазітвердості покриття становить – 86 НВ.

Статична міцність нерухомих пар (при перепресуваннях) відновлених деталей плазмовою металізацією перебуває на рівні нових, а динамічна міцність при циклічному навантаженні зусиллям 360 кг складала на 11% вище, ніж у нових деталей.

Сутність способу електромікронаплавлення полягає в наступному [4]. Пучок електродів (80...160 шт.) діаметром 0,5...0,8 мм роблять обертальний рух зі швидкістю 600...1250 хв⁻¹. При обертанні електродів і зіткненні з деталлю з'являються електричні розряди і метал наноситься на поверхню. Наплавлення проводиться електродами з дроту Св-08. Різновидом зазначеного способу є відновлення посадкових поверхонь мідним диском, що обертається. Для виготовлення електродних дисків використовують вирубний штамп. Одним таким електродом відновлюють до 40...45 посадкових отворів під підшипники.

Для здійснення технологічного процесу відновлення посадкових отворів корпусних деталей необхідно надати обертання деталі зі швидкістю 30...40 хв⁻¹. Швидкість обертання електрода – 600...1250 хв⁻¹. Відновлювана деталь та електрод обертаються у взаємо-протилежних напрямках. Струм дуги становить 200...400 А; напруга – 8...12В. Поздовжня подача електрода повинна дорівнювати 0,08...0,1 мм/об. За два проходи електрода можна наростити шар завтовшки 0,2...0,3 мм на діаметр. Величина наплавленого шару, його щільність і шорсткість поверхні великою мірою залежать від вибраних параметрів (числа оборотів деталі та електрода, подачі електрода та величини струму). Наплавлена поверхня після калібрування є однорідним металом без пор, раковин і сторонніх

включень.

Недоліком способу мікронаплавлення є те, що при форсованих електричних режимах можна отримати наплавлений шар до 0,2...0,3 мм на діаметр. Однак при такому режимі нагрівання чавуну (основи деталі) стає значним, з'являється тріщиноутворення підшару, можливі відколи на окремих ділянках. При знижених значеннях струму і напруги нагрівання деталі знижується, і товщина покриття тоді становить 0,07...0,08 мм. В обох випадках поверхнева твердість мідного напавленого шару нижче твердості матеріалу деталі.

Багато авторів відзначають низьку працездатність відновлюваних поверхонь [5, 6]. Працездатність оцінювалася зі зміни зусилля випресовування підшипників при десятикратних заpresуваннях-розpresуваннях. Величина цього зусилля для посадкових місць, відновлених мікронаплавленням, змінювалася від 1300 до 400 кг, а мідним диском, що обертається, від 1151 до 30 кг. Зусилля випресування підшипників із посадкових місць, відновлених, наприклад, залізненням, майже не зменшувалося.

Газопорошкове наплавлення – це новий низькотемпературний процес наплавлення чавуну порошковими сплавами, що застосовується для виправлення дефектів лиття на фінішних операціях механічної обробки [7, 8].

Процес газопорошкового наплавлення включає:

- 1) локальний (місцевий) підігрів поверхні дефекту полум'ям пальника до 400...450°C;
- 2) підлужування з метою запобігання поверхні від окислення;
- 3) наплавлення.

Наплавлення здійснюється без розпилення основного металу. При цьому заплавлення дефекту тонкими шарами (0,1...3,0 мм) можливе завдяки порівняно малому тепло вкладанню в основний метал, що не викликає суттєвих деформацій у виробі. У процесі наплавлення проводиться пульсуюча подача порошку, що забезпечує повне розплавлення зерен порошкових сплавів.

Дослідженнями встановлено, що для процесу газопорошкового

наплавлення чавуну доцільно застосовувати порошки з грануляцією частинок 40...160 мкм. Більші частинки (зерна) не встигають розплавитися в полум'ї та зварювальній ванні, що веде до великих втрат порошку в процесі наплавлення та появи дефектів у наплавленому металі.

Робочі параметри процесу (тиск і витрата кисню і ацетилену, витрата порошку) залежать від номера наконечника, що застосовується, і наводяться в технічній характеристиці на пальник. Щільність наплавлення та наявність тріщин контролюються візуально. Твердість вимірюється переносними приладами для вимірювання твердості. Порушення вимог технологічного процесу може спричинити дефекти наплавленого металу.

В даний час процес газопорошкового наплавлення впроваджено на багатьох заводах. Цей спосіб знайшов широке застосування при ремонті зношених чавунних деталей.

Паяння-наплавлення чавуну широко застосовується у зарубіжній техніці. У вітчизняній практиці цей процес використовується мало. Разом з тим паяння-наплавлення має ряд істотних переваг перед наплавленням. Оскільки процес здійснюється шляхом застосування сплаву-припою більш легкоплавкого, ніж чавун, паяння-наплавлення йде при значно нижчих температурах, ніж наплавлення. Внаслідок цього знижується небезпека тріщино утворення, підвищується продуктивність праці та економічність процесу порівняно зі способами наплавлення, пов'язаними з підігрівом деталей.

Технологічний процес паяння-наплавлення латунних матеріалів з використанням поверхнево-активних флюсів ідентичний широко застосовуваним при відновленні деталей способами газового, високочастотного та електродугового наплавлення і може бути здійснений на наявному обладнанні.

При відновленні посадкових місць під підшипники в чавунних корпусах можуть бути отримані задовільні результати, якщо використовувати вібродугове наплавлення. З метою зменшення термічного впливу на деталь наплавлення бажано вести в охолоджувальній рідині. Незначне зношування поверхні

посадкових місць вимагає застосування дротів діаметром 1,0...1,2 мм.

В якості матеріалу, що наплавляється бажано використовувати сталі, що виключають утворення твердих структур, тобто сталі аустенітного класу, зі стабілізуючими добавками титану, ванадію, ніобію, феритного класу, нікелеві сплави (у тому числі ніхром).

Враховуючи перераховані вище рекомендації можна отримати легко оброблювані різанням покриття з мінімальним припуском і деформацією корпусів.

Спосіб електроіскрового наплавлення заснований на здатності електрики при електричних розрядах між близько розташованими електродами руйнувати поверхню електродів і переносити матеріал з одного електрода на інший.

Цей спосіб дозволяє наносити покриття в розмір без подальшої механічної обробки, але він дуже продуктивний. Процес легко автоматизується і з огляду на незначну вартість обладнання можна характеризувати його як конкурентоспроможний для відновлення посадкових місць під підшипники в КП.

Відновлення отворів шляхом контактного приварювання сталеві стрічки включає три основні етапи:

1. Підготовку отворів та заготівлю стрічки.
2. Приварювання стрічки.
3. Обробку отворів.

На завершальному етапі проводиться механічна обробка шліфуванням або різанням різцями. У тих випадках, коли є можливість видаляти весь припуск шліфуванням або хонінгуванням, доцільно застосовувати тоншу стрічку (0,3-0,6 мм) зі сталі 40...60. Це дозволить знизити трудомісткість попереднього розточування, зменшити витрати стрічки та забезпечити збільшення терміну служби відновлених деталей.

Всі існуючі способи металопокриттів, що застосовуються для відновлення посадкових отворів, у тому числі під підшипники, в корпусних деталях, повною мірою не відповідають сучасним вимогам, що висуваються до якості продукції,

що випускається, ремонтною галуззю за такими параметрами:

- гальванічні способи мають низьку продуктивність, але відрізняються відсутністю температурних впливів на деталь та дуже низькою собівартістю технології.

- способи наплавлення та газополум'яної обробки характеризуються високим термічним впливом, що викликає деформацію виробу.

- напилення може забезпечити високу ефективність відновлення корпусних деталей у разі застосування в якості напилюваних матеріалів алюмініду нікелю і порошків, що самофлюсуються. Внаслідок високої вартості матеріалів процес може бути економічно доцільним лише відновлення отворів з невеликими зносами. Для відновлення корпусних деталей цей процес мало вивчений.

- електроіскрове наплавлення, незважаючи на високі показники надійності та низьку трудомісткість остаточної механічної обробки, практично не знайшло застосування через дуже низьку продуктивність нанесення покриття. Однак цей недолік стає несуттєвим при автоматизації процесу та при відновленні отворів з незначними зносами.

- приварювання сталеві стрічки може забезпечити якісне відновлення отворів тільки за певних режимів, які знаходяться дослідним шляхом для кожної конкретної поверхні, що відновлюється.

Застосування перерахованих вище способів для відновлення отворів в корпусних деталях з гарантованою надійністю доцільно після проведення досліджень з оптимізації режимів технологічного процесу.

1.2 Коротка характеристика способу відновлення деталей машин електроосадженням заліза та його сплавів

Наявні відомості про можливість електроосадження заліза на внутрішні поверхні змушують уважніше підійти до вивчення цього способу відновлення деталей машин, його технологічних можливостей, переваг та недоліків. В даний

час електролітичні залісні покриття широко застосовуються в ремонтній практиці для відновлення та зміцнення деталей машин. Переважне поширення набув процес електролітичного залізнення [9].

Стосовно вимог та завдань ремонтної промисловості були розроблені хлористі та сірчаноокислі електроліти. При цьому основним прагненням дослідників було отримання твердих, зносостійких покриттів безпосередньо з електролітичної ванни.

З сірчаноокислих електролітів були отримані осадки електролітичного заліза твердістю до 600 кг/мм^2 [10]. Товсті та щільні залісні покриття виходять у розчині сірчаноокислого заліза з добавками сірчаноокислого алюмінію. Швидкість нарощування в цих електролітах при щільності струму $10 \text{ а/дм}^2 - 0,05-0,08 \text{ мм}$ на годину. Промислового поширення сірчаноокислі електроліти не отримали, оскільки вони значно поступаються хлористим електролітам за продуктивністю, стійкістю процесу та за низкою інших показників електролізу.

Велика кількість робіт присвячена вивченню умов осадження та властивостей покриттів, які одержують із хлористих електролітів.

Значна частина досліджень спрямована на отримання покриттів електролітичного заліза з підвищеним вмістом вуглецю, введення в осад різних речовин, що сприяють підвищенню зносостійкості [11, 12].

Вуглецевмісні покриття, згідно з дослідними даними зазначених авторів, відрізняються високою твердістю та зносостійкістю. Ремонтному виробництву рекомендується ціла серія холодних електролітів з органічними добавками: фенолсульфатний, метилсульфатний, гліцеринсульфатний, сульфосаліциловий та ін. Покриття, отримані з таких електролітів, відрізняються дрібнодисперсною структурою, невеликими внутрішніми напруженнями, високою твердістю і зносостійкістю.

Металокерамічні покриття, які містять включення окису алюмінію, дисульфиду молібдену, карбіду бору, значно краще (у 2-20 разів) опираються зносу, ніж чисте електролітичне залізо та сталь 40Х, загартована ТВЧ.

З метою підвищення продуктивності процесу електроосадження

покращення якості залізних осадів рекомендується також застосування нестационарних режимів електролізу та накладання ультразвукового поля.

Використання при залізненні асиметричного змінного струму високої частоти (180-220Гц) сприяє одержанню доброякісних осадів з холодних хлористих електролітів. При рекомендованих режимах електролізу (температура електроліту 18-25°C, плавне збільшення при виході на режим анодно-катодного показника від 1,2 до 10, щільність струму 2,5 А/дм²) товщина одержуваного покриття досягає 1,5 мм [13].

Іншим напрямом у сфері дослідження хлористих електролітів є осадження електролітичних сплавів [14, 15]. У цих роботах відзначається позитивна роль легуючих елементів (кобальту, марганцю, нікелю, хрому, цинку, фосфору), що підвищують працездатність електролітичних покриттів.

Слід зазначити, що всі вищезгадані варіанти нарощування деталей електролітичними покриттями не пройшли тривалої виробничої перевірки і поки не знайшли поширення в ремонтній промисловості. Певною мірою це пояснюється певними недоліками, властивими зазначеним варіантам або низькою продуктивністю, або недостатньою міцністю зчеплення, або складністю аналізу та коригування, складних за складом електролітів у виробничих умовах.

Отримання в холодних електролітах осадів із високою міцністю зчеплення становить певні труднощі. Деякі позитивні результати щодо поліпшення властивостей залізних покриттів та підвищення продуктивності процесу електроосадження заліза з електролітів зі зниженою температурою показані в ряді робіт різних дослідників [2].

Однак тривалу виробничу перевірку пройшов і витримав лише процес електроосадження заліза з гарячих хлористих електролітів (електролітичне залізнення). Цей процес відрізняється великою продуктивністю, простотою та надійністю, дешевизною та недефіцитністю застосовуваних матеріалів, одержувані покриття мають хороші протизносні властивості та високу міцність зчеплення з основним металом [9].

Найбільшого поширення для отримання твердих, зносостійких покриттів

набув простий за складом і надійний у роботі малоконцентрований електроліт, що містить 200-300 г/л хлористого заліза та 0,8-3 г/л соляної кислоти [16, 17]. При рекомендованих режимах електролізу (температура електроліту 60-80°C і щільності струму 30-60 а/дм²) вихід заліза струмом досягає 80-85%, а швидкість нарощування – 0,3-0,6 мм на годину.

Високі техніко-економічні показники даного процесу сприяли успішному впровадженню його на низці ремонтних підприємств.

Процес залізнення освоєно авторемонтними підприємствами та на залізничному транспорті. Такому широкому та успішному промислому впровадженню електролітичного залізнення сприяли дослідження та зусилля великого колективу науковців та виробників.

У деяких роботах дослідників було показано, що можна підвищувати твердість електролітичного заліза за рахунок посилення режимів електролізу: підвищення щільності струму, зниження температури та концентрації електроліту (процес залізнення). Розроблений технологічний процес відрізняється великою універсальністю, що дозволяє отримувати покриття з великим діапазоном мікротвердості від 200 до 600 кг/мм² та різними фізико-механічними властивостями. Однак, при отриманні покриттів з низькою твердістю значно знижується продуктивність процесу.

Численні дослідження працездатності електролітичних залізних покриттів сприяли вибору оптимальних режимів електролізу та довели високу надійність та довговічність відновлених деталей, що працюють у різних умовах експлуатації [18, 19]. Значного підвищення зносостійкості можна досягти хіміко-термічною обробкою електролітичного заліза [20], збільшення витривалості залізнених деталей сприяє дробоструминна обробка покриття [21].

Дослідження питань проточного залізнення дозволили розширити номенклатуру деталей, що відновлюються за рахунок включення до неї внутрішніх поверхонь великогабаритних і корпусних деталей. Розширенню номенклатури сприяв також розроблений спосіб одержання пористих осадів електролітичного заліза, що мають високі протизадирні властивості. Цей спосіб

найбільш ефективний для деталей, що працюють в умовах масляного голодування.

Типовий варіант технологічного процесу залізнення (з подвійною анодною обробкою - у хлористому електроліті та в сірчаній або ортофосфорній кислотах), перевірений та впроваджений на ряді ремонтних підприємств, забезпечив отримання надійної міцності зчеплення покриттів з деталями великогабаритними та великої форми, виготовленими з легованих та загартованих сталей.

Лабораторні дослідження дозволили розробити певні технологічні рекомендації щодо залізнення деталей машин, виготовлених з алюмінію та його сплавів, та виявили можливість покращення протизносних властивостей покриттів за рахунок легування електролітичного заліза марганцем.

Висновки і постановка завдань досліджень

Щодо проблеми вдосконалення способу відновлення зношених посадкових отворів корпусних деталей залізненням за допомогою композиційного покриття залізо-мідь, з вище сказаного можна зробити такі висновки:

1) найбільш актуальним є дослідження впливу міді на міцність зчеплення покриття електролітичного заліза з основним металом;

2) незважаючи на перспективність пропонованого покриття в плані підвищення зносостійкості, подібні дослідження не можуть бути достатньо повно представлені. Це є одним із подальших напрямків у вивченні механічних властивостей покриття залізо-мідь;

3) мікротвердість є головною характеристикою електролітичного залізного покриття, тому необхідно дослідити закономірності зміни цього показника залежно від режимів електролізу та концентрації хлорної міді в електроліті у вибраних діапазонах;

Виходячи з цього, були сформульовані основна мета і завдання дослідження.

Мета дослідження – розроблення та удосконалення технологічного процесу відновлення зношених посадкових отворів під підшипники у корпусних деталях машин шляхом застосування ефективних методів нанесення покриттів.

Завдання дослідження:

1. Провести аналіз існуючих технологічних процесів відновлення отворів під підшипники у чавунних корпусних деталях.

2. Розробити теоретичні положення щодо визначення впливу деформацій посадкових отворів корпусів коробок передач на довговічність агрегатів та деталей.

3. Розробити теоретичні положення для визначення необхідної та достатньої міцності зчеплення покриття залізо-мідь стосовно технологічного процесу відновлення посадкових отворів корпусних деталей машин залізненням.

4. Дослідити вплив технологічних режимів на експлуатаційні властивості електролітичного покриття залізо-мідь.

5. Розробити практичні рекомендації щодо відновлення зношених отворів деталей машин електролітичним покриттям залізо-мідь.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1 Визначення впливу деформацій посадкових отворів корпусів коробок передач на довговічність агрегатів та деталей

Одним із напрямів технологічного формування якості ремонту є формування оптимальної геометрії деталей та їх просторового розташування, оскільки довговічність агрегатів та деталей визначається не лише якістю поверхневого шару, а й взаємним розташуванням поверхонь щодо один одного.

Теоретичне обґрунтування впливу деформацій посадкових отворів корпусів на довговічність агрегатів і деталей можливо зробити на прикладі картера коробки передач автомобіля КамАЗ-5320.

Розглянемо роботу коробки передач автомобіля КамАЗ-5320 при передачі максимального крутного моменту двигуна, M_e .

Передатне число першої передачі (рис. 2.1):

$$i_1 = i_{1'} \cdot i_{1''} = (d_1/d_{1'}) \cdot (d_{2'}/d_2), \quad (2.1)$$

де $i_{1'}$ і $i_{1''}$ – передавальні числа першої та другої ступені;

$d_1, d_{1'}, d_2, d_{2'}$ – діаметри початкових кіл відповідних шестерень.

Рисунок 2.1 - Розрахункова схема коробки

У зачепленні з похилими зубами на шестірню провідного валу діють сили: $P_{r1'}$ – тангенціальна, $P_{n1'}$ – радіальна, $Q_{1'}$ – осьова, а на зубчасте колесо проміжного валу – $P_{r1}, P_{n1}, Q_{1'}$.

У зачепленні із прямими зубами на шестірню проміжного валу діють сили P_{r2} , P_{n2} ; а на зубчасте колесо веденого валу - $P_{r2'}$, $P_{n2'}$. Величина цих сил визначається за даними [22].

Для визначення навантажень, що діють на вали, останні розглядаємо як статично визначальні балки, оперті одним кінцем на нерухомий шарнір, а іншим – на рухомий.

Реакції у підшипниках ведучого та веденого валів (рис. 2.2):

$$X_A = Q_1',$$

$$Z_A = \frac{Q_1' \cdot \left(\frac{d_1'}{2}\right) + P_{n1'} \cdot (l_2 + l_3) + P_{n2'} \cdot l_3}{l_1 + l_2 + l_3},$$

$$Y_A = \frac{P_{r1'} \cdot (l_2 + l_3) - P_{r2'} \cdot l_3}{l_1 + l_2 + l_3}.$$

Рисунок 2.2 - Схема навантаження ведучого та веденого валів

Будуємо епюри згинальних моментів у вертикальній ($M'_{зв}$) і горизонтальній ($M'_{зг}$) площинах (у бік опуклості деформованої балки). Сумарний згинальний момент знаходимо за формулою:

$$M_{з\Sigma} = \sqrt{(M'_{зв})^2 + (M'_{зг})^2}. \quad (2.2)$$

Епюра $M_{з\Sigma}$ – просторова, умовно розташовуємо її в одній площині. Сумарні реакції опор:

$$R_A = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2 + Z_A^2}, \quad (2.3)$$

$$R_B = \sqrt{Y_B^2 + Z_B^2}. \quad (2.4)$$

Визначаємо реакції у підшипниках проміжного валу (рис. 2.3):

$$X_C = Q_1$$

Рисунок 2.3 - Схема навантаження проміжного валу

$$Z_D = \frac{P_{n2} \cdot (l_1 + l_2) + Q_1 \cdot \left(\frac{d_1}{2}\right) + P_{n1} \cdot l_1}{l_1 + l_2 + l_3},$$

$$Y_C = \frac{P_{r1} \cdot (l_1 + l_2) - P_{r2} \cdot l_3}{l_1 + l_2 + l_3},$$

$$Z_C = \frac{P_{n1} \cdot (l_1 + l_2) - Q_1 \cdot \left(\frac{d_1}{2}\right) + P_{n2} \cdot l_3}{l_1 + l_2 + l_3},$$

$$Y_D = \frac{P_{r2} \cdot (l_1 + l_2) - P_{r1} \cdot l_1}{l_1 + l_2 + l_3}.$$

Будуємо епюри згинальних моментів. Сумарний згинальний момент знаходимо за формулою, аналогічною формулою (2.2), а сумарні реакції опор за формулами, аналогічними (2.3), (2.4).

Для визначення впливу не співвісності отворів на виникнення додаткових навантажень вал розглядаємо як статично невизначену балку, одним кінцем жорстко закріплену, а інший спирається на повзун.

При цьому приймаємо припущення:

1. Балка, що розглядається, не є конкретним відображенням будь-якого валу, а є усередненою пружною системою з постійною жорсткістю по всій довжині. Це припущення призводить до похибки 5-7%;

2. Вважаємо, що кутовий люфт радіально-упорних підшипників, рівний $\sim 0,004$ рад [23], повністю компенсується за рахунок деформації навантаженого валу (кут повороту осі валу над опорою в даному випадку $\sim 0,003$ рад) і зміни просторових кутових положень коробки передач внаслідок внутрішніх напружень.

Прийнятим припущенням більшою мірою відповідає проміжний вал, так як він має жорсткість, що мало змінюється по всій довжині. Для системи «ведучий - ведений вали» з відомим ступенем точності можна поширити випадок навантаження проміжного валу навантаженнями, що виникають від неспіввісності отворів.

Розглянемо схему навантаження внаслідок неспіввісності опор (рис. 2.4).

Маємо двічі статично невизначену систему. Для розкриття статичної невизначеності застосовуємо спосіб з наступним перемноженням епюр [24]:

$$X_2 = X_3 = \frac{12 \cdot E I \cdot \delta}{l^3}, \quad (2.5)$$

$$X_1 = M = \frac{6 \cdot E I \cdot \delta}{l^2}, \quad (2.6)$$

де δ – величина відхилення від співвісності отвору;

l – загальна довжина валу.

Рисунок 2.4 - Схема навантаження внаслідок неспіввісності опор

Будуємо епюру згинальних моментів (M_{3H}). Аналіз епюр $M_{3\Sigma}$ та епюри M_{3H} дозволяє зробити висновок, що при величинах неспіввісності $\delta < 0,8$ мм небезпечним є переріз у зоні зачеплення проміжного з веденим валом.

Для співвісних опор $M_3^c = M_{max\Sigma}$; $\sigma_3^c = M_3^c / W_3$;

для неспіввісних опор $M_3^c = M_{max\Sigma} + M_0$; $\sigma_3^H = M_3^H / W_3$,

де M_3^c, M_3^H – згинальні моменти в небезпечному перерізі;

M_0 – додатковий згинальний момент у небезпечному перерізі внаслідок неспіввісності опор;

σ_3^c, σ_3^H – нормальні напруження в небезпечному перерізі;

W_3 – момент опору вигину небезпечного перерізу.

Напруження кручення:

$$\tau_{кр} = M_{кр} / W_{кр}, \quad (2.7)$$

де $M_{кр}$ – крутний момент у небезпечному перерізі;

$W_{кр}$ – момент опору кручення.

Знаходимо еквівалентне напруження по 3-й теорії міцності:

$$\text{для співвісних опор} - \sigma_{\epsilon}^c = \sqrt{(\sigma_{\text{н}}^c)^2 + 4 \cdot r_{\text{кр}}^2}, \quad (2.8)$$

$$\text{для неспіввісних опор} - \sigma_{\epsilon}^{\text{н}} = \sqrt{(\sigma_{\text{н}}^{\text{н}})^2 + 4 \cdot r_{\text{кр}}^2}, \quad (2.9)$$

Визначимо коефіцієнт довговічності валу. Розмір допустимого напруження $[\sigma]$ по [23].

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{-1}}{\lambda_{\sigma} \cdot [n]} \cdot m \sqrt{\frac{4 \cdot 10^6}{N_{\text{ц}\cdot\epsilon}}}, \quad (2.10)$$

де σ_{-1} – межа міцності при симетричному циклі навантаження;

λ_{σ} – коефіцієнт переходу межі витривалості зразка до межі витривалості деталі;

$[\sigma]$ – коефіцієнт запасу міцності;

m – показник ступеня (для покращених валів $m \sim 8$);

$N_{\text{ц}\cdot\epsilon}$ – еквівалентна кількість циклів роботи.

Прирівнюємо значення σ_{ϵ}^c та $\sigma_{\epsilon}^{\text{н}}$, знайдені за формулами (2.8) і (2.9) до виразу за формулою (2.10). Знаходимо $N_{\text{ц}\cdot\epsilon}^c$ і $N_{\text{ц}\cdot\epsilon}^{\text{н}}$, еквівалентні кількості циклів при співвісних та неспіввісних опорах.

Коефіцієнт довговічності валу:

$$K_{\text{д}}^{\text{в}} = \frac{N_{\text{ц}\cdot\epsilon}^{\text{н}}}{N_{\text{ц}\cdot\epsilon}^c} = \left(\frac{\sigma_{\epsilon}^c}{\sigma_{\epsilon}^{\text{н}}} \right)^m. \quad (2.11)$$

Визначимо вплив неспіввісності отворів на ресурс підшипників. Вихідною для розрахунку підшипників кочення на довговічність є експериментальна залежність:

$$Q^n \cdot N_{\text{ц}} = \text{const}, \quad (2.12)$$

де Q – навантаження на підшипник;

$N_{\text{ц}}$ – число циклів зміни навантаження;

n – показник ступеня ($n = 3,3$).

Коефіцієнт довговічності підшипника дорівнюватиме:

$$K_{\text{д}}^{\text{н}} = \left(\frac{R^c}{R^{\text{н}}} \right)^n, \quad (2.13)$$

де R^c , $R^{\text{н}}$ – реакції в підшипнику без урахування та з урахуванням неспіввісності:

$$R^c = R, \quad (2.14)$$

$$R^H = R + X_3, \quad (2.15)$$

де R – реакція у підшипнику при номінальному режимі роботи;

X_3 – додаткова реакція у підшипнику внаслідок неспіввісності.

Результати розрахунків коефіцієнтів довговічності наведено рис. 2.5.

Рисунок 2.5 - Зміна коефіцієнтів довговічності проміжного валу коробки передач автомобіля КамАЗ та його заднього підшипника

Для забезпечення необхідної співвісності при обробці отворів коробок необхідно прагнути до підвищення жорсткості системи. Для цього необхідно в стадії проектування технологічних процесів відновлення деталі закладати режими, при яких властивості оброблюваності поверхневого шару по можливості не відрізнятимуться від властивостей матеріалу деталі. Виходячи з цього, у разі оптимізації властивостей електролітичних залізних покриттів за параметром «оброблюваність», як параметр оптимізації повинна виступати дотична сила різання.

2.2 Визначення допустимої концентрації хлорної міді в електроліті як функції від міцності зсуву покриття залізо-мідь

Проведені дослідження дозволили отримати залежність міцності зсуву (σ)

концентрації хлорної міді в електроліті залізнення. Однак виникають труднощі у вирішенні задачі визначення припустимого зниження σ .

З цією метою необхідно розробити модель для розрахунку мінімальної достатньої міцності зсуву покриття при відновленні отворів посадкових корпусних деталей [25]. Як показано на рис. 2.6 оброблена в номінальний розмір вторинна заготовка містить циліндр правильної геометричної форми з товщиною стінки:

$$T = (D - D_1) / 2, \quad (2.16)$$

$$D = D_1 + a + 2(m + T_1),$$

де a – середньостатистична величина зносу посадкового отвору ($a = 0,2$ мм);

m – допуск на співвісність отворів корпусної деталі ($m = 0,05$ мм);

T_1 – припуск на попередню обробку чистовим точенням ($T_1 = 0,2$ мм).

Тоді $T = 0,35$ мм.

Рисунок 2.6 - Модель для розрахунку мінімальної достатньої міцності зсуву покриття при відновленні отворів посадкових корпусних деталей:

D_1 – номінальний діаметр сполучення;

D – середньостатистична величина діаметра отвору корпусної деталі, з урахуванням припусків на попередню обробку, нанесення покриття та зміщення співвісності;

L – номінальна довжина сполучення;

D_2 – внутрішній діаметр підшипника;

$M_{кр}$ – величина крутного моменту, що впливає на поверхню з'єднання електролітичного залізного покриття та отвори корпусної деталі, що відновлюється;

P – тиск поверхні з'єднання від найбільшого натягу, створюваного при перехідній посадці підшипника/

З представленої моделі видно, що на поверхню з'єднання отвору корпусної деталі та покриття електролітичного заліза впливатимуть:

- радіальне напруження σ_r , внаслідок питомого тиску P , що створюється пресовою посадкою зовнішньої обойми підшипника;

- тангенціальне напруження внаслідок впливу крутного моменту $M_{кр}$.

Для більш наочного опису напружень, що впливають на циліндр 1 (рис. 2.7), сформований електролітичним залізним покриттям, необхідно розглянути вигляд плоского поперечного перерізу.

Рисунок 2.7 - Вид плоского поперечного перерізу моделі отвору корпусної деталі, що відновлюється

По гранях елемента АБ, що збігаються з площиною перерізу, діятиме головне напруження σ_z , викликане тиском на днище циліндра. Це напруження можна вважати постійним по поперечному перерізу циліндра. Впливом σ_z можна знехтувати, так як воно за абсолютною величиною зазвичай значно менше σ_r і σ_t [26].

В даному випадку тиск на циліндр 1 з боку корпусної деталі $P_1 = 0$. Застосовуючи третю теорію міцності (найбільш дотичного напруження),

отримуємо, що найбільша різниця головних напружень дорівнює:

$$(\sigma_T - \sigma_R)_{\max} = 2P \cdot R^2 / (R^2 - R_1^2), \quad (2.17)$$

На рис. 2.7 показано, що на поверхні з'єднання величина радіального напруження $\sigma_R = 0$. Тоді максимальне тангенціальне напруження від тиску P дорівнює:

$$\sigma_T(P) = 2P \cdot R^2 / (R^2 - R_1^2). \quad (2.18)$$

Далі визначимо тангенціальне напруження від дії $M_{кр}$.

$$\sigma_1(M_{кр}) = M_{кр} / (S_{зсуву} \cdot R), \quad (2.19)$$

де $S_{зсуву} = \pi DL$.

Визначимо довжину сполучення в осьовому напрямку $L = (0,2-0,25) D_1$ [14], з урахуванням того, що у виразі (2.19) L знаходиться у знаменнику, приймаємо $L = 0,2D_1$.

Тоді:

$$\sigma_1(M_{кр}) = M_{кр} / (0,4\pi R^2 D_1). \quad (2.20)$$

З вище викладеного випливає, що міцність покриття електролітичного заліза має бути більшою або дорівнює сумі тангенціальних напружень, що виникають внаслідок P_2 і $M_{кр}$.

$$\sigma_{зсуву} \geq (\sigma_1(P) + \sigma_1(M_{кр})) K_T, \quad (2.21)$$

де $K_T = 1,4 - 1,6 = 1,6$, так як електролітичне залізо є більш крихким матеріалом по відношенню до середньовуглецевих сталей.

Підставимо в (2.21) вирази (2.18) та (2.20):

$$\sigma_{зсуву} \geq (2P \cdot R^2 / (R^2 - R_1^2) + M_{кр} / (2\pi LR^2)) K_T, \quad (2.22)$$

Знаючи величину найбільшого натягу у кожному конкретному поєднанні можна визначити величину найбільшого питомого тиску, якщо скористатися методикою вибору та розрахунку пресових посадок із гарантованим натягом.

$$P = (N_{нб} - 1,2(R_{za} + R_{zb})) / (D_1(C_a/E_a + C_b/E_b)), \quad (2.23)$$

де $N_{нб}$ – найбільша величина натягу при перехідній посадці зовнішньої обойми підшипника в отвір відновленої корпусної деталі (враховуючи, що $D_1 = 110 - 150$ мм для більшості агрегатів автомобілів приймаємо $N_{нб} = 18$ мкм [27];

$R_{za} = 10$ мкм – величина шорсткості поверхні відновленого отвору

корпусної деталі, оскільки заключною операцією обробки є чистове точення (у цьому випадку досягається 6-й клас шорсткості);

$R_{zb} = 3,2$ мкм – величина шорсткості поверхні зовнішньої обойми підшипника класу 2 (8-ий клас шорсткості) [27];

C_a – коефіцієнт жорсткості, $C_a = (1 + (D_1/D_{\text{корп.}})^2)/(1 - (D_1/D_{\text{корп.}})^2) + \mu + 1 + \mu \cong 1,3(D_1/D_{\text{корп.}} \rightarrow 0)$;

C_b – коефіцієнт жорсткості, $C_b = (1 + (D_2/D_1)^2)/(1 - (D_2/D_1)^2) - \mu \cong 10,335$ (для всіх серій однорядних радіальних та радіально-упорних підшипників $D_2/D_1 \geq 0,91$ [26];

E_b – модуль пружності матеріалу підшипника, $E_b = 20,6 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$;

E_a – модуль пружності електролітичного заліза, $E_a \cong 15,0 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$ ($t_{\text{ел}} = 75^\circ \text{C}$, $D_{\text{к}} = 30 - 40 \text{ А/дм}^2$).

Приймаючи вказані вище припущення, перетворюємо вираз (2.23):

$$P = 0,0367/D_1 \text{ (МПа)}. \quad (2.24)$$

З урахуванням вище викладеного отримаємо:

1) для режиму холостого ходу ($M_{\text{кр}} \rightarrow 0$) в інтервалі зміни номінального діаметра сполучення від 110 до 150 мм:

$$[\sigma] \cong 52,3 \text{ (МПа)}. \quad (2.25)$$

2) для режиму максимальної потужності за умови заклинювання підшипникового вузла:

$$\sigma \geq 52,3 + 5,1 \cdot 10^{-6} \cdot M_{\text{кр}} \cdot D_1^{-3} \text{ (МПа)}. \quad (2.26)$$

Отже:

1) для силових агрегатів найбільш поширених автомобілів сімейства КамАЗ отримаємо з виразу (2.26) ($D_1 = 0,15 \text{ м}$, $M_{\text{кр}} = 4067 \text{ Н} \cdot \text{м}$):

$$[\sigma] \cong 52,3 + 6,1 = 58,4 \text{ (МПа)}$$

2) максимальна концентрація хлорної міді в електроліті залізнення з урахуванням можливих похибок експериментальних даних приймається 3,0 г/л.

3) при реалізації повного багатofакторного експерименту з отриманого інтервалу 0-3,0 г/л CuCl вибираємо: нижнє значення $K_{\text{CuCl}} = 1,5$ г/л, основне – 2,25 г/л, верхнє – 3,0 г/л, інтервал – 1,5, так як попередні досліді показали низьку чутливість досліджуваного параметра при концентрації 1,0 г/л.

3 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Методика визначення міцності зчеплення електролітичного покриття залізо-мідь із матеріалом основи

При проведенні даного експерименту використовується типовий процес залізнення, який характеризується наступними режимами електролізу: кислотність електроліту $pH = 1,0 \pm 0,1$, вміст $FeCl_2 \cdot 4H_2O$ – 320 ± 40 г/л, катодна щільність струму 40 А/дм², температура електроліту $75-89^\circ C$. Як альтернативний типовому розглядається техпроцес залізнення, який відрізняється тим, що на стадії початку електролізу витримка без струму відсутня. Умовно ці типові процеси позначимо I та II [2].

Вхідними параметрами будуть:

- 1) структура технологічного процесу залізнення;
- 2) концентрація солі міді в електроліті, прийнята від 0 до 10 г/л.

Кількісна оцінка міцності зчеплення здійснюється шляхом зсуву покриття [24].

Метод висуває такі вимоги:

1) посадка у поєднанні «напрямна частина циліндричного зразка пуансона – отвір у матриці» має тип руху з мінімальним гарантованим зазором (рис. 3.1);

2) робоча частина зразка-пуансона має по можливості мінімальну шорсткість, тому що вона є фактором, що визначає величину похибки результату;

3) ширина робочої частини пояска покриття на зразку-пуансоні знаходиться в межах, що забезпечують чистий зсув (кільцем) покриття і становить $H=1...2$ мм;

4) діаметр зразка пуансона вибирають у діапазоні $9...15$ мм, в якому одержувані результати не критичні за значенням діаметра. Поверхня зразка виконує дві функції:

- 1) менша частина його завширшки $6...10$ мм виконує функцію основи для

нанесення покриття;

2) велика початкова частина його, у тому числі і частина поверхні покриття, що залишилася після підрізання до необхідної ширини, виконує функції прямої частини зразка-пуансона, що міститься в отвір матриці.

Рисунок 3.1 - Схема (А) випробування міцності зчеплення електролітичного залізного покриття (2) з основою (1) методом кільцевого зрізу (зсуву) його при продавлюванні зразка (1) через матрицю (3); (Б) підготовки зразка

Переважною посадкою утвореного сполучення вважають посадку H7/g6 (руху), що забезпечує гарантований зазор від 6 до 25 мкм при номінальному діаметрі зразка-пуансона та отворів матриці, що дорівнює 9... 15 мкм. Шорсткість робочих поверхонь матриці приймають рівною $Ra = 0,32... 1,25$ мкм.

Зразками для досліджень служать плунжерні пари тракторного дизеля Д-40, оскільки за технології їх виготовлення виконуються всі викладені вище вимоги. При цьому діаметр зразка-плунжера дорівнює $9,0_{-0,001}$ мм. Нарощування покриття проводиться на експериментальній установці.

Залізнення проводиться з розчинів, приготованих з наступних реактивів: хлористе залізо $FeCl_2 \cdot 4H_2O$, хлорна мідь $CuCl_2$, соляна кислота.

Після приготування електроліту проводиться фільтрація, коригування кислотності та опрацювання електроліту. Періодичний контроль кислотності здійснюється за допомогою лабораторного рН-метра-мілівольметра ЛПМ-60М. Задана кислотність підтримується додаванням соляної кислоти. Температура

електроліту $80 \pm 2^\circ\text{C}$. Час електролізу – 180 ± 1 хв. При нанесенні на зразок пуансон покриття його напрямні ретельно ізолюють. Кільця покриття необхідної ширини (робочі пояски покриття) виготовляють шліфуванням. При виконанні цієї операції необхідно користуватися вулканітовим колом діаметром 150...200мм з частотою обертання 2700 хв^{-1} . Ширину кільця покриття визначають після випробування слідом на деталі за допомогою мікроскопа з точністю до 0,05 мм. Кратність експериментів дорівнювала трьом. При зафіксованому зусиллі визначалася величина міцності зсуву.

3.2 Методика проведення багатofакторного експерименту по визначенню експлуатаційних властивостей електролітичного покриття залізо-мідь

Завдання полягає у встановленні зв'язку між експлуатаційними властивостями електролітичного покриття залізо-мідь та елементами режиму залізнення з метою їхньої подальшої оптимізації.

Межі вирішення поставленого завдання обмежені встановленням зв'язку між елементами режиму (концентрація хлорної міді в електроліті залізнення, катодна щільність струму, температура електроліту) та наступними показниками:

- кількісний вміст міді у покритті;
- мікротвердість;
- дотична сила різання.

У результаті маємо багатofакторний процес, яким визначали застосування статистичних методів планування експериментів та обробки експериментальних даних. Матриця планування повного факторного експерименту показано у табл. 3.1.

Необхідну кількість дослідів у кожній точці плану визначено за методикою [28]. Три повторних дослідів достатньо для забезпечення 95% надійності результатів.

Таблиця 3.1 – Повний план матриці планування 2³

Номер точки плану	Значення факторів у кодових позначеннях				Комбінації творів факторів у кодових позначеннях			
	X0	X1	X2	X3	X1X2	X1X3	X2X3	X1X2X3
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1
4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1
5	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1
7	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1

Послідовність виконання дослідів обрана із застосуванням таблиці рівномірно розподілених випадкових чисел [28].

Позначення факторів, їх рівні та інтервали варіювання показані в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Досліджувані фактори у дійсних значеннях

Рівні	Фактори процесу в одиницях вимірювання		
	Температура електроліту Т, °С	Катодна щільність струму Дж, А/дм ²	Концентрація CuCl ₂ в електроліті К, г/л
Верхній	80	40	3
Нижній	60	20	1,5
Основний	70	30	2,25
Інтервал варіювання	10	10	1,5
Кодове позначення	X1	X2	X3

Для опису функції відгуку використовувалася неповна квадратична модель (лінійна модель рівняння регресії):

$$Y = V_0 X_0 + V_1 X_1 + V_2 X_2 + V_3 X_3 + V_4 X_1 X_2 + V_5 X_1 X_3 + V_6 X_2 X_3 + V_7 X_1 X_2 X_3, \quad (3.1)$$

Де Y – параметр оптимізації;

V_i – параметри моделі (коефіцієнти регресії);

X_i – фактори процесу в кодованому вигляді.

Обробка результатів експериментів та адекватності моделей проведена за методикою [28]. Визначалися залежності мікротвердості Н_μ, відсоткового вмісту міді в покритті К, дотичної сили різання Р від температури електроліту Т,

катодної щільності струму D_k , концентрації хлорної міді в електроліті залізнення K_{CuCl} . Зазначені залежності можна навести у вигляді статечних функцій:

$$\begin{aligned} 1) N_{\mu} &= C_{N_{\mu}} \cdot T^{BN_{\mu}1} \cdot D_k^{BN_{\mu}2} \cdot K_{CuCl}^{BN_{\mu}3}, \\ 2) K &= C_K \cdot T^{BK1} \cdot D_k^{BK2} \cdot K_{CuCl}^{BK3}, \\ 3) P &= C_P \cdot T^{BP1} \cdot D_k^{BP2} \cdot K_{CuCl}^{BP3}. \end{aligned} \quad (3.2)$$

При проведенні багатофакторних експериментів використовуємо лінійну модель рівняння регресії, для цього логарифмуємо праву та ліву частини:

$$\begin{aligned} 1) \ln N_{\mu} &= \ln C_{N_{\mu}} + BN_{\mu}1 \cdot \ln T + BN_{\mu}2 \cdot \ln D_k + BN_{\mu}3 \cdot \ln K_{CuCl}, \\ 2) \ln K &= \ln C_K + BK1 \cdot \ln T + BK2 \cdot \ln D_k + BK3 \cdot \ln K_{CuCl}, \\ 3) \ln P &= \ln C_P + BP1 \cdot \ln T + BP2 \cdot \ln D_k + BP3 \cdot \ln K_{CuCl}, \end{aligned} \quad (3.3)$$

де $C_{N_{\mu}}$, C_K , C_P – коефіцієнти пропорційності;

$BN_{\mu}i$, BK_i , BP_i – показники ступеня.

Таким чином, під функціями відгуку Y_1 , Y_2 , Y_3 розуміємо, відповідно, логарифми величин мікротвердості, відсоткового вмісту міді в покритті, дотичної сили різання, а під факторами X_1 , X_2 , X_3 величини, які розраховуються за формулами:

$$\begin{aligned} X_1 &= 2(\ln T - \ln T_{\max}) / (\ln T_{\max} - \ln T_{\min}) + 1, \\ X_2 &= 2(\ln D_k - \ln D_{k\max}) / (\ln D_{k\max} - \ln D_{k\min}) + 1, \\ X_3 &= 2(\ln K_{CuCl} - \ln K_{CuCl\max}) / (\ln K_{CuCl\max} - \ln K_{CuCl\min}) + 1. \end{aligned} \quad (3.4)$$

Коефіцієнти $C_{\Delta i}$ та $B_{\Delta i}$ визначалися за формулами:

$$C_{\Delta i} = \text{EXP} \left(a_{oi} - \sum_{j=1}^N a_{ji} \left(\frac{\ln X_{\max j} + \ln X_{\min j}}{\ln X_{\max j} - \ln X_{\min j}} \right) \right), \quad (3.5)$$

$$B_{\Delta i} = \frac{2 a_{ji}}{\ln X_{\max j} - \ln X_{\min j}}, \quad (3.6)$$

де a_{oi} - a_{ji} – коефіцієнти в той моделі;

$X_{\max j}$, $X_{\min j}$ – значення j -того фактора на верхньому та нижньому рівнях у натуральних величинах;

N – число значних коефіцієнтів моделі.

Формули придатні за відсутності взаємовпливів у моделі. Для визначення коефіцієнтів C_i та B_{ji} використовуються аналогічні формули.

Статистична обробка результатів експериментів проводилася на ЕОМ. Розрахунки дозволяють отримати параметри оптимізації процесу і в результаті переходу від безрозмірних моделей до логарифмічних формул (3.4) отримати інтерполяційні моделі, підставивши в які значення T , D_k і C_{CuCl} побудувати графіки залежностей мікротвердості H_c , процентного вмісту міді в покритті K , дотичної сили різання P від температури електроліту міді в електроліті залізнення K_{CuCl} .

Як об'єкт досліджень був обраний зразок із сталі 45 з нанесеним на його циліндричну поверхню шаром електролітичного покриття залізо-мідь завтовшки після обробки шліфуванням 0,25 - 0,30 мм (рис. 3.2). Кожному номеру точки плану експерименту відповідає три зразки, отримані одночасно і за однакових умов.

Рисунок 3.2 - Ескіз зразка: 1 - зразок; 2 - літерне позначення

Послідовність експериментальних робіт полягала в наступному:

- виготовлення партії зразків із сталі 45;
- маркування зразків;
- нанесення електролітичного покриття;
- зняття дендритів та підготовка поверхні під обробку шліфуванням;

- визначення дійсних значень параметрів оптимізації.

Для вивчення мікроструктури осадів електролітичного покриття залізо-мідь виготовлялися поперечні шліфи. Для отримання плоскої поверхні шліфу зразок поміщався в затискач, що складається з двох текстолітових пластин і гвинтів з гайками. Підготовка шліфу проводилася з подальшим поліруванням фетром з пастою. Перед безпосереднім фотографуванням структури, шліфи протравлювалися в 5% розчині азотної кислоти, з подальшим промиванням спиртом і протиранням фетром. Вивчення мікроструктури проводилося з допомогою мікроскопа зі збільшенням $\times 500$.

Дослідження зразків методом мас-спектрометрії вторинних іонів проводили на магнітному удосконаленому мас-спектрометрі, оснащеному універсальною приставкою для дослідження твердих тіл. Аналіз проводився у лабораторії за стандартною методикою. Мас-спектр вторинних іонів записувався на ЕОМ з допомогою спеціальної програми. Підготовлені зразки встановлювали у тримачі мішені. Мішень поміщали в робочу камеру установки, з якої відкачували повітря до отримання вакууму на рівні тиску $133,3 \cdot 10^{-6}$ Па. Бомбардування мішеней здійснювалося іонами аргону. Глибинні профілі концентрацій речовин за товщиною вимірювали реєстрацією сигналу вторинних іонів досліджуваної речовини як час розпилення. Приймалося, що концентрація речовини пропорційна інтенсивності вторинних іонів.

Мікротвердість визначена згідно прийнятих методик. Через малу товщину покриття використовувалося навантаження 50 Н. По діагоналі відбитка, що залишилася після зняття навантаження, і номограмі для визначення мікротвердості визначалися дійсні значення твердості по Віккерсу [28]. Кратність вимірів дорівнювала трьом.

Експеримент проводився на токарно-гвинторізному верстаті моделі 1К62 за допомогою спеціального пристрою. Перед початком експерименту верстат, інструмент, динамометр та індикатор годинного типу були протаровані та відрегульовані. За умовами планування матриці експерименту реалізація дослідів проводилася у випадковому порядку.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

4.1 Дослідження впливу концентрації хлорної міді в електроліті залізнення на міцність зчеплення покриття з матеріалом основи

Рисунок 4.1 - Поверхня з'єднання пояска електролітичного залізного покриття на плунжері - «чистий зсув» (x125)

Рисунок 4.2 - Залежність міцності зсуву покриття концентрації хлорної міді в електроліті залізнення

4.2 Результати багатофакторного експерименту щодо визначення експлуатаційних властивостей електролітичного покриття залізо-мідь

Рисунок 4.3 - Залежність мікротвердості електролітичного покриття Fe-Cu від температури електроліту:

Рисунок 4.4 - Залежність мікротвердості електролітичного покриття Fe-Cu від катодної щільності струму:

Рисунок 4.5 - Залежність мікротвердості електролітичного покриття Fe-Cu від концентрації CuCl_2 в електроліті залізнення:

Рисунок 4.7 - Мікроструктура електролітичного покриття залізо-мідь при відсотковому вмісті міді $K = 1,1\%$ (x500)

Рисунок 4.8 - Мікроструктура електролітичного покриття залізо-мідь при відсотковому вмісті міді $K = 6,1\%$ (x500)

Висновки за результатами експериментальних досліджень

1. При підвищенні концентрації хлорної міді в електроліті залізнення міцність зчеплення знижується;

2. Експериментально визначено залежність між концентрацією хлорної міді в електроліті залізнення та міцністю зсуву покриття залізо-мідь.

3. Максимально-допустима величина дотичної сили різання дорівнює 406 Н.

4. Виходячи з умови досягнення задовільної оброблюваності електролітичного залізного покриття оптимальними діапазонами дійсних значень параметрів процесу нанесення електролітичного покриття залізо-мідь є:

$$T_{\text{ел}} = 74 - 80^{\circ},$$

$$D_{\text{к}} = 20 - 28 \text{ А/дм}^2,$$

$$K_{\text{CuCl}} = 1.8 - 3.0 \text{ г/л.}$$

5. За тієї ж умови параметри оптимізації змінюються в наступних діапазонах:

$$P_z = 370 - 370 \text{ Н}$$

$$H_{\mu} = 184 - 445 \text{ кг/мм}^2$$

$$K_{\text{Cu}} = 1.1 - 6.1\%.$$

6. Мідь у покритті Fe-Cu знаходиться у вигляді окремих металевих включень.

5 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБОК

5.1 Екологічна експертиза

Екологічна експертиза – це діяльність спеціально уповноважених органів та експертів, врегульована нормативно-правовими актами, що полягає в аналізі, перевірці та оцінці проектних рішень щодо їх відповідності вимогам охорони навколишнього природного середовища та раціонального використання природних ресурсів [29]. Її основною метою є запобігання негативному впливу виробничої діяльності на довкілля та здоров'я людини.

Основними цілями екологічної експертизи є:

- визначення відповідності технологічних процесів екологічним вимогам;
- запобігання шкідливому впливу виробництва на навколишнє середовище;
- оцінка рівня екологічної безпеки виробничої діяльності.

Екологічна експертиза може здійснюватися в державній, громадській та інших формах і є обов'язковою складовою впровадження технологічних процесів, що можуть впливати на стан довкілля.

Процес проведення екологічної експертизи включає три основні етапи [29]:

- підготовчий – перевірка повноти та відповідності документації;
- аналітичний – оцінка впливу об'єкта на довкілля;
- завершальний – формування висновків щодо екологічної безпеки.

У машинобудуванні екологічні аспекти мають важливе значення, оскільки технологічні процеси супроводжуються утворенням викидів, відходів та фізичних факторів впливу. Це особливо актуально при відновленні деталей машин, зокрема посадкових отворів під підшипники.

Відповідно до теми кваліфікаційної роботи, джерелом можливого впливу на довкілля є ремонтна дільниця, де здійснюється відновлення зношених

посадкових отворів методами наплавлення, механічної обробки (розточування, шліфування) та доведення поверхонь.

У процесі виконання цих робіт основними джерелами забруднення атмосферного повітря є:

- зварювальні та наплавні установки;
- шліфувальне та розточувальне обладнання;
- допоміжні операції очищення та знежирення деталей.

При цьому у повітря виділяються:

- аерозолі металів (Fe, Mn);
- оксид вуглецю (CO);
- оксиди азоту (NO₂);
- пил абразивного походження.

Відповідно до санітарно-гігієнічних норм встановлено гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітря робочої зони: оксид вуглецю – 20 мг/м³, діоксид азоту – 5 мг/м³, пил – 1 мг/м³ [30].

Для забезпечення нормативної якості повітря передбачається застосування ефективної вентиляційної системи. Крім загальної вентиляції, необхідно встановити місцеві витяжні пристрої безпосередньо в зоні наплавлення та шліфування.

Для очищення повітря від пилу пропонується використання циклону типу ЦН-15, який забезпечує ефективне уловлювання твердих частинок. Додатково рекомендується застосування локальних пиловловлювачів для очищення повітря від дрібнодисперсних частинок.

Джерелами забруднення ґрунтів та водних ресурсів можуть бути паливно-мастильні рідини, технічні мастила та відпрацьовані нафтопродукти. У процесі відновлення деталей вони використовуються під час механічної обробки та обслуговування обладнання.

Стічні води, що утворюються в процесі виробництва, повинні підлягати попередньому очищенню. Для цього застосовується система відстоювання та нейтралізації, після чого очищена вода може повторно використовуватись у

виробничому циклі.

Відпрацьовані мастила та технічні рідини збираються у герметичні ємності та передаються на спеціалізовані підприємства для утилізації. Не допускається їх потрапляння в ґрунт або каналізацію.

З метою зниження негативного впливу на довкілля також передбачаються такі заходи:

- застосування ресурсозберігаючих технологій відновлення деталей;
- оптимізація режимів наплавлення для зменшення викидів;
- своєчасне технічне обслуговування обладнання;
- контроль за дотриманням екологічних норм.

Отже, впровадження удосконаленого процесу відновлення посадкових отворів під підшипники дозволяє не лише підвищити надійність та довговічність деталей, а й забезпечити екологічну безпеку виробництва. Запропоновані заходи сприяють зниженню негативного впливу на атмосферне повітря, водні ресурси та ґрунти, що відповідає сучасним вимогам охорони навколишнього середовища.

5.2 Охорона праці

5.2.1 Актуальність проблеми безпеки людини у виробничому середовищі

Актуальність проблеми безпеки праці в виробничому середовищі зумовлена інтенсивним розвитком машинобудування, впровадженням сучасних технологій відновлення деталей та ускладненням технологічних процесів. Під час виконання робіт з відновлення зношених посадкових отворів під підшипники працівники піддаються впливу різноманітних небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що можуть негативно позначитися на їхньому здоров'ї, працездатності та безпеці. До таких факторів належать механічні, фізичні, хімічні та психофізіологічні впливи [31].

Забезпечення безпечних умов праці під час виконання ремонтно-

відновлювальних робіт є одним із ключових завдань сучасного виробництва. Це зумовлено необхідністю збереження життя та здоров'я працівників, підвищення ефективності виконання технологічних операцій та зниження рівня виробничого травматизму та професійних захворювань. Організація безпечного виробничого середовища сприяє підвищенню продуктивності праці, покращенню умов роботи персоналу та зменшення економічних втрат підприємства.

Особливої актуальності питання охорони праці набуває на дільницях відновлення деталей машин, де виконуються операції наплавлення, розточування, шліфування та інші види механічної обробки. У цих умовах працівники мають справу з рухомими частинами обладнання, електричним струмом, підвищеними температурами, шкідливими газами та аерозолями, а також з підвищеним рівнем шуму та вібрацій. Порушення вимог техніки безпеки або недосконала організація робочого місця можуть призвести до травмування працівників та виникнення аварійних ситуацій [32].

У зв'язку з цим важливим напрямом діяльності є розроблення та впровадження комплексу заходів, спрямованих на забезпечення безпечних умов праці. До них належать організаційні, технічні, санітарно-гігієнічні та профілактичні заходи. Важливу роль відіграє система управління охороною праці, яка передбачає навчання персоналу, контроль за дотриманням вимог безпеки, застосування засобів індивідуального та колективного захисту, а також удосконалення технологічних процесів.

Таким чином, забезпечення безпеки праці при відновленні зношених посадкових отворів під підшипники є важливим та актуальним завданням. Її вирішення сприяє збереженню здоров'я працівників, підвищенню надійності виробничих процесів та ефективності функціонування підприємства в цілому.

5.2.2 Вимоги з охорони праці при нанесенні композиційних покриттів

Нанесення композиційних покриттів при відновленні посадкових отворів під підшипники корпусних деталей машин є технологічним процесом, що

супроводжується впливом небезпечних та шкідливих виробничих факторів. До них належать підвищена температура, електричний струм, шкідливі гази та аерозолі, пил, шум та вібрації. У зв'язку з цим необхідно дотримуватися комплексу вимог з охорони праці [32].

До виконання робіт допускаються особи, які:

- пройшли медичний огляд;
- пройшли інструктаж з охорони праці;
- мають відповідну кваліфікацію;
- ознайомлені з технологічним процесом та правилами безпеки.

Робочі місця повинні відповідати вимогам ергономіки, бути оснащені справним обладнанням, вентиляцією та засобами пожежогашіння.

Перед початком нанесення покриттів необхідно:

- перевірити справність обладнання, електропроводки та заземлення;
- оглянути стан інструменту та пристроїв;
- перевірити роботу вентиляційної системи;
- підготувати засоби індивідуальної захисту;
- переконатися у відсутності сторонніх предметів у робочій зоні.

Під час нанесення композиційних покриттів необхідно:

- використовувати справне обладнання та дотримуватися технологічних режимів;

- не допускати перевищення допустимих параметрів струму, температури та тиску;

- забезпечувати ефективну роботу місцевої витяжної вентиляції;
- уникати прямого контакту зі шкідливими речовинами;
- не торкатися нагрітих поверхонь без засобів захисту;
- дотримуватися безпечної відстані до рухомих частин механізмів;
- підтримувати порядок на робочому місці

Після завершення роботи необхідно:

- вимкнути обладнання від електромережі;

- очистити робоче місце від відходів;
- перевірити відсутність джерел займання;
- здати інструмент та засоби захисту;
- повідомити керівника про виявлені несправності.

Працівники повинні використовувати:

- спецодяг та спецвзуття;
- захисні окуляри чи щиток;
- респіратори для захисту від пилу та газів;
- термостійкі рукавички;
- засоби захисту слуху (при підвищеному шумі).

При нанесенні покриттів необхідно:

- не допускати наявності легкозаймистих матеріалів поблизу робочої зони;
- використовувати справне електрообладнання;
- мати у наявності вогнегасники;
- дотримуватися правил зберігання горючих матеріалів;
- у разі пожежі негайно повідомити відповідні служби та вжити заходів щодо її ліквідації.

Дотримання вимог охорони праці при нанесенні композиційних покриттів забезпечує безпеку працівників, знижує ризик виникнення виробничого травматизму та професійних захворювань, а також сприяє підвищенню ефективності технологічного процесу відновлення посадкових отворів під підшипники.

5.2.3 Аналіз формування травмонебезпечних ситуацій

Аналіз потенційно небезпечних умов, що можуть виникати під час виконання робіт із відновлення посадкових отворів під підшипники, показує, що їх доцільно класифікувати на кілька основних груп [31]:

- умови, пов'язані з технічним станом обладнання та робочого місця, що обумовлені конструктивними недоліками або зношеністю окремих вузлів машин та механізмів;
- фактори, що спричиняють помилки персоналу в процесі виконання технологічних операцій, зокрема недостатній рівень кваліфікації, відсутність практичних навичок та недостатні знання з питань охорони праці;
- обставини, за яких працівники можуть потрапити до небезпечної зони через неналежний контроль за дотриманням вимог безпеки, а також через порушення трудової дисципліни чи організації робочого процесу.

Якщо травмування працівників є наслідком порушення роботи технічної системи (наприклад, під час виконання операцій наплавлення чи механічної обробки), такий випадок класифікується як подія, пов'язана з аварійною ситуацією. Це особливо характерно для виробничих процесів, у яких одночасно взаємодіють людина та машина.

У разі відмови обладнання або його окремих елементів, що призводить до негайного припинення роботи та матеріальних збитків, має місце аварія.

Оскільки в системах типу «людина – машина» причини виникнення травм та аварій тісно пов'язані між собою, їх доцільно розглядати комплексно.

З метою запобігання надзвичайним ситуаціям на підприємстві необхідно розробляти та впроваджувати плани попередження, локалізації та ліквідації аварій та пожеж. Важливим елементом є також регулярне проведення інструктажів та навчань персоналу, що дозволяє мінімізувати ризики та зменшити можливі наслідки небезпечних ситуацій.

5.3 Оцінка економічної ефективності впровадження проектних рішень

Вирішення завдання оцінки техніко-економічної ефективності зводиться до уточнення собівартості C_b відновлення картера КПП автомобіля КамАЗ за рекомендованим технологічним процесом (ТП). При цьому має виконуватися умова:

$$C_B < C_H, \quad (5.1)$$

Використання прямого розрахунку витрат калькуляції собівартості відновлення забезпечує більш високу точність розрахунків. Тому можна розрахувати технологічну собівартість відновлення за методикою [33] виходячи з встановлених загальномашинобудівних нормативів.

Річний економічний ефект від використання пропонованого ТП для потреб визначається виразом:

$$E_p = (C_H - C_B) \cdot N, \quad (5.2)$$

де N – кількість відновлюваних деталей на рік.

В умовах сучасної ринкової економіки виникають проблеми у визначенні програми N (5.2). Однак, за умови впровадження пропонованого ТП на підприємствах автомобільного транспорту, можна висловити коефіцієнт відносної економічної ефективності [34]:

$$K_e = C_H / C_B, \quad (5.3)$$

При цьому результат, отриманий у (5.3), не суттєво залежатиме від коливання цін на матеріали, що витрачаються на виробництво, та витрат на оплату праці та енергії. Собівартість відновлення C_B сумується з витрат на оплату праці та витрати на витратні матеріали та електроенергію:

$$C_B = C_{оп} + C_{вм}, \quad (5.4)$$

При визначенні $C_{оп}$ (5.4) необхідно знати час, що витрачається на ТП відновлення однієї деталі (t_m) та тарифну ставку робітника (m).

$$C_{оп} = t_m \cdot m, \quad (5.5)$$

$$t_m = t_{роз}^п + t_H + t_{роз}^{oc}, \quad (5.6)$$

де $t_{роз}^п$ – час операції попереднього розточування посадкових отворів;

t_H – час операції гальванічного нарощування електролітичного покриття Fe-Cu;

$t_{роз}^{oc}$ – час операції остаточного розточування в номінальний розмір усіх чотирьох отворів картера КП.

Так як припуски на попередню та остаточну обробку становлять близько

0,2 мм, то приймаємо припущення $t_{роз}^{\Pi} = t_{роз}^{oc} = t_p$.

$$T_{\Pi\Pi} = 2 \cdot t_p + t_H, \quad (5.7)$$

Далі визначимо:

$$t_p = 4 \cdot t_p^1, \quad (5.8)$$

де t_p^1 – час на розточування одного отвору ($t_{oc}^1 = 0,2$ хв, $t_{доп}^1 = 0,55$ хв).

При визначенні нормативних значень часу на допоміжні операції [33], враховувалося, що картер КП належить до 3-ї категорії за складністю, а площа поверхні, що обробляється $S1 = 1,2$ дм².

Тоді $t_p = 4 \cdot (0,2 + 0,55) = 3$ хв.

Аналогічно:

$$t_H = 4 \cdot t_H^{\Pi}, \quad (5.9)$$

де t_H^{Π} – час операції гальванічного нарощування однієї поверхні.

Визначаємо t_H^{Π} з наступних умов:

- загальна площа відновлюваних поверхонь однієї деталі дорівнює 4,8 дм²;
- катодна щільність струму 20 А/дм².

$$t_H^{\Pi} = 2 \cdot t_H^1 + t_H^2 + t_H^3 + t_H^4 + t_H^5, \quad (5.10)$$

де t_H^1 – час на монтаж - демонтаж електролітичного осередку;

$t_H^2 = 2$ хв – час анодного травлення;

$t_H^3 = 1$ хв – промивання водою;

$t_H^4 = 0,2$ хв – час анодного очищення;

$t_H^5 = 80$ хв – тривалість процесу осадження.

Час на монтаж - демонтаж підсумовується з часу на переміщення пристосування (комірки) (0,26 хв), часу на кріплення контактів (0,14 хв), часу на монтаж (демонтаж) різьбових з'єднань. Для деталей 3-ї категорії складності вводиться коефіцієнт 1,2. Тоді:

$$t_H^1 = (0,26 + 0,14 + 0,34) \cdot 1,2 = 0,9 \text{ хв.}$$

Підставивши отримані значення (5.10), отримаємо:

$$t_H^{\Pi} = 2 \cdot 0,9 + 2,0 + 1,0 + 0,2 + 80 = 85 \text{ хв.}$$

Тоді загальний час операцій гальванічного нарощування:

$$t_H = 4 \cdot 85 = 340 \text{ хв.}$$

З виразу (3.4) отримаємо:

$$T_{\text{ТП}} = 2 \cdot 3 + 340 = 346 \text{ (хв)} \sim 5,8 \text{ год.}$$

Приймаючи умовно тарифну ставку робітника $m = 150$ грн/год, отримаємо:

$$C_{\text{оп}} = 5,8 \cdot 150 = 870 \text{ грн.}$$

Витрати на витратні матеріали та електроенергію визначимо з виразу:

$$C_{\text{вм}} = C_3 + C_e, \quad (5.11)$$

де C_3 – витрати на реактиви для ТП відновлення однієї деталі залізненням, грн.

C_e – витрати на енергопостачання горизонтально-розточувального верстата при попередній та остаточній обробці отворів.

За даними [33] C_3 для $S_3 = 4,8 \text{ дм}^2$, що дорівнює 10650,5 грн, а собівартість 6,0 хв роботи верстата – 125 грн. Тоді:

$$C_{\text{вм}} = 10650,5 + 125 = 10775,5 \text{ грн.}$$

З виразу (5.4) отримаємо: $C_{\text{в}} = 870 + 10775,5 = 11645,5$ грн.

Виходячи з вище викладеного визначимо за виразом (5.3) відносну економічну ефективність:

$$K_e = 51000/11645,5 = 4,4.$$

З урахуванням вище викладеного можна зробити висновок, що собівартість відновлення одного картера КП КамАЗ за пропонованим ТП відновлення електролітичним покриттям залізо-мідь у 4,4 разів менше ціни нової деталі.

ВИСНОВКИ

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження дозволили вирішити поставлені в роботі завдання оптимізації експлуатаційних властивостей електролітичного залізного покриття стосовно відновлення зношених корпусних деталей машин.

1. Проведено аналіз способів відновлення отворів під підшипники у чавунних корпусних деталях та обґрунтовано вибір технологічного процесу відновлення залежно від величин зносу отворів.

2. Встановлено математичні залежності щодо визначення впливу деформацій посадкових отворів корпусів коробок передач на довговічність агрегатів та деталей, зокрема між коефіцієнтами довговічності деталей коробки передач та відхиленням від співвісності отворів.

3. Встановлено математичні залежності для визначення необхідної та достатньої міцності зчеплення покриття з матеріалом деталі відповідно до її умов роботи, що дозволяє проводити розрахунок достатньої міцності зчеплення покриття при розробці технологічного процесу нанесення електролітичного покриття залізо-мідь.

4. Проведено дослідження впливу режимів електролізу на експлуатаційні властивості електролітичного покриття залізо-мідь. Встановлені математичні залежності показників властивостей факторів процесу дозволяють отримувати покриття із заданими значеннями дотичної сили різання, міцності зчеплення з матеріалом основи, мікротвердості, процентного вмісту міді в покритті, зносостійкості.

5. Собівартість відновлення одного картера КП КамАЗ за пропонованим ТП відновлення електролітичним покриттям залізо-мідь у 4,4 разів менше ціни нової деталі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Надійність машин та обладнання. Ч. 2. Ремонт машин та відновлення деталей. З. В. Ружи́ло та ін. Київ: Видавн. центр НУБіП України, 2023. 310 с.
2. Сідашенко О.І., Науменко О.А. Ремонт машин та обладнання агропромислового виробництва. Київ: Ліра-К, 2018. 544 с.
3. Дубовий О. М., Степанчук А. М. Технологія напилення покриттів: підручник. Миколаїв: НУК, 2007. 236 с.
4. Булгаков В.М., Ружи́ло З.В. Надійність і ремонт машин. Київ: Центр учбової літератури, 2019. 380 с.
5. Кравчук В.І., Мельник Ю.Ф. Відновлення та зміцнення деталей машин АПК. Київ: НУБіП України, 2020. 295 с.
6. Дудніков А.А., Келемеш А.О., Семчук Г.І., Єфремов С.Г. Забезпечення якості поверхні деталей при обробці тиском. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. Вип. 98. Т. 2, 2013. 590 с.
7. Алін М. А., Бурцева О. І. Розробка присадних матеріалів для зварювання чавуну з вузлуватим графітом. *Східноєвропейський журнал передових технологій*. 2012. № 3(51). С. 32-35.
8. Руденко М.В. Технологічні основи відновлення чавунних корпусних деталей. Дніпро: ЛПРА, 2023. 198 с.
9. Zhao L., Wang Y., Chen X. Microhardness of Fe-Cu electrodeposited coatings under variable electrolysis conditions. *Materials Science Forum*. 2021. Vol. 1022. P. 145-152.
10. Walsh F.C., Low C.T.J. Electrodeposition for surface enhancement – A review. *Transactions of the Institute of Metal Finishing*. 2018. Vol. 96, No. 1. P. 2-24.
11. Алімбаєва Б.Ш., Миловидов Е.Н. Відновлення деталей військової автомобільної техніки електроіскровим легуванням. *Матеріали Міжвуз. наук.-практ. конф. Удосконалення системи експлуатації ВВСТ*. 2014. С. 126-129.
12. Nikolenko S.V., Kuzmenko A.P., Timakov D.I., Abakymov P.V. Nanostructuring a steel surface by electrospark treatment with new electrode materials

based on tungsten carbide. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2011. Vol. 47. № 3. P. 217-224.

13. Антропов Л.І., Лебединський Ю.Н. Композиційні електрохімічні покриття. Київ: Техніка, 1989. 200 с.

14. Gulivets A.N., Zabludovsky V.A., Baskevich A.S., Stapenko E.Ph., Ganitsh R.Ph. Structural transitions of Ni-P films electrodeposited by pulsed current. *Transaction of the Institute of Metal Finishing*. 2004. Vol. 82, Issue 5-6. P. 147-149.

15. Заблудовський В.О., Ганич Р.П., Артемчук В.В. Вплив параметрів імпульсного струму у формуванні структури сплавів металів групи заліза з фосфором. *Фізика і хімія твердого тіла*. 2012. Т. 13, № 1. С. 214-219.

16. Пастухов В.І. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Харків: Факт, 2021. 410 с.

17. Дудніков А.А., Горбенко О.В., Келемеш А.О., Дудник В.В. Технологічні методи підвищення експлуатаційної надійності машин. *Наукові нотатки*. 2018. Вип. 64. С. 44-47.

18. Заблудовський В.О., Ганич Р.П., Артемчук В.В. Дослідження структурних перетворень в сплавах Fe-Ni-P, отриманих в нерівноважних умовах електрокристалізації. *Фізика і хімія твердого тіла*. 2012. Т. 13, № 2. С. 462-468.

19. Патент №54551, Україна, С25D5/18. Спосіб електролітичного осадження аморфних сплавів залізо-фосфор. Заблудовський В.О., Штапенко Е.П., Грибок В.С., Гулівець О.М., Ганич Р.П., Гаджилов М.В.; 174 заявник і патентовласник ДНУЗТ. заяв. 30.03.2000; опубл. 17.03.2003, Бюл. № 3.

20. Патент №70567 А, Україна, С25D5/18. Спосіб електролітичного осадження аморфних сплавів нікель-фосфор. Заблудовський В.О., Гулівець О.М., Штапенко Е.П., Ганич Р.П., Баскевич О.С., Герасименко Д.В.; заявник і патентовласник ДНУЗТ. заяв. 09.12.2003; опубл. 15.10.2004, Бюл. № 10.

21. Марченко І.В. Технологічні режими механічної обробки відновлених покриттів. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2023. № 1(17). С. 41-49.

22. Рудь Ю.С. Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2-е вид.,

переробл. Кривий Ріг: Видавець ФО-П Чернявський Д.О., 2015. 492 с.

23. Дубянський О.В., В.М. Хрунь Конструювання та розрахунок автомобіля: навч. посіб. М-во освіти і науки України, Нац. ун-т «Львів. політехніка», Ін-т дистанційного навчання. Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2013. Ч. I.: Трансмісія автомобіля. 172 с.

24. Деталі машин. Розрахунок та конструювання: підручник. Г.В. Архангельський, М.С. Воробйов, В.С. Гапонов [та ін.]. Київ: Талком, 2014. 684 с.

25. Гаврилук В.П. Знос і відновлення посадкових поверхонь деталей машин. Київ: Аграрна наука, 2020. 204 с.

26. Деревенько І.А., Сивак Р.І. Короткий курс опору матеріалів. Вінниця: ВНАУ, 2020. 308 с.

27. ДСТУ ISO 286-1:2020. Геометричні характеристики виробів. Система допусків і посадок. Частина 1. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2020. 54 с.

28. Новіков В.О. Планування багатофакторного експерименту в машинобудуванні. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 198 с.

29. Закон України «Про екологічну експертизу»: за станом на 9 лютого 1995р. Верховна Рада України. Офіц. вид. Київ: Парлам. вид-во, 1995. 36 с.

30. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. Київ: Мінрегіон України, 2013.

31. Закон України Про охорону праці. Київ: Відомості Верховної Ради України, чинна редакція.

32. Геврик Є.О., Сомар Г.В., Пешко Н.П. Техніка безпеки. Київ: Ельга, 2006. 316 с.

33. Шваб Л.І. Економіка підприємства. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Київ: Каравела. 2004, 568 с.

34. Park C.S. Contemporary Engineering Economics. 6th ed. Pearson, 2015. 792 p.