

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

01.05 – МР. 2401 «С» 2023.12.29. 031 ПЗ

Підгорного Віктора Вікторовича

2024 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ФАКУЛЬТЕТ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ

УДК 631.356.2(477.51)

ПОГОДЖЕНО

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Декан факультету конструювання
та дизайну

Завідувач кафедри надійності техніки

_____ Зіновій РУЖИЛО

_____ Андрій НОВИЦЬКИЙ

«___» _____ 2024 р.

«___» _____ 2024 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: Характеристика пошкоджень та розробка ТП відновлення
шліцевих валів

Спеціальність: _____ 133 – Галузеве машинобудування _____

(код і назва)

Освітня програма _____ Технічний сервіс машин та обладнання
сільськогосподарського виробництва _____

(назва)

Орієнтація освітньої програми: _____ освітньо-професійна _____

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

_____ к.т.н, доцент _____

_____ Андрій НОВИЦЬКИЙ _____

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

(ПБ)

Керівник магістерської роботи

_____ к.с.г.н, доцент _____

_____ Валентина МЕЛЬНИК _____

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

(ПБ)

Виконав _____

_____ Віктор ПІДГОРНИЙ _____

(підпис)

(ПБ студента)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри надійності техніки
к.т.н, доцент _____ Андрій НОВИЦЬКИЙ
« ____ » _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ**

Підгорному Віктору Вікторовичу
(ПІБ)

Спеціальність _____ 133 – Галузеве машинобудування
(код і назва)

Освітня програма Технічний сервіс машин та обладнання сільськогосподарського виробництва
(назва)

Орієнтація освітньої програми _____ освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської роботи: _____ Характеристика пошкоджень та розробка
ТП відновлення шліцевих валів

затверджена наказом ректора НУБіП України від 29.12.2023 р. № 2401 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру _____ 2024.11.15.
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи

1. Технологічний процес ремонту шліцевих валів.
2. Завдання на проектування.
3. Результати науково-дослідних робіт по вивченню дефектів шліцевих валів за літературними джерелами.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Вихідні дані для проектування.
2. Технологічна частина проекту.
3. Економічна ефективність проекту.

Перелік ілюстративного матеріалу

1. Статистики зносів шліцьових валів.
2. Класифікація шліцьових з'єднань.
3. Ремонтний кресленик шліцьового вала.
4. Конструктивно-технологічна характеристика робочих поверхонь деталей.
5. Маршрутна карта відновлення шліцьових валів.
6. Операційна карта наплавлення.
7. Схема технологічного процесу відновлення.
8. Техніко-економічні показники.

Дата видачі завдання: « 11 » жовтня 2023 р.

Керівник магістерської роботи _____ Валентина Мельник
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____ Віктор Підгорний
(підпис) (прізвище та ініціали студента)

ЗМІСТ

Реферат	3
Зміст	4
Вступ	6
РОЗДІЛ 1. Вихідні дані для дипломного проекту	8
1.1. Загальна характеристика деталей типу вал.....	8
1.2 Види і причини ушкоджень шліцьових з'єднань.....	10
1.3 Вимоги, що пред'являються до шліцьових валів	18
1.4 Особливості ремонту деталей типу „вал” та аналіз способів ремонтів шліцьових з'єднань.	21
1.5. Задачі магістерської роботи.....	32
РОЗДІЛ 2. Матеріал і методика досліджень	33
2.1 Характеристика досліджуваних деталей.....	33
2.2 Метод визначення залишкової напруги при відновленні шліцьових валів	42
2.2.1. Методика розрахунку температурного поля при відновленні валу зварюванням у стик.....	43
2.2.2 Методика розрахунку температурного поля при відновленні в шліцьовій частині валу.....	47
2.3. Методика розрахунку термічних деформацій і напруги	51
РОЗДІЛ 3. Технологічна частина	63
3.1. Обґрунтування схеми технічного процесу відновлення валів	63
3.2. Дослідження різних способів ремонту шліцьових валів.....	66
3.3. Вибір матеріалу для покриття і оцінка властивостей валів.....	81
3.4. Характеристика, номенклатура і об'єм виробленої продукції.....	99
3.5. Конструкторсько-ремонтна підготовка.....	99
3.5.1. Технічні вимоги на ремонт.....	99
3.5.2 Ремонтний кресленик вала.....	99
3.5.3. Технологічний процес ремонту.....	101

3.6. Організаційна підготовка виробництва. Проект ділянки по відновленню валів.....	101
3.6.1. Загальна методика проектування ділянки.....	101
3.6.2. Річна програми та тип виробництва.....	102
3.6.3. Трудомісткість ремонтних операцій по відновленню валів.....	102
3.6.4. Організаційний режим роботи ділянки.....	104
3.6.5. Розрахунок кількості робітників.....	105
3.6.6. Розрахунок площі ділянки.....	105
3.6.7. Технологічне планування ділянки.....	107
РОЗДІЛ 4. Економічне обґрунтування роботи.....	108
4.1. Визначення капіталовкладень в основні фонди.....	108
4.2. Розрахунок собівартості ремонту однієї деталі типу “вал”.....	109
4.3. Визначення річної оптової ціни.....	113
4.4. Коефіцієнт фондівдачі	114
4.5. Продуктивність праці на одного працюючого.....	115
4.6. Випуск продукції на 1 м площі.....	115
4.7. Визначення величини річної економії.....	115
4.8. Річний економічний ефект.....	116
4.9. Окупність капіталовкладень.....	116
Висновок.....	117
Перелік ілюстративного матеріалу.....	120
Література.....	121

ВСТУП

Працездатність сільськогосподарської техніки визначається довговічністю і надійністю деталей в експлуатації. Істотно подовжити життєвий цикл експлуатації машин, головним чином, можливо за рахунок використання якісних деталей, виготовлених за передовими технологіями, у тому числі і з ефективних матеріалів, а також проведенням їх реновації не лише з відновленням геометричних розмірів, але і використанням зміцнюючого обробітку.

Головною причиною втрати роботоздатності деталей сільськогосподарських машин є зношування. Відкази через зношування в сучасних машинах становлять 80...90% від загальної кількості відмов. Особливо велика частка в цих відмовах деталей, які відповідають за надійну роботу важливих вузлів і машин, таких як: двигун, коробка змінних передач та інше. Це перш за все тіла обертання і деталі, знос яких призводить до виходу з ладу усієї машини або частини агрегату.

В цьому випадку важливим є мінімізувати рівень напружень, що формуються, які виникають при наплавленні покриттів, зберегти пряmolінійність деталі, забезпечити мінімальне пошкодження її серцевини і необхідні фізико-механічні і експлуатаційні властивості.

Однак сам технологічний процес має багато недоліків. Це пов'язано з тим, що дослідження по розробці технологічних процесів відновлення деталей проводилося дуже давно, при цьому не враховувалося, а ні вартість матеріалів, ні їх доцільність застосування в даному виді наплавки щодо окремих деталей.

На сьогодні не менш важливим фактором є те, що дослідження, які зараз проводяться в металознавстві, призведуть до застосування деталей, відновлення яких має проводитись відповідно новим вимогам. Цьому є декілька причин:

по-перше, - це застосування в господарствах нових механізмів і машин, в склад яких входять деталі, виготовлені з нових матеріалів, які за своєю якістю і надійністю в декілька разів перевищують попередні, давно застарілі;

по-друге, відновлення цих деталей необхідно проводити відповідно тим технологіям, які не погіршують якість деталі, а навпаки, покращують її як механічні так і інші властивості;

по-третє, технології відновлення вимагають суворого дотримання набору необхідних операцій і їх чергування;

по-четверте, відповідно операцій необхідно застосувати устаткування яке відповідає вимогам, що до проведення цих операцій.

У зв'язку з цим дана магістерська робота присвячена вдосконаленню технологічного процесу відновлення шліцевих валів.

Метою її є підвищення надійності відновлених шліцевих валів обґрунтуванням методу і параметрів відновлення, що забезпечують мінімальний рівень напружень, та розробка технологічного процесу відновлення методом наплавлення по гвинтовій лінії.

РОЗДІЛ 1. ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ

1.1. Загальна характеристика деталей типу вал.

Вали – є тілами обертання з гладенькою або ступінчастою зовнішньою поверхнею. Вали в машинах використовують для передачі обертального руху від одних механізмів до інших за допомогою шестерень, ланцюгів і зірочок, пасів і шківів, муфт і таке інше. В тих випадках, коли необхідно не тільки передавати обертальний рух, а і пересувати деталі по валу, використовують шліцеві вали або вали квадратного перерізу (наприклад, вали висіваючих апаратів сівалок, тощо) класифікацію яких наведено в таблиці 1.1. Для перетворення обертального руху в зворотньо-поступальне використовують колінчасті вали. Осі на відміну від валів не передають обертальний рух, а призначені тільки для обертання на них (або разом з ними) деталей машин. Опори на які спирається вал або вісь, називають підшипниками. Кінець валу (осі), який лежить на опорі, називають цапфою або шипом, а проміжні частини, спряжені з підшипниками - шийками. Деталі на валах та осях закріплюють різними способами: шпонками, шліцями, шпильками, стопорними гвинтами або на різьбі.

В залежності від призначення або умов роботи використовують вали та осі, різноманітні за конструкцією, розмірами та матеріалом.

Гладенькі вали сільськогосподарських машин та обладнання переробних виробництв, як і шліцьові вали, виготовляють з маловуглецевих сталей (10,15,20), із середньовуглецевих конструкційних або легованих сталей

(35,40,45,30X,40X,45X,45Г2), а іноді із цементуючих сталей (20X,20XГМР,25ХГТ). При виготовленні вали, як правило, проходять термічну або хіміко-термічну обробку, тому їх основні робочі поверхні мають високу міцність (HRC_э40 – 60).

Аналогічні вимоги висуваються і до валів переробної промисловості

Таблиця 1.1

Класифікація шліцьових з'єднань

Основні ознаки класифікації	Групи і підгрупи			
Рухливість з'єднання	Нерухомі з'єднання		Рухомі з'єднання	
2 Форма поперечного перерізу шліца	1 Прямобічні: а) з паралельним розташуванням граней; б) з радіальним розташуванням граней		2 Эвольвентні: а) з $\alpha=20^\circ$; б) з $\alpha=30^\circ$; в) з $\alpha=45^\circ$	3 Трикутні: а) з $\alpha=55^\circ$; б) з $\alpha=60^\circ$; в) з $\alpha=72^\circ$; г) з $\alpha=90^\circ$
3. Розташування шліців	1 На циліндричній поверхні		2 На конічній поверхні	3 На торцевій поверхні
4 Напрямок бічної поверхні шліців	Паралельні			Гвинтові
5 Спосіб центрування	По зовнішньому діаметру	По внутрішньому діаметру	По бічних поверхнях шліців	По допоміжних поверхнях
6 Несуча здатність	Легка серія		Середня серія	Важка серія
7 Спосіб фіксації маточини від поздовжніх переміщень	Гайкою, накручуваною на хвостовик валу	Шайбою і болтом, або групою болтів, вкрученими в торець валу	Стопорними кільцями	Суміжними з маточинами деталями (зубчастими колесами, підшипниками та ін.)

8 Застосування термічної обробки	Термообробленими валом і маточиною	Не термообробленими валом і маточиною	Термообробленим валом і не термообробленою маточиною	Термообробленою маточиною і не термообробленим валом
----------------------------------	------------------------------------	---------------------------------------	--	--

1.2 Види і причини ушкоджень шліцьових з'єднань

Шліцьові з'єднання і зубчасті передачі є одними з найбільш поширених видів сполучення в більшості сучасних машин. Вони набули широкого поширення в усіх областях машинобудування, оскільки дозволяють виробляти просте перетворення силового потоку приводу, здійснюючи це при малих габаритах і вазі, з високим коефіцієнтом корисної дії.

Подальший розвиток машинобудування визначив усе зростаюче значення шліцьових з'єднань. Ця обставина свідчить про необхідність постійного розвитку досліджень, спрямованих на підвищення здатності навантаження і довговічності як шліцьових, так і зубчастих передач, зниження їх ваги, вартості і габаритів.

Деталі шліцьових з'єднань і шестерні, будучи основними деталями силової передачі як сільськогосподарської техніки, так і автомобіля, мають ряд особливостей, які значною мірою ускладнюють оцінку їх стану в порівнянні з іншими деталями.

До таких особливостей можна віднести:

- складність форми і високу точність робочих і базових поверхонь;
- значні питомі навантаження і високі швидкості обертання при порівняно невеликих розмірах деталей, а також підвищені вимоги до матеріалу, особливо до його поверхневих шарів (термообробка);

- здатність витримувати миттєві навантаження (під час експлуатації), що значно перевищують за своєю величиною нормальні;

- наявність високої втомної міцності не лише усій деталі, але, головним чином, її робочій поверхні (шліци, зуби).

В процесі експлуатації машин на шліцьових валах можуть виникати наступні основні дефекти: знос опорних місць під підшипники і сальники, знос і руйнування шліців, деформація валу, знос різьбових ділянок.

За даними літературних джерел [Літ] знос шийок під шарикопідшипники не перевищує 0,3мм. Знос шийок, які з'єднуються з сальниками і втулками, може досягати 0,6..0,9мм. Знос шліців по ширині є основним дефектом. Шліци зношуються переважно у верхній частині їх поверхні. Практично усі шліци валів автомобілів чи тракторів (90%) мають знос 0,4-0,6мм, а інші 10% - до 1мм.

Шліцьові вали, що центруються по зовнішньому діаметру, зношуються по ньому і відповідно вимагають відновлення поверхні. Цей знос досягає 0,6 - 0,7мм і зустрічається в 75% випадків. Вали, що центруються по бічній поверхні шліців, зносу по зовнішньому діаметру зазвичай не мають, проте в процесі роботи деформуються. Короткі вали зазвичай схильні до вигину. При цьому порушення прямолінійності досягає меж 0,1-0,3мм, а довгих валів досягає 1-1,5мм.

Шліци валів зношуються по ширині переважно до 1 - 2мм. Знос по діаметру, що центрує, не перевищує 0,1 - 0,2мм. В окремих випадках знос шліцьових валів тракторів досягає більшої величини (до 3-4мм). Мають місце випадки того, що зім'яло шліців. Знос різьбових ділянок валів характеризується зазвичай таким, що зім'яло витки різьблення, особливо це характерно для кінців валу.

Дослідження, пов'язані з розробкою нових способів ремонту, вимагають

оцінки умов експлуатації, видів і причин їх пошкодження. За наявності великого різновиду шліцьових з'єднань для їх вивчення доцільно використовувати класифікацію (таблиця. 1.1) яка відбиває узагальнення, виконане на основі відомих публікацій.

Приведена класифікація має ряд переваг:

- охоплює усі відомі конструкції шліцьових з'єднань;
- дозволяє розробляти нові конструкції шліцьових з'єднань, що відрізняються від існуючих новим поєднанням класів, груп і підгруп;
- дозволяє розширити класифікацію включенням в неї нових класів, груп і підгруп, і таким чином, створювати абсолютно нові типи шліцьових з'єднань.

Окрім цього, приведена класифікація дозволяє з усього різноманіття типів шліцьових з'єднань легко виділити усю безліч з'єднань, до яких може бути ефективно застосований спосіб ремонту, що розробляється.

Виходячи з цієї класифікації для досліджень вибрали шліцьові вали, які мають усі ознаки класифікації. Шліци цих валів розташовані на циліндричній поверхні і мають прямокутну (як з радіальним, так і з паралельним розташуванням граней) форму поперечного перерізу шліца і характеризуються паралельним напрямом бічної поверхні. Вали центруються по зовнішньому, внутрішньому діаметру і по бічних поверхнях шліців легкої і середньої серії з можливістю фіксації від поздовжніх переміщень гайкою на хвостовику валу; шайбою і болтом, укручених в торець валу, а також стопорними кільцями і суміжними з маточинами.

Шліцьові з'єднання є одними з найбільш навантажених з'єднань в тракторах і сільськогосподарських машинах. Поява проміжків в нерухомому шліцьовому з'єднанні і, наявність тих, що швидко змінюються за величиною і

напрямом динамічних навантажень, веде до прогресуючого зношування і руйнування з'єднання.

Аналізом представника від кожної з 10 груп валів було встановлено, що в більшості випадків переважаючим дефектом є знос бічних поверхонь шліців і шліцьових канавок (рис 1.1).



Мал. 1.1 Зовнішній вигляд валу схильного підвищеному зносу

Довговічність шліцьових з'єднань обмежується не лише їх зносом, але і зниженням міцності внаслідок зменшення перерізу шліців і збільшення додаткових динамічних навантажень, але також із-за зростання вібрацій і шуму.

Основні види і причини ушкоджень шліцьових з'єднань представлені в таблиці. 1.2.

Таблиця 1.2

Види і причини ушкоджень шліцьових з'єднань

	Види ушкоджень	Причини ушкоджень
1	Миттєві поломки (крихкі руйнування) валів	Перевантаження при пуску і в процесі роботи машин. Наявність технологічних дефектів (тріщини, раковини, шлакові включення та ін.)
2	Втомні руйнування	Циклічний характер навантаження, наявність концентраторів напруги, що з'являється в процесі виготовлення або при експлуатації
3	Зріз шліців	Пускові і робочі навантаження та перевантаження, наявність технологічних дефектів

4	Механічний і корозійно - механічний знос робочих поверхонь шліців (фретингкоріодування)	Значні питомі тиски, що формують нерівності дотичних поверхонь, що викликаються осьовими і радіальними мікропереміщеннями з амплітудою в долі міліметра і частотою, відповідній частоті обертання. Останні спостерігаються в з'єднаннях без гарантійного натягу
5	Пластичні деформації робочих поверхонь і тіла шліца	Пускові перевантаження і великі питомі тиски в роботі, низька твердість робочих поверхонь і тіла шліца

За наявності першого і другого видів ушкоджень деталі не підлягають ремонту. Їх замінюють новими. Деталі, що мають третій, четвертий і п'ятий види ушкоджень, можуть бути відновлені.

На авторемонтних підприємствах оцінку придатності вказаних деталей виробляють за зовнішніми ознаками, "на око", часто орієнтуючись на такі ознаки, як дрібні сколи торців зубів ковзаючих шестерень і інші, і випускаючи з уваги точність основних параметрів, що визначають працездатність шестерень і шліцьових з'єднань. За наявності великого числа тракторів і автомобілів питання про створення обґрунтованих рекомендацій для контролю-сортування шестерень шліцьових деталей і встановлення величин, допустимих і граничного зносу і термінів служби має дуже велике значення.

Тому дослідженню таких питань, як оцінка величини допустимого і граничного зносу, термін служби шестерень і шліцьових деталей і способів їх контролю, повинна приділятися особлива увага.

Багато деталей агрегату працюють в умовах складного тертя, тобто на поверхнях таких деталей, що сполучаються, має місце як тертя кочення так і тертя ковзання.

Довговічність шліцьових з'єднань обмежується не лише зносом із-за зниження міцності внаслідок зменшення перерізу шліців і збільшення додаткових динамічних навантажень, але також зростанням вібрацій і шуму.

На кожній деталі проводили мікрометраж дефектів і ушкоджень аварійного характеру (див. таблицю. 1.3). Також на розглянутих поверхнях усіх досліджуваних зразках було визначене і виражене у відсотках зона розкиду свідчень, згідно залежності:

$$R_f = X_{бз} - X_{мз} \quad (1.1)$$

де R_f - фактична зона розкиду, мм;

$X_{бз}$ - найбільший зніс який або поверхні деталі, мм;

$X_{мз}$ - найменший зніс досліджуваних поверхонь, мм.

Ці обробки досліджень приведені в таблицю. 1.3. Визначені межі найбільшого і найменшого зносу окремо по номерах шліців усієї вибірки. Це дало можливість визначити середнє значення усієї величини (midi).

По вимірах значень зносу зразків, на їх обох шліцьових частинах, оцінили і підраховали у відсотках неоднорідність зносу (див. таблицю. 1.4, графи 8,14)

Аналізуючи їх, спостережуваний великий інтервал розкиду, в сполученні валу з конічною шестернею приводу. Максимальне значення складає 25%, а мінімальне - 5,5%. У сполученні з перехідною втулкою провідної шестерні насоса максимальне значення досягає 28%, мінімальне, - 8,42% (див. таблицю. 1.3). При цьому увага притягає досліджуваний зразок, який позначений умовним номером 9, в сполученні вал-шестерня. На цій шліцьовій частині шліці практично відсутні (см. рис. 1.2).

Причиною такого підвищеного зносу шліцьової частини (вали 9-ої групи) є наявність невідносності розташування валу і шестерні в коробці передач, або ж присутність перекосу самого валу при розташуванні його в коробці. Внаслідок чого маємо місце зносу з характером не стирання, а зім'яття шліців валу (мал. 1.2).

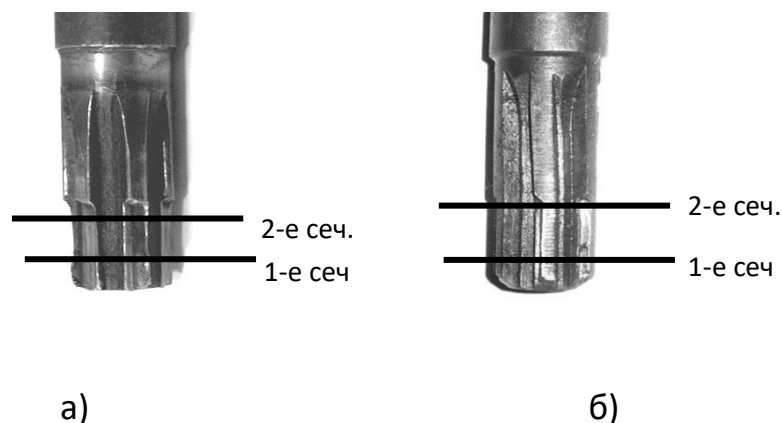


Рис 1.2 Знос шліців валу після експлуатації валу по місцю сполучення:

а) сполучення вал-шестерня приводу; б) вал - перехідна втулка

Вимірами встановлений нерівномірний знос шліців по ширині на певному відрізку 1-й і 2-й переріз (см. рис. 1.2). При цьому знос однієї частини істотно відрізняється від - інший (ці виміри шліцьової частини приведені в таблицю. 1.4 і 1.5).

Згідно НТД розмір шліців регламентований по ширині і складає 4 мм, а по зовнішньому діаметру - 20,0 мм.

Виміри показали, що після експлуатації вали з максимальним зносом по товщині в місці сполучення з шестернею приводу характерні для двох паралельних перерізів (див. таблицю. 1.4).

Для аналізу був узятий характерний вал з кожної досліджуваної вибірки

Таблиця 1.3

Результати вимірів зносу шліців валу по товщині після експлуатації (сполучення вал - шестерня приводу)

№ перерізи згідно мал. 3.2а	Величина зносу і умовного номера шліца, мм					
	1	2	3	4	5	6
1	1,56	1,8	1,6	1,55	1,57	1,65
2	2,3	2,5	2,1	2,05	3,2	2,0

Результати вимірів свідчать про те, що знос шліців коливається в межах 1,55..1,8 мм по першому перерізу і 2,0..3,2 мм по другому перерізу, тобто знос по периметру не однорідний. Виміри шліців, що сполучаються з перехідною втулкою гідронасоса, після експлуатації представлені в таблиці. 1.4.

Таблиця 1.4

Результати вимірів валу по товщині після експлуатації (сполучення вал - перехідна втулка)

№ перерізи згідно мал. 3.2б	Величина зносу і умовного номера шліца, мм					
	1	2	3	4	5	6
1	0,53	0,59	0,53	0,55	0,56	0,57
2	0,53	0,53	0,51	0,51	0,52	0,52

Виходячи з отриманих даних (див. таблицю. 1.4) слід зазначити, що зміна зносу коливається в межах від 0,51 до 0,59 мм. При цьому знос по перерізу досить однорідний (не перевищує 1,3%).

Оскільки вимірювальні інструменти виявилися не занадто ефективними, а стінки шліців зношуються під кутом до вертикальної осі валу, що сприяє

спотворенню результатів вимірів, то була розроблена істотно нова методика, для правильнішої оцінки величини зносу і характеру його по довжині шліців на вибірці з 9 валів.

Застосування цієї методики підтвердило, що шліци зношуються нерівномірно в сполученні з шестернею приводу, (нерівномірність зносу досягає 12,5 - 28,0%), а в сполученні з втулкою не перевищує 1,3%. Це дозволяє таке шліцьове з'єднання використовувати повторно в умовах експлуатації навіть в сполученні вал - шестерня, додатково виконавши проточку під стопорне кільце.

Доля повністю зношених шліців складає не більше 10% і вони не підлягають відновленню. У зв'язку з цим слід визначити найбільш ефективний метод, параметри обробки, при яких відновлення часткове зношених шліців було б найбільш ефективним. При цьому забезпечувалися б вимоги по міцності і мінімальній нарузі у валах. При обґрунтуванні вибору методу і параметрів відновлення слід також враховувати і міру пошкоджуваності робочого шару.

Важливим чинників при відновленні таких валів являється мінімізація напруги при їх відновленні наплавленням.

1.3 Вимоги, що пред'являються до шліцьових валів

Критеріями працездатності валів є їх твердість, міцність і зносостійкість [Літ]. У валах при виготовленні і експлуатації формуються різні види напруги: стискування, розтягування і вигину; дотична напруга і кручення. У загальному випадку на вал при експлуатації діють такі сили: осьова; радіальна; відцентрова - від неурівноважених мас; момент, що крутить.

При відновленні, залежно від методу обробки і зміцнення, в робочому

шарі можна отримати напругу стискування і розтягування.

Вимоги, що пред'являються до матеріалів, валів найбільше повно задовольняються при використанні сталей приведених в таблицю. 1.3.

Вибір марки сталі і термообробки залежать від вимог, що враховують масу деталі, його зносостійкість і сполучення з іншими деталями. Поширення набули вали, виконані воедино із зубчастими вінцями; з шестернями; із зубами для з'єднання з маточиною деталі, що сполучається. Вал з конічною шестернею може бути виконаний також із зубчастим вінцем, призначеним для передачі моменту від маточини сполучної муфти. У таких випадках вибір матеріалу валу повинен забезпечувати вимогам по зносостійкості і міцності. Якщо, наприклад, вал належить агрегату, який серійно випускається, то активні поверхні зуба повинні мати високу твердість і марка сталі призначається з обліком від термообробки, що забезпечує ці вимоги.

У багатьох випадках під конструктивно-технологічним методом розуміють умови зборки, вимоги до властивостей з урахуванням характеристики валу. При цьому повинен враховуватися діаметр валу, оскільки може виявитися, що міцність його задовольняється, наприклад, лише при використанні нормалізованої сталі 40 або 45 або навіть звичайних вуглецевих сталей марок Ст4, Ст5. Проте, їх застосування не запобіжить фреттингкоррозію в місцях з'єднання з іншими деталями. В цьому випадку необхідно забезпечити високу твердість за рахунок застосування легованих сталей і відповідного способу зміцнення. Це можна досягти, наприклад, при азотуванні сталі мазкі – 38Х2МЮА (див. таблицю. 1.5).

Антифрикційні властивості пари цапфа-вкладиша підвищуються зі зростанням твердості поверхні цапфи. У швидкохідних опорах найкращі результати досягаються при цементації і азотуванні.

Для валів складної форми, наприклад, колінчатих, виконаних у згоді з фланцем, приєднувальної муфти або з водилом планетарної передачі, у

багатьох випадках може виявитися доцільним і використання високоміцного чавуну.

Таблиця 1.5.

Характеристика валів. Матеріал, властивості і спосіб їх відновлення після наплавлення

Марка стали	Розмір перерізу S, мм	Твердість, HB	Тимчасовий опір розриву (В, МПа	Межа плинності (Т(МПа	Твердість поверхні після гартування і низького відпуску HRC	Термообробка
45	≤80	170-217	600	240	—	Н
		192-240	750	450	—	В
		241-285	850	580	—	В
40X	60-100	230-260	750	520	—	В
	≤60	260-280	1000	800		
40XH	≤100	230-280	850	600	—	В
	100-300	163-269	800	580		
35XГСА	60-150	≥235	≥760	≥500	—	В
	40-60	270	980	880	—	
	30-40	310	1100	960	—	
	≤30	—	1700-1950	1350-1600	46-53	

20X	≤60	197	650	400	56-63	Ц;З; НВ
12ХН3А	40-60	250	920	700	56-63	Ц;З; НВ
	≤40	300	1000	800		
18ХГТ	≤40	300	1000	800	56-63	Ц;З; НВ
	40-80	270	950	750		
38Х2МЮА	—	—	—	—	63-65	А
<p>*(Прийняті позначення: А - азотування; З - гартування; Н - нормалізація; НВ - низький відпуск; У - поліпшення; Ц - цементация.</p>						

1.4 Особливості ремонту деталей типу „вал” та аналіз способів ремонту шліцьових з'єднань

Технологічні середовища переробних виробництв за складом дуже різні. Умовно їх можна поділити на органічні та неорганічні. До перших належать вуглецеві органічні з'єднання рослинного і тваринного походження (білки, вуглеводи, жири, дубильні і фарбуючі речовини, альдегіди тощо); до других - водні розчини неорганічних кислот, солей тощо.

Виробництво харчових продуктів пов'язано з гідравлічним транспортуванням і миттям сировини, термічною обробкою, гідролізом і екстрагуванням. Для їх здійснення використовують велику кількість допоміжних речовин: воду, неорганічні кислоти (HCl , H_2SO_4 , H_2SO_3), луги, хлориди, водні розчини аміаку і спирту. У багатьох випадках технологічні середовища потрапляють на тертьові поверхні деталей обладнання та активно впливають на їх зношування та корозійне руйнування.

За характером взаємодії з металами рідкі середовища поділяють на хімічно активні і поверхнево-активні разом з поверхнево-активними речовинами (ПАР). До хімічно активних середовищ відносять розчини електролітів - кислот, лугів, солей. Молекули речовин, розчинені в цих середовищах, здатні дисоціювати, обумовлюючи проходження електрохімічних корозійних процесів. Поверхнево активні середовища містять речовини з полярними (асиметричними) молекулами, які адсорбують на поверхні твердих тіл, утворюють структурну плівку.

Під дією дотичного і нормального навантаження адсорбційні шари ПАР виявляють здатність до найлегших тангенційних ковзань і високого опору стисканню. Разом з тим вони відштовхують одну від одної металеві поверхні, які зближаються, а потрапляючи на ділянки з поверхневими дефектами, сприяють відокремленню (диспергуванню) поверхневих шарів металу.

Процеси, які викликають знос і корозію деталей вузлів, у обладнання в різних умовах проходять по-різному і залежать від багатьох факторів. Однак фактори, що характеризують знос або корозію, не завжди виявляються окремо, оскільки вони супроводжуються іншими явищами, які прискорюють руйнування деталей.

Особливістю шліцьових валів є наявність однієї або кількох зовнішніх шліцьових поверхонь.

Крім шліців, ці деталі мають 1-5 циліндричних поверхонь, різьбові кінці.

Основними дефектами шліцьових валів є: згин деталі; зношування поверхні під підшипники кочення; зношування поверхні під сальники, манжети; зношування поверхонь нерухомих спряжень; зношування шліців відповідно за товщиною і на конус; зношування зовнішньої різьби; зношування осьових отворів; зношування внутрішніх шліців.

Контроль зносу шліцьових поверхонь проводять мікрометром (0,01мм) та штангенциркулем (0,05мм або 0,1мм).

Усунення дефектів включає: миття, дефектацію, виправлення центрових отворів, правку, наплавлення (шліців, посадочних місць, різьби, шпонкових пазів), нормалізацію СВЧ, правку, механічну обробку, загартування СВЧ з відпуском у печі, шліфування (посадочних місць, шліців по зовнішньому діаметру), слюсарну обробку, миття, контроль, консервацію.

Шліцьові поверхні відновлюють наплавленням, приварюванням присадного матеріалу з наступним осадженням і пластичним деформуванням шліців.

Компенсація зношеного шару шліців механізованим наплавленням здійснюється дротом Нп-30ХГСА або НП-64Г під шаром флюсу (АН-60, АН-348А) у середовищі вуглекислого газу. Наплавлення може проводитись по гвинтовій лінії або вздовж бокової поверхні шліців. Після обточування шліци фрезерують на шліцювальню-фрезерному верстаті (5350А).

Приварювання пластин на попередньо проточену поверхню шліців проводиться віброконтактним способом з одночасним осадженням зварювальними роликками та роздаванням шліців по ширині. Після цього виконують точіння по зовнішньому діаметру та шліфування бокових поверхонь вздовж твірної. При цьому способі невисоке нагрівання деталі зменшує короблення, але нерівномірні і великі зноси важко усунути.

Компенсація зносу шліців пластичним деформуванням проводиться шляхом роздавання холодним способом шліців конусними роликками (HRC_e54 – 56) при проштовхуванні валу гідравлічним пресом через спеціальну головку. Перед роздаванням проводиться нормалізація вала (нагрівання до 800 – 850 °С з охолодженням на повітрі). Канавку, яка утворилася після роздавання, заплавляють, шліци калібрують або шліфують по зовнішньому діаметру та

боковим поверхням. Спосіб ефективний при зносах шліців по товщині не більше 0,7мм.

Ремонт шліцьових з'єднань здійснюють одним з наступних способів :

- заміною зношеної пари деталей (валу і маточини) і з'єднання з новими запасними;
- заміною однією зі зношених деталей (в більшості випадків - маточини) запасною новою і застосуванням відновленої другої деталі (зазвичай валу);
- застосуванням двох відновлених деталей.

Ремонт шліцьових з'єднань повним відновленням зношених деталей забезпечує післяремонтний ресурс, приблизно рівний ресурсу нових, і не вимагає великої витрати запасних частин.

При виконанні ремонту із застосуванням відновлених валів і маточин, або тільки відновлених валів, витрата запчастин зменшується, але при цьому істотно знижується післяремонтний ресурс.

Найбільш поширений нині спосіб відновлення шліців валів включає наступні технологічні операції: відпал для зняття напруги; наплавлення; обточування до необхідного розміру зовнішнього діаметру; фрезерування канавок шліців; термічну обробку.

Відновлення розмірів по ширині зношених шліців виконують також методом роздачі їх в сторони. Для цієї мети використовують спеціальні пристосування (голівки) з одним або декількома роликами, що встановлюються на стругальні, фрезерні або токарні верстати.

Як відзначалося вище, внутрішні шліци належать до важковідновлюваних елементів деталей. Існує декілька методів їх відновлення: пластична деформація, протягання, наплавлення, запресовка шліцьової втулки,

осадження. Так, був розроблений спосіб [Літ] відновлення шліців маточин пластичною деформацією за допомогою комбінованого інструменту, що складається з шліцьового оправляння, на якому змонтовані деформуючі ролики і багатозуба калібруюча шліцьова втулка.

Протягування шліцьових отворів маточин [Літ] використовується також рідко, оскільки воно усуває лише непаралельність бічних поверхонь шліців, збільшуючи при цьому проміжки між їх поверхнями, які сполучаються, що призводить до зростання інтенсивності зносу з'єднання. Відновлення шліців запресуванням в розточену маточину шліцьової втулки поширеніше. Хоча це трудомістка операція, яка пов'язана з додатковою витратою металу і непридатна для тонкостінних маточин. Знаходить застосування пластична деформація шліцьової маточини осіданням її уздовж осі [Літ].

У такий спосіб відновлюють маточини з невеликою величиною зносу. Пластичну деформацію виконують за допомогою штампів або спеціальних оправлянь. Застосування цього способу пов'язане із складною конфігурацією маточин. В цьому випадку потрібне виготовлення спеціального оснащення і проведення термічної обробки ускладнено. Перед відновленням необхідно встановити не лише причину зносу, але і встановити його величину в різних зонах шліцьового валу. Це дозволить вибрати найбільш ефективний метод відновлення.

Нині вже розроблені технологічні процеси для відновлення шліцьових валів, які передбачають усунення усіх розглянутих вище дефектів [ЛІТ]. Проте, завдання полягає в тому, щоб вибрати найбільш ефективний, як з позиції витрат, так і з точки зору забезпечення максимальної довговічності гідронасоса.

При відновленні шийок і різьбових ділянок рекомендується вібродугове наплавлення в середовищі вуглекислого газу, під шаром флюсу, контактне

приварювання металевого матеріалу, газо-термічне напилення, електроіскрове нарощування [6].

На ремонтних підприємствах шліци відновлюють різними способами. Найбільшого поширення набули нанесення покриттів з використанням зварювальних процесів, а на ряді підприємств ведуться роботи по впровадженню методів пластичної деформації.

Наплавлення електродугове рекомендується при відновленні зношених бічних ділянок шліців. Для валів з дрібними шліцами западини між ними повністю заправляють. Для того, щоб зменшити деформацію валу, наплавляють по черзі шліци на діаметрально протилежних його сторонах. Наплавлення ведуть електродами ОЗН- 300, ОЗН- 350, ОЗН- 400 діаметром 4-5 мм, на зворотній полярності, при силі струму 200-250А. А також використовують автоматичне наплавлення під шаром флюсу (без вібрації) поздовжніми валиками. При цьому електрод підводять на середину западини між шліцами. Зміщення електроду до однієї з бічних сторін може привести до порушення формування шару, що наплавляється.

Наплавлення по спіралі застосовують для валів з великими високими шліцами, проте в цьому випадку їх заздалегідь обробляють (обточують або обдирають крупнозернистим камінням), зменшуючи висоту шліців до 6-8мм. Для запобігання стіканню металу при наплавленні до торцевої поверхні валу закріплюють мідну шайбу завтовшки 3-5мм, діаметром на 1-2мм більше ніж деталь. Термічно оброблені шліцьові вали, виготовлені з легованих сталей 18ХГТ, 40Х, наплавляють під шаром флюсу АН-348А електродним дротом II класу (ДСТ 2246) або дротом Нп-30ХГСА (ДСТ 10543) з наступною термообробкою. Шліцьові вали, виготовлені з середньовуглецевих сталей 30, 35, 45, наплавляють під шаром флюсу АН-348А електродним дротом Нп-30ХГСА.

Режим наплавлення залежно від діаметру валу можна застосовувати наступний: постійний зварювальний струм зворотної полярності - 180-250А; діаметр дроту - 2мм, виліт електроду - 17-18мм; швидкість подачі електродного дроту - 2,3-2,4м/ч; напруга дуги - 26-30В.

Для відновлення шліцьових валів за даними [7] використовується наплавлення в середовищі вуглекислого газу. Перед наплавленням шліцьові вали миють і ретельно очищають западини від забруднення. Після цього проводять наплавлення шліців дротом Нп-30ХГСА, діаметром 1,6-2,0мм по гвинтовій лінії, відступивши від краю шліців на 3-5мм.

Оптимальним вважають наступний режим наплавлення: зварювальний струм зворотної полярності - 220-240А; напруга 22-24В; швидкість подачі електродного дроту - 165-170м/г; частота обертання деталі - 3-4 про/хв; крок наплавлення - 3,5-4 мм/про; виліт електроду - 14-18 мм; зміщення електроду із zenіту деталі - 8-10мм; витрати вуглекислого газу - в межах 1000л/ч. При такому режимі забезпечується повне проплавлення западин шліців. Наплавлений метал - щільний, з невеликими поодинокими порами, твердість досягається рівною 260-300НВ.

Після проточування напавленої ділянки шліци фрезерують по місцях їх старих розташувань. Шліцьові частини валу піддають загартуванню нагрівом до 850°C і охолодженням в олії. Відпук шліцьового кінця валу проводять при температурі 200-250°C з охолодженням на повітрі. При цьому твердість шліцьової частини складає 370-430НВ.

Загальним недоліком усіх способів відновлення шліців наплавленням по спіралі із заплавленням западин полягає в тому, що істотно зростають деформації деталей і, крім того, в результаті інтенсивного прогрівання порушується початкова термічна обробка практично усіх ділянок деталі. Тому важливо визначити не лише ефективний метод відновлення шліцьових валів,

але і оптимальне число шарів, що наносяться, і при обробці забезпечити мінімум залишкової напруги.

Усі перераховані способи, окрім наплавлення шліців валу, мають обмежене застосування. Найбільшого поширення набув спосіб наплавлення. Проте йому властивий ряд недоліків, що виникають при напавленні: додаткова місцева розтягуюча напруга, неоднорідність структури матеріалу, виникаючі дефекти наплавлення, які є концентраторами напруги, значно знижують циклічну міцність відновлюваних деталей. За результатами досліджень [9], зниження циклічної міцності деталей, відновлюваних різними видами наплавлення, характеризуються даними, приведеними в таблицю 1.6.

Таблиця 1.6

Вплив наплавлення на втомну міцність відновлених деталей

Вид наплавлення	Зниження втомної міцності, %
Наплавлення електродуги на повітрі	60
Газове наплавлення	48
Наплавлення електродуги в середовищі вуглекислого газу	9
Вібродугове наплавлення в рідині	85
Наплавлення електродуги під флюсом	78
Вібродугове наплавлення під флюсом	53

Таким чином, втомна міцність деталей, відновлених наплавленням,

завжди нижче, ніж міцність нових деталей. Проте мінімальне зниження втомної міцності характерне для використання наплавлення електродуги в середовищі вуглекислого газу. Природно, що при низькій втомній міцності інтенсивність зносу у відновлених деталей більша, а довговічність - нижче.

Результати досліджень Кряжкова В. М. і Климова А.У. [Літ], приведені в таблицю. 1.7, вказують на недостатню ефективність відомих способів ремонту шліців валу наплавленням.

Таблиця 1.7

Ефективність відновлення шліцьових валів різними способами
наплавлення

Спосіб наплавлення	Коефіцієнт довговічності	Критерій економічності
Під флюсом АН-348А дротом Нп-30ХГСА	0,90	3,32
У вуглекислому газі дротом Нп-30ХГСА \varnothing 1.6	0,82	3,32
У водяній парі дротом Нп-30ХГСА \varnothing 1.6	0,70	3,87
У потоці повітря дротом Нп- 70 діаметром 1.6мм	0,72	3,72

Слід зазначити, що деякі шліцьові з'єднання, використовувані в тракторах і сільськогосподарських машинах мають недостатній не лише після-, але і доремонтний ресурс.

Приведене вище показує необхідність пошуків шляхів підвищення ресурсу шліцьових з'єднань і розробки ефективніших способів ремонту, що забезпечують істотне підвищення їх довговічності.

Одним з найважливіших показників надійності є ресурс працездатності машин.

За даними ремонтних підприємств [Літ] шліцьові з'єднання первинного валу коробки зміни передач з вилкою кардана трактора Т- 74, валу муфти зчеплення з шківом приводу молотарки зернозбирального комбайна СК- 5 виходять з ладу всього через один-два сезони при напрацюванні в 4-5 разів менше необхідного доремонтного ресурсу. Недостатній термін служби (менше року) мають також шліцьові з'єднання валу приводу гідронасосів і маточин вилки кардана і шестерні приводу гідронасосів навантажувача Д 561Б, валу головного зчеплення з вилкою кардана трактора ДТ- 75, валу підтрушувача з маточиною картоплезбирального комбайна, первинного валу коробки зміни передач і вилки веденої трактори ДТ- 75 і ряд інших. Тому проблема підвищення надійності шліцьових з'єднань є однією з найважливіших.

Питанням поглиблення теорії і пошукам шляхів підвищення надійності шліцьових з'єднань присвячені роботи В. Г. Глухарева, Н.И.Зубарева, Г. И. Костровского, В. М. Кряжкова, З.М.Левиной, Д.Н.Решетова, Г. И. Скундина і інших [Літ].

ВИСНОВКИ

1. Узагальнені причини і види ушкоджень шліцьових з'єднань. Встановлено, що в процесі експлуатації виникають наступні основні дефекти: знос опорних шийок під підшипники і сальники, знос і руйнування шліців, деформація валу.

Розвиток таких дефектів при експлуатації знижує довговічність машин, а також призводить до збільшення динамічних навантажень, зростання вібрацій і шуму.

2. Розглянуті методи ремонту шліцьових з'єднань і валів. Шліцьові вали відновлюють з використанням наступних технологічних операцій: відпал для зняття напруги, наплавлення (компенсує знос), обточування відповідно до зовнішнім діаметром по кресленню, фрезерування канавок, термічна обробка. Крім того, використовуються методи їх відновлення пластичною деформацією, протяганням, осіданням, запресовкою шліцьової втулки.

3. Основним методом компенсації зношеного шару є нанесення покриттів наплавленням. Для цього використовують різні матеріали і методи. Найчастіше наплавлення проводять в середовищі CO₂ і під флюсом АН-348А дротом ЗОХГСА.

В той же час, відсутня інформація про оптимальний метод ремонту, який би забезпечував мінімальний рівень напруги, що є важливим чинником в підвищенні довговічності шліцьових валів в експлуатації.

4. Виходячи з аналізу апріорної інформації, сформульована мета і завдання досліджень. Метою роботи стало: підвищення надійності відновлених шліцьових валів обґрунтуванням методу і параметрів відновлення, що забезпечують мінімальний рівень напруги.

Для виконання поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести статистичний аналіз причин і характеру відмов шліцьових валів в експлуатації;
- розробити комплексну методику оцінки якості відновлюваних шліцьових валів;

- розробити і обґрунтувати метод відновлення шліцьових валів, що забезпечує мінімізацію напруги при обробці;
- для вибору ефективного методу відновлення провести порівняльні теоретичні і експериментальні дослідження за оцінкою деформацій і напруги, що формуються при різних способах відновлення шліцьових валів;
- обґрунтувати ефективні параметри технологічного процесу відновлення шліцьових валів;
- розробити рекомендації по застосуванню матеріалу для відновного покриття і способу його зміцнення;
- оцінити надійність відновлених шліцьових валів в експлуатації і техніко-економічну ефективність застосування розробок.

1.5. Задачі магістерської роботи.

Зробивши аналіз існуючих технологій відновлення деталей типу „вал” та враховуючи мету досліджень, в магістерській роботі необхідно вирішити наступні задачі:

- вивчити особливості роботи; специфіку, основні технологічні дефекти та причини їх виникнення;
- провести розрахунок необхідної кількості технологічного обладнання та працівників для дільниці по відновленню шліцьових валів;
- розробити операційну та технологічну технологію відновлення валів;
- розробити заходи по забезпеченню охорони праці на дільниці по відновленню валів;

- обґрунтувати техніко-економічні показники доцільності проведення технології відновлення шліцьових валів.

РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Характеристика досліджуваних деталей

Об'єктом досліджень були шліцьові вали. До типового представника цієї групи деталей може бути віднесений вал приводу гідронасоса НМШ - 25 роздавальної коробки змінних передач (КПП) трактора Т - 150К (мал. 2.1).

Виконаний аналіз 400 роздавальних коробок, що поступили на ремонт ВАТ Пересечанського РТП. Статистичним аналізом встановлено, що причиною виходу КПП з ладу є: знос дисків зчеплення - 40% випадків; знос підшипників кочення - 30%; знос валів (у тому числі приводу валу гідронасоса) і шестерень приводу - 15%; скручування і знос первинного валу - 5%; мимовільне виключення робочого діапазону шестерень (№207, 235). Набагато рідше виходить з ладу запобіжний клапан і шестерні (до 1 %).

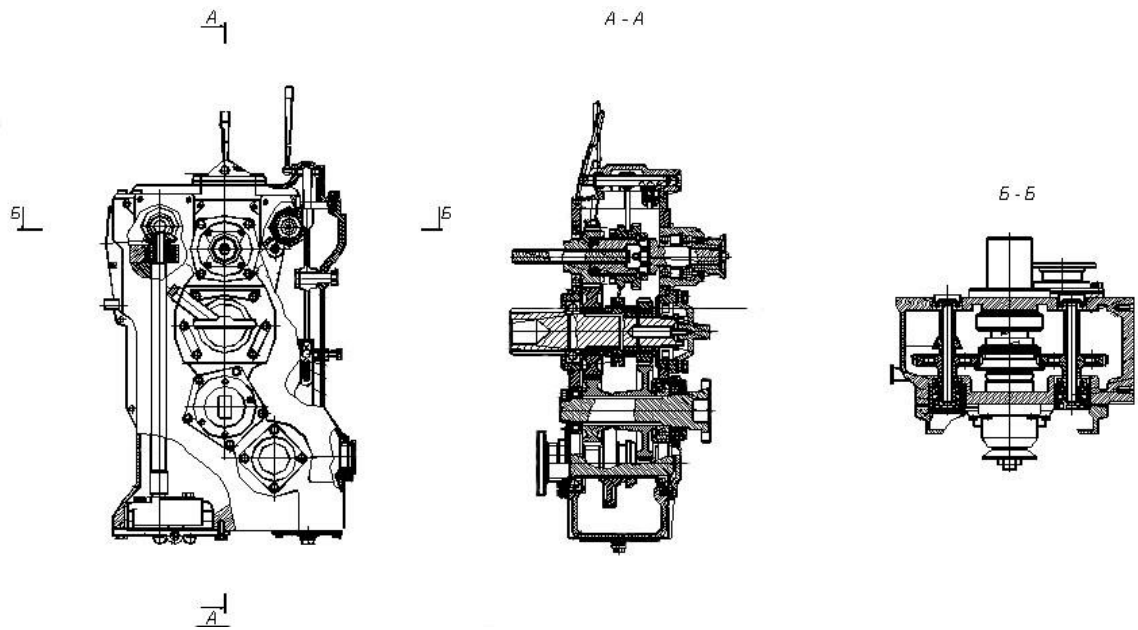


Рис 2.1 Роздавальна коробка трактора Т - 150К

((Номер валу по ремонтному кресленню 151.37.407)

Структурні і діагностичні параметри деяких елементів гідросистеми трактора приведені в таблицю. 2.1. Вал виконаний із сталі 45. Його загальний вигляд і параметри представлені на мал. 2.2.



Рис. 2.2 Вал приводу гідронасоса

Виконали аналіз дефектів валу приводу гідронасоса, до них відносяться: знос шліців по товщині під перехідну втулку провідної шестерні насоса і шестерню приводу; знос шліців по зовнішньому діаметру; вигин валу.

Третій дефект не становить труднощів усунути, оскільки вигин валу незначний і знаходиться в межах 0,05..0,1 мм. Цей дефект може бути усунений правкою. Що стосується зносу шліців по зовнішньому діаметру і по їх товщині, то ці дефекти відновлюються, як правило, одночасно.

Зазвичай на авторемонтних підприємствах оцінку придатності вказаних деталей здійснюють за зовнішніми ознаками, орієнтуючись на такі, як дрібні сколи торців зубів шліців і інші, і випускаючи з уваги точність основних параметрів, що визначають працездатність шліцевих з'єднань і шестерень. За наявності великого числа автомобілів питання про створення обґрунтованих рекомендацій для контролю-сортування шліцевих з'єднань, встановлення величин допустимих і граничних значень зносу і визначення термінів служби має дуже велике значення. Тому дослідженню таких питань, як величина допустимого і граничного зносу, що визначає термін служби деталей, і розробка способу їх контролю слід приділяти достатню увагу.

Як правило, визначення величини зносу шліцевих поверхонь (прямобічних) виробляється шляхом виміру їх ширини спеціальним мікрометром або зубоміром, що є не зовсім точним.

Виміри мірним інструментом не дали необхідного результату, оскільки стінки шліців зношуються під кутом до вертикальної осі валу, що сприяє спотворенню результатів вимірів. Для точнішого виміру зносу запропонована нова методика. Характерною особливістю, якої є застосування сучасних комп'ютерних технологій. За допомогою цифрової фотокамери виробляли знімок зношеної частини валу, результати обробляли на комп'ютері в програмі AutoCAD, тобто проводили виміри шліців, оцінюючи їх знос (рис 2.3).

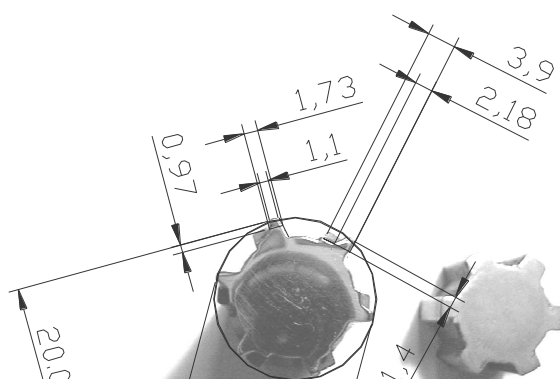


Рис 2.3 Вимір шліців валу

Розроблений метод статистичної оцінки величини зносу шліців шляхом аналізу їх перерізу із застосуванням спеціальної макроустановки QX3 [x] Computer Microscope Intel Play при збільшенні $\times 10$ і $\times 60$ разів, сполученою з комп'ютером (рис. 2.4).



Рис 2.4. Макроустановка для оцінки величини зносу

Для вибору найбільш ефективного технологічного процесу відновлення валу приводу, аналізували причини виходу його з експлуатації, особливості зносу і види ушкоджень. Оцінювали структурні зміни на робочій поверхні в процесі експлуатації, а також визначали зміну твердості і мікротвердості структурних складових. На цій основі вибрали метод відновлення зношеного шару наплавленням і провели аналіз структури, властивостей і рівня напруги, що досягається, при ремонті. Розробляли оптимальні параметри відновлення і визначили ефективний матеріал для наплавлення. Прийняли для відновлення шліців наплавлювальний дріт Нп-30ХГСА, який належить до малодефіцитних і відносно недорогих технологічних матеріалів. Наплавлення забезпечує компенсацію зношеного шару. Склад дроту : 0,03% С, до 1% Cr, до 1% Si, і до 1% Mn.

Згідно дійсної нормативно-технічній документації усю вибірку в 400 штук валів роздавальних коробок що відпрацювали в експлуатації, і що поступили в ремонт на ВАТ Пересечанське РТП розділили на 10 груп по зносу і від кожної з них відібрали по одному представникові для детальних досліджень.

При відновленні шліцьових валів аналізували усі існуючі технології:

- відновлення наплавленням по подовжній осі (між шліцами), на якій потім знову нарізали шліци;

- оскільки шліцьовий вал зношується нерівномірно: більше в сполученні вал - шестерня і менше в сполученні вал - перехідна втулка, то з шліцьових ділянок формували новий вал з двох зношених, таких, що поступили в ремонт. Їх розрізали і при цьому зберігали малозношену шліцьову частину, а потім проводили зварювання у стик упоперек осі, після чого нарізували шліци на другій частині валу;

- відновлення шліцьових частин валу методом наплавлення по гвинтовій лінії, заздалегідь видаливши механічною обробкою пошкоджені ділянки.

У усіх випадках після ремонту і відновлення шліців їх механічно обробляли, а потім зміцнювали загартуванням ТВЧ.

При відновленні шліцьової частини валу провели зіставлення трьох можливих варіантів : перший - відновлення шляхом заплавлювання шліцьових западин з наступним формуванням шліців на їх основі; другий - відновлення шліців по місцю їх первинного розташування шляхом наплавлення зношеної поверхні по гвинтовій лінії; третій - використання методу зварювання у стик двох найменш зношених шліцьових частин спеціально підібраних валів. В цьому випадку шліци знову нарізували.

При дослідженнях різних варіантів відновлення шліців аналізували їх якість із застосуванням методів металографічного аналізу структури металу, оцінки міцності, що досягається, і твердості, розподілу мікротвердості (прилад ПМТ - 3).

Рівень напруги, що досягається, оцінювали порівняльно експериментально, з використанням методу неруйнівного контролю коерцитиметром КРМ-Ц (мал. 2.5).

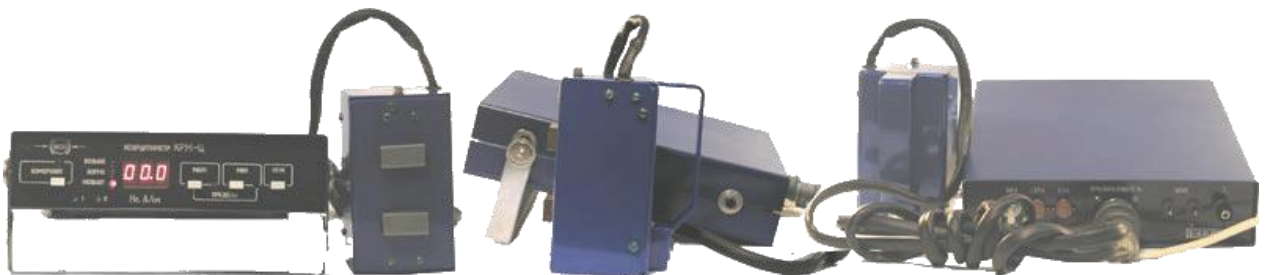


Рис. 2.5 Зовнішній вигляд коерцитиметра

Коерцитиметр КРМ-Ц призначений для виміру коерцитивної сили локальної ділянки феромагнітних матеріалів.

Прилад дозволяє контролювати твердість прочностные і пластичні властивості деталей і конструкцій, зокрема:

- контролювати якість виробів після об'ємної термічної обробки (загартування з відпусткою, нормалізації, відпалу і так далі);
- контролювати рівень напруги після поверхневого зміцнення (різних видів хімічно - термічної обробки, поверхневого загартування, наклепання);
- визначати механічні властивості сталевого прокату і конструкційних матеріалів, виробів з чавуну, використовуваних для виготовлення деталей сільськогосподарської техніки;
- проводити сортування деталей по марках і їх властивостях.

Контроль таких характеристик можливий при попередньому встановленні однозначної залежності між показниками якості і коерцитивною силою. Ця залежність визначається індивідуально для кожного типу деталі (матеріалу, що відрізняється) при впровадженні контролю по коерцитивній силі у виробництво.

Характеристика приладу.

Технічна:

-діапазон виміру коерцитивної сили, А/см, 1.0 - 60.0;

- погрішність виміру коерцитивної сили на контрольних зразках, не більше 2,5% +1 одиниця молодшого розряду цифрового індикатора;

-тривалість циклу виміру, сек., не більше 6;

-амплітуда імпульсів струму намагнічення, А, не менше 3,0 -

-середня споживана потужність, ВА, не більше 80

-габаритні розміри, мм: блок виміру 230x250x60;
перетворювач 130x80x110;

- маса, кг: блок виміру 2,0;
перетворювач 1,2;

-напруга живлення. У, $220 \pm 10\%$

-частота живлячої мережі, Гц 50 ± 1

-опір ізоляції, Ом, не менше 20.

Важливим параметром експлуатаційної стійкості покриттів, нанесених методом зварювання являється доля залишкового аустеніту. При великій кількості цієї фази має місце розтріскування в експлуатації (за рахунок фазових перетворень при терті) і появу сколов.

У зв'язку з цим у відновлених наплавленнях зонах, і загартованих ТВЧ, аналізували долю залишкового аустеніту і рівномірність його розподіл по усій області обробки.

На рис. 2.6 приведений використаний в дослідженнях новий прилад МА - 52, що дозволив в автоматичному режимі визначати долю залишкового аустеніту в досліджуваних валах.



рис. 2.6 Вимірник залишкового аустеніту МА - 52

Прилад МА-52 призначений для виміру залишкового аустеніту на заготовках і готових виробах в лабораторних і цехових умовах на підприємствах машинобудування.

Параметри контрольованого об'єкту, що обмежують область застосування приладу, :

- параметр шорсткості ділянки контролю залишкового аустеніту повинен відповідати вимогам шліфованої поверхні з чистотою обробки не нижче 10Ra;

- температура об'єкту контролю повинна відповідати температурі навколишнього повітря;

- температура навколишнього повітря $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$;

- відносна вологість повітря від 30 до 80 %;

- атмосферний тиск від 84 до 106 кПа.

Технічна характеристика:

- діапазон виміру залишкового аустеніту - від 0 до 40%;
- межа абсолютної похибки (ДО), що припускається, не перевищує 10%;
- прилад забезпечує можливість реєстрації (запам'ятовування) результатів вимірів в 8 групах, по 120 значень в кожній групі;
 - прилад забезпечує збереження калібрувальних налаштувань і зареєстрованих значень при відключенні від батареї живлення;
 - прилад забезпечує автоматичне обчислення середнього арифметичного мінімального і максимального значень вимірюваної товщини покриття, а також працює в режимі запам'ятовування, середньоквадратичного відхилення вимірюваних значень;
 - електричне живлення приладу здійснюється від чотирьох батарейок типу А316 номінальною напругою 6 В. відхилення напруги живлення, що допускаються, - мінус 1 В;
 - для збільшення часу роботи приладу від одного комплекту батарейок передбачено автоматичне відключення живлення приладу через 2 мін після останнього виміру або натиснення клавіші;
 - струм споживання в робочому режимі - не більше 15 мА без використання підсвічування індикатора, не більше 25 мА при використанні підсвічування;
 - струм споживання у вимкненому режимі - не більше 100 мкА;
 - час встановлення робочого режиму - не більше 4 з;
 - тривалість безперервної роботи від комплекту свіжих батарей - не менше 20 ч;
 - Тривалість зберігання приладу при підключених батарейках до повного розряду батарейок - не менше 6 міс.
- Зносостійкість відновлених шліцьових валів оцінювали в експлуатації.

Відновлення проводили методом наплавлення електродуги в середовищі CO₂. Основним критерієм якості валу служили максимальне збереження властивостей його серцевини і мінімальний рівень напруги при наплавленні, що досягалися, і долі залишкового аустеніту після термообробки.

2.2 Метод визначення залишкової напруги при відновленні шліцьових валів

Відновлення валів наплавленням є ефективним методом продовження терміну їх служби. У зв'язку з розвитком техніки необхідно приділяти велику увагу вимогам, які пред'являються до ефективності відновлених деталей і їх якості.

Це у свою чергу вимагають рішення технічних проблем і створення нових технологічних процесів. Наплавлення, що виникають в зоні, несприятлива залишкова напруга, зміни мікроструктури і механічних властивостей, можуть істотно знижувати втомні характеристики валу.

Для оцінки рівня залишкової напруги, що досягається, в цій роботі теоретично і експериментально зіставляються лише дві технології відновлення шліцьових валів, що істотно відрізняються, оскільки перша і третя технології близькі по рівню створюваної напруги.

2.2.1. Методика розрахунку температурного поля при відновленні валу зварюванням у стик

Усі методи відновлення деталей виконували при місцевому нагріві зварювальними джерелами тепла. Від температурного стану об'ємів в місці зварювання і розподілу температур у виробі залежать якість з'єднання :

міцність, пластичність, ударна в'язкість металу, а у ряді випадків також і інші спеціальні властивості металу (опірність корозії, жароміцність та ін.)[2]. Не оптимальний для конкретного матеріалу режим нагріву і охолодження виробу в умовах зварювання може привести до появи різних дефектів в з'єднанні: тріщин, непроварів, підрізів, а також до підвищених деформацій і напруги. Тепловий стан і процеси при зварюванні значною мірою визначають такі характеристики, як продуктивність і техніко-економічна ефективність відновлення. Таким чином, ряд основних процесів, супроводжуваних зварюванням, зв'язаних з тепловим станом металу на різних стадіях отримання з'єднань.

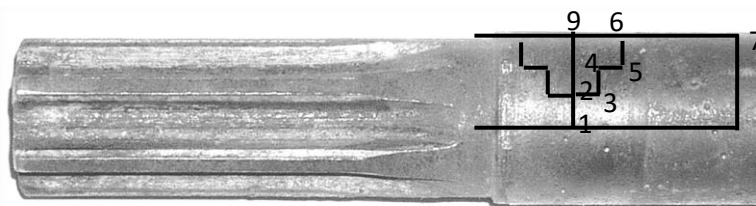
При експлуатації валу приводу гідронасоса одна шліцьова його частина, що працює в сполученні з шестернею насоса, зношується більше ніж - в сполученні з перехідною втулкою. Тому одним з варіантів відновлення може бути прийнята наступна технологія ремонту. Розрізання двох валів із збереженням малозношених шліцьових частин. Різання виробляється так, щоб при їх зварюванні у стик довжина валу відповідала б розмірам креслення на цю деталь.

Існують різні методи відновлення шліцьових валів, проте відсутня інформація про рівень виникаючої напруги при їх відновленні. Важливим критерієм оцінки стану відновленої деталі є розрахунок температурних полів.

У зв'язку з цим ставиться завдання розробки методу оцінки рівня напруги при відновленні валу зварюванням у стик. Для того, щоб встановити перевагу цього методу в порівнянні з іншими.

Розраховували температуру для області, симетричної відносно зварного шва, як показано на мал. 2.7. Половина самого шва приблизно апроксимувалася ламаною 2-3-4-5-6. Область 1-9-7-8 відповідає області валу після зварювання. Лінія 1-8 є віссю валу. Таким чином, довжини ліній 1-9 і 8-7 дорівнюють радіусу валу. Довжина ліній 1-8 і 9-7 дорівнювала 199мм. При розрахунку

температурного поля область 1-9-7-8 була розбита квадратною сіткою з розміром осередків 1мм на 1мм. Отже по висоті було 12 ліній, а по ширині 200 ліній. ($m=12$; $n=200$). Лінія 2-3 відповідала $m=6$. Лінія 4-5 відповідала $m=9$. Довжина ліній 2-3 і 4-5 дорівнювала 2мм. Відповідно, довжина лінії 9-6 дорівнювала 4мм. Таке рішення можна назвати завданням із змінною областю. У перший момент часу область 2-3-4 стає більше по висоті на 1мм, температура металу електроду рівна $T_z=1800-2000$ (С (розраховували поле при тій і іншій температурі, але в роботі набуло першого значення, оскільки при ньому формується менша напруга). Потім через рівні проміжки часу нарощуються такі шари.



Мал. 2.7 Схема області зварювання при розрахунку температурного поля

Розрахунок температури при зварюванні двох частин валу виробляли за допомогою рішення рівняння теплопровідності :

$$c \cdot \gamma \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (2.1)$$

де

r - - відстань від центру валу до будь-якої точки по радіусу, м;

z - - відстань від центру зварного шва до цієї ж точки, м;

τ - - час від початку розрахунку;

$T = T(r, z, \tau)$ - температура в точці з координатами у момент часу

γ - щільність,

λ - теплопровідність,

теплопровідність залежить від температури, і розраховували по наближеній формулі:

$$\lambda = 45 + 25 \cdot \frac{T - 1200}{1180}; \quad (2.2)$$

де: 45 - теплопровідність при температурі 1200(З

25 - теплопровідність при 20(З;

У проміжку між 20 і 1200(З теплопровідність змінювалася за лінійним законом

c - коефіцієнт питомої теплоємності,

Коефіцієнт питомої теплоємності залежить від фазового стану металу і розраховували згідно [1] по формулі:

$$C = \left\{ \frac{c_g + c_t}{2} + \frac{\rho}{(T_l - T_s)} \right\}, \quad (2.3)$$

де:

T_l - температура ліквідуса;

T_s - температура солідусу;

c_g - питома теплоємність металу в рідкій фазі;

c_t - питома теплоємність металу в твердій фазі;

ρ - прихована теплота плавлення, для сталі рівна 65.

При цьому значення "С" визначається в межах від рідкої до твердої фази.

Початкова умова для області 1-2-3-4-5-6-7-8:

$$T(r, z, 0) = T_0 \quad (2.4)$$

де:

T_0 - температура валу до зварювання.

Початкову температуру в області 2-3-4-5-6-9 змінювали пошарово і в загальному вигляді виглядає так:

$$T(r(\tau_r), z(r(\tau_r)), \tau_r) = T_z, \quad (2.5)$$

де

T_z - температура металу електроду;

τ_r - час, при якому для заданого радіусу в області шва відбувається зварювання;

$z(r(\tau_r))$ - ширина зварного шва, відповідного радіусу (см. рис. 2.7).

Граничні умови:

На межі з повітрям 2-3-4-5-6-7 тепловий потік у вигляді випромінювання:

$$-Q = \frac{\partial T}{\partial r} \cdot \lambda \quad (2.6)$$

де тепловий потік розраховували по формулі:

$$Q = k_{kv} \cdot 3.8 \cdot \left[\left(\frac{T + 273}{100} \right)^4 + \left(\frac{T_{ep} + 273}{100} \right)^4 \right] \quad (2.7)$$

k_{kv} - коефіцієнт, що враховує конвекцію і взаємне віддзеркалення від стінок шва;

3.8 - - коефіцієнт, залежний від теплоємності і міри чорноти;

T - - температура біля поверхні валу або зварного шва;

T_{cp} - - температура довкілля.

На межах 1-9 і 7-8 передбачається умова симетрії, тобто відсутність теплових потоків :

$$\frac{\partial T}{\partial z} = 0. \quad (2.8)$$

На межі 1-8 також передбачається умова симетрії :

$$\frac{\partial T}{\partial r} = 0. \quad (2.9)$$

2.2.2 Методика розрахунку температурного поля при відновленні в шліцьовій частині валу

У відмінності від розрахунку температурного поля при зварюванні двох частин валу у стик, оцінка розподілу температурного поля в шліцьовій частині, яка піддається термообробці немає необхідності розраховувати температуру від заварки шліців.

Це пов'язано з тим, що виникла в цьому процесі температурна напруга буде знята при нагріві індуктором під загартування. Послідовно в часі розраховували температуру для деталі круглого перерізу діаметром 20мм при нагріванні індуктором, з наступним охолодженням у воді. Після цього за раніше описаною методикою, розраховувала термічна напруга з урахуванням структурної деформації при охолодженні водою.

Оскільки залишкова напруга виявилася меншою, ніж в зоні зварного шва і не досягали межі плинності, розрахунок температури і напруги при відпустці не виробляли.

Оскільки температура і граничні умови симетричні по круглому перерізу, виробляли розрахунок одновимірного теплового поля в полярних координатах за допомогою вирішення рівняння теплопровідності см (2.1).

Початкова умова:

$$T(r, z, 0) = T_0 \quad (2.10)$$

де: - температура шліцьової частини валу перед нагрівом в індукторі.

Перш, ніж описувати граничні умови на поверхні (а вони залежать від часу), введемо наступні позначення (час в ч.) :

τ_1 - - час закінчення нагріву індуктором;

τ_2 - - час початку загартування у воді;

τ_3 - - час кінця загартування у воді;

τ_4 - - повний час обробки.

Граничні умови на поверхні шліцьової частини при (- максимальний радіус шліцьової частини) :

При

$$Q = \frac{\partial T}{\partial r} \cdot \lambda, \quad (2.11)$$

де - тепловий потік, що задається, від індуктора.

При ϵ_i при $\epsilon <$ на межі з повітрям тепловий потік у вигляді випромінювання відповідає:

$$-Q = \frac{\partial T}{\partial r} \cdot \lambda, \quad (2.12)$$

де тепловий потік розраховували по формулі

$$Q = k_{kv} \cdot 3.8 \cdot \left[\left(\frac{T + 273}{100} \right)^4 + \left(\frac{T_{cp} + 273}{100} \right)^4 \right], \quad (2.13)$$

k_{kv} - коефіцієнт, що враховує конвекцію;

3.8 - коефіцієнт, залежний від теплоємності і міри чорноти;

T - температура біля поверхні шліца;

T_{cp} - температура довкілля.

При $\epsilon <$

$$-\frac{\partial T}{\partial r} \cdot \lambda = \alpha \cdot (T - T_{cp}), \quad (2.14)$$

де: - температура поверхні;

T_{cp} - температура довкілля;

α - коефіцієнт тепловіддачі від металу до води .

Залежності (2.11) і (2.12) відносяться до умов другого роду. Умова (2.14) відноситься до третього роду (умови першого роду - це коли на межі задаються значення температур).

У центрі кола при задається умова симетрії, тобто відсутність теплових потоків :

$$\frac{\partial T}{\partial r} = 0. \quad (2.15)$$

Поставлену задачу вирішували методом кінцевих елементів за явною різницевою схемою [1]. Радіус було розбито на однакові осередки розміром 1мм (Додаток Б). Кожній точці такої сіткової області встановлюється відповідно до 2 індекси:

i - - номер лінії по радіусу;

k - - номер розрахунку за часом (тобто номер тимчасового шару).

Тоді рівняння теплопровідності (2.1) в кінцевих різницях матиме вигляд:

$$c_{ik} \cdot \gamma_{ik} \cdot \frac{T_{ik+1} - T_{ik}}{\Delta \tau} = \lambda_{ik} \cdot \left(\frac{T_{i-1k} - 2 \cdot T_{ik} + T_{i+1k}}{\Delta r^2} + \frac{1}{r_i} \cdot \frac{T_{i+1k} - T_{i-1k}}{2 \cdot \Delta r} \right) \quad (2.16)$$

З цього рівняння температуру в точці на наступному - м кроці за часом виражатиметься так:

$$T_{ik+1} = T_{ik} + \frac{\lambda_{ik} \cdot \Delta \tau}{c_{ik} \cdot \gamma_{ik}} \cdot \left(\frac{T_{i-1k} - 2 \cdot T_{ik} + T_{i+1k}}{\Delta r^2} + \frac{1}{r_i} \cdot \frac{T_{i+1k} - T_{i-1k}}{2 \cdot \Delta r} \right) \quad (2.17)$$

Ця залежність вірна для усіх внутрішніх точок області. У точках, прилеглих до межі, враховуються умови в кінцевих різницях.

Центр круга

$$\frac{T_{i-1k} - T_{i+1k}}{2 \cdot \Delta r} = 0 \quad (2.18)$$

У формулу (2.17) при замість підставляється з (2.18) .

Гранична умова (2.12) з обліком (2.13) в різницевому виді записується як:

$$\frac{T_{mk} - T_{m-1k}}{\Delta r} \cdot \lambda_{m-1k} = -k_{kv} \cdot 3.8 \cdot \left[\left(\frac{T_{m-1k} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{cp} + 273}{100} \right)^4 \right] \quad (2.19)$$

Звідси в залежність (2.17) замість вноситься його вираження з (2.19) :

$$T_{mk} = T_{m-1k} - \frac{\Delta r}{\lambda_{m-1k}} \cdot k_{kv} \cdot 3.8 \cdot \left[\left(\frac{T_{m-1k} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{cp} + 273}{100} \right)^4 \right] \quad (2.20)$$

Аналогічно, для умови (2.11)

$$T_{mk} = T_{m-1k} + \frac{\Delta r}{\lambda_{m-1k}} \cdot Q \quad (2.21)$$

Для умови (2.14)

$$T_{mk} = T_{m-1k} - \frac{\Delta r}{\lambda_{m-1k}} \cdot \alpha \cdot (T_{m-1k} - T_{cp}) \quad (2.22)$$

Вичисливши по (2.17) усі значення з урахуванням залежностей (2.18),(2.20),(2.21) і (2.22), для наступного кроку за часом ці значення пересилаються на місце і розрахунок повторюється ще раз, відповідно до заданого часу разів. Необхідно відзначити, що величина кроку за часом з умови стійкості різницевої схеми (2.17) вибирається по формулі:

$$\Delta \tau \leq \max \left(\frac{\gamma_{ik} \cdot c_{ik}}{\lambda_{ik}} \cdot \Delta r^2 \right) \quad (2.23).$$

2.3. Методика розрахунку термічних деформацій і напруги

Найбільш розробленою, являється теорія течій пружнопластичності Прандтля - Рейсса. По цій теорії можна, виходячи від пружних деформацій розраховувати пластичні. Критерієм пластичності є перевищення інтенсивності напруги деякого порогового числа. В цьому випадку можливо проводити оцінки зміцнюваних матеріалів.

Методика, що наводиться нижче, заснована на наступних допущеннях:

- при рівномірному нагріві або охолодженні не виникає ніякої термічної напруги;
- одночасно з навантаженням настає розвантаження. Це означає, що на будь-якому етапі розрахунку, виникаючі деформації, що перевищують гранично пружні, стають рівними гранично пружним, а деформації, що не перевищують граничних, залишаються такими ж. Таке допущення припускає, що не має місця зміцнення матеріалу за межею пружності. Це жорсткопластинчаста схема розвантаження.
- при температурах, що перевищують заздалегідь задану, відбувається релаксація не лише напруги, але і деформацій.

Оскільки надалі розглядається термічна напруга, що виникає в циліндрі, розглянемо умови для теорії малих переміщень, а також зв'язок між переміщеннями і деформаціями, на основі рівняння рівноваги в координатах

$$x = r \cdot \cos(\theta); y = r \cdot \sin(\theta); z = z \quad (2.24)$$

Переміщення пов'язані з деформаціями наступними залежностями:

$$\varepsilon_r = \frac{\partial u_r}{\partial r}, \varepsilon_\theta = \frac{1}{r} \cdot \left(\frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} + u_r \right), \varepsilon_z = \frac{\partial u_z}{\partial z}; \quad (2.25)$$

$$\gamma_{r\theta} = \frac{\partial u_\theta}{\partial r} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial u_r}{\partial \theta} - \frac{u_\theta}{r}, \quad (2.26)$$

$$\gamma_{rz} = \frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{\partial u_r}{\partial z}, \gamma_{z\theta} = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial u_z}{\partial \theta}. \quad (2.27)$$

Зазвичай переміщення є невідомими. Переміщення в завданнях по термічній обробці виникають внаслідок температурного розширення і структурних перетворень. У справжньому завданні при повільному нагріві і охолодженні для даної сталі, вважаємо, що структурні деформації відсутні. Для

температурного розширення (і стискання) можна лише відмітити, на скільки зміниться довжина як завгодно малого відрізка, але не в яку сторону і як пересунуться кінці цього відрізка. Написані вище співвідношення відбивають чинники, що характеризують зміни відрізків.

Рівняння рівноваги (-зовнішні сили) мають вигляд:

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial \theta} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \frac{1}{r} \cdot (\sigma_r - \sigma_\theta) + Y_r = 0; \quad (2.28)$$

$$\frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial r} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \sigma_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial \tau_{\theta z}}{\partial z} + \frac{2}{r} \cdot \tau_{r\theta} + Y_\theta = 0; \quad (2.29)$$

$$\frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \tau_{\theta z}}{\partial \theta} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\tau_{rz}}{r} + Y_z = 0. \quad (2.30)$$

У роботі [2] показано, що рівняння рівноваги еквівалентні мінімуму потенційної енергії. Запишемо їх без зовнішніх сил, оскільки в даному завданні вони відсутні.

Заздалегідь позначимо інтенсивність напруги і деформацій через

$$\varepsilon_{\dot{\varepsilon}} = \frac{\sqrt{2}}{3} \cdot \sqrt{(\varepsilon_r - \varepsilon_\theta)^2 + (\varepsilon_\theta - \varepsilon_z)^2 + (\varepsilon_z - \varepsilon_r)^2 + \frac{3}{2} \cdot (\gamma_{r\theta}^2 + \gamma_{\theta z}^2 + \gamma_{zr}^2)} \quad (2.31)$$

$$\sigma_{\dot{\varepsilon}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_\theta - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_r)^2 + \frac{3}{2} \cdot (\tau_{r\theta}^2 + \tau_{\theta z}^2 + \tau_{zr}^2)}. \quad (2.32)$$

Принцип мінімуму потенційної енергії виражається так:

$$A = \iiint_V \varepsilon_u \cdot \sigma_u \cdot dv = \min \quad (2.33)$$

Вирішимо це завдання в переміщеннях. У цьому інтегралі через формули зв'язку деформацій і переміщень усі змінні можна виразити через останнє. Тоді треба знайти такі переміщення в кожній точці даної області, щоб вони мінімізували вказаний інтеграл. Існує багато способів мінімізації інтеграла. Усі вони зрештою зводяться до кінечно-різницевої його апроксимації залежно від

переміщень. Вони зводяться або до великої системи рівнянь, або до якогось способу (типу градієнтного) безпосередньої апроксимації.

Користуючись тим, що поширення тепла по стержню при зварюванні майже одновимірне, маємо усі підстави спростити це рішення.

Як видно з розгляду залежностей теплових полів, різниця температур поверхні і центру незначна. А різниця температур по довжині циліндра дуже велика. Тому основна деформація - це радіальна, нерівномірна по довжині циліндра. Судячи по різницях температур, в районі зварного шва і кінцем (на відстані 200 мм) різниця температур може навіть викликати пластичну деформацію. Причому ця деформація спочатку буде стискуванням біля зварного шва, оскільки при неоднаковому розширенні поперечного перерізу метал захоплює сусідні шари і більш нагріті із-за взаємодії їх, і вони прагнуть коротшати в порівнянні з температурним розширенням.

Розіб'ємо область інтеграції на рівні частини як і при рішенні теплової задачі : частин з кроком 1мм по довжині (вісь), частин з кроком 1мм по висоті (вісь) і будь-яким малим кутом в тангенціальному напрямі. (см. Додаток Б). Вважатимемо, що дотичні деформації (2.26), (2.27) відсутні. Тоді потрійний інтеграл (2.33) звертається в подвійну суму

$$A \approx \frac{\pi}{2} \cdot \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \varepsilon_{uij} \cdot \sigma_{uij} \cdot (2 \cdot i + 1) \cdot \Delta r^2 \cdot \Delta z, \quad (2.34)$$

де

Δr - - крок розбиття по осі ;

Δz - - крок розбиття по осі ;

$$\varepsilon_{\varrho ij} \approx \frac{\sqrt{2}}{3} \cdot \sqrt{(\varepsilon_{rij} - \varepsilon_{\theta ij})^2 + (\varepsilon_{\theta ij} - \varepsilon_{zi})^2 + (\varepsilon_{zi} - \varepsilon_{rij})^2} \quad (2.35)$$

$$\sigma_{\vartheta ij} \approx \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{(\sigma_{rij} - \sigma_{\theta j})^2 + (\sigma_{\theta j} - \sigma_{zi})^2 + (\sigma_{zi} - \sigma_{rij})^2} \quad (2.36)$$

При таких спрощеннях в межах пружної області буде пропорційне , а в пластичній області дорівнює межі плинності (у пластичній області відповідає матеріалу Генки).

Через нерівність Буняковського маємо:

$$(\varepsilon_{rij} - \varepsilon_{\theta j}) \cdot (\sigma_{rij} - \sigma_{\theta j}) + (\varepsilon_{rij} - \varepsilon_{zij}) \cdot (\sigma_{\theta j} - \sigma_{zij}) + (\varepsilon_{zij} - \varepsilon_{rij}) \cdot (\sigma_{zij} - \sigma_{rij}) \leq \frac{3 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{2}} \cdot \varepsilon_{uij} \cdot \sigma_{uij} \quad (2.37)$$

Тому можна мінімізувати (2.34) навіть не з подвійною, а одинарною сумою (наприклад, по), використовуючи (2.37), але вважаючи, що радіальні, тангенціальні і подовжні деформації пов'язані між собою лінійними залежностями.

З урахуванням висловлених раніше гіпотез і розбиття циліндра на рівних частин по довжині (вісь) і рівних частин по радіусу, для радіальної і тангенціальної напруги (по координаті) мінімізуватимемо одновимірні інтеграли в кожен момент часу за величиною середнього переміщення.

Кількість етапів розрахунку напруги дорівнює кількості етапів розрахунку температурних полів. Поперечний переріз профілю в кожній з площин був розбитий досить дрібною сіткою, такий же, як і при розрахунку температур - 1мм на 1мм. Розрахунок деформацій і напруги заснований на наступному варіаційному принципі: при істинному деформованому стані досягається мінімум сумарної роботи деформації внутрішніх сил по перерізу деталі :

$$A = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{zi} \cdot \sigma_i \cdot b_i \cdot \Delta h = \min , \quad (2.38)$$

де - температурна деформація в -му перерізі;

σ_i - напруга в -му перерізі;

b_i - - ширина профілю в i -му перерізі;

Δh - - крок розбиття профілю по висоті.

Для круглого перерізу профілю вираження (2.38) для тангенціальних деформацій придбаває вид:

$$A = \sum_{i=1}^m \varepsilon_{\theta i} \cdot \sigma_i \cdot (2 \cdot i - 1) \cdot (\Delta r)^2 = \min, \quad (2.39)$$

Тангенціальна деформація виникає внаслідок нерівномірного температурного подовження шарів його кола, що наносяться.

Найбільше значення в завданні про зварювання двох валів придбаває нерівномірність радіальних деформацій по довжині валу. В цьому випадку вираження функціонала для роботи деформації (2.34) придбаває вид:

$$A = \sum_{j=1}^n \varepsilon_{rj} \cdot \sigma_j \cdot \Delta x \cdot \pi \cdot R^2 = \min, \quad (2.40)$$

де R - радіус валу.

Температурна деформація для подовжньої, тангенціальної і радіальної складових обчислюється за формулою:

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{oi} + (T_{ik} - T_{ik-1} - \Delta T_{ck}) \cdot \beta + \varepsilon_{ci}, \quad (2.41)$$

де T_{ik} - температура в i -му перерізі профілю в момент часу, що розраховується ;

T_{ik-1} - температура в i -му перерізі профілю в попередній момент часу ;

ΔT_{ck} - середній приріст температури по перерізу профілю у момент часу ;

β - коефіцієнт лінійного розширення;

ε_{oi} - залишкова деформація в i -му перерізі від попереднього моменту часу;

ε_{ci} - структурна деформація, що виникає при фазових перетвореннях.

Залишкові деформації розраховували таким чином. Позначимо через величину гранично пружній деформації. Тоді , якщо , то

$$\varepsilon_{oi} = \varepsilon_{0.2} \cdot \frac{\varepsilon_{zi}}{\text{abs}(\varepsilon_{zi})}, \quad (2.42)$$

якщо >

Структурна деформація задається, коли температура у відповідній точці з номером досягла кінця температурних перетворень і в загальному випадку швидкість охолодження лежить в заданих межах.

Термічна напруга в кожному перерізі профілю визначається так: до гранично пружних деформацій напруга дорівнює твору деформації на модуль пружності , залежний від температури; потім гранично пружних - твору гранично пружної деформації на модуль пружності при відповідній температурі:

$\varepsilon_{zi} \cdot E_i$, якщо

$$\sigma_i = \varepsilon_i \cdot E_i \quad (2.43)$$

$\varepsilon_{0.2} \cdot E_i \cdot \frac{\varepsilon_{zi}}{\text{abs}(\varepsilon_{zi})}$, якщо >

де - модуль пружності, залежний від температури, визначали по наближеній формулі:

$$E_i = \left(23.023 - \frac{3706}{10^6} \cdot T_{ik} - \frac{892}{10^8} \cdot T_{ik}^2 \right) \cdot 1000 \quad (2.44)$$

Залишкову напругу визначали по формулах:

σ_i , якщо

$$\sigma_{oi} = \varepsilon_{0.2} \cdot E_i \cdot \frac{\sigma_i}{\text{abs}(\sigma_i)}; \quad (2.45)$$

якщо >

Значення , що входить в (2.41), визначали з мінімуму (2.39) або (2.40) шляхом його зміни від до з досить малим кроком пошуку.

Величину залишкового радіусу вигину в кожній з площин визначали по епюрах залишкової напруги методом найменших квадратів. Знаходили таку величину деформації в крайньому перерізі, при якій мінімізується сума квадратів відхилень моментів, відповідних цій деформації від моментів по епюрі залишкової напруги. Позначимо цю деформацію через . Епюра відповідних нею моментів виражається по формулі:

$$m_{fi} = \varepsilon_f \cdot \left(1 - \frac{z_i}{z_c}\right) \cdot E_i \cdot \Delta z \cdot (z_i - z_c) \cdot b_i, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2.46)$$

де:

z_c - - відстань від центру тяжіння до крайнього волокна;

$z_i = \Delta z \cdot (i - 1)$ - - висота - го перерізи профілю;

$\Delta z = \frac{h}{n - 1}$ - - крок по висоті розрахункової сітки;

h - - розрахункова висота профілю.

Епюра моментів від залишкової напруги виражається формулою:

$$m_{oi} = \sigma_{oi} \cdot \Delta z \cdot (z_i - z_c) \cdot b_i, \quad (2.47)$$

$(i = 1, 2, \dots, n)$

Складемо функціонал, що виражає відхилення залишкових моментів від усереднених - :

$$F_f = \sum_{i=1}^n (m_{oi} - m_{fi})^2 = \sum_{i=1}^n [\varepsilon_f \cdot (1 - \frac{z_i}{z_c}) \cdot E_i \cdot \Delta z \cdot (z_i - z_c) \cdot b_i - \sigma_{oi} \cdot \Delta z \cdot (z_i - z_c) \cdot b_i]^2 = \min \quad (2.48)$$

Диференціюючи останнє вираження по i і прирівнюючи похідну до нуля, отримаємо вираження:

$$\varepsilon_f = \frac{\sum_{i=1}^n [\sigma_{oi} \cdot \Delta z \cdot (z_i - z_c) \cdot b_i] \cdot [(1 - \frac{z_i}{z_c}) \cdot E_i \cdot \Delta z \cdot (z_i - z_c) \cdot b_i]}{\sum_{i=1}^n [(1 - \frac{z_i}{z_c}) \cdot E_i \cdot \Delta z \cdot (z_i - z_c) \cdot b_i]^2} \quad (2.49)$$

Залишковий радіус кривизни рівний:

$$R_{ost} = \frac{z_c}{\varepsilon_f} \quad (2.50)$$

По залишковому радіусу кривизни в кожній площині визначали стрілу прогину по довжині валу :

$$f = \frac{l^2}{8 \cdot R_{ost}}, \quad (2.51)$$

де l - довжина валу.

За описаною раніше методикою виробляли розвантаження кожної епюри і розрахунок залишкової напруги.

В результаті виконаних досліджень запропоновані нові методики оцінки напруженого стану з використанням приладу неруйнівного контролю якості по коерцитивній силі, долі залишкового аустеніту, а також методики розрахунку температурних полів і рівняння термічних деформацій і напруги при

відновленні валів зварюванням у стик. Отримані результати використовуються при виборі ефективних параметрів відновлення деталей.

Висновки

1. Для вибору ефективної технології відновлення шліцьових валів виконаний статистичний аналіз 400 роздавальних коробок передач, що поступили в ремонт на ВАТ "Пересечанское РТП". Основними причинами виходу їх з експлуатації є: знос дисків зчеплення - 40%; знос підшипників кочення - 30%; знос валів (у тому числі приводу валу гідронасоса) - 15%; скручування і знос первинного валу - 15%.

Встановлено, що основними причинами виходу з експлуатації валу приводу гідронасоса є: знос шліців по товщині під перехідну втулку і шестерню приводу, а також знос шліців по зовнішньому діаметру і вигин валу (в межах 0.05 - 0.1мм).

2. Розроблена методика оцінки зносу шліців, яка заснована на використанні комплексу устаткування: макроустановка - цифровий фотоапарат - комп'ютер, а також програма AutoCAD. Нова методика забезпечує велику достовірність результатів оцінки в порівнянні із застосуванням мерительного інструменту або методу зліпків.

3. Якість відновлених шліців оцінювали по формованій структурі металу, мірі повреждаемости серцевини валу, твердості відновлених ділянок, що досягається, а також по рівню формованої напруги і долі залишкового аустеніту. Рівень напруги оцінювали за розробленою методикою [Літер] з використанням коерцитиметра КРМ - Ц, а долю залишкового аустеніту приладом МА - 52.

4. Відновлення шліцьових валів здійснювали методом наплавлення електродуги в середовищі CO₂ дротом Нп - 30ХГСА. Для вибору найбільш ефективного методу ремонту шліцьових валів порівняльно аналізували три методи:

- відновлення наплавленням по подовжній осі (між шліцами), на якій потім нарізували шліци;

- з урахуванням нерівномірного зносу шліців (більше в сполученні вал - шестерня і менше вал - перехідна втулка) формували новий вал з двох що поступили в ремонт. Їх розрізали і при цьому зберігали малозношену шліцьову частину, а потім проводили зварювання у стик, після чого нарізували шліци на другій частині валу.

- відновлення шліцьових частин валу методом наплавлення по гвинтовій лінії, заздалегідь видаливши механічною обробкою пошкоджені ділянки.

5. Розроблені методики розрахунку температурного поля при відновленні валу зварюванням у стик і шліцьовій частині. Методика розрахунку по цих двох напрямках ремонту відрізняється тим, що в першому випадку оцінюється відновлення зварювальним джерелом при місцевому нагріві, а в другому - температурне поле визначали в шліцьовій частині, яка піддається термообробці, оскільки в цьому випадку немає необхідності розраховувати температуру від заварки шліців.

Розрахунок температурного поля при зварюванні у стик виробляли на основі рівняння теплопровідності :

$$c \cdot \gamma \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (1)$$

Визначені граничні умови вирішення рівняння. При відновленні шліців (наплавлення + загартування ТВЧ) враховували, що температура і граничні

умови симетричні по круглому перерізу, виробляли розрахунок одновимірного теплового поля в полярних координатах вирішенням рівняння теплопровідності.

б. Розроблена методика розрахунку термічних деформацій і напруги, яка заснована на допущеннях:

- при рівномірному нагріванні або охолодженні не виникає ніякої термічної напруги;

- одночасно з навантаженням настає розвантаження. Це означає, що на будь-якому етапі розрахунку, виникаючі деформації, перевищують гранично пружні і стають їм відповідні, а деформації, що не перевищують граничних, залишаються такими ж. Ці допущення припускають, що не має місця зміцнення матеріалу за межею пружності і є жорсткопластинчатою схемою розвантаження. При температурах, що перевищують заздалегідь задану, відбувається релаксація не лише напруги, але і деформацій.

У роботі розглядається термічна напруга, що виникає в циліндрі за умови використання теорії малих переміщень. Для розрахунків вибрано рівняння рівноваги в координатах:

$$x = r \cdot \cos(\theta); y = r \cdot \sin(\theta); z = z \quad (2)$$

Враховуючи, що при досить повільному нагріві і охолодженні структурні деформації відсутні, то їх не враховували.

РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ПРОЕКТУ

3.1. Обґрунтування схеми технічного процесу відновлення валів.

Аналіз технологічних процесів, обладнання і оснащення, запроваджених при відновленні шліцьових валів, дозволив розробити оптимальний варіант технологічного процесу відновлення „валів”, виходячи з умов спеціалізованої дільниці ремонтно-транспортного підприємства. Схема пропонованого технологічного процесу відновлення деталей типу „вал” можлива і показана на рис.3.1.

Очищення валів можливо проводити за допомогою машини ОМ-9846-ГОСНИТИ, яка працює в напівавтоматичному режимі. Після дефектації деякі деталі на склад готової продукції, а інші на відновлення. Відновлення починається з виправлення центрових отворів на вертикально-свердильному верстаті типу 2Н135; вали які потребують правки подають на прес П6126А. Після правки наплавляють різьбові частини, циліндричні поверхні, заплавляють шпонкові пази. Для цього використовують наплавлення у середовищі вуглекислого газу (азоту, аргону, гелію) вуглецевим (Нп-30, Нп-40), легованим (Нп-30ХН13, Нп-40ХН13) дротом діаметром 1,2 – 1,8мм. При відновленні посадочних поверхонь гладеньких валів приварюванням сталюї стрічки їх спочатку шліфують, а потім наварюють стрічку і знову шліфують до розміру за кресленням. Компенсація зношеного шару шліців механізованим наплавленням здійснюється дротом Нп-30ХГСА або Нп-65Г під шаром флюсу (АН-60, АН-348А) у середовищі вуглекислого газу.

Наплавлені вали нормалізують на установці СВЧ при температурі 880-920 °С, потім охолоджують на повітрі.

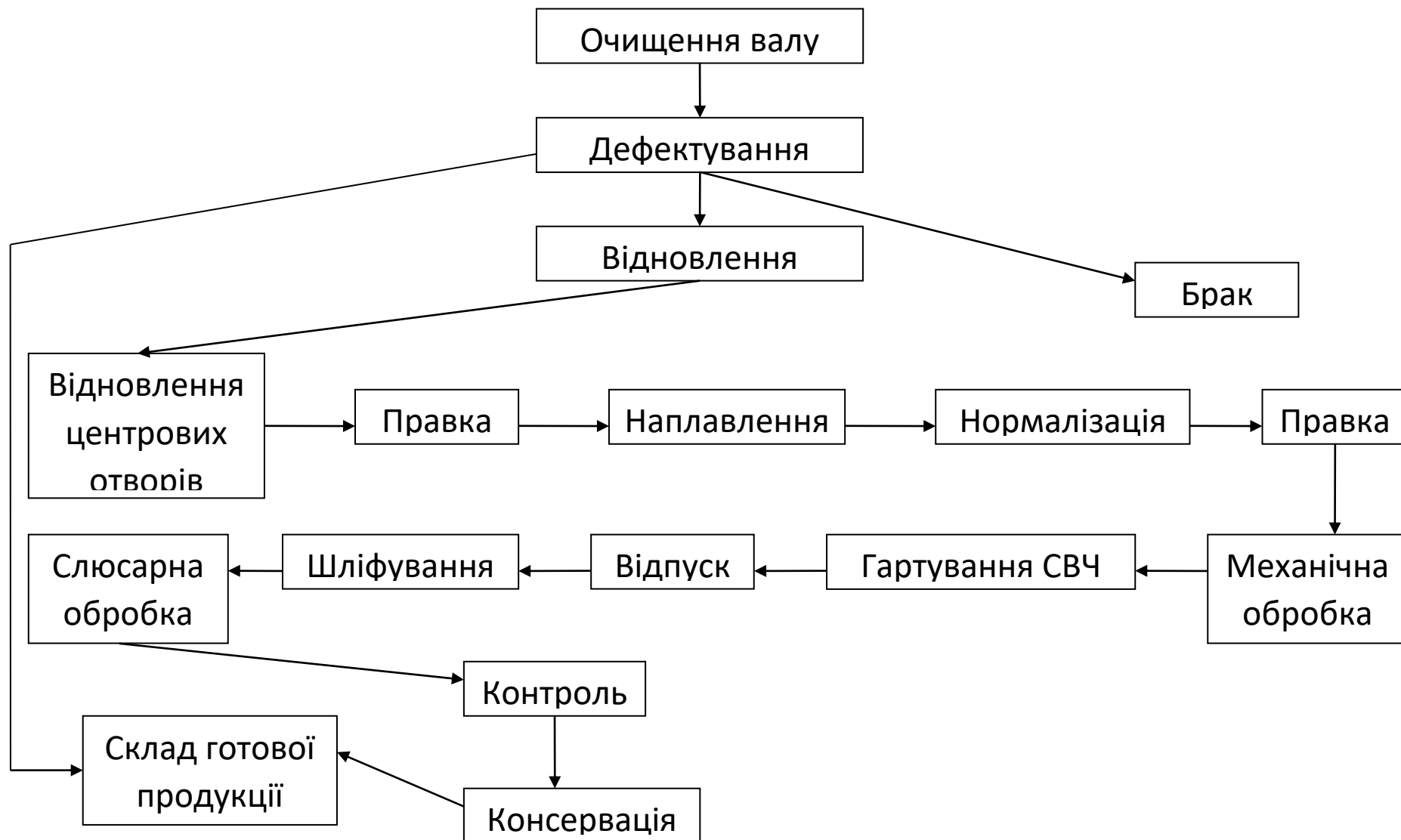


Рис.3.1. Схема ТП відновлення валів

До 70% витрат на ремонт сільськогосподарської техніки доводяться на придбання нових запасних частин натомість гранично зношених. При цьому граничний знос 85% деталей, що працюють в сполученні не перевищує 0,1мм, і багато хто з них має залишковий ресурс 60% і менше. Тільки 20% деталей, що поступають в ремонт, підлягають остаточному вибраковуванню. Інші можна відновити, причому собівартість такої операції складе не більше 15.70% витрат на виготовлення.

За кордоном на ринку запасних частин переважають відновлені деталі. Вони в 1,5..2,5 разу дешевше за нові, а по ресурсу, як правило, не значно поступаються їм. Це досягається, передусім, за рахунок участі в ремонті фірм, що виробляють машини, а також спеціалізованих підприємств по відновленню зношених деталей.

Причини втрати працездатності відновлених валів багато в чому залежать від прийнятого технологічного процесу.

Згідно рекомендацій ГОСТ 15-467-79 і норм ІСО 9000:2000, встановили основні чинники, які можуть бути такими, що визначають при виборі оптимальної технології і параметрів відновлення шліцьових валів (мал. 5.1). Розглянули вплив цих чинників на оптимізацію процесу відновлення шліцьових валів. Для детальних досліджень використовували шліцьовий вал приводу гідронасоса роздавальної коробки передач кормозбиральних машин. Такі вали, як правило, виготовляють із сталі 45.

Оскільки дослідження передбачали відновлення діючої номенклатури валів, то при проведенні досліджень їх матеріал не змінювали.

У завдання досліджень входило вибір матеріалу покриття, розробка оптимальної технології і параметрів відновлення, при яких забезпечувалися б вимоги технічних умов по рівню властивостей на постачання нових шліцьових

валів, а це досягнення твердості в шліцьовій частині валу не менше 62HRC і достатня міцність зчеплення покриття з основою.

3.2. Дослідження різних способів ремонту шліцьових валів

Ремонт шліцьових з'єднань здійснюють одним з наступних способів :

- заміною зношеної пари деталей (валу і маточини) з'єднання новими запасними;
- заміною однією зі зношених деталей (в більшості випадків - маточини) запасною новою і застосуванням відновленої другої деталі (валу);
- застосуванням двох відновлених деталей.

Ремонт шліцьових з'єднань, можливо, виробляти повною заміною зношених шліцьових частин валів або маточин новими, а також тими, які забезпечують достатній післяремонтний ресурс, приблизно рівний ресурсу нових [139-158].

при виконанні ремонту із застосуванням відновлених валів і маточин, або тільки відновлених валів, витрата запчастин зменшується, але при цьому істотно знижується післяремонтний ресурс.

Найбільш поширений нині спосіб відновлення шліців валів включає наступні технологічні операції: 1) відпал для зняття напруги; 2) наплавлення різними способами; 3) обточування до необхідного розміру зовнішнього діаметру; 4) фрезерування канавок шліців; 5) поверхневу зміцнюючу термічну обробку.

Відновлення розмірів по ширині зношених шліців виконують їх роздачею в обидві сторони металу шліца. Для цієї мети використовують спеціальні пристосування (голівки) з одним або декількома роликками, що встановлюються на стругальні, фрезерні або токарні верстати.

Внутрішні шліци відносяться до важко відновлюваних елементів деталей. Існує декілька методів їх відновлення: пластична деформація, простягання, наплавлення, запресовка шліцьової втулки, осідання. Так, був розроблений спосіб відновлення шліців маточин пластичною деформацією за допомогою комбінованого інструменту, що складається з шліцьового оправляння, на якому змонтовані деформуючі ролики і багатозуба калібруюча шліцьова втулка [Літ].

Наплавлення внутрішніх шліців практично не застосовується через технологічні труднощі їх виконання в малих отворах. Простягання шліцьових отворів маточин використовується також рідко, оскільки воно усуває лише непаралельність бічних поверхонь шліців, збільшуючи при цьому проміжки між поверхнями, що сполучаються, що призводить до зростання темпів зносу з'єднання. Відновлення шліців спресуванням в розточену маточину шліцьової втулки поширеніше, хоча це трудомістка операція пов'язана з додатковою витратою металу і непридатна для тонкостінних маточин. Знаходить застосування пластична деформація шліцьової маточини осіданням її уздовж осі. У такий спосіб відновлюють маточини з невеликим зносом. Пластичну деформацію виконують за допомогою штампів або спеціальних оправлянь. Застосування цього способу із-за складності конфігурації маточин, необхідності виготовлення спеціального оснащення і проведення термічної обробки ускладнене.

Усі перераховані способи, окрім наплавлення шліців валу, мають обмежене застосування. Найбільшого поширення набув спосіб наплавлення. Проте йому властивий ряд недоліків.

Що виникають при напавленні додаткова місцева розтягуюча напруга, неоднорідність структури матеріалу, будь-які дефекти наплавлення є концентраторами напруги, що значно знижують циклічну міцність відновлених деталей. За результатами досліджень, зниження циклічної міцності деталей,

відновлюваних різними видами наплавлення, характеризуються даними, приведеними в розділі 1 (див. таблицю. 1.9).

Таким чином, втомна міцність деталей, відновлених наплавленням, завжди нижче, ніж міцність нових деталей.

З приведених порівняльних досліджень видно, що мінімальне зниження втомної міцності відновлених валів характерне при використанні наплавлення електродуги в середовищі вуглекислого газу.

Питанням поглиблення теорії і пошукам шляхів підвищення надійності шліцьових з'єднань присвячені роботи В. Г. Глухарева, Н.И.Зубарева [33], Г. И. Костровского [53], В. М. Кряжкова [56, 57], З.М.Левиной [59], Д.Н.Решетова [60], Г. И. Скундина [63, 85].

Аналіз причин ушкоджень дозволив намітити наступні шляхи підвищення надійності шліцьових з'єднань :

- усунення пускових і робочих перевантажень;
- зменшення тисків на робочі поверхні шліців;
- зміцнення усіх елементів деталей з'єднання і зменшення коефіцієнта концентрації напруги;
- усунення мікропереміщень, що викликають фретинг-корозію-корозію;
- герметизація з'єднання для попередження утворення на робочих поверхнях шліців низкопрочной плівки оксидів.

При розробці способів відновлення деталей зазвичай керуються принципом: відремонтована деталь повинна відповідати кресленню, фізико-механическим властивостям робочих поверхонь. Така деталь повинна по можливості менше відрізнятися від нової. Але цей принцип, при ремонті шліцьових з'єднань не дає бажаного результату тим більше, якщо і нові деталі

не забезпечують необхідний ресурс.

Як об'єкт досліджень були прийняті вали приводу гідронасоса роздавальної коробки змінних передач сільськогосподарських машин трактора Т - 150К (см. рис. 3.3), які поступили на ремонт ВАТ "Пересечанское РТП". Дефекти досліджуваних валів - знос шліців.

Як було показано в літературному огляді, існує ряд технологічних прийомів по відновленню шліцьових валів методом наплавлення в середовищі CO₂. До найбільш поширених прийомів, вживаних на ремонтних підприємствах, являються наплавлення уздовж шліца і уперек його (по гвинтовій лінії). Використовуються також методи відновлення валів, такі як нарізка нового шліца після наплавлення по місцю розташування колишнього паза, а також використання методу зварювання у стик двох частин валу, з менш зношеною шліцьовою частиною і нарізкою нових шліців для сполучення вал - конічна шестерня.

У літературі відсутня єдина думка по найбільш ефективному технологічному прийому відновлення шліцьових валів. Крім того, не ясно як проводити процес наплавлення, щоб забезпечити мінімальний рівень напруги, зменшити схильність до пошкоджуваності і по можливості максимально зберегти початкові властивості усього валу. Важливо також встановити оптимальну кількість шарів (валиків), що наносяться, при наплавленні.

З ряду існуючих технологій відновлення шліцьових валів, які передбачають наплавлювально-зварювальні роботи можна виділити такі як, :

- подовжнє наплавлення зношених шліців з наступною їх нарізкою по розташуванню раніше формованих і наступною їх термообробкою;
- зварювання у стик по центру двох частин валу (заміна найбільш зношеної шліцьової частини валу на мало зношену або нову);

- наплавлення шліцьової частини валу по гвинтовій лінії в середовищі захисних газів, з дотриманням необхідних параметрів механічної обробки, наплавлення і термообробки.

Статистичні дослідження показали, що використання різних технологічних прийомів наплавлення забезпечують досить низькі свідчення твердості :

- наплавлення дротом 30ХГСА уздовж шліца і загартування їх ТВЧ (до загартування ТВЧ - 20-27HRC);

- наплавлення цим же дротом по гвинтовій лінії і загартування ТВЧ (до загартування ТВЧ - 21,8-22,4 HRC).

Метод наплавлення по гвинтовій лінії дозволяє реалізувати прийом, який може забезпечити додаткове зниження напруги (окрім відпустки) шляхом створення програмованих порожнин розміром 1,0 - 1,5мм біля основи шліца для релаксації напруги.

Запропонований спосіб відновлення шліцьових валів [пат.свій] який включає попередню обробку зношених поверхонь. Для зменшення напруги при обробці і підвищення ресурсу деталей. Нанесення покриттів здійснювали після механічної обробки з частковим видаленням тільки пошкоджених зносом поверхонь. На шліци, що збереглися, наплавленням по гвинтовій лінії (уперек шліців) наносили покриття тій, що завтовшки не перевищує величину номінального розміру. При цьому враховували припуск на формування профілю. При необхідності компенсації великого по товщині шару, наплавлення виробляли в декілька проходів електродом. Перший шар покриття наносили завтовшки не більш 1,5мм, а наступні шари збільшували на 40 - 60% кожного.

Раніше був відомий спосіб дугового багат шарового наплавлення сплавами високої зносостійкості, що включає нанесення покриття по гвинтовій або кільцевій лінії. Згідно з цим способом релаксацію напруги здійснювали формуванням порожнин в першому шарі шляхом забезпечення

тріщиноутворення. Перед і в процесі нанесення другого і наступних шарів виробляли підігрівання виробу і товщину цих шарів витримували відповідно в 1,3 - 1,7 разу менше ніж першого шару. Це запобігало подальшому збільшенню кількості тріщин. [прототип 1]

Недоліком відомого способу слід вважати те, що заздалегідь запланована сітка тріщин в першому шарі за певних умов експлуатації виконує роль зародків для появи тріщин в другому і наступних шарах хай і в менших кількостях, але достатніх, щоб привести до вифарбовування відновлених і загартованих ТВЧ шліців.

Також відомий спосіб відновлення деталей, що включають обробку зношених поверхонь і наступне нанесення покриття [прототип 2]. Обробку зношених поверхонь в цьому випадку здійснювали з урахуванням товщини неякісного шару покриття, яку визначали заздалегідь, а шар матеріалу, що знімається, відлічували від номінального розміру поверхні в тіло деталі.

Недоліком цього способу є відсутність технологічних прийомів, які б забезпечували зниження напруги у відновленій деталі після остаточної термообробки.

Виходячи з відомих методів відновлення деталей, розробили новий спосіб реновації шліцьових валів, який захищений патентом України (Патент №33102 "Спосіб відновлення деталей").

Суть розробленої нової технології полягає в тому, що при відновленні наплавленням, по довжині шліців формуються спеціальні порожнини. На мал. 3.2 показаний наплавлений шліцьовий вал діаметром 22 мм в основі тіла і 20мм в шліцьових частинах. Перед наплавленням знімали нерівномірно зношену частину шліців механічною обробкою так, щоб вони склали по висоті 20-30% від свого номінального розміру.

Вал в шліцевих частинах наплавляли дротом (1,2 Нп-30ХГСА в середовищі вуглецевого газу (CO₂) по гвинтовій лінії по наступному режиму: сила зварювального струму (80-100) А; напруга - (17-18) В; швидкість подачі електронного дроту - (2,3-2,4) м/мін; виліт електроду - (8-10) мм; зміщення електроду із zenіту - (14-15) мм; частота обертання деталі - (9-10)

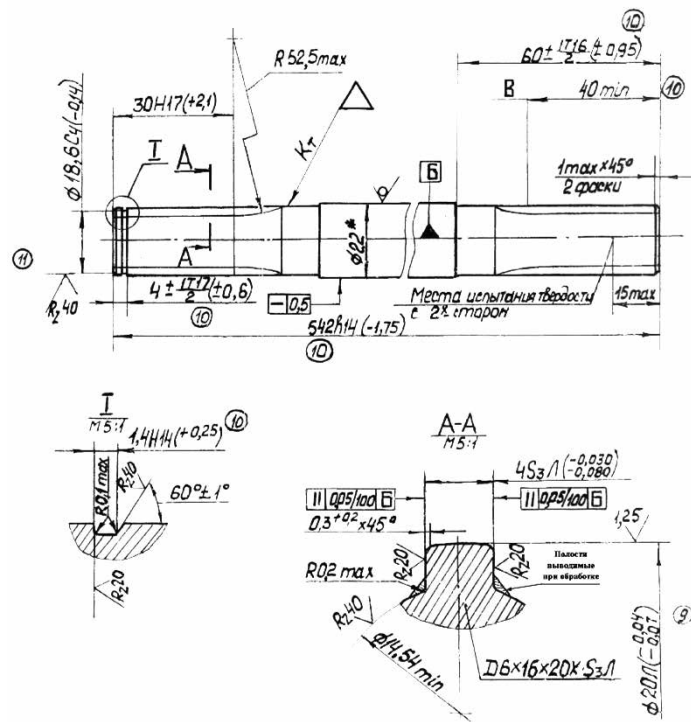


рис. 3.2. Відновлений шліцевий вал

про/мін; крок наплавлення - (1,3-1,5) мм/про; число проходів - не більше двох; витрата дроту - 0,138кг; витрата газу CO₂ - 57,6л (на один вал).

Характерна мікроструктура металу шліцевої частини валу приведена на мал. 3.2.

Якість відновлення шліцевого валу оцінювали в наплавленому шарі по середньому рівню напруги, визначуваному по коерцитивної силі і досягнутій твердості.

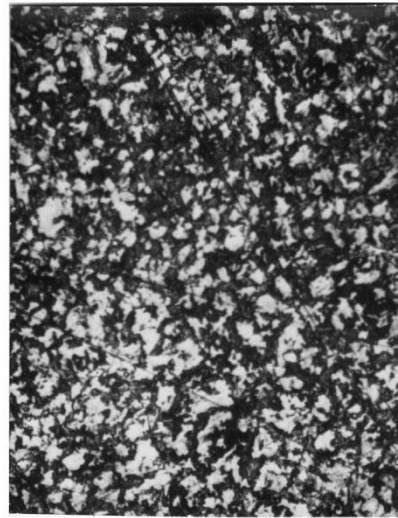
Порівняльні дослідження показали, що наплавлення по гвинтовій лінії з

наступним загартуванням ТВЧ сприяють напруженому стану, в середньому, на 10% менше, що обумовлено рівнем залишкової напруги, оціненої по коерцитивній силі (таблиця. 3.1 - 3.3).

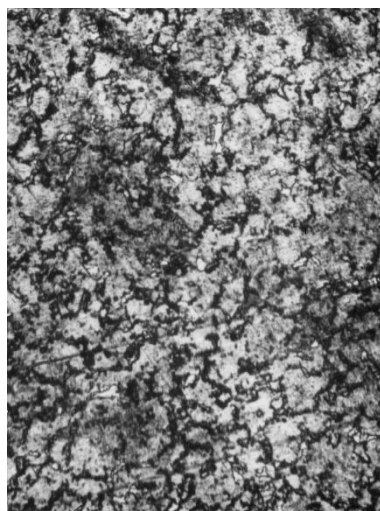
Встановлено, що з підвищенням рівня напруги коерцитивная сила зростає. З приведених даних видно, що при відновленні наплавленням уповдовж шліців і наступним загартуванням ТВЧ і відпусткою при 510 - 560(зі свідчення коерцитивної сили досягають 21,6 - 26,8А/см



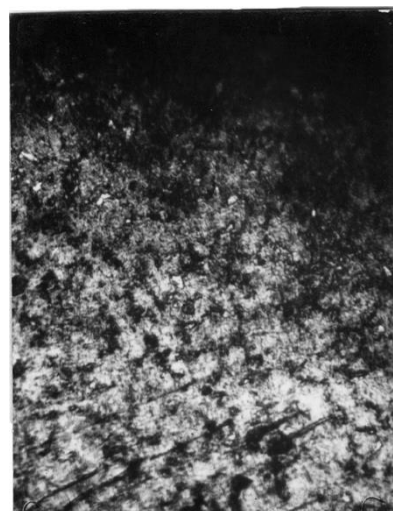
а



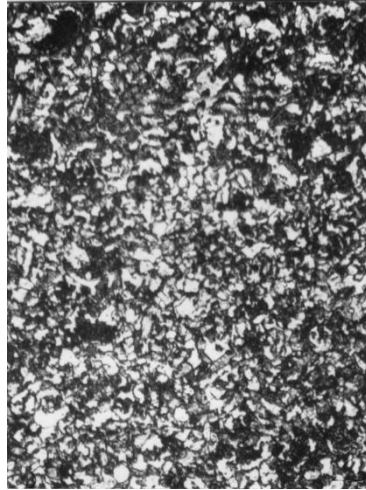
б



в



г



д

Мал. 3.3 Мікроструктура наплавленого шару в різних зонах шліца, а - загальний вигляд шару, $\times 100$; би - д в різних зонах $\times 200$

Таблиця 3.1

Значення коерцитивної сили валу, відновленого наплавленням уздовж шліца і загартуванням ТВЧ з наступною відпусткою

Частина валу, на якій проводилися виміри (зони, приведені на мал. 3.3)	Рівень НС, А/см			Середнє значення НС, А/см
Шліцьова частина - 6	22,1	22,1	20,6	21,6
Шліцьова частина - 1	26,5	27,3	26,6	26,8
Тіло - шліцьова частина - 2	16,7	17,7	19,6	18
Тіло - шліцьова частина - 7	20,1	19,7	19,9	19,9
Тіло біля шліцьової частини - 5	9,8	10,5	10,6	10,3
Тіло біля шліцьової частини - 3	10,0	10,7	12,0	10,9
Середина валу - 4	14,7	13,7	14,5	14,3

Таблиця. 3.2

Значення коерцитивної сили валу, відновленого за розробленою технологією
(до загартування ТВЧ)

Частина валу, на якій проводилися виміри		Рівень НС, А/см			Середнє значення НС, А/см
Шліцьова частина 6	-	8,1	7,4	8,0	7,83
Шліцьова частина 1	-	6,6	7,2	7,3	7,03
Тіло - шліцьова частина 2	-	7,1	6,9	7,2	7,06
Тіло - шліцьова частина 7	-	6,8	6,7	7,0	6,83
Тіло валу - 4		9,6	10,0	9,4	9,6

Таблиця 3.3

Значення коерцитивної сили валу, відновленого за розробленою технологією і
загартування ТВЧ з наступною відпусткою

Частина валу, на якій проводилися виміри		Рівень НС, А/см			Середнє значення НС, А/см
Шліцьова частина 6	-	21,8	22	22	21,93
Шліцьова частина 1	-	22,2	21,6	22,4	22,06
Тіло - шліцьова частина 2	-	8,3	8,4	9,0	8,56

Тіло - шліцьова частина - 7	8,6	9,0	8,5	8,7
Тіло валу - 4	9,4	9,3	9,6	9,43

При цьому максимальні значення (на 19,4% більше) характерні для шліців сполучення вал - конічна шестерня, яка піддавалася великим навантаженням при експлуатації, чим сполучення вал - перехідна втулка.

Запропонована нова технологія відновлення шліцьових валів з формуванням спеціальної порожнини для релаксації напруги при наплавленні зношених шліців по гвинтовій лінії показала істотно нижчий рівень напруги, так, до термічної обробки свідчення коерцитивної сили, в середньому, не перевищують 7,83А/см. Найбільш високий рівень цієї характеристики відповідає іншим способам відновлення - області максимальних знакозмінних навантажень (середина валу) і складає 9,6А/см (див. таблицю.3.1 - 3.3).

Порівняльні дослідження за оцінкою твердості проводили на валах отриманих зварюванням у стик з двох малозношених. Середні значення твердості приведені в таблицю. 3.4 - 3.7. Слід зазначити, що в першому випадку твердість шліців дещо вищий, ніж отриманих після наплавлення.

Проте таке підвищення незначне і, в середньому, не перевищує 7%. Це свідчить про те, що відновлений вал зварюванням у стик після експлуатації за рахунок зносу і зняття загартованого шару в шліцьових частинах не може забезпечити необхідної експлуатаційної стійкості. Згідно ТУ твердість має бути не менше 62HRC.

Таблиця 3.4

Зміна твердості відновленого валу за технологією зварюванням у стик двох зношених валів (до проведення ТВЧ)

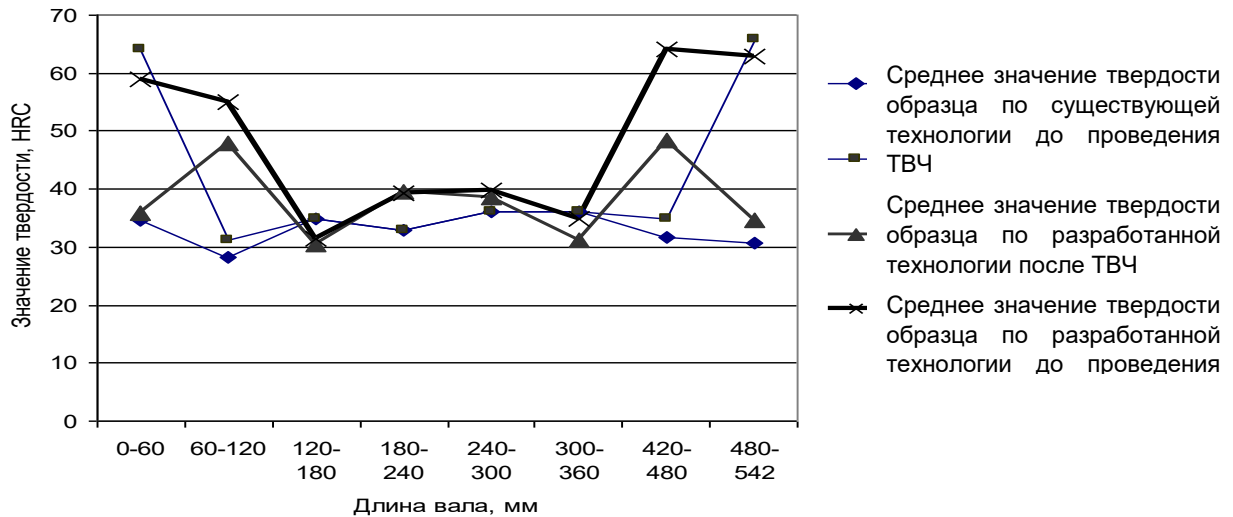
Частина валу, на якій проводилися виміри		Значення твердості, HRC						
							Середнє	min - max
Твердість шліцьової частини	- 6	39	38	31	36	35	35,8	31-39
Твердість шліц. частини	- 1	35	37	36	34	31	34,6	31-37
Твердість зварювального шва біля шліцьової частини	- 2	46	47	45	50	52	48	45-52
Твердість зварювального шва біля шліцьової частини	- 7	47	49	46	50	50	48,4	46-50
Твердість частини валу біля зварювального шва	- 5	29	33	22	32	36	30,4	22-36
Твердість частини валу біля зварювального шва	- 3	33	35	28	29	31	31,2	28-35

Таблиця 3.5

Зміни твердості відновленого валу за розробленою технологією наплавлення
(до проведення ТВЧ)

Частина валу, на якій проводився вимір			Значення твердості, HRC						
								Середнє	min - max
Твердість шліцьової частини	- 6		34	36	35	34	34	34,6	34-36
Твердість шліц. частини	- 1		31	29	33	31	30	30,8	39-31
Твердість валу біля шліц. частини	- 2		29	33	22	32	25	28,2	22-33
Твердість валу біля шліц частини	- 7		23	31	35	34	35	31,6	23-35
Тіло	У площинах	3	35	34	36	36	34	35	34-36
		4	31	33	32	37	32	33	31-37
		5	40	37	39	33	31	36	31-40
		8	33	38	40	35	35	36,2	33-40

Оскільки перша технологія передбачає зварювання у стик 2-х частин валу, то проведене додаткове виміри твердості по довжині усього валу, у тому числі обробленого і за технологією з гвинтовим способом нанесення покриття на шліцьову частину (мал. 3.4).



Мал. 3.4 Середній розподіл твердості по довжині валу

Проведений порівняльний аналіз відновлених шліцьових валів по першій і другій технологіям показав зміни і коерцитивної сили.

Таблица 3.6

Твердість зразка відновленого за існуючою технологією після зміцнення СВЧ

Частина валу, на якій проводився вимір		Значення твердості HRC					Середнє	min - max	
Твердість шліцьової частини	- 6	56	58	59	62	60	59	56-60	
Твердість шліцьової частини	- 1	67	61	65	62	60	63	60-67	
Твердість зварювального шва біля частини	- 2	64	53	61	49	48	55	48-64	
Твердість зварювального шва біля частини	- 7	62	64	65	66	63	64	62-66	
Твердість частини валу біля зварювального шва	- 5	25	35	34	31	32	31,4	25-35	
Твердість частини валу біля зварювального шва	- 3	33	36	35	37	34	35	33-37	
Тіло	Переріз виміру	4	39	40	40	38	41	39,6	38-41
		8	38	41	40	37	40	39,2	37-41
		9	40	39	39	40	41	39,8	39-41
		10	37	37	40	39	40	38,6	37-40

Таблиця 3.7

Вимір твердості зразка відновленого за розробленою технологією після
зміцнення СВЧ

Частина валу, на якій проводилися виміри	Значення твердості, HRC					Середнє	min - max
Твердість шліцьової частини - 6	62	61	65	67	66	64,2	61-67
Твердість шліцьової частини - 1	68	65	63	66	67	65,8	63-68
Твердість валу біля шліцьової частини - 2	32	34	29	30	31	31,2	29-32
Твердість валу біля шліцьової частини - 7	36	38	33	32	35	34,8	32-38

наплавленого шару за розробленою технологією знижується на 21,5% з кожним наступним шаром наплавлення, а рівень напруги в наплавленому шарі деталі за способом, прийнятим за прототип, зростає на 10%.

Для отримання детальної інформації про якість відновленої деталі було вироблено вимір мікротвердості по перерізу шліца в трьох напрямках: 1) зони покриття - термічного впливу - основний метал мал. 3.5, 2) середина шліца, що включає краї і зону покриття мал. 3.6; 3) між шліцями, зону термічного впливу мал., що є, 3.7.

Дослідженнями показано, що по твердості зони відновленого покриття і термічного впливу мають близькі значення. Лише на межі з основною (починаючи з 400мкм) відзначається її спад, який наближається до основного металу.

При цьому розкид значень твердості від середніх значень в зоні покриття і термічного впливу досягає 20%, тоді як основи не перевищує 4% (см. рис. 3.5).

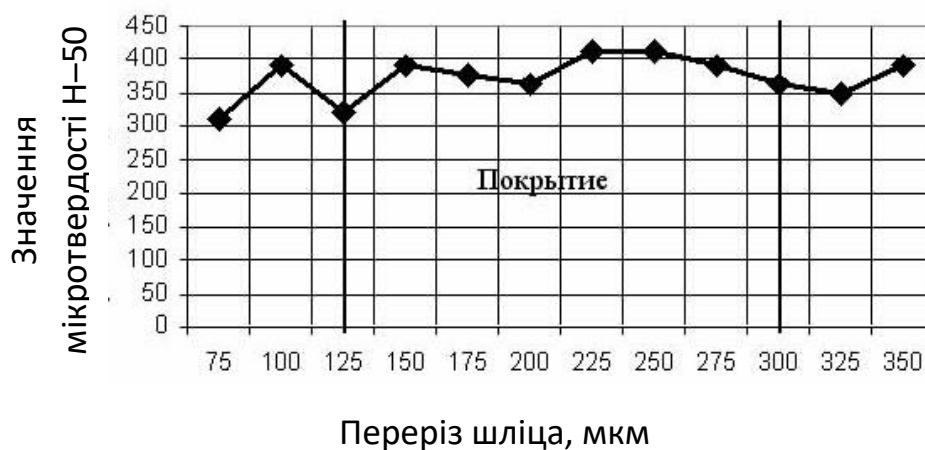
Аналіз зміни мікротвердості показав, що межа розкиду від середніх значень по досліджуваних зонах не перевищує 7-15% (см. рис. 3.6).

Зміна мікротвердості в зоні термічного впливу між шліцами не перевищує 13,5% (см. рис. 3.7).

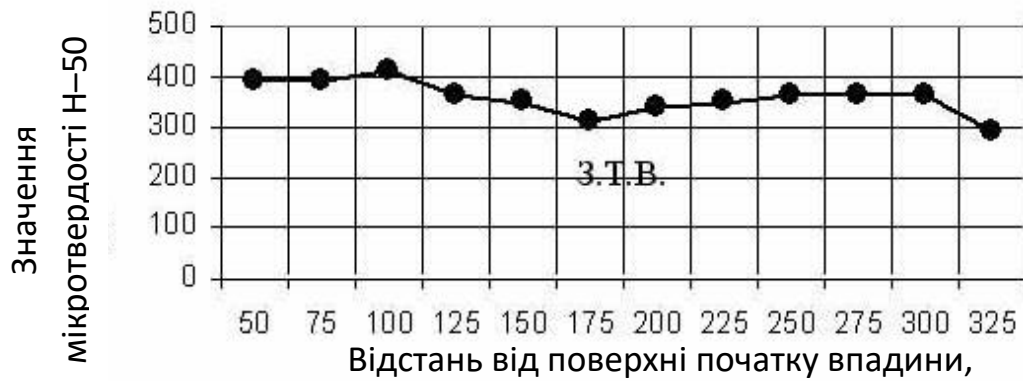
З виконаного аналізу виходить, що найбільша неоднорідність мікротвердості характерна для шліців. Після загартування ТВЧ і відпустки мікротвердість шліців і зони між ними істотно підвищується (на робочій поверхні досягає Н - 50 - 569, а між шліцами Н - 50 - 542, мал. 5.8).



Мал. 3.5 Розподіл мікротвердості по бічній поверхні шліца після нанесеного покриття, мкм

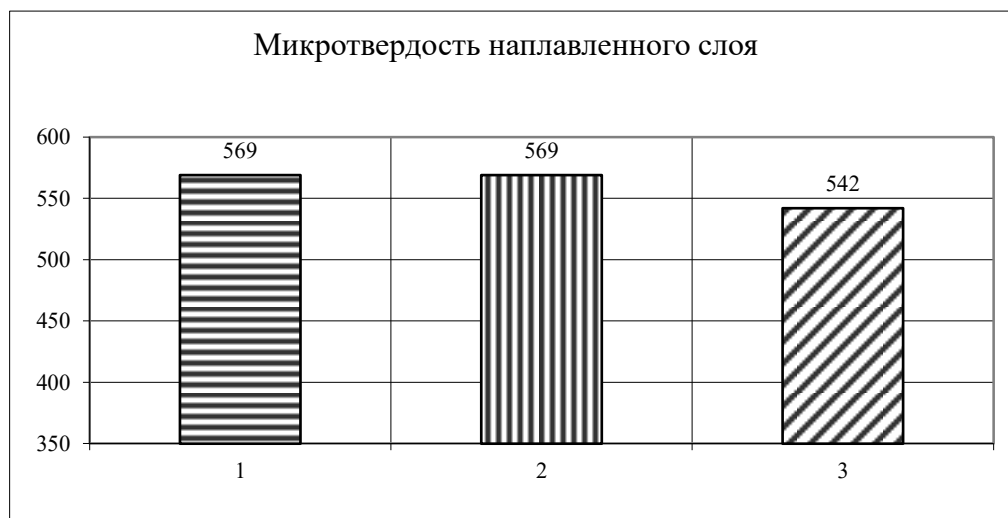


Мал. 3.6 мікротвердість по центру в перерізі шліца



Мал. 3.7 мікротвердість в зоні термічного впливу між шліцами

При цьому враховувалися виміри зроблені на відстані від 50 до 300мм (цей проміжок являється З.Т. В.).



Мал. 3.8 мікротвердість наплавленого, загартованого і відпущеного шліца :

1 - по центру шліца; 2 - по краю шліца; 3 - між шліцами

Одночасно витрата матеріалу за пропонованим способом в 1,4 разу менше в порівнянні з відомим.

3.3. Вибір матеріалу для покриття і оцінка властивостей відновлених валів

Відновлення шліцьової поверхні проводили після спеціальної її підготовки (шліфовка нерівномірно зношених і пошкоджених частин) і наступних операцій : наплавлення в середовищі CO₂ дротом НП-30ХГСА і легованою порошковою композицією Пр-Х4Г2Р4С2Ф (таблиця. 3.8) з різною долею зміцнюючої добавки порошку Cr₃C₂. Така добавка порошку була вибрана на основі досліджень "Технологічних систем ремонтного виробництва" ХНТУСХ, що проводилися на кафедрі, ім. П. Василенко. Було показано, що добавка ферохрому і графіту в покриття забезпечує істотне підвищення твердості.

Для того, щоб оцінити вплив більш легованого матеріалу покриття на структуру і властивості провели аналіз розподілу компонентів по його перерізу і оцінили формовані фази, що визначають рівень твердості.

Для досліджень використовували металографічний метод оцінки структури на мікроскопі МИМ-8М при збільшенні 100, 500 і 1000 разів, а також метод визначення мікротвердості приладом ПМТ- 3 при навантаженні 50, і прицільний рентгеноспектральний аналіз на приладі РЭММА-101А.

У дослідженнях аналізували інтенсивність ліній хімічних елементів і по етапах оцінювали їх кількість в різних фазах, крім того, аналізували однорідність розподілу елементів в карбідах і матриці на різних відстанях від поверхні; оцінювали розмір карбідів, які відрізняються і за формою виділення.

Кількісна оцінка хімічних елементів, між фазами в сплаві, не враховує їх концентрацію з малим атомним радіусом типу - вуглець, бор, яких в основному порошковому матеріалі Пр-Х4Г2Р4С2Ф в сумі міститься не більше 5% (без урахування чаду). Тому при розрахунках помилка не перевищує 3-5%.

Таблиця 3.8

Склад порошкових композицій, що вводяться

Умовний номер зразка	Склад порошкової композиції	Кількість Cr3C2, що вводиться, %
1	Пр-Х4Г2Р4С2Ф+Cr3C2	33,0
2	Пр-Х4Г2Р4С2Ф+Cr3C2	50,0
3	Нп-30ХГСА	До 1% Cr, Mn, C.

Досліджувані композиції відрізняються співвідношенням порошків Cr3C2, що додатково вводяться.

Металографічний аналіз структури наплавлених зразків показав, що залежно від співвідношення композицій, що вводяться, в зразках формується структура з великою неоднорідністю розподілу фаз по глибині. При аналізі виявлена область високою травимости протяжністю 1,3-1,5мм, прилегла до перехідного шару, її можна віднести до зони термічного впливу. Структура перехідної зони відповідає основному металу (таблиця. 3.9).

Таблиця 3.9

Оцінка структури формованої в наплавленому шарі

Умовний номер зразка	Кількість формованих зон	Характеристика структури по кожній зоні	Наявність дефектів
1	2	1 - поверхневий шар завглибшки 1,1мм, з 0,01мм дрібні включення карбідів в матриці; 2 - зона орієнтована до тепловоду. Дендрит аустеніту, прилеглий до перехідної зони, - протяжність 0,07мм із структурою карбідної евтектики в міждендритному просторі. Глибина слоя-2,12мм. Глибина шару 0,8-1,0мм характеризується однаковим розміром і розподілом фаз.	Окремі пори

2	1	Грубі первинні карбіди у вигляді пластинів і глобулей і дрібна евтектика стільникової будови (зрідка пластинчата). Зустрічаються окремі вторинні карбіди правильного ограновування і дрібні ферритные виділення. Евтектика складається із спеціальних карбідів хрому і аустеніту по перерізу	Окремі пори
---	---	--	-------------

Порівняльний аналіз зразків показав, що карбід Cr_3C_2 повністю розчиняється, а потім кристалізується знову у вигляді #003С. При концентрації добавки, що вводиться, не більше 15% спочатку кристалізуються дендрит аустеніту, а в міждендритних просторах - карбідна евтектика (механічна суміш двох, або що більш за типи карбідів одночасно кристалізуються з рідини). Із збільшенням концентрації Cr_3C_2 кристалізуються первинні карбіди хрому і мають грубу будову. При кристалізації цих карбідів (вступ 50% Cr_3C_2) зростає схильність наплавленого шару до трещинообразованию і вифарбовування при експлуатації.

Досліджували розподіл хімічних елементів по глибині шару і формованим фазам. Мікрорентгеноспектральний аналіз зразків, наплавлених порошками Пр-Х4Г2Р4С2Ф з різними добавками карбіду Cr_3C_2 (33% і 50%) виявив наступне, : після наплавлення 33% із змістом Cr_3C_2 ці карбіди розчиняються і частково виділяються на стадії розпаду аустеніту у вигляді легованих дисперсних карбідів типу $\text{Me}_3\text{C}+\text{Me}_2\text{3C}_6$, які в спецкарбіді містять: 43-48% Cr, 46-51% Fe, 3,6-4,1% Mn, і 0,5-0,8% V; а в легованому цементите 12-13,5% Cr, 82-85% Fe, 0,13-0,47% V, $\approx 4,0$ Mn (таблиця. 3.10).

Дослідженнями показано, що ліквіація V, Cr і Mn не перевищує 30%

Таблиця 3.10

Розподіл хімічних елементів по глибині наплавленого шару з 33% добавки Cr3C2

Глибина від поверхні, мм		Si	V	Cr	Mn	Fe
I	0,00	1,446	1,822	43,980	5,037	47,715
	0,03	1,025	1,731	51,764	4,065	41,414
	0,06	1,458	2,284	38,673	5,716	51,868
	0,9	1,006	2,031	46,480	3,910	46,574
	1,2	1,899	2,026	38,673	4,555	52,660
	1,5	1,009	1,859	40,640	5,433	51,058
	1,8	0,844	1,512	43,084	3,590	50,971
	2,1	1,461	1,151	36,672	4,111	56,605
	2,4	0,504	0,948	48,011	4,094	46,444
II	2,7	0,713	0,467	13,505	4,417	85,898
	3,0	0,852	0,127	12,377	4,229	82,414
III	3,3	1,183	0,000	0,262	4,233	94,322
	3,6	0,386	0,000	0,369	3,694	95,522
	3,6	0,386	0,000	0,369	3,694	95,522
	3,9	0,526	0,000	0,436	3,766	95,271

Примітка: I - покриття, II - перехідною шар, III - основною метав

Спецкарбіди мають близьку до правильної ограновування включень.

Аналіз розподілу елементів по глибині шару показав істотну відмінність хімічного складу карбідів VC (1,5-2,3%), що кристалізуються, а також від 12 до 51% Cr, 3,0-5,7% Mn, 1,1-1,9% V карбіди утворюють собою евтектику (аустеніт + карбіди).

У зоні із структурою ледебуриту відзначається знижена концентрація кремнію 0,17-0,88%, мінімальна кількість ванадію 0,13-0,5% і хрому - 12,4-13,5% з в порівнянні із зоною 1 (див. таблицю. 5.10). При цьому не спостерігається яких-небудь закономірностей в розподілі хімічних елементів.

У наплавленому зразку з 50% Cr₃C₂ виявлена велика кількість карбідів різних типів.

Введений порошок Cr₃C₂ повністю розчиняються і знову виділяються карбіди при кристалізації (неправильної форми, грубі первинні, також пластини). Масивні виділення карбідів неправильної форми мають мікротвердість більш Н- 50-2000, які розчиняють в собі до 2,7% V, 4,3% Cr і 6% Mn (таблиця. 5.11).

Таблиця 3.11

Розподіл хімічних компонентів (сканування по точках)

Умовний номер виміру	Зміст компонентів, %				
	Si	V	Cr	Mn	Fe
1	0,233	2,484	39,447	6,408	51,427
2	0,081	2,252	42,554	5,752	49,361
3	0,000	2,421	36,478	5,594	55,506
4	0,000	2,398	43,150	5,425	49,027
5	0,000	2,683	39,775	6,243	51,298
6	0,239	2,028	36,625	4,358	56,750
7	0,000	0,872	12,691	5,882	70,555

За змістом легуючих компонентів карбідна евтектика (об'єкти досліджень 2;6) мало відрізняється від карбідів (об'єкти досліджень 3; 4; 5) і має

мікротвердість Н- 50-947. Біла смуга у поверхні в наплавленому шарі також не відрізняється за змістом компонентів (0,23% Si, 2,48% V, 39% Cr, 6% Mn, 51% Fe) область від точки 0 до 1 (див. таблицю. 5.10). Мікротвердість її знаходиться в межах Н- 50-1200-1260.

Сканування по глибині шару показало достатню неоднорідність покриття по розподілу хімічних елементів і виявило наявність складних включень, що містять 8,8% вагу Si, 1,3% V, 18,5% Cr, 32,5% Mn, і 38% Fe (таблиця. 5.12 об'єкт досліджень 02).

Таблиця 3.12

Сканування по глибині наплавленого шару

Умовний номер виміру	Зміст компонентів, %				
	Si	V	Cr	Mn	Fe
01	0,000	2,673	35,943	6,069	55,315
02	8,779	1,282	18,758	32,477	38,703
03	2,497	1,639	47,170	9,240	39,454
04	0,000	2,171	41,026	8,718	48,084
05	0,000	1,923	43,989	4,780	49,596
06	0,000	1,634	43,989	4,780	49,596
07	0,000	1,029	1,957	6,677	90,338

В результаті виконаного порівняльного аналізу, встановили, що при наплавленні порошком Пр-Х4Г2Р4С2Ф+Cr3С2 формується неоднорідний шар з незначною кількістю зон, компонентів, що відрізняються концентрацією, і різною мікротвердістю, які дозволяють оцінити тип формованих фаз. Встановлено, що порошок карбіду хрому, що вводиться, розчиняється, незалежно від долі присадки. При збільшенні добавки Cr3С2 від 33% до 50%

спостерігаються істотні зміни в умовах кристалізації. У випадки добавки 33% Cr3C2 виділяється дендрит аустеніту, а при добавці 50% Cr3C2 - грубі первинні карбіди. Також дослідженнями помічене те, що при збільшенні долі карбідів хрому, що вводяться, середня його концентрація досягає 42%.

Рівень твердості такого покриття високий і складає до 67-69HRC, що вище за вимоги технічних умов.

За допомогою мікрорентгеноспектрального аналізу встановлено, що первинні, евтектичні і вторинні карбіди, що знову кристалізуються, при введенні добавки Cr3C2 мають змінний склад і дещо мікротвердість, що відрізняється. Це забезпечує гетерогенність структури і її високу зносостійкість, проте такі покриття відрізняються великою схильністю до вифарбовування (особливо при наявності значної долі залишкового аустеніту, який при експлуатації розпадається).

Тому в подальших дослідженнях використовували покриття, що наноситься низьколегованим дротом Нп-30ХГСА. При виготовленні валу здійснювали проточку і нарізку шліців, а потім виробляли загартування ТВЧ з наступною відпусткою.

Згідно з отриманими теоретичними дослідженнями (розділ 4) було встановлено, що значний рівень напруги досягається при відновленні шліцьової частини наплавленням.

Виконали порівняльний аналіз двох технологічних процесів відновлення шліцьової частини наплавленням по гвинтовій лінії і подовжньою заплавкою шліців. На кафедрі "Технологічних систем ремонтного виробництва" ХНТУСХ ім. П. Василенко було створено спеціальне пристосування, яке дозволяло проводити таку операцію їх відновлення.

Друга технологія є більш трудомісткою і, крім того, не забезпечує достатньої міцності зчеплення, яку оцінювали по залежності (3.1).

У зв'язку з тим, що товщина покриття не перевищує 1мм на радіус деталі, то міцність зчеплення його з основою оцінювали, не за загальноприйнятою методикою, а використовували - запропоновану в роботах А.П. Гуляєва і Н.Т. Гудцова. Суть цієї методики полягає в тому, що при нанесенні відбитку алмазним індентором (прилад ПМТ- 3) в область перехідної зони при недостатньому рівні міцності зчеплення за рахунок напруги відбувається розклинювання і від кінців відбитку виникає тріщина, за величиною якої можна оцінити граничну міцність зчеплення ((В). При цьому для розрахунків використовується залежність:

$$\sigma_B = H \left(\frac{d}{l} \right)^2, \quad (3.1)$$

де Н- рівень мікротвердості;

d - довжина діагоналі відбитку, мм;

l - довжина розкриття тріщини, мм.

Оцінку рівня міцності виробляли при навантаженнях на індентор Р=50 і 100г. При цьому довжина діагонали відбитку складала відповідно до 30 і 50мм. У разі, коли руйнування шару (відшарування нанесеного покриття від основи) не настає, то міцність зчеплення буде не менше, чим:

$$\sigma = \sqrt{2P/d^2}, \quad (3.2)$$

У нашому випадку розшарування не відмічали.

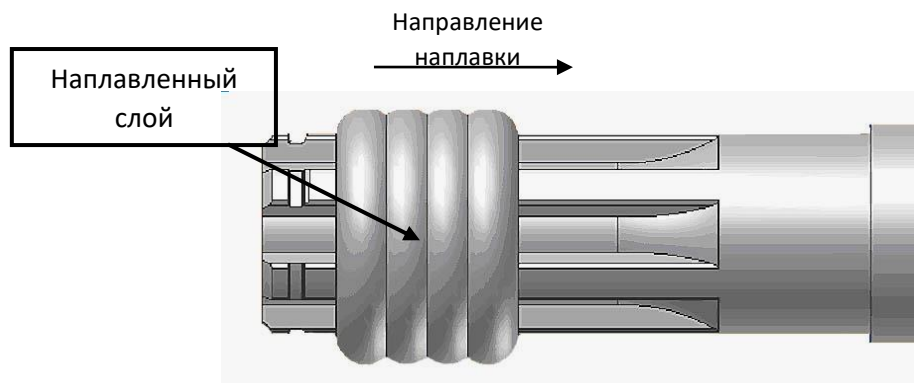
Оцінивши міцність зчеплення по наведеній вище залежності (3.2), отримали, що при нанесенні покриття проволокой Нп-30ХГСА міцність

забезпечується на рівні (700МПа. Рівень міцності матеріалу підкладки: сталь 45 - 600МПа.

Експериментальні дослідження на знос підтвердили достатню міцність зчеплення покриття з основою при випробуваннях, що моделюють умови експлуатації.

При оцінці мікротвердості в перехідній зоні за даними досліджень нанесення покриттів уздовж шліца отримали, що вона на 25-30% нижче, ніж при гвинтовому наплавленні зношених шліців за розробленою технологією.

Пропонований спосіб (см. рис. 3.9) скорочує витрати на відновлення, а технологічний процес обробки шліцьових валів забезпечує мінімальний рівень напруги. Для виконання поставленої мети проведено дослідження за оцінкою коефіцієнта витрати наплавлювальних матеріалів і визначений середній рівень напруги по коерцитивній силі (НС, А/см). Дані досліджень приведені в таблицю 3.13, 3.14.



Мал. 3.9 Схема наплавлення шліцьового валу

Витрата матеріалу при рекомендованому способі наплавлення в порівнянні з відомим, менше в $\approx 1,4$ разу.

Таблиця 3.13

Коефіцієнт витрати наплавлювальних матеріалів

Способи відновлення	Витрата наплавлювального матеріалу				Середній коефіцієнт
	1й шар	2й шар	3й шар	4й шар	
Відомий спосіб	1,0	2,0	3,0	4,0	2,5
Розроблений спосіб	1,0	1,6	2,1	2,5	1,8

Таблиця 3.14

Рівень коерцитивної сили, що характеризує напружений стан

Способи відновлення	1й шар	2й шар	3й шар	4й шар	Середнє значення
Відомий спосіб	11,2	11,3	11,9	12,2	11,65
Рекомендований спосіб	9,04	8,27	6,71	6,5	7,63

За даними таблиці. 3.14 рівень напруженого стану рекомендованого способу відновлення знижується на 39% від початкового значення - 9,04. Показано, що з кожним наступним шаром наплавлення, який проводиться за рекомендованою схемою, призводить до зниження напруги. Одночасно рівень напруги відомого способу, зростає на 10% від початкового 11,2. Середній рівень напруги рекомендованого способу в 1,5 разу менше в порівнянні з відомим.

З аналізованих найбільш стабільних властивостей набули при використанні дроту 1,2Нп-30ХГСА. Вона є доступною, технологічною в обробці і відносно недорогою.

Перед наплавленням знімали пошкоджений шар шліців так, щоб вони по висоті мали розмір не менше 20-30% від номінального. Це при наплавленні по гвинтовій лінії біля основи шліца дозволяє формувати порожнину, яка за рахунок релаксації напруги забезпечує мінімальний їх рівень. Надалі при остаточній механічній обробці і формуванні шліца вона віддаляється.

При наплавленні використовували наступні оптимальні параметри: сила зварювального струму 80-100А; зміщення електроду із zenіту 4-15мм; частота обертання валу 9-10 про/мін; крок наплавлення 1,3-1,5 мм/про; число проходів - не менше два; витрата дроту 0,138кг; споживання газу CO₂ на один вал -57,6л.

Наплавлення першого шару має бути не більш 1,5мм, а товщина покриття, як вказувалося в розділі 4, наступних шарів повинна збільшуватися на 40-60% кожного. Крім того, кожен наступний шар повинен перекривати попередній шар не менше чим на 1/3 його ширину. Такий підхід в обробці забезпечує плавне прогрівання деталі, запобіже утворенню тріщин і виключає необхідність супутнього підігрівання.

Після наплавлення і механічної обробки (фрезерування) оцінювали досягнутий рівень твердості в шліцьовій частині, який знаходився в межах 220-300НВ (середнє значення 277НВ). Це вимагає подальшого зміцнення робочої частини валу.

Для забезпечення заданого рівня твердості відновлені шліци піддавали загартуванню ТВЧ і відпустці. Досліджували температурний інтервал загартування ТВЧ 800-900°С, а відпустки 500-600°С. Аналізували вплив параметрів обробки на рівень твердості через кожні 10°С.

Дослідженнями показано, що найбільш стабільна твердість досягається в інтервалі температур загартування 830-850^oЗ (таблиця. 3.15).

Таблиця 3.15

Вплив параметрів обробки на стабільність і властивості при загартуванні

Температура загартування, ^o З	Рівень твердості в точках виміру HRC						Наявність дефектів
	1	2	3	4	5	6	
800							
810	50	49	47	49	47	46	-
820	49	51	53	48	53	50	-
830	52	54	54	53	56	54	-
840	58	58	59	58	59	60	-
850	59	58	59	59	61	59	-
860	59	60	60	63	61	61	-
870	61	63	62	60	60	61	-
880	62	63	64	63	63	65	-
890	61	64	63	62	64	65	Поява мікротріщин
900	66	65	62	65	65	64	Поява мікротріщин

При температурах загартування 890-900^oЗ окрім появи мікротріщин, відзначається і високий рівень напруги, який оцінювали по коерцитивної силі. Якщо при загартуванні 840^oЗ, рівень цієї характеристики не перевищував 23-28А/см, то при 900^oЗ - він досягав 30-34А/см. У першому випадку були відсутні і гартівні дефекти. Тому впливи параметрів відпустки вивчали після загартування при оптимальній температурі і достатній початковій твердості - 840^oС.

Відпустку здійснювали в печі (таблиця. 3.16).

З приведених даних видно, що оптимальними температурами відпустки є 500-560°C.

Для обґрунтування оптимальної технології відновлення шліцьового валу, був проведений контроль якості зразків відновлених також по двох інших порівнюваних технологіях. Як контроль була виконана оцінка напруженого стану деталі. Використовували коерцитиметр КРМ-Ц, цифровий напівавтоматичний.

Таблиця 3.16

Вплив температури відпустки на рівень твердості загартованих шліцьових частин валу

Температура відпустки, °C	Рівень твердості в точках виміру, HRC					
	1	2	3	4	5	6
500	52	51	53	53	54	52
510	50	50	51	50	50	51
520	50	51	51	50	50	50
530	51	50	50	51	51	51
540	52	51	52	50	50	50
550	50	52	52	51	51	51
560	50	49	50	50	49	51
570	51	48	48	50	49	50
580	47	49	47	47	48	49
590	48	47	49	47	47	48
600	49	46	47	48	48	48

Дослідження проводили на валах, відновлених за широко вживаною технологією (зварювання двох частин валу у стик), що передбачає заміну зношених шліцьових частин валу, а також технології наплавлення по гвинтовій лінії. При проведенні досліджень отримані дані були зведені в таблиці. 3.17, 3.18, 3.19. Заготівлі з металургійними дефектами не розглядалися.

Таблиця 3.17

Коэрцитивная сила валу, відновленого за технологією зварювання у стик

Частина валу, на якій проводилися виміри (см.рис. 3.3)	Значення НС, А/см			Середнє значення НС, А/см
Шліцьова частина I	22,1	22,1	20,6	21,6
Шліцьова частина II	26,5	27,3	26,6	26,8
Тіло - шліцьова частина I	16,7	17,7	19,6	18
Тіло - шліцьова частина II	20,1	19,7	19,9	19,9
Тіло біля шліцьової частини I	9,8	10,5	10,6	10,3
Тіло біля шліцьової частини II	10,0	10,7	12,0	10,9
Тіло валу	14,7	13,7	14,5	14,3
Примітка: *I -сопряжение валу приводе з конічною шестернею; *II -сопряжение валу приводе з переходною втулкою насоса				

Шліцьові частини валу із сталі 45 також піддавали загартуванню ТВЧ і відпустці. При цьому так і тогп дещо змінилися, оскільки в цій сталі вуглецю більше.

З отриманих даних видно, що в шліцьових частинах і перехідних зонах, відновленого валу за діючою технологією залишкова напруга вище в середньому по усіх зонах на 17,6%.

Запропонована технологія забезпечує мінімальний рівень напруги і необхідну твердість.

Експериментальні дослідження підтвердили виконані теоретичні розрахунки про мінімум напруги, що формується при відновленні шліцьових валів за рекомендованою технологією.

В результаті проведених досліджень дані рекомендації по параметрах обробки і показано, що вали, відновлені за запропонованою технологією відрізняються зниженим рівнем напруги, виключається поява тріщин при мінімальній витраті наплавлювальних матеріалів.

Таблиця 3.18

Коэрцитивная сила валу, відновленого за розробленою технологією (до загартування ТВЧ)

Частина валу, на якій проводилися виміри	Значение НС, А/см, А/см			Середнє, значення НС, А/см
Шліцьова частина I	8,1	7,4	8,0	7,83
Шліцьова частина II	6,6	7,2	7,3	7,03
Тіло - шлицевая часть I	7,1	6,9	7,2	7,06
Тіло - шлицевая часть II	6,8	6,7	7,0	6,83
Тіло валу	9,6	10,0	9,4	9,6
Примітка: *I -сопряжение валу привоу з конічною шестернею; *II - сопряжение валу привоу з перехідною втулкою насоса				

Таблиця 3.19

Коэрцитивная сила валу, відновленого за розробленою технологією (після загартування ТВЧ і відпустки)

Частина валу, на якій проводилися виміри	Значення, НС, А/см			Середнє Значення НС, А/см
Шліцьова частина I	21,8	22	22	21,93
Шліцьова частина II	22,2	21,6	22,4	22,06
Тело - шліцева частыI	9,8	10,1	9,4	9,4
Тело - шліцева частыII	9,2	9,3	10,1	9,76
Тіло валу	9,0	8,8	9,3	9,03
Примітка: *I -сопряжение валу приводе з конічною шестернею; *II - сопряжение валу приводе з перехідною втулкою насоса				

Висновки

1. Для оптимізації технології відновлення шліцьових частин валів запропоновано оцінювати вплив найбільш значущих чинників, які враховують матеріал валу і покриття, визначають рівень якості, методи, технологію і параметри обробки, рівень досягнутої напруги, а також довговічність деталей і витрати на їх ремонт.

Запропонована діаграма оптимізації технології відновлення шліцьових валів, взаємозв'язок цих чинників і складових параметрів, на основі яких визначений найбільш ефективний технологічний процес, що враховує.

3. Досліджена можливість застосування різних матеріалів для нанесення відновних покриттів.

Зіставлення покриттів нанесених з використанням високолегованої

порошкової композиції Пр-Х4Г2Р4С2Ф з різною добавкою Cr3C2 (до 50%) показали помітну відмінність у фазовому складі і зонах формованої структури, а також в рівні властивостей, що досягаються.

Встановлено, що із збільшенням добавки Cr3C2 від 33% до 50% зростає схильність покриттів до трещинообразованию і вифарбовування за рахунок формування значної долі легованого цементита.

Оцінка карбідів, виконана методом мікрорентгеноспектрального аналізу, показала, що легований цементит містить 12,0 - 13,5% Cr; 60,0 - 72% Fe; 0,13 - 0,47V; і до 4% Mn, а карбід типу Me23C6 : 43,0 - 48,0% Cr; 46,0 - 51% Fe; 0,5 - 0,8% V; і 3,6 - 4,1% Mn.

Твердість такого покриття істотно вище вимог ТУ (67-69 HRC).

4. Нанесення покриттів дротом Нп-30ХГСА по гвинтовій лінії з наступним загартуванням ТВЧ і відпусткою забезпечили вимоги ТУ по твердості не менше 62 HRC.

Таке покриття забезпечує хороше зчеплення з основою ($\sigma_{\text{У}} \geq 700 \text{ МПа}$).

5. Дослідження трьох варіантів технологічного процесу відновлення шліцьових валів : - нанесенням покриттів наплавленням уздовж зношеного шліца; - різанням і з'єднанням двох частин малозношених валів із збереженням шліцьових ділянок; - нанесенням покриттів наплавленням по гвинтовій лінії із спеціальними порожнинами (запропонована технологія), показало, що рекомендований метод, який захищений патентом відрізняється від двох відомих тим, що забезпечує зниження напруги при обробці на 17,6%.

6. Рекомендовані параметри наплавлення шліців в середовищі вуглекислого газу : сила зварювального струму 80-100А; напруга - 17-18В; швидкість подачі електродного дроту - 2,3-2,4 м/мін; виліт електроду - 8-10 мм; зміщення електроду із zenіту - 4-5 мм; швидкість обертання деталі - 9-10

про/мін; крок наплавлення - 1,3-1,5 мм/про; число проходів - не більше двох. При цьому витрата дроту складе - 0,138кг, а газу CO₂ - 57,6л (на один вал).

7. Досліджена зміна властивостей після відновлення шліців методом мікротвердості. Показано, що реалізація запропонованого методу відновлення шліців як при нанесенні покриття, так і в зоні термічного впливу після загартування і відпустки характеризується близькими значеннями, т.е. забезпечує однорідний робочий шар до глибини 500мкм. Такі ж показники характерні і для западин (зони між шліцами).

3.4. Характеристика, номенклатура і об`єм виробленої продукції.

На ділянці по відновленню деталей типу „вал” передбачається ремонт і відновлення валів.

Програма відновлення для розрахунку прийнята 1000 штук валів на рік, при однозмінній роботі. Об`єм роботи прийнято, виходячи з очікуваної кількості валів, які можуть надійти для відновлення. Кількість валів різного типу визначено пропорційно їх використанню.

3.5. Конструкторсько-ремонтна підготовка

3.5.1. Технічні вимоги на ремонт

По результатам досліджень уточнені технічні вимоги на відновлення валів.

Гладенькі і шліцьові вали, які надходять на відновлення, повинні відповідати вимогам ОСТ 70.000.9.003-84 „Здавання спрацьованих деталей на відновлення і видавання відновлених. Загальні технічні вимоги.” Вали, що мають тріщини і поломки бракують.

3.5.2 Ремонтний кресленик вала

Найхарактернішими дефектами валів є прогин, зминання або зривання різьби, спрацювання або зминання шпонкових пазів, тріщин і полонка, спрацювання посадочних поверхонь під підшипники, пошкодження установочних баз (центрових отворів).

Наявність дефектів циліндричних поверхонь контролюється мікрометром (ціна поділки 0,01мм) на штативі під час обертання валів у центрах токарного верстата або на призмах, знос конічних, фасонних та різьбових поверхонь – шаблонами та калібрами.

Найбільша повторюваність дефектів зовнішніх циліндричних поверхонь, причому у більшості деталей підлягають відновленню дві, а в деяких деталях 3 – 4 і навіть 5 циліндричних поверхонь.

У деталей даного класу технологічними базами є центрові отвори.

Перед відновленням центрові отвори перевіряють (візуально) і, при необхідності, виправляють центрувальним свердлом або зенківкою чи проточуванням різцем на токарному верстаті (деталь базується за найменш зношеною поверхнею).

У випадку відсутності центрових отворів базами є найменш зношені поверхні.

Ремонт валів здійснюється за таким технологічним маршрутом: миття, дефектація, виправлення центрових отворів, правка, наплавлення (шліців, посадочних місць, різьби, шпонкових пазів), нормалізацію СВЧ, правку, механічну обробку, загартування СВЧ з відпуском у печі, шліфування

(посадочних місць, шліців по зовнішньому діаметру), слюсарну обробку, миття, контроль, консервацію.

3.5.3. Технологічний процес ремонту

Технологічний процес розробляємо у вигляді маршрутної карти. Маршрутну карту позначаємо 10100.0007Р, (10 – вид документа – „маршрутна карта”; 4 – вид ТП по організації – одиничний; 00 – вид ТП по методу виконання – „без вказування”; 000 – порядковий номер реєстрації; 7 – код; Р – документ призначений для ремонту).

Технологічний процес викладений стрічками, кожна з яких починається одним із трьох службових символів. Використання символів повторюється при викладенні кожної нової операції в такій послідовності і з таким змістом:

1. „А” – номер і найменування операції, позначення використання ремонтного креслення, нарис ескізів або інших супутніх документів.

2. „Б” – найменування і шифр обладнання, код професії, розряд роботи (Р), код вид норми (УТ), кількість виконавців (КР), кількість одночасно оброблюваних деталей (ЕН), обсяг партії (ОП), норми часу ($T_{н.з.}$ і $T_{ум}$).

3. „Т” – номер і зміст переходу.

4. „Р” – інформація про режим.

5. „М” – інформація про матеріали, що використовуються при відновленні.

3.6. Організаційна підготовка виробництва. Проект ділянки по відновленню валів.

3.6.1. Загальна методика проектування ділянки по відновленню валів.

Проектування ділянки по відновленню валів ведеться в наступній послідовності:

- визначається виробнича програма ділянки;
- визначається річна трудомісткість ремонтних операцій;
- обґрунтовується організаційний режим роботи ділянки;
- розраховуються потрібні кількості працюючих, ремонтно-технологічного обладнання, виробничих площ;
- розробляється загальна компановка та технологічна планіровка обладнання ділянок.

Річна програма ділянки визначається за об'ємом ремонтного фонду.

Річна трудомісткість ремонтних робіт розраховується згідно з маршрутними та операційними картами.

Організаційний режим ділянки визначається по відомим методикам [3].

Потрібна кількість працюючих, обладнання та виробничі площі розраховуються згідно прийнятих нормативів [3].

Загальна компановка та технологічна планіровка обладнання ділянки розробляється з урахуванням вимог технологічного процесу та раціональної організації праці [3].

3.6.2. Річна програма та тип виробництва

Річна програма ділянки відновлення валів приймається з розрахунків оптимального коефіцієнту завантаження обладнання, виконаних в бакалаврській роботі і становить 1000 валів.

За такої річної програми тип виробництва можна рахувати дрібносерійним.

Аналогічні розрахунки передбачаємо і для нашого проекту.

3.6.3. Трудомісткість ремонтних операцій по відновленню валів.

Трудомісткість (штучно-калькуляційний час) виконання операції технологічного процесу відновлення деталей типу „вал”, визначається за формулою:

$$t = t_o + t_b + t_{дон} + \frac{t_{н.з.}}{n}; \quad (2.1)$$

де, t_o - основний час, хв.;

t_b - додатковий час, хв.;

$t_{дон}$ - допоміжний час, хв.;

$t_{н.з.}$ - підготовчо-заключний час, хв.;

n - кількість деталей, шт.

Результати розрахувань наведені в таблиці 3.20.

Таблиця 3.20.

Штучно-калькуляційний час виконання операцій технології відновлення валів.

Найменування операції	Штучно-калькуляційний час, хв.
1. Транспортні роботи	5

2. Очищення	10
3. Дефектація	10
4. Відновлення центрових отворів	20
5. Правка	10
6. Наплавлення	50
7. Нормалізація	20
8. Механічна обробка	20
9. Гартування на СВЧ	20
10. Відпуск	20
11. Шліфування	20
12. Слюсарна обробка	20
13. Контроль якості	20
	10

3.6.4. Організаційний режим роботи дільниці

Число робочих днів за рік – 253 дні, при 40 годинному тиждні. Робота дільниці передбачена в одну зміну, що складає 8,2 години.

Такт відновлення валів визначається за формулою:

$$r = \frac{\Phi}{N} = \frac{2030}{1000} = 2.03 \text{ год} \quad (2.2)$$

де, r - такт випуску, год;

Φ - дійсний річний фонд часу обладнання, год ($\Phi = 2030 \text{ год}$);

N - річна програма відновлення валів, шт ($N = 1000\text{шт}$).

Змінна продуктивність визначається за формулою:

$$n = \frac{T}{r} = \frac{8.2}{2.03} = 4\text{шт/зм} \quad (2.3)$$

де, n - змінна продуктивність, шт/зм

T - час зміни, ($T = 8.2\text{год}$).

3.6.5. Розрахунок кількості робітників.

Кількість основних робітників визначається за формулою:

явочна кількість робочих $m_{\text{я}} = \frac{T_{\text{р}}}{\Phi_{\text{н}}}$;

списочна кількість робочих $m_{\text{с}} = \frac{T_{\text{р}}}{\Phi_{\text{д}}}$,

де $T_{\text{р}}$ – річний обсяг робіт в розрізі операцій;

$\Phi_{\text{н}}$, $\Phi_{\text{д}}$ – номінальний і дійсний фонди часу робочого [3].

$$H_{\text{o.b.p.}} = \frac{T}{\Phi_{\text{з}}} = \frac{1958.33}{1840} = 1.06\text{чол} \quad (2.4.)$$

приймаємо одного робітника.

3.6.6. Розрахунок площі ділянки.

Площа виробничої ділянки розраховується згідно площі, яку займає обладнання із використанням перехідних коефіцієнтів за формулою:

$$F = \sum_1^n F_{обл.} \cdot K_n; \quad (2.5)$$

де, $F_{обл.}$ - площа обладнання, m^2

K_n - перехідний коефіцієнт, враховуючий робочі зони та переходи.

Технічна характеристика, розміри технологічного обладнання та дані розрахунків наведені в таблиці 3.21.

Таблиця 3.

Зведені дані розрахунку площі ділянки

Найменування	Площа облад. , m^2	Перехідний коефіцієнт	Площа розрахункова, m^2	Приймаємо , m^2
1. Машина для очищення	4	2.5	10	10
2. Стіл монтажний				
3. Вертикально- свердильний станок	1.6 3	3 2.3	4.8 6.9	5 7
4. Прес				
5. Сварочний				

апарат		2	6	6
6. Установка СВЧ	3	3.9	3.9	4
7. Токарно-гвинторізний верстат	1.0			
		2.3	9.66	10
	4.2	2	6.4	7
	3.2			
8. Фрезерний верстат	3.3	2.1	6.8	7
9. Шліфувальний верстат	3.2	2.1	6.8	7

3.6.7. Технологічне планування ділянки

Планування ділянки по відновленню валів розроблено з урахуванням забезпечення поточності виробництва. Прийнята планіровка виключає зустрічні і поперечні потоки об'єкта виробництва. Технологічний процес починається з миття, яке здійснюється на робочому місці, дефектування, відновлення та зміцнення.

Робота РТО і виробничих робітників пов'язується підлоговим конвейєром, за допомогою якого вали подаються на відповідні робочі місця. Застосування конвейєра значно економить робочий час на транспортування деталей та скорочує витрати часу на підйомно-розвантажувальні роботи. Вали на ділянку відновлення надходять в спеціальних контейнерах – сортовиках.

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОБОТИ.

Для оцінки проекту розраховуємо та порівнюємо наступні показники:

- капітальні вкладення (основні та додаткові);
- продуктивність праці;
- економічний ефект;
- строк окупності додаткових капітальних вкладень.

4.1. Визначення капіталовкладень в основні фонди

Вартість основних фондів ремонтної ділянки розраховують за формулою:

$$C_o = C_{б\ddot{y}д} + C_{об} + C_{ін} \quad (4.1)$$

де Сб\ddot{y}д- вартість будівлі ділянки, грн.;

Соб - вартість встановленого обладнання, грн.;

Сін - вартість інструменту, приладів, пристосувань (штучна вартість, яких перевищує 100грн.) без обмеження строку роботи. Вартість будівлі:

$$C_{\delta} = C'_{\delta} + S, \text{ грн.} \quad (4.2)$$

де: C'_{δ} - середня вартість будівельно-монтажних робіт, віднесена до 1 м^2 .,

$$\text{грн/м}^2 . C'_{\delta} = 750 \text{ грн/м}^2 .$$

S - площа ділянки, м^2 .

$$C_{\delta} = 750 \cdot 63 = 47250 \text{ грн};$$

Вартість встановленого обладнання через питомий показник рівня 40% вартості будівлі:

$$C_{об} = 0,4 \cdot 47250 = 18900 \text{ грн};$$

Вартість інструменту, приладів, пристосувань складає 7,5% від вартості обладнання:

$$C_{ін} = 0,075 \cdot 18900 = 1417 \text{ грн};$$

Вартість основних фондів дорівнює:

$$C_0 = 47250 + 18900 + 1417 = 67567 \text{ грн};$$

Основні фонди до реконструкції складають 303344 грн. Додаткові капіталовкладення:

$$\Delta K = C_0 + C'_0 = 67567,15 + 303344 = 370911 \text{ грн.}$$

4.2 Розрахунок собівартості ремонту однієї деталі типу “вал”

Собівартість ремонту однієї деталі типу “вал” визначають за формулою:

$$C_B = C_{з.п.} + C_H + C_{п.в.} + C_{ін}, \text{ грн}; \quad (4.3)$$

де: $C_{з.п.}$ - заробітна плата робочих з нарахуванням, грн.;

C_H - позавиробничі витрати, грн.;

$C_{ін}$ - інші витрати (на воду, мийні рідини, стиснуте повітря), грн.;

Структура заробітної плати має такий вигляд:

$$C_{з.п.} = C_{о.з.п.} + C_{д.з.п.} + C_{н.з.}, \text{ грн}; \quad (4.4)$$

де: $C_{о.з.п.}$ - основна заробітна плата, грн.;

$C_{д.з.п.}$ - допоміжна заробітна плата, грн.;

$C_{н.з.}$ - нарахування на заробітну плату, грн.;

Основна заробітна плата розраховується за формулою:

$$C_{о.з.п.} = \frac{C_{год}}{100} \cdot T_n, \text{ грн}; \quad (4.5)$$

де: $C_{год}$ - середня тарифна ставка робітника;

T_n - норма часу на ремонт деталей типу “вал”;

$$C_{o.z.p.} = \frac{58}{100} \cdot 3,92 = 2,27, \text{ грн};$$

Додаткова заробітна плата становить 80% від основної.

$$\text{Сд.з.п.} = (0.05 \dots 0.08) C_{o.z.p.} \text{ грн.};$$

$$\text{Сд.з.п.} = 0.07 \cdot 2.97 = 0.16 \text{ грн};$$

Нарахування на заробітну плату визначаємо за формулою:

$$\text{Сн.з.п.} = 52\% (C_{o.z.p.} + \text{Сд.з.п.}), \text{ грн.};$$

$$\text{СН.З.П} = 0,52(2,27 + 0,16) = 1,26, \text{ грн.};$$

Отже заробітна плата буде становити:

$$\text{Сз.п.} = 22,7 + 1,6 + 12,6 = 36,9, \text{ грн.};$$

Інші витрати будуть становити: $\text{Сін} = 245$ грн;

Прямі витрати на ремонт деталей типу “вал” становлять:

$$P_v = C_{з.п} + C_{ін}, \text{грн.;} \quad (4.6)$$

$$P_v = 36,9 + 211 = 248 \text{ грн.};$$

Накладні витрати ремонтного відділення будуть становити:

$$C_{н.в} = C_{зп}(K_c + K_з), \text{грн.;} \quad (4.7)$$

де: K_c - коефіцієнт для визначення цехових накладних витрат;

$K_з$ - коефіцієнт для визначення заводських накладних витрат;

$$C_{н.в.} = 36,9(0,85 + 0,5) = 49,8, \text{ грн.};$$

Позавиробничі витрати:

$$C_{п.в.} = 2\%(P_v + НВ), \text{ грн.;} \quad (4.8)$$

$$C_{п.в.} = 0,02(248 + 49,8) = 50,74 \text{ грн.};$$

Тоді собівартість ремонту однієї деталі типу “вал” становитиме:

$$C_{\text{в}} = C_{\text{з.п.}} + C_{\text{н.в.}} + C_{\text{п.в.}} + C_{\text{ін}}, \text{ грн}; \quad (4.9)$$

$$C_{\text{в}} = 36,9 + 49,8 + 50,7 + 245 = 387,74 \text{ грн.}$$

Визначаємо повну собівартість ремонту за рік:

$$C_{\text{р}} = C_{\text{в}} * 1000, \text{ грн.}; \quad (4.10)$$

$$C_{\text{р}} = 387 * 1000 = 387740 \text{ грн.};$$

4.3. Визначення річної оптової ціни

Для визначення річної оптової ціни необхідно врахувати відрахування:

- відрахування на науку;
- накопичення;
- податок на добавочну вартість.

Відрахування на науку становлять:

$$C_{\text{науки}} = 1\% C_{\text{в}}, \text{ грн.}; \quad (4.11)$$

$$C_{\text{науки}} = 0,01 * 387,74 = 38,8 \text{ грн.};$$

Накопичення буде становити:

$$C_{\text{нак}} = 20\% (C_{\text{в}} + C_{\text{науки}}), \text{ грн.}; \quad (4.12)$$

$$C_{\text{нак}}=0,2(387,74+38,8)=82 \text{ грн.};$$

ПДВ становить:

$$\text{ПДВ}=20\%(C_{\text{в}}+ C_{\text{науки}} +C_{\text{нак}}), \text{ грн.}; \quad (4.13)$$

$$\text{ПДВ}=0,2(387,74+38,8+82)=92,7\text{грн.};$$

Звідки оптова ціна буде становити:

$$C_{\text{опт}}= C_{\text{в}}+ C_{\text{науки}}+C_{\text{нак}}+C_{\text{пдв}} , \text{ грн.}; \quad (4.14)$$

$$C_{\text{опт}}=387,74+38,8+82+92,7=576,29, \text{грн.};$$

Визначаємо річну програму в оптових цінах:

$$C_{\text{опт.р.}}=576,29 * 1000=576290, \text{ грн.};$$

4.4. Коефіцієнт фондівдачі

Коефіцієнт фондівдачі визначаємо за формулою:

$$K_{\phi} = \frac{C_{\text{онт.р.}}}{C_{\text{оф}}}; \quad (4.15)$$

$$K_{\phi} = \frac{576290}{128700} = 3,9;$$

4.5. Продуктивність праці на одного працюючого

Розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{пр}} = \frac{C_{\text{онт.р.}}}{H_{\text{роб}}}, \text{ грн}; \quad B_{\text{пр}} = \frac{576290}{1} = 576290, \text{ грн}; \quad (4.16)$$

де: $H_{\text{роб}}$ - кількість робочих в ремонтному відділенні, чол.;

4.6. Випуск продукції на 1 м² площі

Розраховуємо за формулою:

$$\Phi_{\text{н}} = \frac{C_{\text{онт.р.}}}{A_{\text{д}}}, \text{ грн}; \quad (4.17)$$

де $A_{\text{д}}$ - площа відділення, м² ;

$$\Phi_{\text{н}} = \frac{576290}{63} = 8135,75 \text{ грн.};$$

4.7. Визначення величини річної економії

$$\epsilon_p = (C_{опт} - C_v) * N_b, \text{ грн.}; \quad (4.18)$$

$$\epsilon_p = (576,29 - 458,74) * 1000 = 117550 \text{ грн.};$$

4.8. Річний економічний ефект

Визначаємо за формулою:

$$\epsilon = \epsilon_p - C_{оф} * E, \text{ грн.}; \quad (4.19)$$

Приймаємо $E = 0,18$;

$$\epsilon = 117550 - 0,18 * 128700 = 112384, \text{ грн.}$$

4.9. Окупність капіталовкладень

$$T = \frac{C_{оф}}{\epsilon} = 1,09 \text{ років.}$$

Дані розрахунків зводимо в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1

Найменування	Значення
--------------	----------

Основні фонди, грн.	67567
Загальна площа, м ²	63
Загальна кількість працюючих, чол.	1
Річний випуск продукції:	
у натуральному обчисленні, шт.	1000
у оптових цінах, грн.	576290
Випуск продукції на 1 м ² площі, грн.	8135
Собівартість продукції, грн.	387740
Коефіцієнт фондівдачі	3,9
Продуктивність праці у розрахунку на одного працюючого, грн.	576290
Річний економічний ефект, грн.	112384
Окупність капіталовкладень, рік	1,09

Техніко-економічні показники

ВИСНОВКИ

Метою даної магістерської роботи була розробка технологічного процесу відновлення шліцьових валів.

Для оптимізації технології відновлення шліцьових частин валів запропоновано оцінювати вплив найбільш значущих чинників, які враховують матеріал валу і покриття, визначають рівень якості, методи, технологію і

параметри обробки, рівень досягнутої напруги, а також довговічність деталей і витрати на їх ремонт.

Запропонована діаграма оптимізації технології відновлення шліцьових валів, взаємозв'язок цих чинників і складових параметрів, на основі яких визначений найбільш ефективний технологічний процес, що враховує.

Досліджена можливість застосування різних матеріалів для нанесення відновних покриттів.

Зіставлення покриттів нанесених з використанням високолегованої порошкової композиції Пр-Х4Г2Р4С2Ф з різною добавкою Cr3C2 (до 50%) показали помітну відмінність у фазовому складі і зонах формованої структури, а також в рівні властивостей, що досягаються.

Встановлено, що із збільшенням добавки Cr3C2 від 33% до 50% зростає схильність покриттів до трещинообразованию і вифарбовування за рахунок формування значної долі легovanого цементита.

Оцінка карбідів, виконана методом мікрорентгеноспектрального аналізу, показала, що легований цементит містить 12,0 - 13,5% Cr; 60,0 - 72% Fe; 0,13 - 0,47V; і до 4% Mn, а карбід типу Me23C6 : 43,0 - 48,0% Cr; 46,0 - 51% Fe; 0,5 - 0,8% V; і 3,6 - 4,1% Mn.

Твердість такого покриття істотно вище вимог ТУ (67-69 HRC).

Нанесення покриттів дротом Нп-30ХГСА по гвинтовій лінії з наступним загартуванням ТВЧ і відпусткою забезпечили вимоги ТУ по твердості не менше 62 HRC.

Таке покриття забезпечує хороше зчеплення з основою ($\sigma_{\text{У}} \geq 700 \text{ МПа}$).

Дослідження трьох варіантів технологічного процесу відновлення шліцьових валів : - нанесенням покриттів наплавленням уздовж зношеного шліца; - різанням

і з'єднанням двох частин малозношених валів із збереженням шліцьових ділянок;
- нанесенням покриттів наплавленням по гвинтовій лінії із спеціальними порожнинами (запропонована технологія), показало, що рекомендований метод, який захищений патентом відрізняється від двох відомих тим, що забезпечує зниження напруги при обробці на 17,6%.

Рекомендовані параметри наплавлення шліців в середовищі вуглекислого газу : сила зварювального струму 80-100А; напруга - 17-18В; швидкість подачі електродного дроту - 2,3-2,4 м/мін; виліт електроду - 8-10 мм; зміщення електроду із zenіту - 4-5 мм; швидкість обертання деталі - 9-10 про/мін; крок наплавлення - 1,3-1,5 мм/про; число проходів - не більше двох. При цьому витрата дроту складе - 0,138кг, а газу CO₂ - 57,6л (на один вал).

Досліджена зміна властивостей після відновлення шліців методом мікротвердості. Показано, що реалізація запропонованого методу відновлення шліців як при нанесенні покриття, так і в зоні термічного впливу після загартування і відпустки характеризується близькими значеннями, т.е. забезпечує однорідний робочий шар до глибини 500мкм. Такі ж показники характерні і для западин (зони між шліцями)

Розраховано техніко-економічні показники на основі балансової вартості обладнання для відновлення валів та вартості приміщення і матеріалів для відновлення, які показали, що розроблений технологічний процес на базі гартувальної установки ефективний.

