



ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА ТА ТРАНСПОРТУ

КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»



КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

«Підвищення технічного ресурсу гідронасосів сільськогосподарських
машин використанням триботехнічних методів на базі ТОВ «Калита-
Нова» м. Кропивницький»

Виконав:

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

Керівник:

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

«ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри:

Б.Т.Н., доцент _____ Сергій МАГОПЕЦЬ
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2023 р.

Рецензент:

_____ (підпис) _____ (ім'я та прізвище)
«__» _____ 2023 р.

Кропивницький – 2023 р.

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА ТА ТРАНСПОРТУ
КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

Рівень вищої освіти: другий (магістерський) рівень вищої освіти

Галузь знань: 20 «Аграрні науки та продовольство»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

Освітньо-професійна програма: «Технічний сервіс сільськогосподарської техніки»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри «Експлуатація та
ремонт машин»

_____ Сергій МАГОПЕЦЬ

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

Калиновського Михайла Олексійовича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Підвищення технічного ресурсу гідронасосів сільськогосподарських машин використанням триботехнічних методів на базі ТОВ «Калита-Нова» м. Кропивницький»

керівник роботи Шепеленко Ігор Віталійович,

д.т.н.

професор

(прізвище, ім'я, по батькові)

(науковий ступінь)

(вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «04» 08 2023 року №42-13

2. Строк подання здобувачем роботи «22» грудня 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи Матеріали науково-дослідної практики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

4.1 Розділ 1. Історія створення ТОВ «Калита-Нова». Обґрунтування теми магістерської роботи. Висновки по розділу 1.

4.2 Розділ 2. Особливості конструкції шестеренних гідронасосів. Припрацювання з'єднань гідронасосів та шляхи їх покращення. Існуючі методи обробки цапф шестерень гідронасосів. Сутність фінішної антифрикційної безабразивної обробки. Механізм утворення покриття при ФАБО. Особливості процесу ФАБО. Висновки по розділу 2.

4.3 Розділ 3. Відновлення деталей фінішною антифрикційною безабразивною обробкою. Обладнання для відновлення деталі. Оптимізація режимів ФАБО. Дослідження припрацювання поверхні після ФАБО. Дослідження зносостійкості поверхні після ФАБО. Дослідження зносостійкості поверхні після ФАБО. Висновки по розділу 3.

4.4 Розділ 4. Розрахунок економічного ефекту від впровадження технології ФАБО. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів при ремонті агрегатів. Висновки по розділу 4.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: Ремонте креслення шестерні веденої. Класифікація методів фінішної обробки цапф шестерень. Схема ФАБО. Продуктивність основних способів ФАБО. Графіки залежності зношування з'єднання від режимів ФАБО. Залежність тривалості припрацювання з'єднання від геометричних параметрів поверхні. Порівняльні діаграма тривалості припрацювання, інтенсивності зношування при різних способах обробки деталі. Дослідження зносостійкості поверхні після ФАБО. Результати стендових випробувань.

ГРАФІК ВИКОНАННЯ ЕТАПІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

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

Магістрант _____
(підпис)

Калиновський М.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Ігор ШЕПЕЛЕНКО
(ім'я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна магістерська робота присвячена підвищенню технічного ресурсу гідронасосів вантажних автомобілів використанням триботехнічних методів.

Метою представленої роботи є підвищення довговічності з'єднання «цапфа шестерні – втулка» гідронасосу вантажного автомобіля.

Об'єкт дослідження – триботехнічні методи відновлення деталей гідронасоса вантажних автомобілів.

Предметом дослідження є встановлення закономірностей впливу процесу ФАБО на підвищення довговічності з'єднання «цапфа шестерні – втулка» гідронасосу вантажного автомобіля.

Показано, що одним з резервів підвищення його ресурсу є скорочення періоду припрацювання з'єднань «цапфа - підшипникова обойма» і «цапфа - підтиска обійма». Це можна досягти використанням технологічних методів обробки деталей. Доведено, доцільність у технологічний процес цапфи шестерні обробки фінішної операції, а саме, фінішної антифрикційної безабразивної обробки поверхні.

Розроблено технологічний процес відновлення цапфи шестерні з використанням операції ФАБО. Визначені оптимальні режими обробки.

Доведено, що використання ФАБО цапф шестерен дозволяє значно покращити триботехнічні властивості.

Стендові випробування засвідчили ефективність ФАБО. Скорочення періоду припрацювання з'єднань цапфа шестерні – втулка призводить до зменшення зносу, стабілізації зазору в з'єднанні, що в підсумку збільшує технічний ресурс гідронасоса в процесі експлуатації.

Кваліфікаційна магістерська робота складається з вступу, 4 розділів, висновків; містить 70 сторінок тексту, 32 рисунків, 11 таблиць.

ЗМІСТ

стор.

ВСТУП.....

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

1.1. ТОВ «Калита-Нова»: етапи створення, сьогодення

1.2. Обґрунтування теми магістерської роботи.....

1.5. Висновки по розділу 1.....

РОЗДІЛ 2. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Особливості конструкції шестеренних гідронасосів

2.2. Припрацювання з'єднань гідронасосів та шляхи їх покращення

2.3. Існуючі методи обробки цапф шестерень гідронасосів ...

2.4. Сутність фінішної антифрикційної безабразивної обробки ...

2.5. Механізм утворення покриття при ФАБО.....

2.6. Особливості процесу ФАБО.....

2.7. Висновки по розділу 2.....

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Відновлення деталей фінішною антифрикційною безабразивною
обробкою

3.2. Обладнання для відновлення деталі

3.3. Оптимізація режимів ФАБО

3.4. Дослідження припрацювання поверхні після ФАБО

3.5. Дослідження зносостійкості поверхні після ФАБО

3.6. Проведення стендових випробувань

3.7. Висновки по розділу 3

РОЗДІЛ 4. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ

**ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ РЕМОНТІ
АГРЕГАТІВ**

4.1. Розрахунок економічного ефекту від впровадження технології ФАБО

4.2. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів при ремонті
агрегатів

4.3. Висновки по розділу 4.....

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....

Важливою складовою машин і обладнання є гідравлічна система, виконання заданих функцій якої забезпечується шестеренним гідронасосом. Особливу роль у конструкції гідронасоса посідає з'єднання «цапфа шестерні – обойма», що вимагає високої точності обробки. Наявні технології під час виготовлення та відновлення деталей цього з'єднання вимагають тривалого періоду припрацювання з метою підвищення технічного ресурсу гідронасосів [1].

До останнього часу основним напрямком у роботі зі зменшення зношування і тертя було підвищення твердості поверхонь деталей машин. Розроблено багато методів підвищення твердості деталей, що працюють на зношування і тертя.

Для забезпечення високої несучої здатності контактуючих поверхонь все більше поширення знаходить фінішна антифрикційна безабразивна обробка (ФАБО) поверхонь тертя деталей [2].

Властивості ФАБО скорочувати період припрацювання з'єднання можна ефективно використати для підвищення зносостійкості деталей, в тому числі деталей гідронасосу. Це дозволить підвищити надійність вузла та підвищити технічний ресурс гідронасосів вантажних автомобілів.

До недоліків традиційного технологічного процесу ФАБО слід віднести низьку продуктивність, часту заміну прутка через його нерівномірне зношування.

Підвищити продуктивність латунювання можна за рахунок зміни кінематики руху інструменту, наприклад, збільшення швидкостей відносного переміщення інструмента – деталь і створенням поздовжньої осциляції інструмента в процесі ФАБО. Це дозволить прискорити процеси нанесення антифрикційних покриттів, не знижуючи якості самого процесу.

Таким чином, технологію ФАБО можна з успіхом використати для підвищення довговічності з'єднання «цапфа шестерні – втулка» гідронасосу вантажного автомобіля.

РОЗДІЛ 1. ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВА

ТОВ «КАЛИТА-НОВА» ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕМИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

1.1. ТОВ «Калита-Нова»: етапи створення, сьогодення

Науково-виробнича фірма «Калита» зареєстрована 15 листопада 1993 року в формі ТОВ. Початковою спеціалізацією роботи підприємства було відновлення колінчастих валів методом електродугового напилення.

У 1994 році підприємство заключило угоду з Державним Інноваційним фондом про впровадження інноваційного проекту: «Технологія відновлення колінчастих валів електродуговим напиленням композиційними покриттями». Проект було впроваджено за шість місяців; вже через місяць підприємство вийшло на проектну потужність.

Наприкінці 1994 року на підприємстві почалися роботи по впровадженню лінії відновлення блоків циліндрів двигунів внутрішнього згорання. Для цього було придбано та введено в експлуатацію розточувальне обладнання та розроблено технологію хонінгування циліндрів із застосуванням прогресивного інструменту: алмазних різців та алмазних хонінгувальних брусків.

З 1995 року на підприємстві впроваджено:

- дільницю по ремонту головок блоків циліндрів двигунів;
- нову технологію відновлення розподільчих валів безвтулковим способом спряження (для автомобілів «Москвич», «ГАЗ – 2410», ВАЗ тощо).

В 1997 році на підприємстві впроваджено дільницю по ремонту паливної апаратури та розширюється спеціалізація по відновленню пар тертя деталей машин, встановлено універсальний координатно-розточувальний верстат особливої точності, що дозволило проводити відновлення різноманітних корпусних деталей, а також спряжень типу вал – втулка.

У 1998 році на підприємстві модернізовано технологію ремонту головок блоків циліндрів двигунів із застосуванням новітньої технології фірми “NEWAY”; впроваджується відділ по ремонту карбюраторів ДВЗ із сучасним

технологічним обладнанням, яке дозволяє імітувати роботу карбюраторів в умовах близьких до умов реальної роботи двигуна.

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

Новою віхою розвитку у створення підприємства стало реорганізація підприємства ТОВ «Калита-Нова». На сьогодні «підприємство ТОВ «Калита-Нова» відноситься до автосервісних підприємств, що виконують функції, пов'язані з підтриманням автомобілів в справному технічному стані. Основним видом діяльності організації є технічне обслуговування та ремонт автотранспортних засобів. Проходячи практику на такому підприємстві здобувачі вищої освіти мають можливість побачити окремі технології ТО і ремонту автомобілів, а також закріпити теоретичні знання, отриманні під час навчання. Матеріально-технічна база підприємства дозволяє виконувати ремонт базових деталей автомобілів» (рис.1.1) [3].



a)



б)



в)

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

1.2. Обґрунтування теми магістерської роботи

Досвід експлуатації шестеренних насосів типу НШ у гідравлічних системах автомобілів, тракторів і металорізальних верстатів показує, що конструкцію цих насосів відрізняє простота і вони не вимагають протягом усього терміну служби ремонтних впливів. Це пояснюється їх надійною роботою, у порівнянні з іншими типами насосів у тяжких умовах, простотою конструкції і технічного обслуговування, малими габаритами та вагою.

Гідронасоси шестерінчасті конструктивного виконання «А» (що дістали назву «круглі») призначені для роботи в гідросистемах машин, що експлуатуються в сільському господарстві, на будівництві, у важких кліматичних умовах і в умовах великої запиленості. Зведення до мінімуму гідравлічних навантажень на корпусні деталі, забезпечення комфортних умов роботи підшипників ковзання, розміщення їх в монолітному блоці, дає можливість гідронасосам серії «А» витримувати великі гідравлічні навантаження і мати високі експлуатаційні показники.

Технічні характеристики шестеренних гідронасосів виконання «А» приведені в табл. [4]. Насоси аналогічні по конструктивному виконанню, але відрізняються розмірами корпусів і деталей, а також конструкцією приєднувальних місць. При різному номінальному робочому об'ємі є однаковими (чи близькими) за значенням наступні параметри: частота обертання, коефіцієнт подання і ККД.

Шестеренний гідронасос виконання «А» (рис.1.2) має алюмінієвий корпус 1, усередині якого знаходиться циліндричний колодязь, де розміщений гойдаючий вузол. У дні корпусу є отвір для приводного валу. Із зовнішнього боку в цей отвір запресована манжета для ущільнення провідного валу, а з внутрішньою - центруюча сталеві втулка, яка виступає усередині корпусу на 4 мм і перешкоджає прокручуванню гойдаючого вузла в процесі роботи. Цей вузол включає - ведучу 4 і ведену 5 шестерень, підшипникову 2 і підтискну 3 обійми, два платика 7.

У корпусі (усередині) зроблено гніздо для манжети і конічні поглиблення, які утворюють камери осьового підтиску. Олія під тиском підходить в камери осьового підтиску із зони високого тиску через отвори.

Таблиця 1.1 - Технічна характеристика шестерінчастих гідронасосів [4]

Показник	НШ32А-3	НШ50А-3	НШ71А-3	НШ100А-3	НШ250А-4
Робочий об'єм, см ³	31,5	48,8	69	98,8	244,8
Тиск нагнітання, МПа					
– номінальний	16	16	16	16	16
– максимальний	20	20	20	20	20
Номінальна подача, дм ³ /с	0,93	1,45	1,60	2,32	5,75
Частота обертання валу насоса при номінальному тиску, с ⁻¹					
– мінімальна	16	16	16	16	16
– номінальна	32	32	25	25	25
– максимальна	40	40	33,3	33,3	33,3
Об'ємний ККД	0,92	0,83	0,85	0,85	0,85
Споживана потужність, кВт	17,6	27,2	28,4	42,8	106
Маса, кг	6,8	7,47	17,5	17,6	45,3

Всмоктуюче і напірне отвори корпусу мають однаковий діаметр. Манжета радіального ущільнення формує камеру тиску, в якій створюється зусилля підтиску обойми до зубів шестерні. Опорна пластина служить для перекриття проміжку між корпусом 1 і підтискною обоймою 3. У міру зношування опорних поверхонь обойма компенсує радіальний проміжок між своєю ущільнюючою поверхнею і зубами.

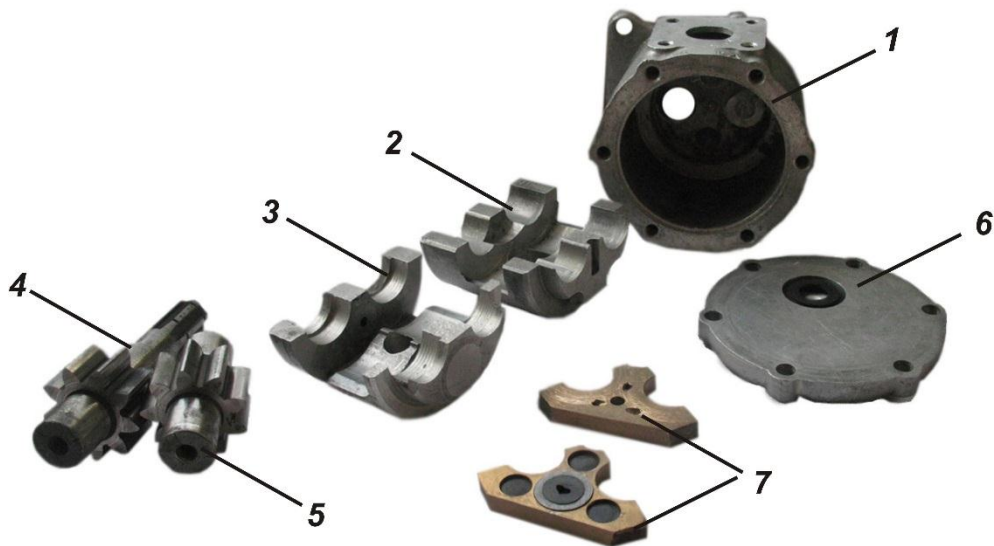


Рис.1.2. Основні деталі шестеренного гідронасоса НШ50А-3 : 1 - корпус; 2 - підшипникова обойма; 3 - підтискна обойма; 4 - провідна шестерня; 5 - ведена шестерня; 6 - кришка; 7 - платики.

Підшипникова обойма 2 виконана у вигляді напівциліндра з чотирма підшипниковими гніздами, де обертаються ведуча 4 і ведена 5 шестерень. Радіальне ущільнення досягається за допомогою підтискної обойми 3, що є другою половиною підшипникової обойми. Своїми опорними поверхнями обойма спирається на цапфи шестерень. Ущільнення торців шестерень досягається за допомогою двох платиків 7, які підтискаються зусиллям тиску з камер, обмежених манжетами. Сила, що створюється в камерах корпусу і кришки, урівноважує підтискну обойму від сил, що передаються через манжети з камер платиків 7. Увесь механізм насоса закривається кришкою 6. Круглий насос нереверсивний, може бути наповнений або правим, або лівим обертанням. Усі шестерінчасті гідронасоси можуть працювати в режимі гідромотора.

Таким чином, шестерінчасті гідронасоси конструктивного виконання «А» знайшли широке поширення в гідросистемах машин і устаткування завдяки:

- надійності роботи в умовах знакозмінних механічних і теплових навантажень, високих забруднень і агресивних середовищ;
- простотою технічного обслуговування;

- відносно невисокою вартістю.

Деталі гойдаючого вузла насосів гідравлічних систем (рис.1.3) є основними і зношуються найбільше (по гідронасосу НШ50А - 3, знос складає 29 % [5] від загального числа зношених деталей). Це знижує довговічність шестеренних гідронасосів. До рухомих з'єднань, деталі яких працюють в умовах тертя ковзання, слід віднести:

1. Цапфи шестерень - підшипникова обойма.
2. Цапфи шестерень - підтискна обойма.
3. Цапфи шестерень - платики.

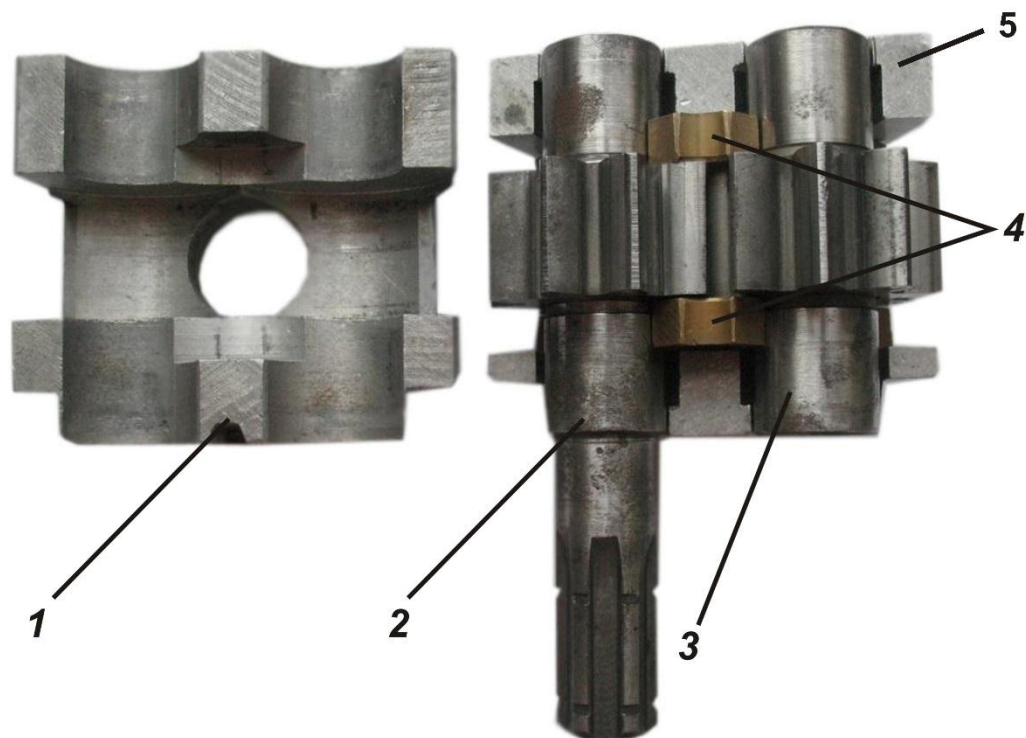


Рис.1.3. Гойдаючий вузол шестеренного гідронасоса у зборі: 1 - підшипникова обойма; 2 - провідна шестерня; 3 - ведена шестерня; 4 - платики; 5 - підтискна обойма.

Особливістю цих з'єднань є наявність сталевого термічно обробленого шліфованого валу і опорного підшипника ковзання (обойми) з м'якого антифрикційного матеріалу. Від фінішної обробки валів значною мірою залежить технічний ресурс даних з'єднань. Різницю частот обертання і силових навантажень в з'єднаннях призводять до зміни швидкостей зношування деталей

з'єднань і втрати їх працездатності, що, як наслідок, призводить до необхідності передчасних ремонтних дій. Часто це спостерігається в деталях з'єднань гідравлічних систем і, особливо, в гойдаючих вузлах шестерінчастих гідронасосів.

Шестерні насосів, як правило, виготовляють з легованої сталі 18ХГТ ГОСТ 4543-71 з подальшою цементацією зовнішніх поверхонь на глибину 0,7 - 1,4 мм і загартуванням до твердості 58...62 HRC.

Шорсткість посадочних місць під обойми після обробки складає $R_a=0,16$ мкм. Овальність і конусність при виготовленні – не більше 10 мкм.

Конструктивно-технологічна характеристика деталей гойдаючого вузла нових шестерінчастих гідронасосів конструктивного виконання «А», що сполучаються, приведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Конструктивно-технологічна характеристика деталей гойдаючого вузла

Найменування з'єднання деталей	Найменування деталей	Матеріал деталі, ГОСТ	Твердість деталі
Цапфа ведучої і веденої шестерні – підтискна обойма	Підтискна обойма	Алькусин Д ГОСТ 2685-75	70 HB
Цапфа ведучої і веденої шестерні – платик	Платик	Бронза Бр ОЦС-5-5-5 ГОСТ 613-79	80 HB
Цапфа ведучої і веденої шестерні – підшипникова обойма	Підшипникова обойма	Алюмінієвий сплав АМО-7-3 ГОСТ 2685-75	75 HB
	Шестерня	Сталь 18ХГТ ГОСТ 4543-71, термообробка	58-62 HRC

Згідно табл.1.2, опорні підшипники цапф шестерень гойдаючого вузла виготовляються з різних сплавів кольорових металів, що стало основою при дослідженні процесів зношування деталей в сполученні «цапфа шестерні – обойма». Дослідженнями, представленими в роботах [] встановлено, що працездатність агрегатів гідросистем в основному визначаються наявністю в робочому середовищі забруднень, сприяючих відмовам в роботі гідросистем.

Найбільш суттєвими забрудниками робочої рідини гідросистеми є атмосферний пил, продукти зносу деталей і компоненти окислення робочої рідини. При цьому найбільша кількість забруднень накопичується в результаті зносу матеріалів, особливо в перші 50 - 60 годин роботи гідросистеми.

Зазор у з'єднанні «цапфа - підшипникова обойма» за технічними умовами знаходиться в межах 23...25 мкм. Потрапляючи в проміжок між поверхнями, що труться, абразивні частки викликають не лише підвищений знос, але і можуть збільшити сили тертя, в результаті цього зростає їх різальна і дряпаюча дія. Це з'єднання сприймає тиск не менше 10 МПа з боку нагнітального каналу гідронасоса. Тому збільшення проміжку в з'єднанні спричиняє за собою підвищений знос підшипникової обойми, і як результат, падіння тиску і об'ємного ККД насоса.

З'єднання «цапфа - підшипникова обойма» і «цапфа - підтискна обойма» визначають тривалість періоду припрацювання усього насоса. Тривалість періоду припрацювання цих з'єднань залежить від здатності поверхонь, що сполучаються, придбати оптимальні характеристики, що забезпечують процес нормального зношування деталей з'єднання.

Таким чином, аналіз умов роботи насоса показує, що одним з резервів підвищення його ресурсу є скорочення періоду припрацювання з'єднань «цапфа - підшипникова обойма» і «цапфа - підтискна обойма». Цього можна досягти за рахунок вдосконалення технології обробки шестерень, як при виготовленні, так і при ремонті гідронасосів, що, безумовно, дозволить підвищити їх технічний ресурс.

1.3. Висновки по розділу 1

Виконання розділу 1 магістерської роботи дозволив встановити наступні висновки:

1. Незважаючи на складнощі сьогодення ТОВ «Калита-Нова» здатно своєчасно та якісно виконувати функції з технічного обслуговування та ремонту автотранспортних засобів.

2. Показано, що одним з резервів підвищення його ресурсу є скорочення періоду припрацювання з'єднань «цапфа - підшипникова обойма» і «цапфа - підтискна обойма». Це можна досягти використанням технологічних методів обробки деталей.

РОЗДІЛ 2. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Особливості конструкції шестеренних гідронасосів

Широке використання шестеренних насосів типу НШ у гідравлічних системах автомобілів, тракторів і металорізальних верстатів пов'язано досить надійною їх роботою у складних умовах у порівнянні з іншими типами насосів, їх відрізняє простота конструкції і технічного обслуговування, малі габарити та невелика вагою.

Таким чином, найбільш широкого поширення одержали шестеренні насоси наступних марок: НШ-32А-2, НШ-50А-2, НШ-100А-3.

Застосовувані в різних пристроях насоси типу НШ-К (рис.2.1) аналогічні по конструктивному оформленню, але відрізняються розмірами корпусів і деталей, а також конструкцією приєднувальних місць. При різному номінальному робочому обсязі є однаковими (або близькими) за значенням наступні параметри: частота обертання, коефіцієнт подачі і ККД.

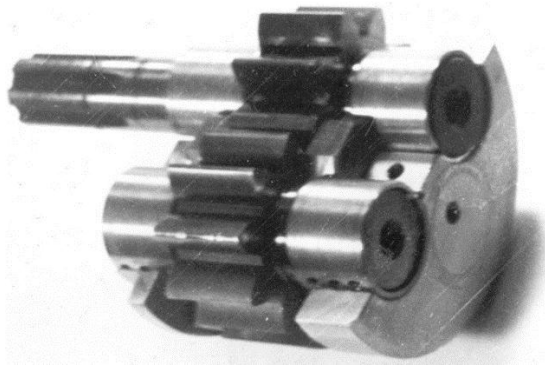


Рис.2.1. Шестеренний насос НШ-К зі знятим напівкорпусом.

Насоси НШ-К володіють рядом переваг: значною мірою розвантажені підшипники ковзання, передбачена компенсація не тільки торцевих і радіальних зазорів, але й зазорів у підшипниках, що сприяє підвищенню ресурсу. Насоси працюють із частотою обертання валів від $8,3$ до 50 с^{-1} і

забезпечують тиск від 14 до 20 МПа при номінальній потужності від 56,5 до 180,5 кВт.

Щироке розповсюдження шестеренні насоси типу НШ знайшли в гідравлічних системах автомобіля (табл.2.1).

Таблиця 2.1 – Застосовність гідронасосів [6]

Модель автомобіля	Застосовувані гідровузли			
	Рульове керування	Підйом платформи	Перекидаючий пристрій	Гальма
МАЗ-64227	НШЗ2УК-3			
МАЗ-54332				
МАЗ-5337				
МАЗ-5551		НШЗ2УК-3 або НШЗ2М-4		
МАЗ-5516		НШ50А-3 або НШ50УК-3		
БелАЗ-75406	НШ50М-4		НШ50М-4	
БелАЗ-7548	НШ50М-4		НШ50М-4Л	
БелАЗ-7555	НШ100А-3		НШ100А-3Л	
БелАЗ-7549				
БелАЗ-7512	НШ100А-3		НШ100А-3Л	
БелАЗ-535	НШ50М-4		НШ50М-4Л	
МоАЗ-7505	НШ100А-3			
МоАЗ-7405				
ЗИЛ-ММЗ		НШЗ2УК-3Л		
ГАЗ-САЗ		НШЗ2М-3Л		
КрАЗ-65 10		НШ50А-3Л		
КамАЗ-6520, КамАЗ-6522, КамАЗ-6540				
КамАЗ-55111, КамАЗ-65115, КамАЗ-65111		НШЗ2А-3Л		
Урал-5557, Урал-55571		НШЗ2А-3Л		

Слід зазначити, що саме шестеренні насоси типу НШ-К знайшли широке поширення в гідросистемах машин завдяки:

- надійної роботи при різних механічних і теплових навантаженнях, в умовах високої забрудненості;

- простоті в обслуговуванні.
- низької вартість.

Насоси гідравлічних систем працюють у тяжких умовах пов'язаних з дією багатьох факторів, що впливають як на працездатність, так і на термін служби насосів НШ.

До цих факторів варто віднести дію знакозмінних температурних режимів, пов'язаних з температурним балансом під час роботи гідросистеми та впливом змінних температурних режимів навколишнього середовища; циклічні механічні навантаження, які виникають під дією пульсуючого тиску робочої рідини.

Працездатність агрегатів гідросистем в основному визначаються наявністю в робочому середовищі забруднень, що сприяють відмовам у роботі гідросистем.

2.2. Припрацювання з'єднань гідронасосів та шляхи їх покращення

Зношування спряжених деталей у процесі тертя, у тому числі і з'єднань гідронасосів, можна умовно розділити на три періоди: період припрацювання, період нормального зношування і період аварійного зношування. Період припрацювання є основним періодом, що визначає всю подальшу роботу з'єднань, весь процес зношування поверхонь тертя [2].

Період припрацювання – це період вибору найбільш оптимальних параметрів посадок, величини масляного шару, питомих контактних тисків, оптимальної шорсткості поверхні, період нагромадження деформацій у поверхневих шарах, що приводять до зміцнення і стабілізації швидкостей зношування [2].

Інтенсивність зміни зазначених параметрів, визначає можливість схоплювання поверхонь тертя.

Схоплювання поверхонь тертя є найнебезпечнішим видом зношування деталей вузлів і агрегатів, що в результаті може привести до інтенсивного

зношування та значного ушкодження поверхонь тертя деталей з утворенням глибинних виривів матеріалу (задирів) поверхневих шарів і налипання матеріалу однієї деталі на іншу. Це знижує циклічну міцність деталей, збільшує коефіцієнт тертя й може приводити до заїдання рухомого з'єднання.

За даними різних авторів [7, 8] зношуванню в результаті схоплювання в умовах експлуатації піддаються деталі підшипників ковзання, зубчастих передач, гідравлічних циліндрів, шарнірних з'єднань, плунжерних пар та інш. Встановлено, що в деяких машинах і механізмах 10...40% зношування деталей пов'язане із процесами схоплювання.

Часте виникнення явища схоплювання спряжених деталей машин, особливо в період припрацювання, поставило за необхідність вишукування шляхів керування процесом схоплювання металів. Для вивчення цього явища використовувалися різні методи і лабораторні установки.

Деякі науковці вважають [9], що при терті металів, особливо при сухому терті, відбувається явище молекулярної взаємодії або прилипання поверхонь тертя. Явище контактного схоплювання при терті залежить від шорсткості поверхні, від швидкості взаємного руху, від температури та від ряду інших обставин. Вони вважають, що при більших швидкостях тертя схоплювання можливо для всіх металів і сплавів. Це обумовлено тим, що при високих швидкостях на поверхнях тертя розвиваються високі температури та полегшуються пластичні деформації.

Розглядаючи вплив різних факторів на процеси схоплювання в початкові періоди зношування, зроблено висновок, що при температурах нижче температури порога рекристалізації схоплювання є єдино можливим механізмом виникнення між поверхнями, що перебувають у контакті, металевих зв'язків. Воно може відбуватися не тільки в результаті бездифузійного явища схоплювання, але й у результаті процесу спікання, що має дифузійний характер.

Значний, а в деяких випадках вирішальний вплив на взаємодію двох поверхонь роблять зовнішні умови та особливо середовище, у якій відбувається

тертя, або речовина, що наноситься на поверхні тертя. Найбільші зміни в зовнішніх умовах можуть різко змінювати не тільки кількісні, але і якісні характеристики взаємодії поверхонь. Так, при гідродинамічному змащенні повністю усувається безпосередній контакт сполучених деталей, і відносно переміщення деталей відбувається в результаті ковзання внутрішніх шарів змащення. При граничному терті виключається захоплювання металів і замінюються міжмолекулярним впливом квази- твердих плівок граничного змащення. Взаємодія твердих тіл здійснюється через ці плівки змащення, приводячи до тих же самим наслідкам – деформаціям, руйнуванням, що й при терті без змащення. Крім того, середовище може безпосередньо взаємодіяти з поверхнями тіл тертя, впливаючи на їхні властивості і фізичну природу або викликаючи корозію. Вплив середовища щодо цього збільшується значною мірою тим, що процеси між нею і поверхнями металів ідуть у зоні високих тисків і температур і, що особливо важливо, одночасно з великими пластичними деформаціями.

Причина сильних ушкоджень поверхонь тертя пояснюється таким чином. З'єднання металів при захоплюванні утворюються при спільному пластичному деформуванні поверхневих шарів металу деталей тертя, отже, міцність отриманих з'єднань у результаті зміцнення вище міцності основного металу. Тому, пластична деформація при подальшому зсуві однієї поверхні щодо іншої поширюється в глибину на ще наклепані обсяги металу. Руйнування ділянок захоплювання відбувається не по місцю з'єднання, а в глибині металу однієї з деталей тертя. Утворюючи в результаті цього на одній з поверхонь тертя нарост «проорює» поверхня іншої, знову захоплюється з нею, знову руйнується й т.д. При деяких умовах цей процес лавиноподібно наростає, чому сприяє підвищення температури, викликуване більшими пластичними деформаціями при руйнуванні вузлів захоплювання і наступним «проорюванням». У тому випадку, коли матеріалом однієї з деталей тертьової пари є легкоплавкий метал, не здатний при кімнатній температурі до наклепу, захоплювання відбувається або по місцю з'єднання, або по м'якому металі на дуже малій глибині. При

цьому, найтонший шар м'якого металу намазується на більше твердий, що часто спостерігається на практиці при недостатній кількості змащення, або при надмірному підвищенні температури поверхонь тертя.

Дослідження процесу схоплювання і перенесення металів при терті бронзи зі сталлю [10] показало, що процес перенесення металу може бути використаний для підвищення зносостійкості деталей машин. Так, деякі бронзи при терті зі сталлю в середовищі спиртогліцерінової суміші мають високу зносостійкість, завдяки тому, що відбувається в цих умовах взаємного переносу металу.

З літературних даних відомо [2], що пари тертя, в яких бронзи БрОФ, БрОЦС, КМЦ, БрБ або мідь працюють зі сталлю в середовищі гліцерину, мають сумарний знос за масою приблизно в десять разів менший, ніж у середовищі мінерального масла. При цьому, знос сталевих зразків практично відсутній.

Також особливо сильно зношуються латуні при терті о сталь у середовищі гліцерину. Знос їх в десять разів більше, ніж в середовищі мінерального масла і супроводжується інтенсивним перенесенням латуні на сталеву поверхню [11].

Таким чином, одним із шляхів покращення припрацювання з'єднань гідронасосів є реалізація в вузлах тертя ефекту вибіркового перенесення (ВП), при якому на поверхні тертя утворюється найтонша металева плівка з низьким опором зсуву, яка нездатна накопичувати при деформації дислокації.

До основних деталей гойдаючого вузла насосів гідравлічних систем відносяться цапфа ведучої та веденої шестерні, що з'єднується з підшипникової обоймою, підтискної обоймої та платикою.

Шестерні насосів виготовляють з легованої сталі 18ХГТ ГОСТ 4543-71, хімічний склад та фізико-механічні властивості якої наведено в табл.2.2-2.3.

Таблиця 2.2 – Хімічний склад сталі 18ХГТ [12]

Зміст елементів, %									
Основний склад							Домішки		
C	Cr	Mn	Si	Ni	Mo	Ti	Al	S	P
0,17-0,3	1,0-1,3	0,8-1,1	0,17-0,37	≤0,25	-	0,06-0,12	-	0,02	0,03

Примітка: інше – залізо.

Таблиця 2.3 – Фізико-механічні властивості сталі 18ХГТ [12]

Границя текучості σ_T , МПа	Границя міцності при розтягу σ_B , МПа	Відносне подовження δ , %	Відносне звуження ψ , %	Твердість за Бринелем , НВ
900	1000	9	40	217

Деталь цапфа шестерні є технологічною, тому що її виготовлення не вимагає спеціального устаткування і оснащення, вимірювального інструмента для контролю оброблених поверхонь при виготовленні та відновленні.

Ремонтне креслення шестерні веденої наведено на рис.2.2

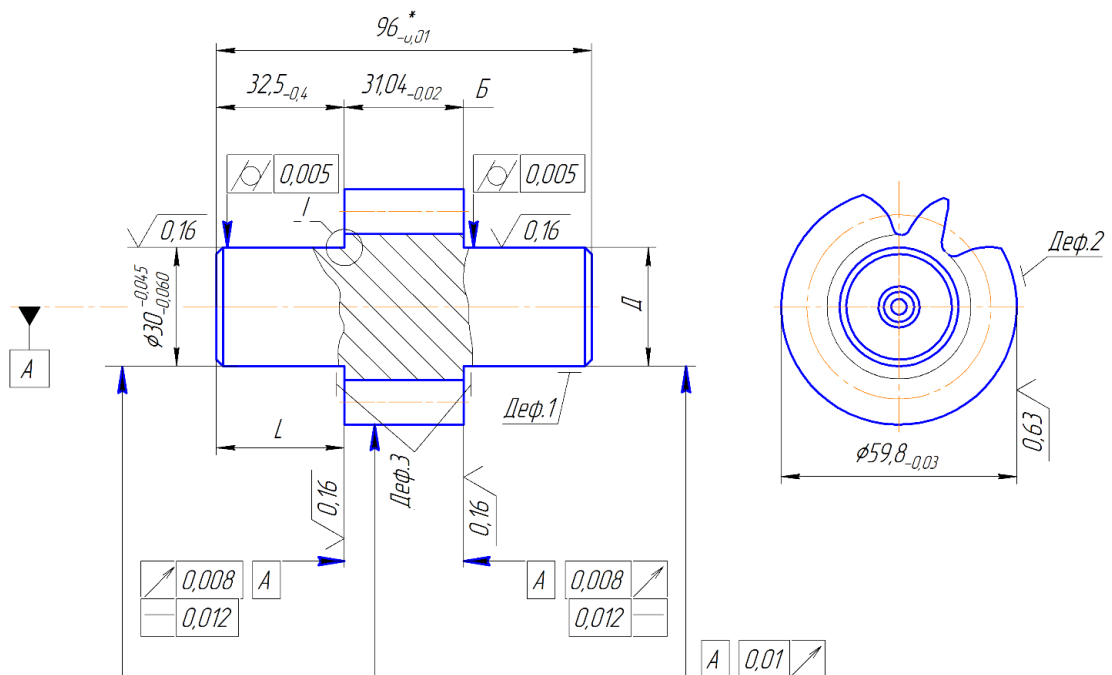


Рис.2.2. Ремонтне креслення шестерні веденої

Дефекти веденої шестерні та основні існуючі способи усунення приведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Дефекти веденої шестерні і способи їх усунення

Найменування дефекту	Коефіцієнт повторюваності дефекту		Основний спосіб усунення дефекту
	від загальної кількості деталей, що надійшли на дефект.	від загальної кількості ремонтно-придатних деталей	
1	2	3	4
1. Зношування поверхонь цапф до розміру менш $\varnothing 29,94$ мм	0,97	1	Шліфування до ремонтного розміру
2. Зношування поверхонь головок зубів по діаметрі менш $\varnothing 59,77$ мм	0,91	1	Шліфування до ремонтного розміру
3. Зношування вінця до розміру 30,9 мм	0,9	1	Шліфування до ремонтного розміру

2.3. Існуючі методи обробки цапф шестерень гідронасосів

«На більшості підприємств України, що спеціалізується на випуску такої продукції, прийнятий технологічний процес механічної обробки цапфи шестерні гідронасосів НШ50А - 3 включає в себе наступні операції» [4]:

«- токарна;

- шліфувальна;
- суперфінішування;
- доводочна» [4].

Проведені дослідження показали, що «при виготовленні і ремонті цапф шестерень на більшості підприємств нашої країни в якості фінішної обробки використовують шліфувальну операцію з наступним доведенням до отримання шорсткості поверхні $R_a = 0,16$ мкм» [4].

«Фінішна обробка використовується для отримання заданої шорсткості поверхні деталі і виконується, як правило, в межах допуску попередньої обробки, а на точність заготовки вплив майже не робить. Фінішна обробка при різних методах і оброблюваних матеріалах повинна забезпечити шорсткість поверхні $R_a = 0,63 \dots 0,16$ мкм» [4].

На підставі аналізу літературних джерел, розроблено класифікацію існуючих методів, застосування яких можливо для фінішної обробки цапф шестерень (рис.2.3).

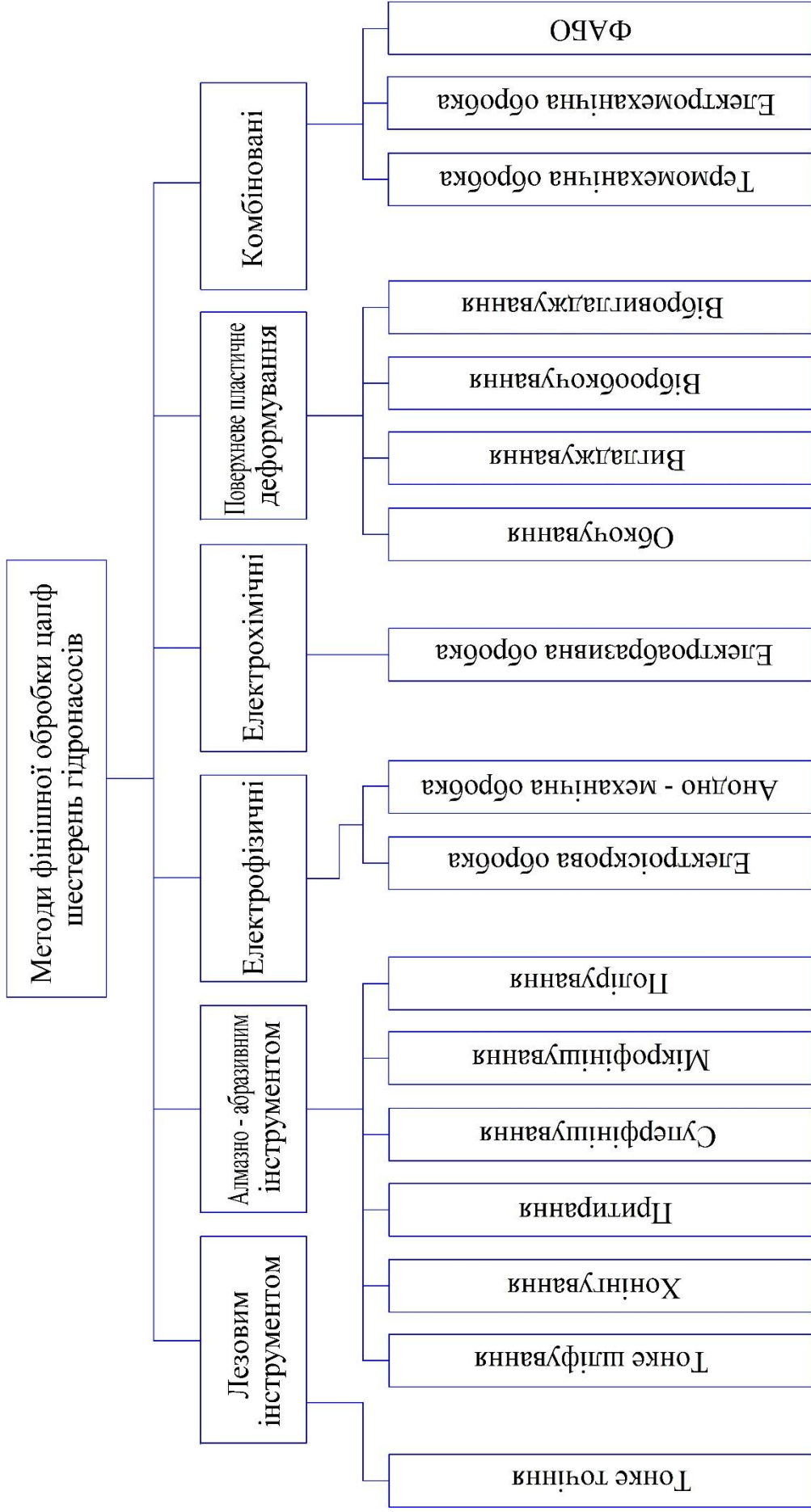


Рис.2.3. Класифікація методів фінішної обробки цапф шестерень

Відповідно до цієї класифікації, методи фінішної обробки цапф шестерень можна розділити на наступні основні групи:

- обробка лезовим інструментом;
- обробка абразивним інструментом;
- електрофізичних обробка;
- електрохімічна обробка;
- обробка поверхневим пластичним деформуванням;
- комбінована обробка.

Більшість цих методів обробки широко відомі і детально висвітлені в літературі [7, 13 та ін.].

Значно підвищити експлуатаційні властивості деталей можливо за рахунок використання комбінованих методів обробки [14, 15], суть яких полягає в сумарному впливі фізичних і хімічних факторів і способів їх підведення в зону обробки, що дозволяє досягти більш високі експлуатаційні властивості деталей. До одним з таких методів слід віднести фінішну антифрикційну безабразивну обробку, під якою розуміють різні способи фінішної обробки, засновані на використанні в процесі тертя явищ захоплювання поверхонь та вибіркового перенесення.

В якості фінішної обробки ФАБО представляється найбільш перспективною, оскільки поряд з формуванням необхідної шорсткості на поверхні тертя утворюються тонкі припрацювальні покриття. Однак різні модифікації цього методу обробки вимагають подальших досліджень, а для обробки цапф шестерень гідронасоса ФАБО взагалі не використовувалася.

2.4. Сутність фінішної антифрикційної безабразивної обробки

Явище вибіркового переносу при терті лягло в основу розробки методу фінішної антифрикційної безабразивної обробки (ФАБО). Сутність ФАБО полягає в тому, що поверхні тертя деталей покривають тонким шаром (1...3

мкм) бронзи або міді, внаслідок чого вони здобувають високі антифрикційні властивості і контактну твердість (рис.2.3) [11].

Покриття при ФАБО наносять шляхом тертя латунного, мідного, бронзового прутка (інструмента) об поверхню деталі (рис.2.4), змащуючи при цьому поверхню тертя технологічною рідиною. Під час тертя матеріал прутка (інструмента) переноситься на поверхню деталі, внаслідок чого вона набуває високих антифрикційних властивостей.

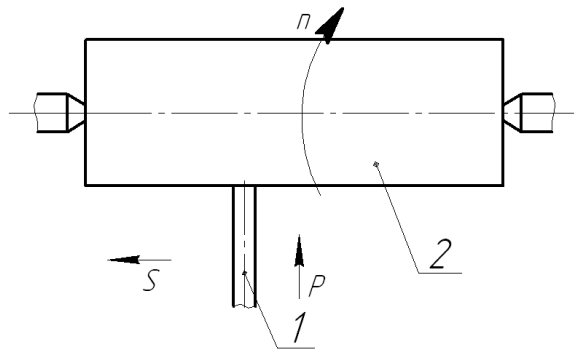


Рис.2.4. Схема фінішної антифрикційної безабразивної обробки: 1 – інструмент; 2 – деталь; p – зусилля притиснення натираючого елемента; n – частота обертання деталі; S – поздовжня подача інструменту

ФАБО застосовується з метою зниження інтенсивності зношування, підвищення задиростійкості поверхонь тертя та інтенсифікації процесів утворення захисних плівок у період припрацювання після виготовлення або ремонту виробу.

2.5. Механізм утворення покриття при ФАБО

Спроба описати механізм утворення покриття при ФАБО зроблена в роботі [9]. «Автори вказують на необхідність введення в зону контакту при нанесенні покриттів спеціального технологічного середовища, що: змочує оброблювану поверхню, розпушує оксидну плівку, пластифікує поверхню мідного сплаву та створює умови для схоплювання металів. У відмінності від сухого тертя, коли в

зоні контакту відбувається інтенсивне зростання температури, схоплювання супроводжується викиданням окремих часток з поверхні інструмента» [9].

Використання технологічної рідини забезпечує утворення суцільного, міцно зчепленого покриття. Автори розглядають процес фрикційно-механічного нанесення покриттів, що супроводжується двома конкуруючими між собою явищами: утворення покриття і його руйнування. Так, що діючи у зоні контакту напруги зрушення в початковий момент є руйнуючими тільки для матеріалу більше пластичного металу - мідного сплаву. «Відбувається його диспергування у вигляді дрібних часток, які переносяться на оброблювану поверхню» [15]. З ростом товщини покриття його міцність падає і настає момент, коли поверхневий шар деталі не може викидати частки з інструмента, ріст товщини припиняється. Покриття в процесі обробки утворюються під впливом інтенсивних деформацій, що збільшуються з ростом товщини покриття. Це гальмує ріст товщини й пояснює, на думку авторів, причину збереження вихідної шорсткості.

Модель нанесення фрикційного покриття розглядається в роботах німецьких дослідників [16]. На думку авторів, у початковий момент переважає процес мікрорізання мідного сплаву. Наявність поверхнево-активних речовин, що утворюються в результаті трибодеструкції гліцерину, дозволяє розпушувати оксидні шари на поверхнях тертя й пластично деформувати частки стерпного металу в зоні тертя. Деякі частки спресовуються в западинах між виступами шорсткостей, що викликає загальне зниження параметра шорсткості обробленої поверхні. Під впливом високих локальних стискаючих зусиль частки пресуються і утворюється їх адгезійний зв'язок між собою і з підложкою.

Простота і технологічність способу ФАБО визначила його застосування для поліпшення триботехнічних властивостей поверхонь, що піддаються зношуванню. У той же час більшість робіт, присвячених ФАБО, ґрунтуються на емпіричному матеріалі на вибір технології нанесення, складу технологічного середовища, матеріалу інструмента і режимів обробки.

До недоліків існуючого технологічного процесу варто віднести низьку продуктивність, часту заміну прутка через його нерівномірне зношування.

Нерівномірне зношування інструмента можна ліквідувати тільки при повертанні інструмента в процесі ФАБО. Низька продуктивність процесу полягає в тому, що швидкість відносного переміщення інструмента і деталі забезпечується тільки обертанням деталі. Підвищити продуктивність латунування можна за рахунок збільшення швидкостей відносного переміщення інструмента – деталі і створенням поздовжньої осциляції інструмента в процесі латунування. Це дозволить прискорити процеси латунування, не знижуючи якості самого процесу.

З огляду на ці недоліки, інструмент у процесі латунування повинен мати обертовий рух і осциляцію. Це ставить необхідністю вдосконаленні технології та інструмент для нанесення покриттів методом ФАБО (див. технологічний і конструкторський розділ).

2.6. Особливості процесу ФАБО

На зносостійкість поверхонь тертя впливає їх остаточна (фінішна) механічна (абразивна) обробка, при якій зменшується шорсткість (шляхом тонкого шліфування, хонінгування, суперфінішування, полірування і т.д.).

Конструкційні матеріали, поверхні яких володіли б одночасно високими антифрикційними і протикорозійними властивостями, можуть бути отримані шляхом нанесення спеціальних наноструктурованих покриттів.

У промисловості широко застосовується метод фрикційного (за допомогою тертя) нанесення покриттів – ФАБО. Покриття товщиною 50-500 нм із пластичних металів наносяться в присутності спеціального технологічного середовища на поверхні тертя деталей - корінні і шатунні шийки колінчастого вала, гільзи циліндрів, поверхні кочення вагонних колісних пар, різного виду штоки, пальці, нарізні сполучення і т.д.

ФАБО застосовується з метою зниження інтенсивності зношування, підвищення задиристійкості поверхонь тертя та інтенсифікації процесів утворення захисних плівок у період припрацювання після виготовлення або ремонту виробу.

ФАБО здійснюється у спеціальних технологічних середовищах. У всіх середовищах використовується гліцерин, що у результаті трибодеструкції (на поверхнях контактуючих тіл (деталь – інструмент) окисляється, перетворюючись у гліцериновий альдегід, акролеїн, формальдегід, гліцеринову кислоту та інші продукти з меншої, чим у гліцерину, молекулярною масою.

При фрикційно-хімічному нанесенні покриттів у металоплакуючих середовищах використовуються різні солі пластичних металів, наприклад дихлорид міді. У процесі обробки відбувається гідроліз солей з утворенням кислот. Взаємодія продуктів перетворення гліцерину та інших органічних речовин, що втримуються в технологічних середовищах, приводить також до утворення високомолекулярних з'єднань і полімерів тертя.

При ФАБО на оброблюваній поверхні формуються рівномірні антифрикційні покриття із пластичних металів і полімерних ланцюгів. У процесі експлуатації під дією поверхнево-активних речовин, що втримуються в моторному маслі, відбувається вибіркове розчинення нанесеного матеріалу з утворенням тонких мідних покриттів, по своїм фізико-механічним і триботехнічним властивостях близьких до сервовитної плівки, характерної для ефекту беззносності.

Для фрикційно-механічного нанесення покриттів на поверхні тертя гільз циліндрів та інших деталей типу «втулка» розроблені спеціальні пристосування, напівавтомати, автомати і верстати.

Конструкція пристосування для фрикційного латунювання гільз циліндрів марки MBZ3A (Німеччина), за рахунок наявності електродвигуна, зубчастої передачі і навантажувального пристрою дозволяє здійснювати одночасне притиснення стрижня, що натирає, під кутом до поверхні гільзи і його обертання навколо власної осі, цим досягається безперервне

самозагострювання прутка в контактній зоні, у результаті підвищуються продуктивність і якість нанесення покриття на гільзи циліндрів.

У Кіровоградському національному технічному університеті (зараз Центральнотрапійський національний технічний університет, м.Кропивницький) доц.Соколенко І.М. розроблений пристрій для фрикційно-хімічного нанесення покриттів, що містить механізм обертання і вузол, що натирає, робоча поверхня якого виконана із чохлам з пругопористого матеріалу.

Пристрій містить механізм обертання (може служити шпиндель радіально-свердлильного верстата); приводний вал, жорстко з'єднаний з дисками, між якими встановлений вузол, що натирає, у вигляді колодок з осями. При цьому один кінець колодки повторює поверхня оброблюваної деталі. На колодках установлені чохла з пругопористого матеріалу. Кріплення колодки на осі забезпечує рівномірне притиснення до оброблюваної поверхні під дією сил інерції, що виникають при обертанні. Оброблювану деталь установлюють на столі. Пристрій уводять у гільзу до зіткнення вузла, що натирає, з робочими поверхнями деталі, включають механізм обертання, а потім механізм поздовжньої подачі. Швидкість нанесення покриття 4-6 м/с, шорсткість не змінюється, продуктивність підвищується в 2-3 рази.

Для ФАБО гільз циліндрів найбільше часто застосовуються пристрої на базі хонінгувальних верстатів, на яких замість хонінгувальних брусків установлюють мідні пластини. Є конструкції, що використовують кінематику розточувальних верстатів, у них замість розточувальних різців установлюють мідні колодки, пластини, ролики або щітки.

Застосування фрикційного латунування для колінчастих валів стримувалося через відсутність надійних високоефективних пристосувань. Серед пристосувань для ФАБО шийок колінчастих валів найбільший інтерес представляє конструкція Д.91. Обробка поверхні досягається при зворотно-поступальному переміщенні в автоматичному режимі та застосуванні інструментів, що натирають, з латуні. Пристрій містить корпус, щоки з пазами для обмеження кута повороту інструментів, що натирають, і зі сферичними

поглибленнями під державки у вигляді циліндрів, один торець яких має паз, а інший – сферичну поверхню та глухий отвір з різьбленням.

Пристрій може застосовуватися на токарно-гвинторізному, шліфувальному, полірувальному, притирочному та інших верстатах, де є можливість утримувати й обертати оброблювану деталь. Для фрикційно-механічного нанесення покриттів колінчастий вал установлюють у механізм обертання. У державки поміщають інструменти, що натирають, і кріплять фіксаторами. Потім державки інструментів, що натирають (у зборі) установлюють у сферичні поглиблення щік і закріплюють через підшипники ковзання гвинтами. Тампон просочують технологічною рідиною (наприклад FPT1). Налагодження пристрою здійснюється шляхом установки інструментів, що натирають, у крайнє положення до упору в пазах щік. Останні приводяться в зіткнення з поверхнею оброблюваної шийки колінчастого вала. Обертанням гайки по регульовальному гвинті здійснюється тиск пружини для притиснення інструментів, що натирають, до поверхні щік з необхідним зусиллям.

При обертанні деталі відбувається натирання її поверхні. Розташування інструментів, що натирають, під кутом до осі оброблюваної деталі забезпечує переміщення пристрою щодо оброблюваної поверхні. У результаті автоматичної переустановки інструментів, що натирають, пристрій рухається у зворотному напрямку до зіткнення із протилежним торцем оброблюваної шийки колінчастого вала. При необхідності цикл обробки повторюється. «Зворотно-поступальний рух пристрою в автоматичному режимі здійснюється до досягнення необхідних товщини і якості покриття, після цього механізм обертання оброблюваної деталі вимикається» [17].

Нанесення антифрикційних протизносних покриттів дозволяє істотно (більш ніж в 3 рази) знизити інтенсивність зношування конструкційних матеріалів з'єднання «шийка колінчастого вала – вкладиш» у період припрацювання.

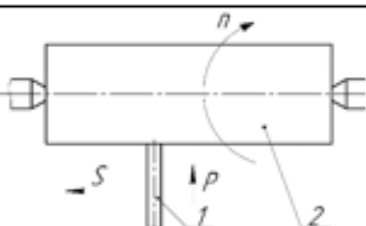
При припрацюванні поверхонь із нанесеними антифрикційними покриттями в перший момент часу йде інтенсивне припрацювання з

формуванням оптимальної структури поверхневих шарів. Температура в зоні тертя при наявності антифрикційного покриття знижується майже в 5 разів. Це пов'язане із кращою теплопровідністю нанесених покриттів і відсутністю вогнищ захоплення, так званих миттєвих температурних спалахів на мікроконтактах.

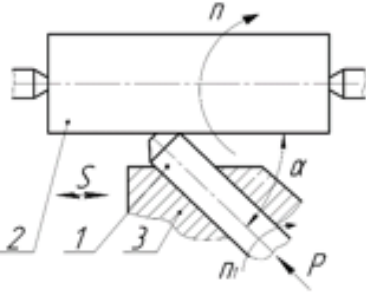
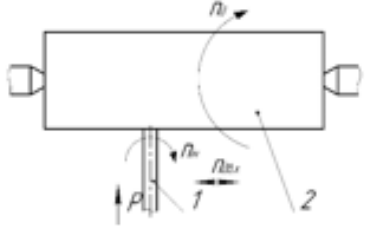
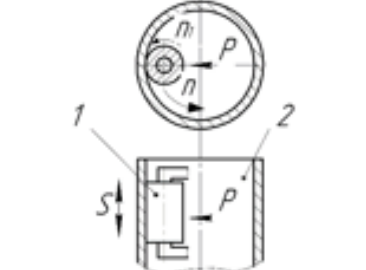
Після фрикційного нанесення протизносних покриттів на конструкційну сталь 45 ГОСТ 1050-90 початковою твердістю HB 280 ($H_{\mu} = 2800$ МПа) оброблені поверхні здобувають наклеп з підвищенням твердості до HB 375 ($H_{\mu} = 3750$ МПа). Границя витривалості латуньованих сталевих зразків (550 МПа) також вище, ніж у необроблених зразків (520 МПа).

Попередні дослідження показали, що традиційні методи ФАБО мають низьку ефективність (табл. 2.5) і не мають широкого застосування для обробки деталей в промислових умовах.

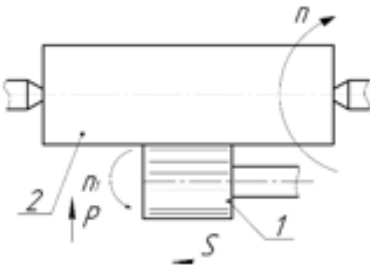
Таблиця 2.5 – Продуктивність основних способів ФАБО [18]

Умови контакту інструменту, режими	Схема обробки	Максимальна продуктивність, $\text{см}^2/\text{хв}$
1	2	3
Латунний стрижень, рухомий в осьовому напрямку: 1 – інструмент; 2 – оброблювана деталь; P – зусилля притискання <u>натираючого</u> елементу; n – частота обертання деталі; S – поздовжня подача інструменту		15

Продовження табл.2.5

1	2	3
Латунний стрижень обертається під кутом до осі деталі: 1 – інструмент; 2 – оброблювана деталь; 3 – обойма; P – зусилля притискання натираючого елемента; n – частота обертання деталі; n_I – частота обертання інструменту; S – поздовжня подача інструменту; α – кут нахилу інструменту до деталі		25
Латунний стрижень виконує зворотно-поступальний і обертальний рухи: 1 – інструмент; 2 – оброблювана деталь; P – зусилля притискання натираючого елемента; n_d – частота обертання деталі; n_{in} – частота обертання інструменту; n_{dch} – число подвійних ходів інструменту		90
Латуні ролики здійснюють зворотно-поступальний і обертальний рухи: 1 – інструмент; 2 – оброблювана деталь; P – зусилля притискання натираючого елемента; n – частота обертання деталі; n_I – частота обертання інструменту; S – поздовжня подача інструменту		160

Продовження табл.2.5

1	2	3
Латунний стрижень виконує зворотно-поступальний і обертальний рухи: 1 – інструмент; 2 – оброблювана деталь; P – зусилля притискання <u>натираючого</u> елементу; n – частота обертання деталі; n_1 – частота обертання інструменту; S – поздовжня подача інструменту		800

2.7. Висновки по розділу 2

За розділом 2 магістерської роботи зроблені такі висновки:

1. З'єднання «цапфа шестерні – обойма» визначає тривалість періоду припрацювання всього гідронасоса.
2. Одним зі шляхів скорочення припрацювання цапф гідронасосів є введення в технологічний процес обробки фінішної операції, зокрема, фінішної антифрикційної безабразивної обробки поверхні вала.
3. Існуючий технологічний процес фінішної антифрикційної безабразивної обробки має низьку продуктивність через часту заміну прутка внаслідок нерівномірного зносу.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Відновлення деталей фінішною антифрикційною безабразивною обробкою

Попередньо (п.2.3) доведено про можливість та доцільність використання ФАБО при обробці цапф шестерні гідронасосів (рис.3.1-3.2).



Рис.3.1. Шестерні насоса НШ-50А-3.

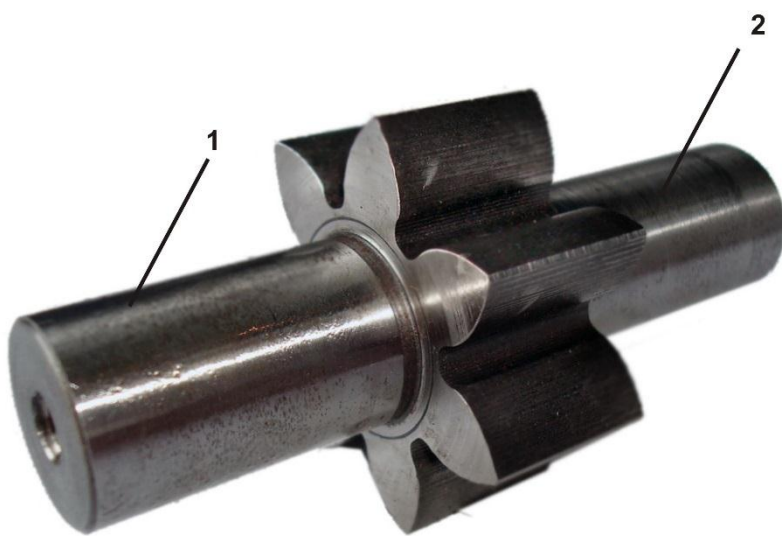


Рис.3.2. Відома шестерня гідронасоса: 1, 2 – цапфи шестерні

Можливі дефекти деталі, що виникають в процесі експлуатації представлені в табл.2.4.

«Відомо, що деталі, які підлягають відновленню, мають, як правило не один дефект, а декілька. Їх кількість залежить від конструкції деталі. Чим складніша деталь, тим кількість можливих дефектів на ній буде більша. Маршрутна технологія являється найбільш раціональною формою організації відновлення деталей на сучасному ремонтному виробництві» [19].

Кожна деталь може мати декілька маршрутів відновлення. Ці маршрути визначаються спеціальними дослідженнями. При визначенні маршрутів відновлення слід керуватися наступними основними принципами

- комбінація дефектів на кожному маршруті повинна бути обґрунтованою. Достовірне поєднання дефектів визначається спеціальними дослідженнями;

- кількість маршрутів відновлення повинна бути зведена до мінімуму. Велика кількість маршрутів підвищує складність організації виробництва, збільшує обсяг технічної документації, вимагає більших складських площ і ускладнює планування та облік виробничих потужностей. Тому кількість маршрутів для кожної деталі має бути не більше двох-трьох, а для складних деталей – не більше п'яти;

- при складанні маршрутів слід враховувати методи відновлення деталей;
- при встановленні маршрутів слід враховувати метод відновлення, який буде використовуватися. Якщо вартість заміни деталі на одиницю терміну служби є нижчою за питому вартість, що відповідає вартості виготовлення деталі, то вважається, що заміна деталі на цьому маршруті є економічно недоцільною.

Керуючись вищевикладеним складаємо маршрути відновлення веденої шестерні (табл.3.1)

Таблиця 3.1 – Сполучення можливих дефектів і групування їх за маршрутами відновлення

Номер маршруту	Номер дефекту		
	1	2	3
1	+	+	-
2	-	+	-
3	-	+	+
4	-	-	+
5	+	+	+

Обираємо 5 маршрут відновлення.

При виборі способів відновлення стосовно до підприємств з спеціалізованого відновлення деталей рекомендується методика, сутність якої полягає в наступному. Розглядають різні потенційно можливі способи відновлення, що відповідають критерію використання ($k_T = 1$), і вибирають ті, які забезпечують необхідний ресурс відновлених деталей, тобто відповідають необхідному значенню коефіцієнта довговічності ($k_d \geq 0,85$). З способів, що відповідають коефіцієнту довговічності, вибирають відповідні найбільші значення коефіцієнтів техніко-економічної ефективності $k_{T,ef}$. Цей коефіцієнт пов'язує продуктивність способу відновлення і його економічність.

З цих міркувань, а також з метою зменшення періоду припрацювання для відновлення поверхонь цапф використовуємо ФАБО.

Структурна послідовність операцій технологічного процесу відновлення шестерні веденої по 5 маршруту приведена в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Структурна послідовність операцій технологічного процесу
відновлення шестерні веденої

№ операції	№ переходу	Найменування операції	Зміст операції
005		Дефектувальна	Перевірити деталь на наявність дефектів
010	А	Шліфувальна	Встановити шестерню в центрах шліфувального верстату
	1		Шліфувати робочу поверхню до ремонтного розміру $\varnothing 59,6$ мм
	2		Шліфувати бокову поверхню до ремонтного розміру $30,64_{-0,02}$ мм
	Б		Зняти шестерню з шліфувального верстату
015	А	Токарна	Встановити шестерню в центра токарного верстату
	1		Проточити поверхню цапфи лівої до $\varnothing 29,3$ мм
	2		Проточити поверхню цапфи правої до $\varnothing 29,3$ мм
	Б		Зняти шестерню з токарного верстату
020	А	ФАБО	Встановити шестерню в центра токарного верстату
	1		Обробити поверхню цапфи лівої до $\varnothing 29,7_{-0,060}^{-0,045}$ мм
	2		Обробити поверхню цапфи правої до $\varnothing 29,7_{-0,060}^{-0,045}$ мм
	Б		Зняти шестерню з токарного верстату
025		Контрольна	Контролювати якість відновлення зношених поверхонь

3.2. Обладнання для відновлення деталі

«Вибір обладнання перш за все визначається його можливістю забезпечувати виконання технічних вимог, що пред'являються до відновлюваної деталі, точності її розмірів, форми і класу шорсткості поверхонь» [18].

Обладнання при відновленні обирається з наступних міркувань:

- відповідність основних розмірів обладнання габаритним розмірам відновлюваної деталі;
- відповідність продуктивності обладнання кількості деталей, що підлягають обробці на протязі року;
- можливість повнішого використання обладнання по потужності і за часом;
- найменші витрати часу на обробку;
- найменша собівартість обробки.

Для ФАБО обрано обладнання, що розроблено авторами робіт (рис.3.3) [4].

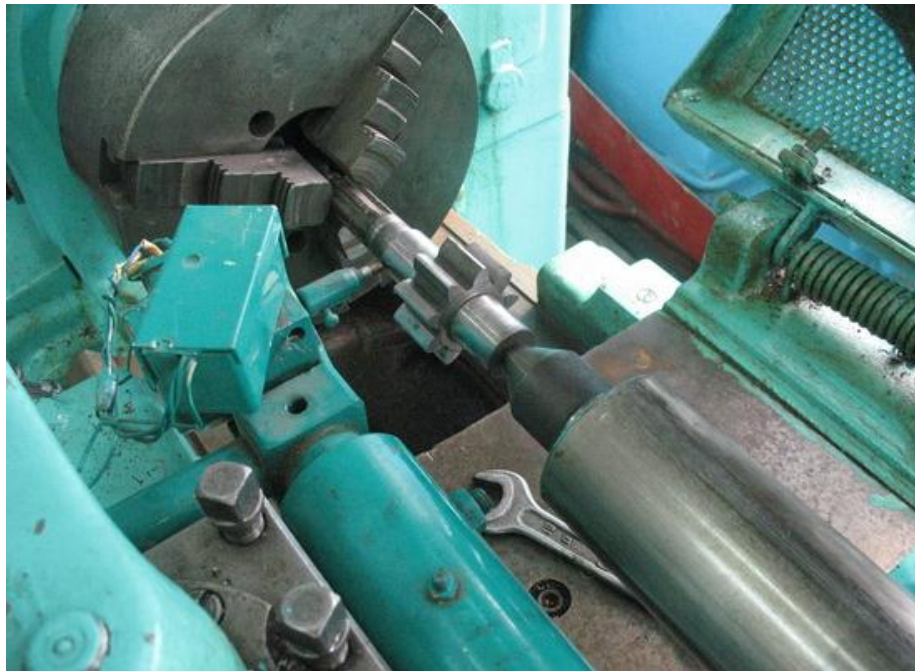


Рис.3.3. Робоча зона ФАБВ цапф шестерень гідронасосів [4]

Дані по вибору обладнання та інструменту заносимо в табл.3.3.

Таблиця 3.3. – Ремонтно-технологічне оснащення для відновлення

шестерні веденої

№ операції	Найменування операції	Найменування обладнання і пристосування	Різальний і допоміжний інструмент	Вимірювальний інструмент
010	Шліфувальна	Верстат кругло-шліфувальний 3А130	Круг шліфувальний ПП350х40х122 СМ-СМ2-7К ГОСТ 2424-75	Мікрометр МК25-100 ГОСТ 6507-75
015	Токарна	Верстат токарно-гвинторізний 16К20	Різець розточний 2141-0075 Т15К6 ГОСТ 18883-73	Штангенциркуль ШЦ-1-125-01-02 ГОСТ 166-80
020	ФАБВО	Верстат токарно-гвинторізний 16К20, Установка ФАБВО власного вигот.	Пруток для латунування Ø5	Штангенциркуль ШЦ-1-125-01-02 ГОСТ 166-80
025	Контрольна	Стіл контролера		Штангенциркуль ШЦ-1-125-01-02 ГОСТ 166-80

3.3. Оптимізація режимів ФАБВО

Для встановлення впливу основних факторів на зношування з'єднання «сталь 18ХГТ (оброблена методом ФАБВО) - бронза БрОФ» був поставлений і проведений активний експеримент із використанням методів математичного планування.

Серед факторів, що визначають процес нанесення покриттів методом ФАБВО, варто виділити (рис.3.4): зусилля латунування, швидкість ковзання інструмента, відношення частоти подвійних ходів інструмента до частоти обертання деталі, величину осциляції інструмента, склад технологічного середовища, температуру поверхні тертя і параметр шорсткості поверхні.

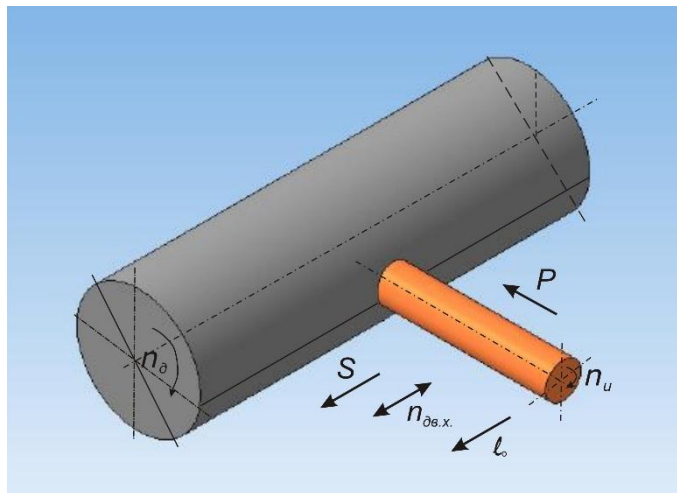


Рис.3.4. Параметри режимів ФАБВО: P – тиск інструменту; n_d – частота обертання деталі; n_i – частота обертання інструменту; $n_{дв.х.}$ – число подвійних ходів інструменту; S – поздовжня подача інструменту; l_o – осциляція інструменту

У якості варіючих факторів обране: зусилля латунування P , МПа; швидкість ковзання інструмента V_k , м/с; відношення частот подвійних ходів інструмента і обертання деталі $n_{дв.х.}/n_d$; величину осциляції інструмента L , мм. Склад ПАС латунування і параметр шорсткості підтримували постійним. Температура поверхні тертя залежить від зусилля латунування і швидкості ковзання й тому не може служити керуючим фактором.

Дослідження зносостійкості проводилися на модернізованій машині тертя МІ-1М (рис.3.5), що працює за схемою « вал-втулка». Модернізація машини полягала в збільшенні точності вимірів зносів зразків у реальному діапазоні швидкостей і навантажень за рахунок введення плечового важеля і мікрометричної індикаторної головки. Використання даного пристосування дозволяє визначити сумарне зношування з точністю до 0,0005 мм без розбирання сполучення.

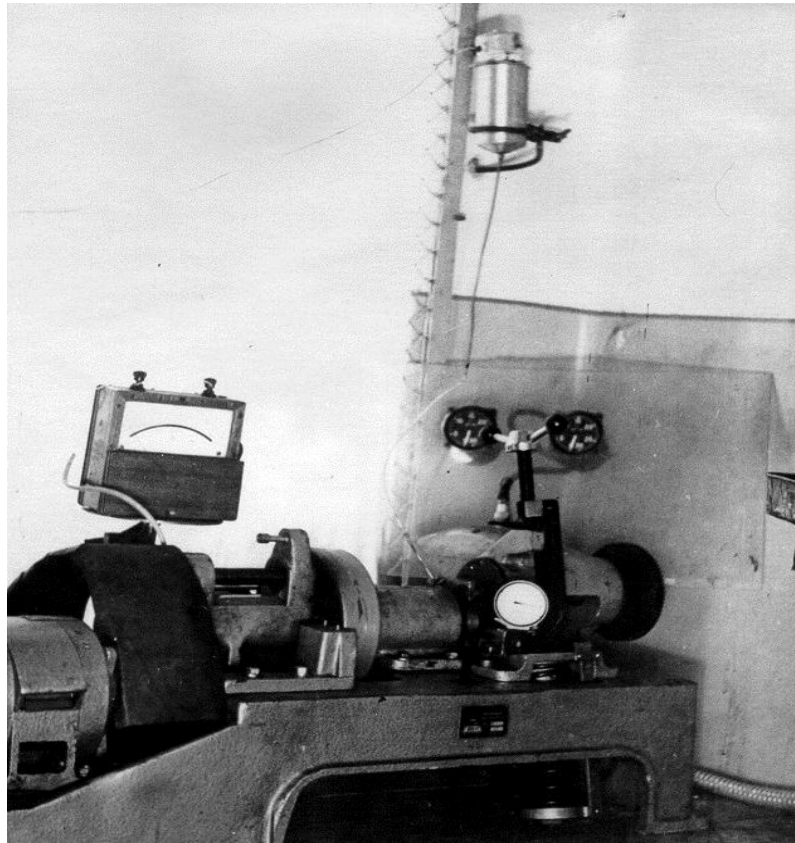


Рис.3.5. Модернізована машина тертя МІ-1М

Вибір основного рівня та інтервалів варіювання проводився на основі попередніх експериментів. Зразки вимірялися і зважувалися після наробітку шляху тертя 10×10^3 м. Експерименти дублювалися ($n=2$). Рівні варіювання параметрів ФАБО представлені в табл.3.4.

Таблиця 3.4. – Рівні варіювання параметрів латунювання при ФАБО

Параметр експерименту	Фактори			
	P	V_{cx}	$n_{дсх}/n_0$	L
Основний рівень	10,0	1,2	55	6,0
Інтервал варіювання	5,0	2,0	45	4,0
Верхній рівень (+1)	15,0	2,2	100	10,0
Нижній рівень (-1)	5,0	0,2	10	2,0

При дослідженні був розроблений і реалізований повнофакторний експеримент типу 2^4 . Систематичні помилки виключали, виконуючи досвіди у випадковій послідовності відповідно до рандомизованої матриці експерименту.

Для перевірки гіпотези однорідності дисперсій використовували критерій Кохрена, розрахункове значення якого визначали по формулі:

$$G_p = \frac{s_{u \max}^2}{\sum_{u=1}^N s_u^2} = \frac{0,741}{17,406} = 0,0426$$

Табличне значення критерію Кохрена відповідної довірчої ймовірності $\alpha = 0,95$ приймають залежно від числа серій досвідів $N = 26$ і числа ступенів волі $f = 3-1$: $G_{\text{табл}} = 0,230$.

При цьому, дисперсії вважають однорідними й досвіди відтвореними якщо виконується умова, $G_p \leq G_{\text{табл}}$. Оскільки умова відтворюваності виконується, то можемо вважати, що дисперсії s_u^2 результатів досвідів однорідні і правомірним буде обчислення дисперсії відтворюваності експерименту за формулою:

$$s_y^2 = \frac{17,406}{26} = 0,656$$

Обчислення коефіцієнтів рівнянь регресії по залежностях робили за допомогою пакета Statgraphics 5.1. Рівняння регресії має вигляд:

$$\begin{aligned}
U = & 7,53704 - 0,515131 \cdot P + 0,93165 \cdot V + 0,0138789 \cdot n - 1,37747 \cdot L + \\
& + 0,0233791 \cdot P^2 - 0,00625 \cdot P \cdot V + 0,00180556 \cdot P \cdot n + 0,0765625 \cdot P \cdot L - \\
& - 0,790977 \cdot V^2 - 0,00486111 \cdot V \cdot n - 0,210938 \cdot V \cdot L + 0,000400966 \cdot n^2 - \\
& - 0,00364583 \cdot n \cdot L + 0,107616 \cdot L^2
\end{aligned}$$

Значимість коефіцієнтів квадратного рівняння регресії перевіряли за допомогою програмного продукту Statgraphics 2.1: по - перше, порівнюючи їхню оцінку з помилкою їхнього визначення; по - друге, з використанням розподілу Парето (рис.3.6); по - третє, за графіком «нормальності» коефіцієнтів рівняння регресії, наведеному на рис.3.7 і в - четвертих, з використанням аналізу Р - статистик.

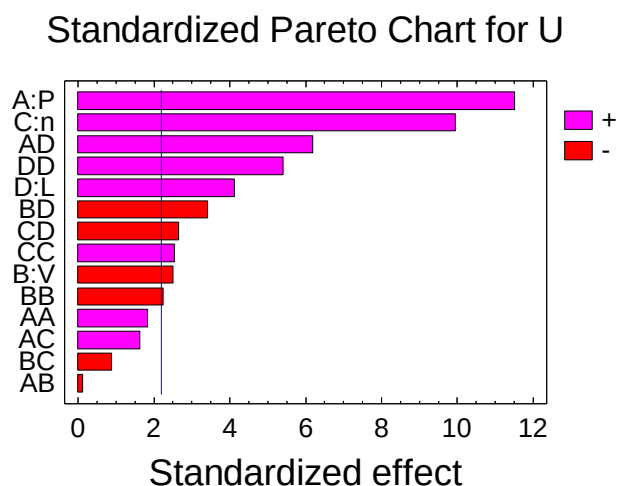


Рис.3.6. Визначення значимості коефіцієнтів рівняння регресії зношування з'єднання з використанням розподілу Парето.

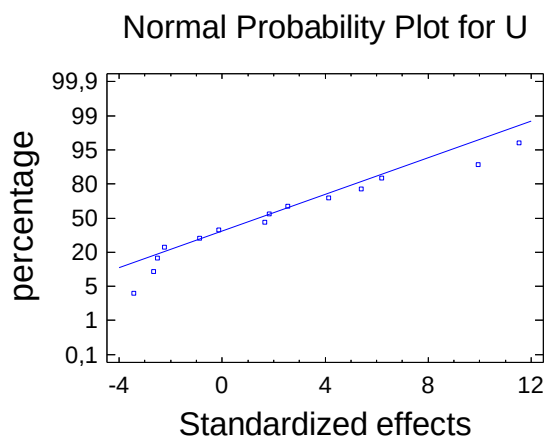


Рис.3.7. Визначення значимості коефіцієнтів рівняння регресії зношування з'єднання з використанням нормального розподілу.

Багаторазова перевірка значимості коефіцієнтів рівняння регресії (рис.3.6) показала, що значимими варто вважати тільки коефіцієнти при факторах у першому ступені, крім V , і другого ступеня, крім P і V , а також при їхній взаємодіях виду: PL , VL , nL , інші ж коефіцієнти при взаємодіях факторів вважаємо незначущими. Визначивши значимі коефіцієнти, рівняння регресії запишеться у вигляді:

$$U = 7,53704 - 0,515131 \cdot P + 0,0138789 \cdot n - 1,37747 \cdot L + 0,0765625 \cdot P \cdot L - 0,210938 \cdot V \cdot L + 0,000400966 \cdot n^2 - 0,00364583 \cdot n \cdot L + 0,107616 \cdot L^2$$

Для перевірки гіпотези про адекватність отриманої моделі використовують F-Критерій Фишера, обумовлений при числі ступенів волі $f=N-g=26-9=17$:

$$s_{ад}^2 = \frac{\sum_{u=1}^N (y_u - \hat{y}_u)^2}{f} = \frac{9,93}{17} = 0,584$$

$$F_p = \frac{s_{ад}^2}{s_y^2} = \frac{0,584}{0,656} = 0,891$$

Табличне значення F-Критерію для рівня значимості 0,05, при числах ступенів волі $f_1 = 17$ і $f_2 = 52$ [22], складе: $F_T=1,95$. Порівнюючи розрахункове значення F - критерію з табличним бачимо, що умова адекватності виконуються.

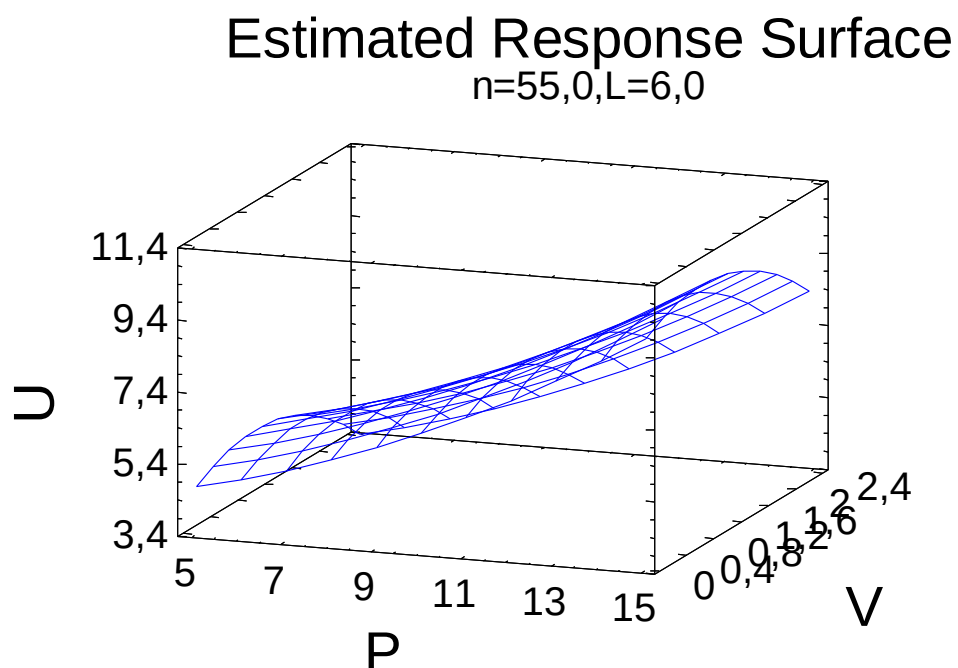
З рівняння регресії видно, що найбільший вплив на зношування з'єднання робить зусилля латунування - P , потім відношення частот подвійних ходів інструмента й обертання деталі - $n_{ов.х.}/n_о$; далі величина осциляції інструмента - L .

По отриманому рівнянню були побудовані тривимірні графіки залежності зношування з'єднання від зусилля латунування і швидкості ковзання інструмента – рис.3.8, від зусилля латунування і відношення частот подвійних ходів інструмента і обертання деталі – рис.3.9, від зусилля латунування і величини осциляції інструмента – рис.3.10, від швидкості ковзання інструмента і відношення частот подвійних ходів інструмента і обертання деталі – рис.3.11,

від швидкості ковзання інструмента і величини осциляції інструмента – рис.3.12 і від відношення частот подвійних ходів інструмента і обертання деталі та величини осциляції інструмента – рис.3.13 при постійній величині двох інших факторів. Крім того, для кожного зі згаданих графіків були побудовані графіки ізоліній тобто ліній рівних значень параметра оптимізації, представлених на цих же графіках.

Графік отриманої математичної моделі рис.3.8–3.13 являє собою багатомірну площину. При цьому, ріст параметрів ФАБВО веде до росту зношування з'єднання «сталь 18ХГТ (оброблена методом ФАБВО) - бронза БрОФ».

Попередній аналіз отриманих результатів дозволяє визначити оптимальні режими, при яких зношування з'єднання буде мінімальне: зусилля латунування – $P=5... 7$ МПа; швидкість ковзання інструмента – $V_k=1,2...1,4$ м/с; відношення частот подвійних ходів інструмента й обертання деталі – $n_{ов.х.}/n_{д}=10... 12$; величина осциляції інструмента – $L=6...7$ мм.



Contours of Estimated Response Surface

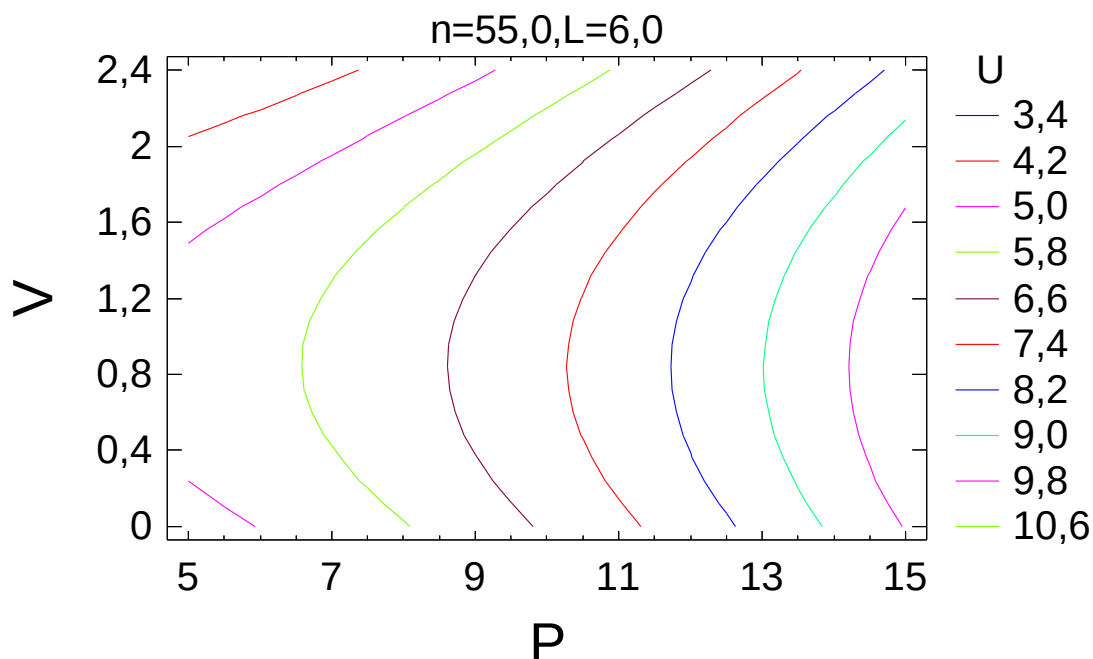
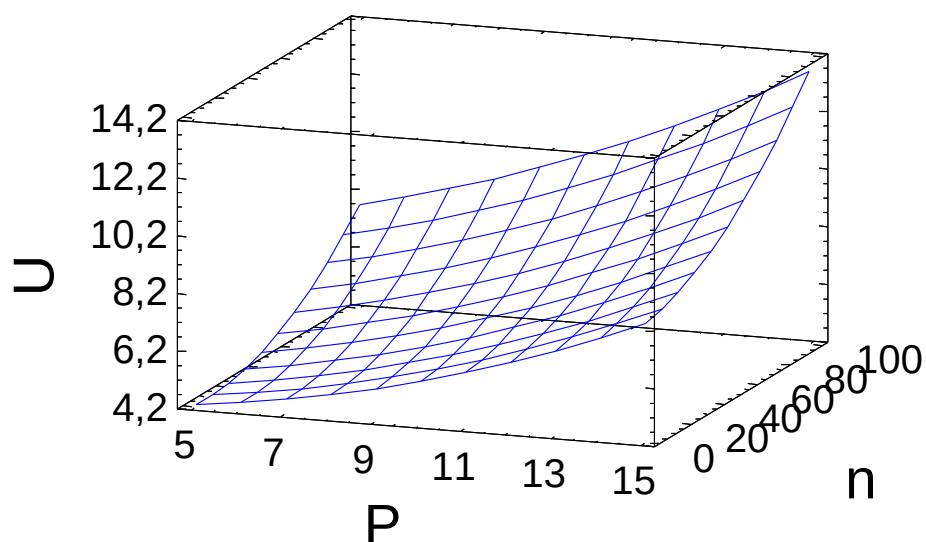


Рис.3.8. Графік залежності зношування з'єднання від зусилля латунування й швидкості ковзання інструмента при $n_{\partial \text{в.х.}}/n_{\partial} - \text{const}$, $L - \text{const}$, а також графік ліній рівних значень цієї ж залежності.

Estimated Response Surface

$V=1,2, L=6,0$



Contours of Estimated Response Surface

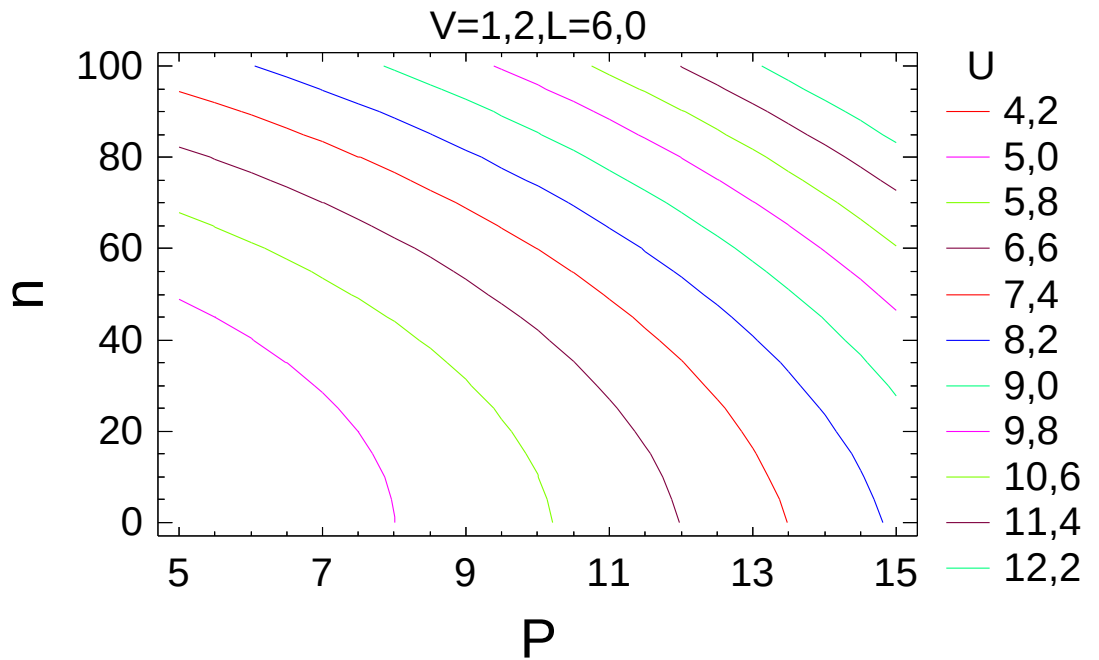
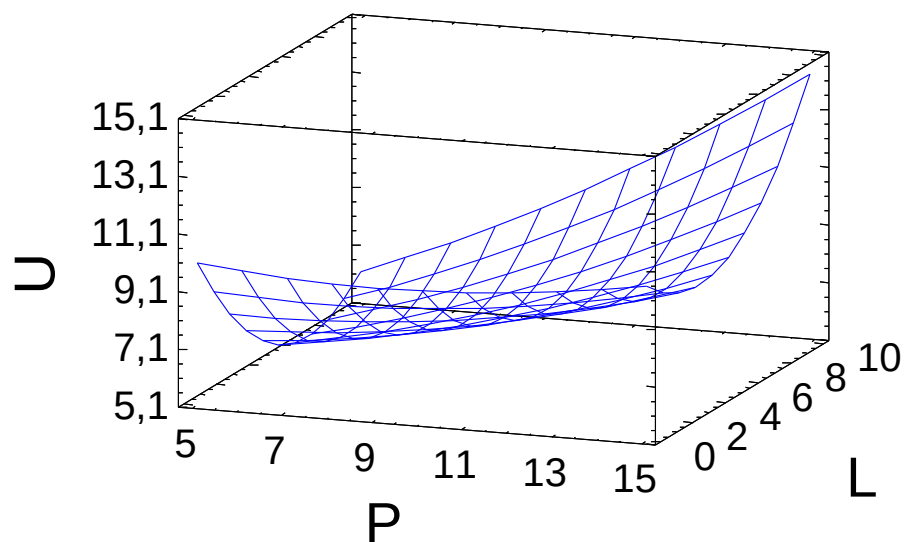


Рис.3.9. Графік залежності зношування з'єднання від зусилля латунування й відношення частот подвійних ходів інструмента й обертання деталі при $V_k - \text{const}$, $L - \text{const}$, а також графік ліній рівних значень цієї ж залежності.

Estimated Response Surface

$V=1,2, n=55,0$



Contours of Estimated Response Surface

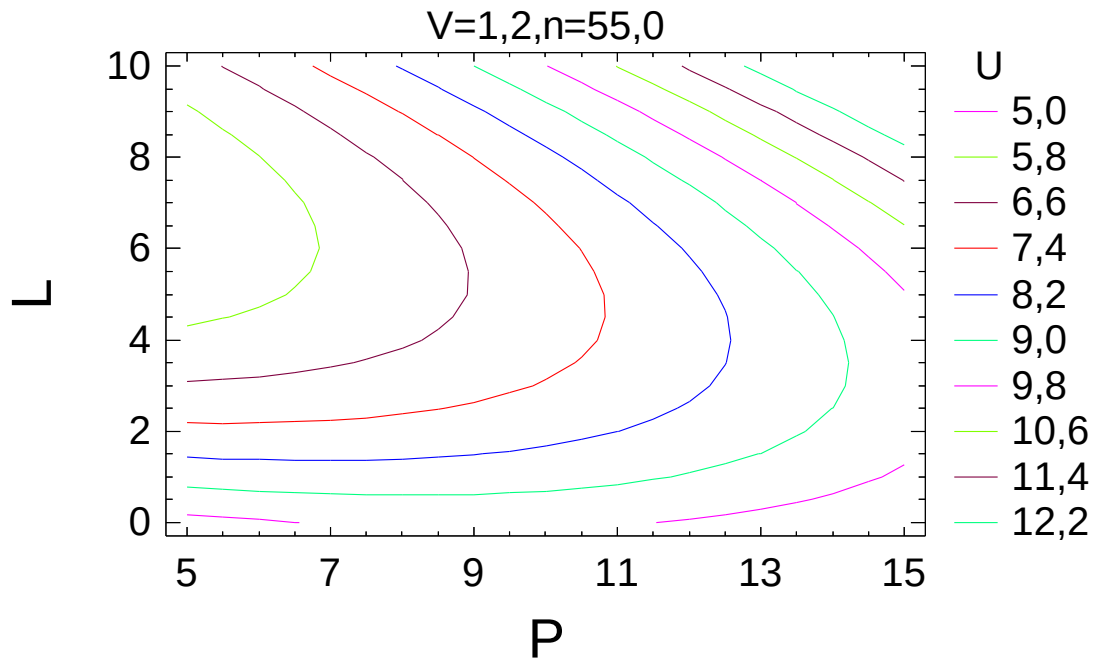
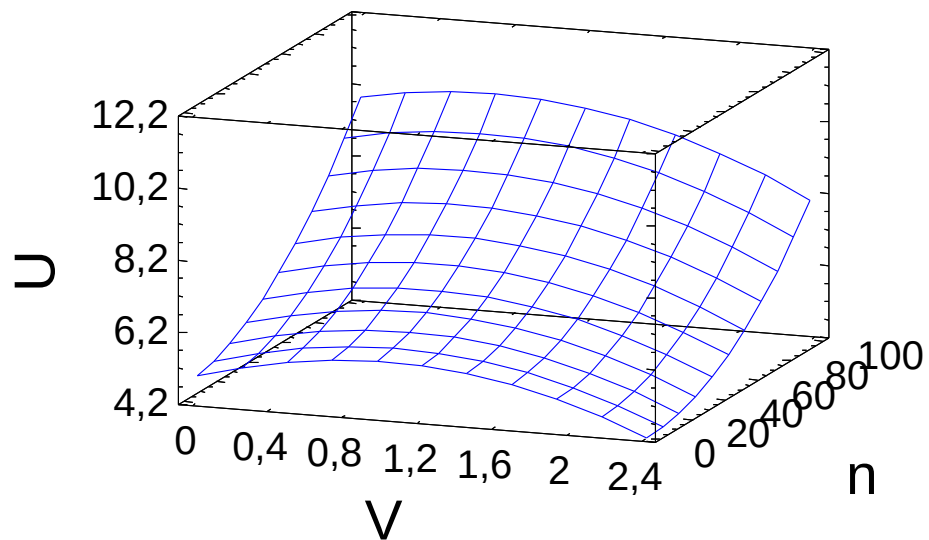


Рис.3.10. Графік залежності зношування з'єднання від зусилля латунування й величини осциляції інструмента при $V_k = \text{const}$, $n_{\text{об.х.}}/n_{\text{д}} = \text{const}$, а також графік ліній рівних значень цієї ж залежності.

Estimated Response Surface

$P=10,0, L=6,0$



Contours of Estimated Response Surface

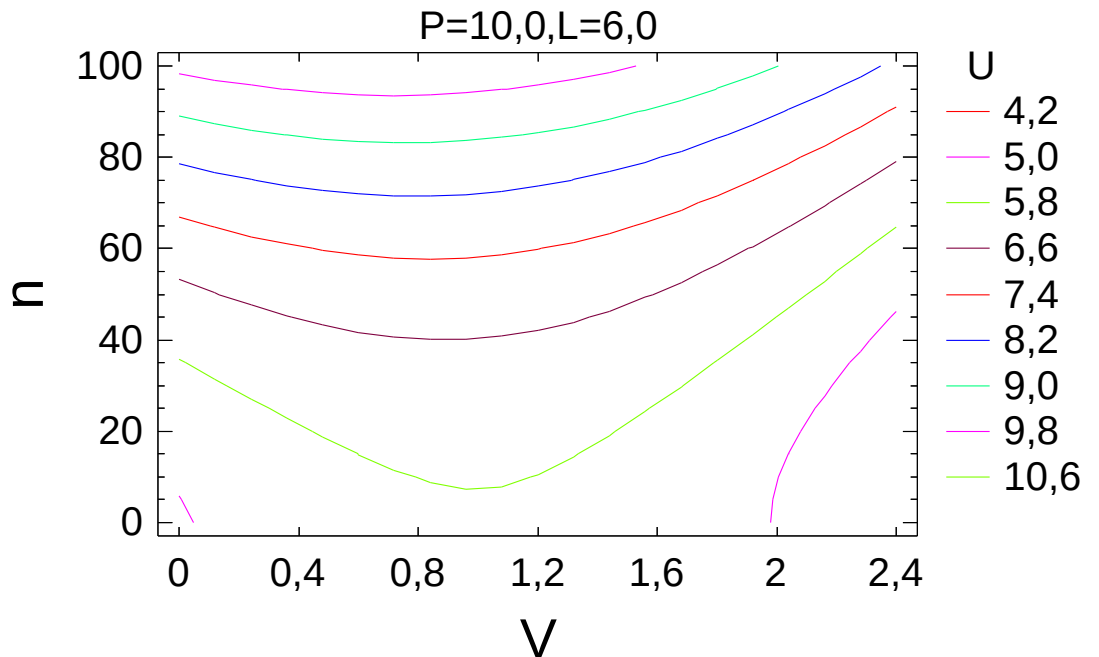
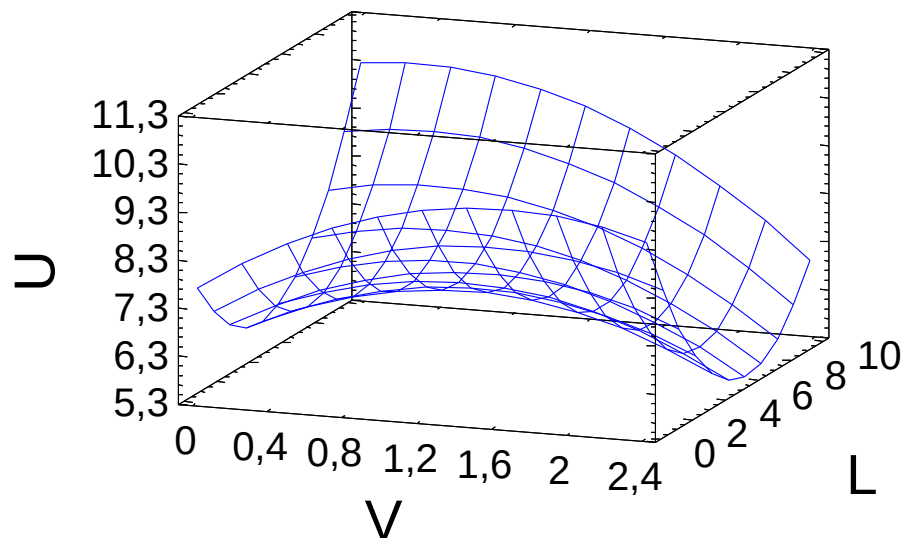


Рис.3.11. Графік залежності зношування з'єднання від швидкості ковзання інструмента й відношення частот подвійних ходів інструмента й обертання деталі при $P - \text{const}$, $L - \text{const}$, а також графік ліній рівних значень цієї ж залежності.

Estimated Response Surface

$P=10,0, n=55,0$



Contours of Estimated Response Surface

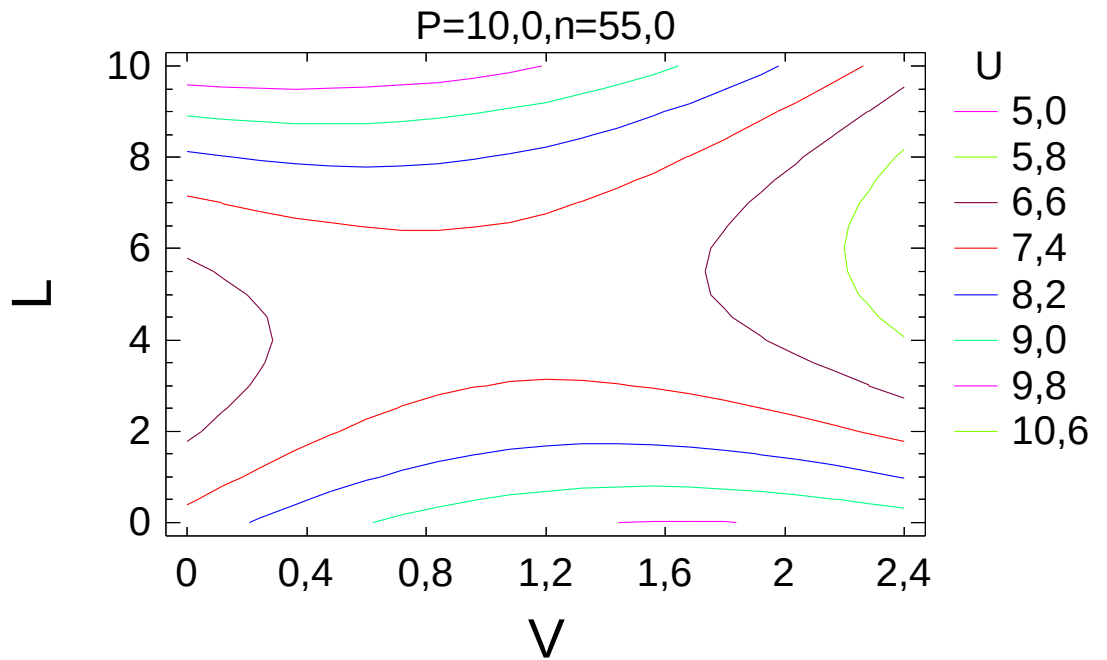
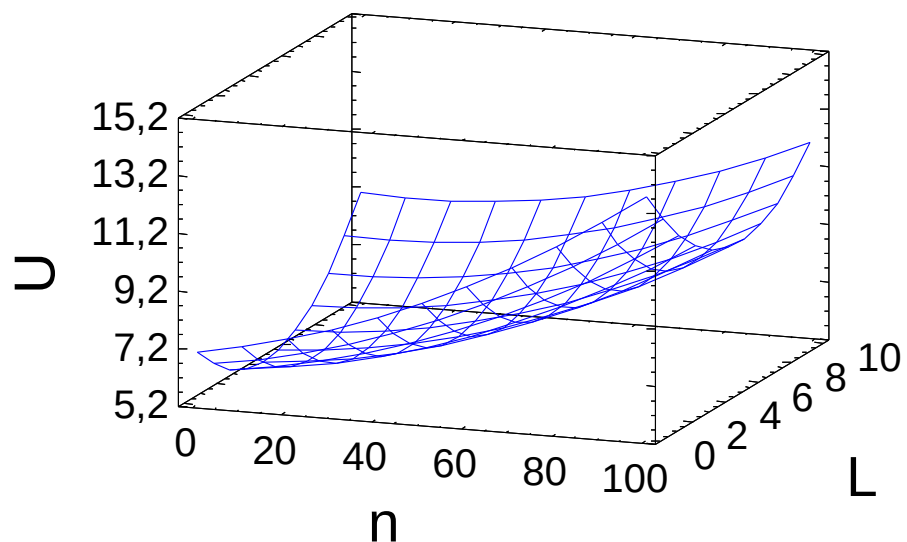


Рис.3.12. Графік залежності зношування з'єднання від швидкості ковзання інструмента й величини осциляції інструмента при $P - \text{const}$, $n_{\text{об.х.}}/n_{\text{д}} - \text{const}$, а також графік ліній рівних значень цієї ж залежності.

Estimated Response Surface

$P=10,0, V=1,2$



Contours of Estimated Response Surface

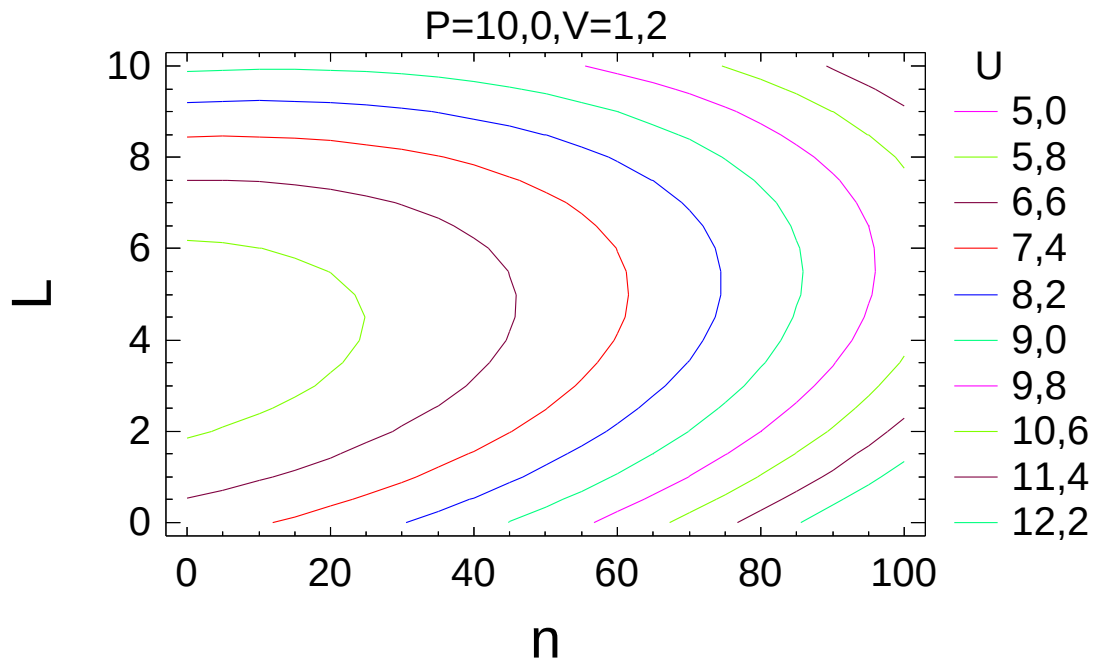


Рис.3.13. Графік залежності зношування з'єднання від відношення частот подвійних ходів інструмента й обертання деталі й величини осциляції інструмента при $P = \text{const}$, $V_k = \text{const}$, а також графік ліній рівних значень цієї ж залежності.

Оптимізація параметрів процесу ФАБО методом крутого сходження дозволила визначити значення параметрів, при яких зношування з'єднання «сталь 18ХГТ (оброблена методом ФАБО) – бронза БрОФ» буде мінімальне і складе 5 мкм: зусилля латунування – $P=5$ МПа; швидкість ковзання інструмента – $V_k=1,2$ м/с; відношення частот подвійних ходів інструмента й обертання деталі – $n_{\text{дв.х.}}/n_{\text{д}}=10$; величина осциляції інструмента – $L=6$ мм.

3.4. Дослідження припрацювання поверхні після ФАБО

Методика проведення досліджень. Основними показниками припрацьовуваності є тривалість припрацювання, припрацьоване зношування, а також відсутність появи дефектів поверхні в процесі припрацювання.

Тривалість припрацювання визначається часом від початку роботи третьової пари до моменту початку нормального зношування або до моменту переходу граничного тертя в рідинне [20].

Дослідження припрацьовуваності проводилося по другому способу на парі тертя: ролик – кільцевий сектор. У якості зразків використовувалися ролики діаметром 0,05 м, які були виготовлені зі сталі 18ХГТ ГОСТ 4543-81 попередньо оброблені методом ФАБВО. Матеріал кільцевих секторів – бронза БрОФ із площею внутрішньої поверхні $1,0 \times 10^{-4} \text{ м}^2$.

Спеціальний пристрій, що містить скалку з роликом, навантажувальний вузол з кільцевим сектором і електричною частиною, монтувався на токарно-гвинторізний верстат 16К20 (рис.3.14).

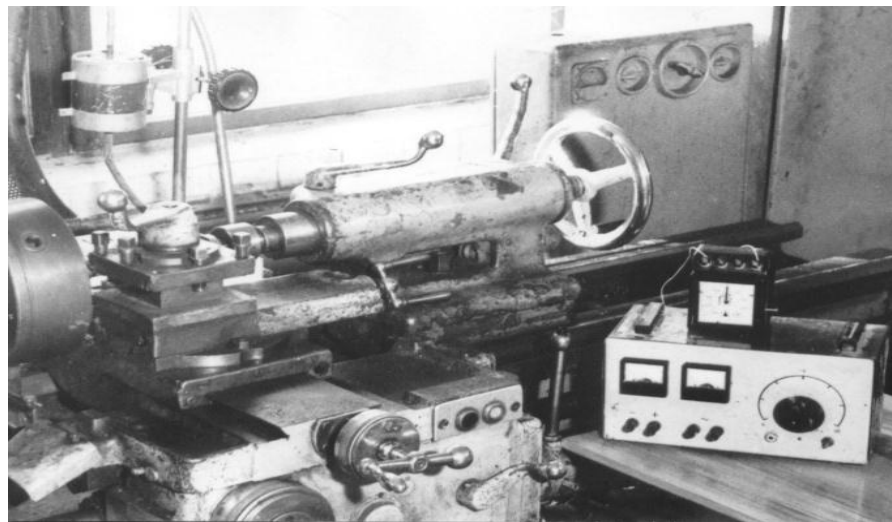


Рис.3.14. Загальний вид установки для вивчення припрацьовуваності.

Підведення струму до ролика 1 (рис.3.15) від трансформатора, що знижується, 2 здійснюється через обертовий патрон підпружиненої міднографітової щіткою 3, яка встановлювалося в щіткотримачі, закріпленому на станині верстата, а до кільцевого сектора 4 - безпосередньо через опору. Наявність напруги в ланцюзі контролюється вольтметром 5, а електричного струму - електролампочкою 6 і електрогодинниками 7. Рідина, що змазує (веретенне масло) у зону тертя подається насосом верстата через наконечник 8.

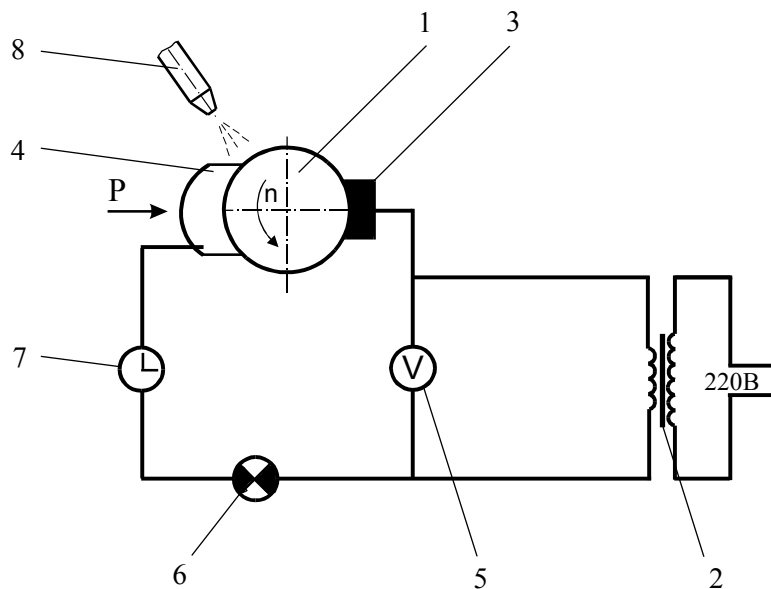


Рис.3.15. Схема випробування поверхонь тертя на припрацьовуваність: 1 – ролик; 2 – трансформатор понижувальний; 3 – струмопідвід; 4 – вкладиш; 5 – вольтметр; 6 – електролампочка; 7 – електрогодинники; 8 – пристрій для подачі рідини, що змазує.

При роботі установки ролик і кільцевий сектор, електрично пов'язані із сигнальним пристроєм (електролампочкою) і приладом, що реєструє (електрогодинники), піддаються тертю в умовах подачі рідини, що змазує, у зону контакту випробовуваних зразків. У початковий момент контакти досліджуваних зразків електроланцюгу сигнального пристрою й пристроїв, що реєструє, замкнуті, загоряється електрична лампочка, і включаються електрогодинники. У момент закінчення припрацьовання, коли опорні поверхні тертьових зразків настільки зростуть, що вихідний тиск виявиться недостатнім, щоб прорвати масляну плівку, контакт між ними порушується, і вимикається сигнальна лампа і електрогодинники.

Результати досліджень. Встановлено, що при зростанні шорсткості (рис.3.16) період припрацьовання збільшується, що пов'язане зі збільшенням зазору в сполученні.

Період припрацьовання зразків, оброблених методами ФАБО і ФАБВО (рис.3.17), істотно коротше, ніж оброблених шліфуванням (при ФАБО зразків зі сталі 18ХГТ у порівнянні із чистовим точінням і шліфуванням в 1,4 рази, а при ФАБВО - в 4 рази при терті з контртілом із бронзи БрОФ відповідно).

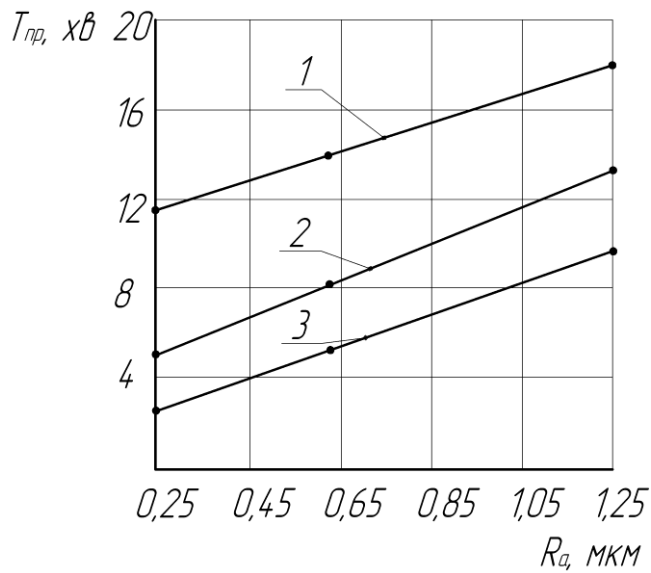


Рис.3.16. Залежність тривалості припрацювання $T_{пр}$ від шорсткості R_a поверхні при різних способах обробки: 1 – чистове точіння і шліфування; 2 – чистове точіння і ФАБО; 3 – чистове точіння і ФАБВО (матеріали: ролик – сталь 18ХГТ; сектор – бронза БрОФ).

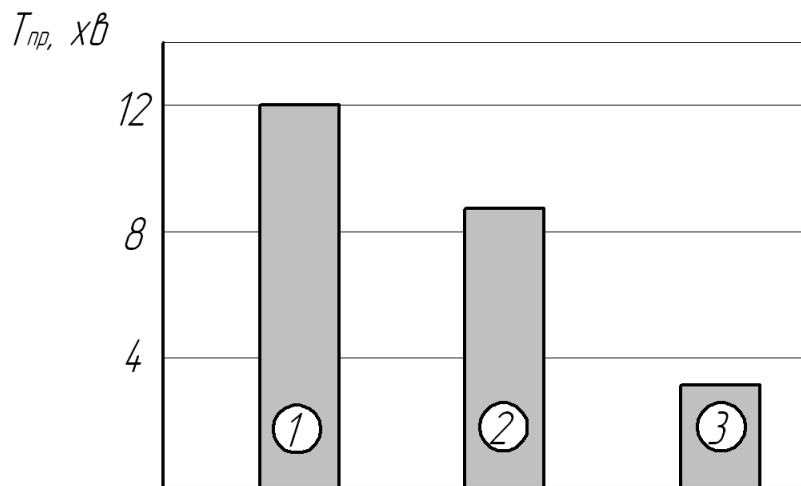


Рис.3.17. Діаграма тривалості припрацювання $T_{пр}$ при різних способах обробки: 1 – чистове точіння і шліфування; 2 – чистове точіння і ФАБО; 3 – чистове точіння і ФАБВО.

З наведеної на рис.3.18 діаграми видно, що фінішна обробка (ФАБО і ФАБВО) значно знижує інтенсивність початкового зношування поверхневих шарів у порівнянні зі зразками обробленими чистовим точінням і шліфуванням. На наш погляд, це пов'язане з наявністю на поверхні сталевих зразка

латунного покриття, що поліпшує процес припрацювання пари тертя: ролик - кільцевий сектор.

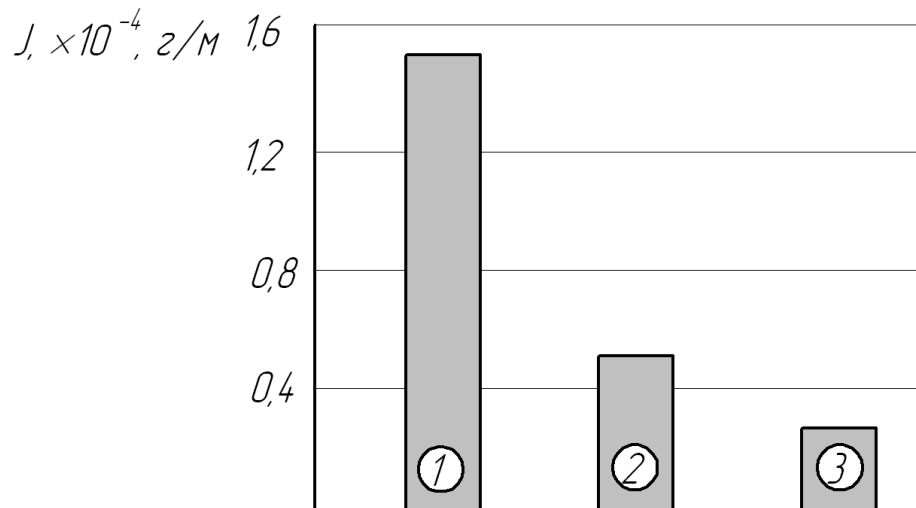


Рис.3.18. Діаграма інтенсивності початкового зношування J при різних способах обробки: 1 – чистове точіння і шліфування; 2 – чистове точіння і ФАБО; 3 – чистове точіння і ФАБВО.

Отже, можна стверджувати, що нанесення покриттів методом ФАБВО дозволяє значно скоротити період припрацювання сполучення, а також поліпшити припрацьовуваність поверхні пари тертя: сталь 18ХГТ (ролик) - бронза БрОФ (кільцевий сектор).

3.5. Дослідження зносостійкості поверхні після ФАБО

Методика проведення досліджень. Дослідження зносостійкості зразків, оброблених ФАБВО, проводилися на модернізованій машині тертя МІ-1М, що працює за схемою « вал-втулка».

Випробуванню піддавалися зразки: вал - сталь 18ХГТ, оброблені ФАБО, і втулка з бронзи БрОФ. Як змащення застосовувалося масло М-10-Г2 ГОСТ 8581-78.

Навантажувальний і швидкісний режим для всіх випробувань відповідав умовам роботи гідроагрегатів [6].

У процесі зношування зразки піддавалися вимірам на величину зношування за допомогою індикаторного пристосування й на профілографі-профілометрі, по яких визначали величину зношування вала і втулки та розраховували швидкість зношування латунованих поверхонь.

Результати досліджень. Проведені дослідження показали, що використання в якості фінішної операції способу ФАБВО дозволяє зменшити зношування (рис.3.19-3.20) і інтенсивність зношування сполучення при граничному (рис.3.21), а отже й при рідинному терті.

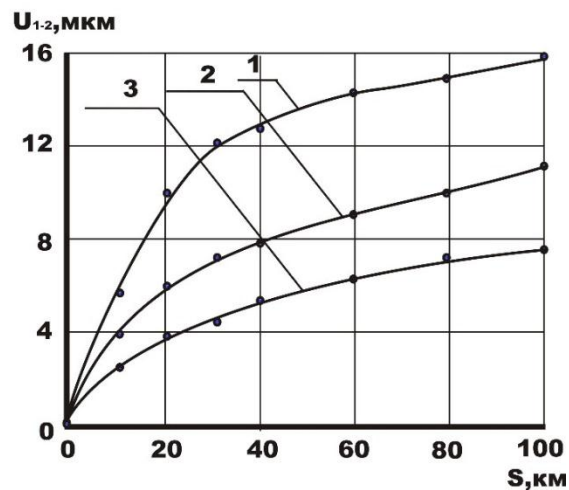


Рис. 3.19. Залежність сумарного зношування сполучення від шляху тертя при різних способах обробки поверхні ролика: 1 – шліфування; 2 – ФАБВО; 3 – ФАБВО (матеріали: ролик – сталь 18ХГТ; сектор – бронза БрОФ)

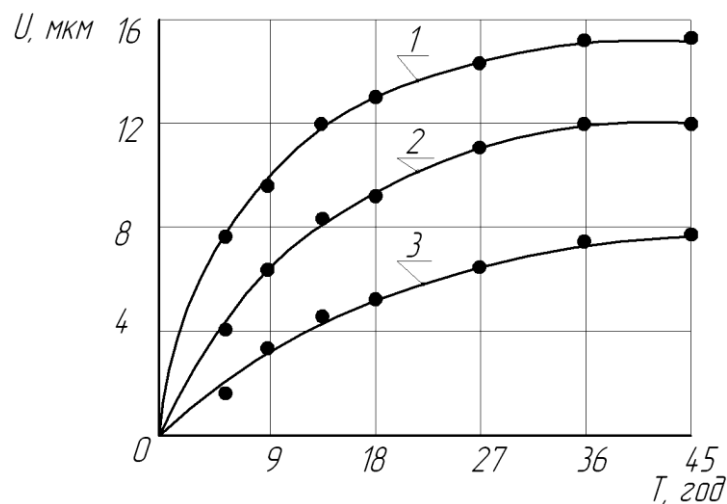


Рис. 3.20. Залежність сумарного зношування сполучення від часу тертя при різних способах обробки поверхні ролика: 1 – шліфування; 2 – ФАБВО; 3 – ФАБВО (матеріали: ролик – сталь 18ХГТ; сектор – бронза БрОФ)

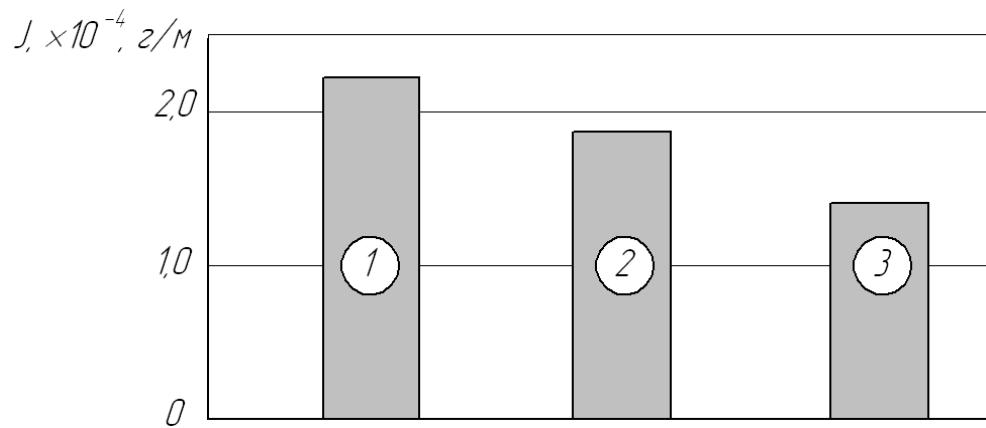


Рис.3.21. Діаграма інтенсивності сумарного зношування сполучення при різних способах обробки поверхні ролика (граничне тертя): 1 – шліфування; 2 – ФАБО; 3 – ФАБВО (матеріали: ролик – сталь 18ХГТ; сектор – бронза БрОФ)

Залежності зміни зношування зразків не дають наочної картини існування періоду припрацювання сполучення. Це можливо тільки застосовуючи не величину зношування, а коефіцієнт зношування K_U , що є функцією швидкісних, силових і конструктивних параметрів сполучення [21]:

$$K_U = \frac{U}{P \cdot S},$$

де U – величина лінійного зношування, мкм;

P – питомий тиск у парі тертя, Па;

S – шлях відносного переміщення деталей сполучення, км.

Динаміка зміни коефіцієнтів зношування матеріалів сполучення типу ролик - сектор при різних способах обробки представлена на рис.3.22.

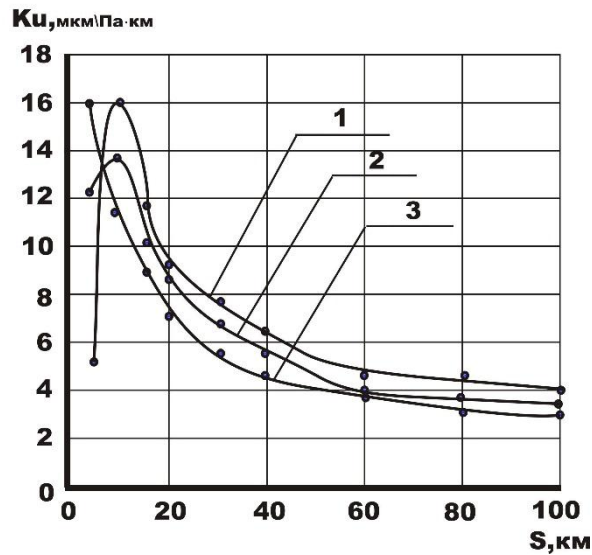


Рис.3.22. Залежність коефіцієнта зношування сполучення від шляху тертя при різних способах обробки: 1 – шліфування; 2 – ФАБО; 3 – ФАБВО

Із наведених залежностей видно, що зразки з попередньою обробкою ФАБВО мають скорочений період припрацювання в середньому на 20 км шляху тертя відносного переміщення деталей, що сполучаються. Це пояснюється тим, що при застосуванні ФАБВО виключений період нагромадження деформацій, пов'язаний з початковим переносом міді на сталевий ролик.

Підвищення зносостійкості зразків, оброблених ФАБВО, на наш погляд, можна пояснити наявністю суцільного латунного покриття, що знижує коефіцієнт тертя (рис.3.23).

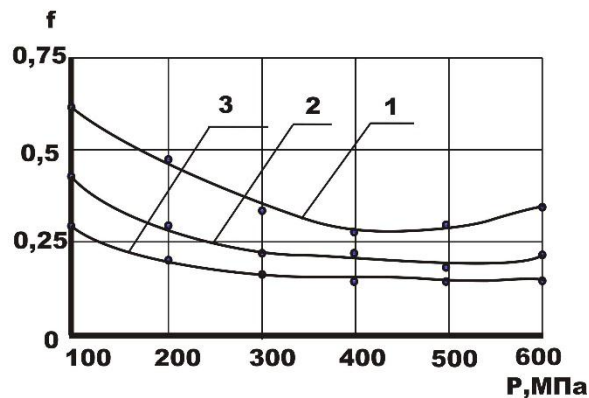


Рис.3.23. Залежність коефіцієнта тертя від навантажень при різних способах обробки: 1 – шліфування; 2 – ФАБО; 3 – ФАБВО.

Таким чином, можна із упевненістю затверджувати, що нанесення покриттів методом ФАБВО сприяє підвищенню зносостійкості в умовах граничного і рідинного тертя.

3.6. Проведення стендових випробувань

Методика проведення досліджень. Для проведення прискорених стендових випробувань шестеренних гідронасосів застосовували стенд КИ-28097-02М, загальний вигляд якого представлений на рис.3.24. Обкатку і випробування зазвичай проводять відповідно до ГОСТу 14658-86.



Рис.3.24. Загальний вигляд стенда для стендових випробувань шестеренних гідронасосів

Оцінною характеристикою тривалості періоду припрацювання прийнята стабілізація споживаної потужності електродвигуна на привід шестеренного гідронасоса при номінальній продуктивності насоса.

Результати досліджень. Оцінною характеристикою тривалості періоду припрацювання була прийнята стабілізація споживаної потужності електродвигуна на привід гідронасосу при його номінальній об'ємній подачі (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 – Характеристика гідронасосів

Модель насоса	Номінальна потужність N , кВт	Частота обертання N , хв. ⁻¹	Об'ємна подача Q , л/хв.	Тиск, МПа	
				$P_{ном}$	P_{max}
НШ 50А-3	41,5	2400	107,2	16	21
НШ100А-3	66,4	1920	173	16	20

Зміна споживаної потужності електродвигуна на привід гідронасоса з цапфами шестерень, оброблених за існуючою і запропонованою технологіями у період припрацювання гідронасосів, представлені на рис. 3.25.

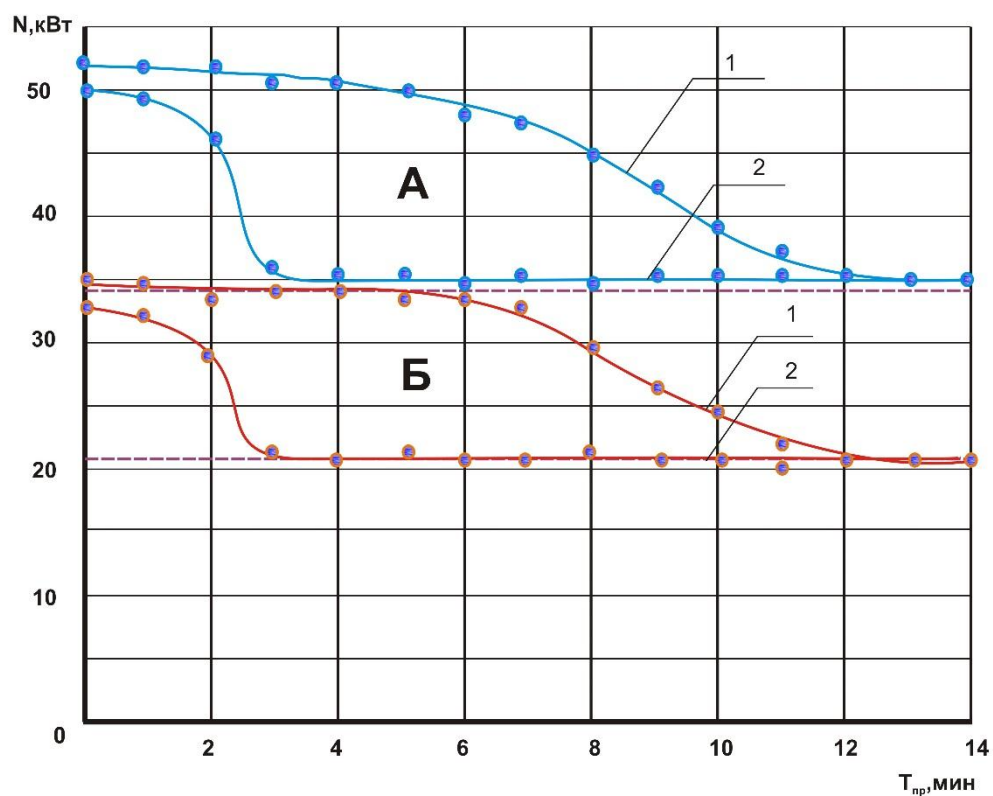


Рис.3.25. Залежність періоду припрацювання цапф шестерень гідронасосів від технології обробки цапф: А – НШ100А – 3; Б – НШ50А - 3: 1 – за існуючою технологією; 2 – з використанням технології ФАБВО

Дані рис.3.25 свідчать про скорочення періоду припрацювання.

3.7. Висновки по розділу 3

За результатами проведених досліджень зроблені наступні висновки:

1. Розроблено технологічний процес відновлення шестерні веденої. При цьому дефект «Зношування поверхонь цапф» обробляти за допомогою технології ФАБО.

2. Для з'єднання цапфа шестірні – обойма (втулка) встановлені оптимальні режими фінішної ФАБО: зусилля притискання інструменту – $P=5$ МПа; швидкість ковзання інструмента – $V_k=1,2$ м/с; відношення частот подвійних ходів інструмента й обертання деталі – $n_{дв.х.}/n_d=10$; величина осциляції інструмента – $L=6$ мм.

3. Доведено, що використання в якості фінішної операції ФАБО дозволяє підвищити антифрикційні властивості деталей (скорочується період припрацювання, зменшується зношування та інтенсивність зношування з'єднання).

4. Стендові випробування шестеренних гідронасосів НШ50А - 3 і НШ100А - 3 дозволяють стверджувати, що обробка цапф шестерень ФАБО дозволяє скоротити період припрацювання з 12 до 3 хвилин. Скорочення періоду припрацювання з'єднань цапфа шестерні - втулка призводить до зменшення зносу, стабілізації зазору в з'єднанні, що в підсумку збільшує технічний ресурс гідронасоса в процесі експлуатації.

РОЗДІЛ 4. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ РЕМОНТІ АГРЕГАТИВ

4.1. Розрахунок економічного ефекту від впровадження технології ФАБО

Розрахунок економічного ефекту від впровадження запропонованої технології виконуємо за формулою:

$$E_k = (Z_{\text{т.б.}} - Z_{\text{т.п.}}) N_r,$$

де $Z_{\text{т.б.}}$ – витрати на капітальний ремонт за базовою технологією шестерного насоса НШ-50А2 - $Z_{\text{т.б.}}=628$ грн., а для НШ-100А2 – $Z_{\text{т.б.}} = 842$ грн. Середні витрати по двох марках насосів становлять 735 грн.

$Z_{\text{т.п.}}$ – витрати на капітальний ремонт насосів НШ -50А2, НШ-100А2 за пропонованою технологією, грн.

N_r – річна програма ремонту шестерних насосів НШ -50А2, НШ-100А2, $N_r = 6000$ насоси.

Витрати на капітальний ремонт шестерного насоса за базовою технологією складаються з витрат на відновлення деталей насоса з фінішним шліфуванням цапф шестірень $Z_{\text{р1}}$ і вартістю обкатування

$$Z_{\text{т.б.}} = Z_{\text{р1}} + Z_{\text{об.}}$$

$$Z_{\text{т.б.}} = 735 + 86,00 = 821,0 \text{ грн.}$$

Витрати на капітальний ремонт шестерного насоса за пропонованою технологією складаються з витрат на відновлення деталей насоса з фінішним застосуванням ФАБО для цапф шестірень, вартості установки $C_{\text{уст}}$ і вартістю обкатування $Z_{\text{об}}$

$$Z_{\text{т.п.}} = Z_{\text{р2}} + (E_n C_{\text{уст}})/N_r + Z_{\text{об.}}$$

Відрізняється пропонована технологія від базовою тільки фінішною обробкою цапф шестірень насосів. У базовій технології цапфи шліфуються на круглошлифовальному верстаті із загальною трудомісткістю 20 хв. У

пропонованій технології цапфи піддаються ФАБО на токарно-гвинторізному верстаті із загальною трудомісткістю 6,8 хв.

Тоді, витрати на відновлення насоса за пропонованою технологією складуть

$$З_{Т.П.} = З_{Т.Б.} - З_{ШЛ} + З_{ФАБВО} - З_{ОБ.1} + З_{ОБ.2} + (E_H C_{УСТ}) / N_P,$$

де $З_{ШЛ}$ – витрати на шліфування цапф шестірень, грн. $З_{ШЛ} = 62,00$ грн.

$З_{ФАБВО}$ – витрати на ФАБО, грн.

$З_{Т.Б.}$ – витрати за базовою технологією, грн.

E_H – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень, $E_H = 0,15$.

$C_{УСТ}$ – вартість установки ФАБО, $C_{УСТ} = 8750,0$ грн.

Додаткові витрати на ФАБО можна представити у вигляді:

$$З_{ФАБО} = C_C + C_P + C_W + C_K,$$

де C_C – вартість трудових витрат на ФАБО, грн.

C_P – вартість витрат на технологічну рідину, грн.

C_W – витрати на електроенергію, грн.

C_K – непрямі витрати, грн.

Вартість трудових витрат на ФАБО

$$C_C = C_T t_{\Phi} \alpha \cdot K_H,$$

де C_P – годинна тарифна ставка верстатника 4 розряди, грн.

t_{Φ} – норма часу ФАБО одного насоса, година; $t_{\Phi} = 0,12$ година,

α – коефіцієнт, що враховує премії й нарахування; $\alpha = 2,46$;

K_H – коефіцієнт нарахувань; $K_H = 1,385$.

$$C_C = 92,12 \cdot 0,12 \cdot 2,46 \cdot 1,385 = 37,66 \text{ грн.}$$

Вартість витрат на технологічну рідину

$$C_P = C_P N_P,$$

де C_P – ціна 1 кг технологічної рідини СФП-2, $C_P = 430$ грн.

N_P – норма витрати технологічної рідини на 1 шестерний насос НШ-50А-2, $N_P = 0,05$ кг (дані виробничих випробувань).

$$C_P = 430 \cdot 0,05 = 21,50 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію

$$C_W = W \cdot C_E \cdot t_{\Phi} \cdot K_B,$$

де W – потужність електропривода устаткування для ФАБО, кВт.

$$W = 1,1 \text{ кВт};$$

C_E – вартість 1 кВт.год електроенергії, грн; $C_E = 5,80$ грн.

K_B – коефіцієнт використання устаткування; $K_B = 0,8$

$$C_W = 1,1 \cdot 5,80 \cdot \cdot 0,8 = 5,10 \text{ грн.}$$

$$C_K = (37,66 + 21,50 + 5,10) \cdot 1,4 = 89,96 \text{ грн.}$$

$$Z_{\text{ФАБВО}} = 37,66 + 21,50 + 5,10 + 89,96 = 151,22 \text{ грн.}$$

Витрати на обкатування насоса перебувають по наступній формулі

$$C_{\text{ОБ}} = C_{\text{ЗП}} + C_M + C_E,$$

де $C_{\text{ЗП}}$ – заробітна плата слюсаря - обкатника, грн.

C_M – витрати на масло при обкатуванні, грн.

C_E – витрати на електроенергію, грн.

Заробітна плата слюсаря-обкатника визначається як

$$C_{\text{ЗП}} = C_{\text{ОБ}} \cdot t_{\text{ОБ}} \cdot \alpha,$$

де $C_{\text{ОБ}}$ – годинна тарифна ставка слюсаря-обкатника, грн.;

$t_{\text{ОБ}}$ – час обкатування одного насоса, година. Час обкатування за існуючою технологією $t_{\text{ОБ}} = 0,2$ години, а за пропонованої технології $t_{\text{ОБ}} = 0,05$ години.

$$C_{\text{ЗП.1}} = 82,12 \cdot 0,2 \cdot 1,385 \cdot 1,46 = 33,21 \text{ грн.}$$

$$C_{\text{ЗП.2}} = 82,12 \cdot 0,05 \cdot 1,385 \cdot 1,46 = 8,31 \text{ грн.}$$

Витрати на масло при обкатуванні

$$C_M = H_M \cdot C_M,$$

де H_M – норма витрати масла на обкатування одного насоса, кг,

C_M – ціна 1 кг мінерального масла, грн. $C_M = 320,0$ грн.

$$C_M = 0,8 \cdot 320,0 = 256,0 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію при обкатуванні насоса.

$$C_E = W_O \cdot C_E \cdot t_{\text{ОБ}} / 0,85,$$

де $0,85$ – ККД електродвигуна;

W_O – потужність електродвигуна обкатного стенда, кВт; $W_O=4,0$ кВт;

T_{OB} – час обкатування насоса. година.

$$C_{E.1} = 4,0 \cdot 5,80 \cdot 0,2/0,85 = 22,50 \text{ грн.}$$

$$C_{Э.2} = 4,0 \cdot 5,80 \cdot 0,05/0,85 = 16,35 \text{ грн.}$$

Витрати на обкатування за базовою технологією $Z_{OB.1}$ і прийнятої технології $Z_{OB.2}$.

$$Z_{OB.1} = 33,21 + 256 + 22,50 = 311,71 \text{ грн.}$$

$$Z_{OB.2} = 8,31 + 256 + 16,35 = 270,66 \text{ грн.}$$

Витрати на ремонт насоса за пропонованою технологією

$$Z_{T.П} = 821 - 46,0 + 45,0 - 311,71 + 270,66 + 0.15 \cdot 1250/6000 = 684,40 \text{ грн.}$$

Річна економія за собівартістю продукції складе

$$E_k = (735,00 - 684,40) \cdot 6000 = 306000,00 \text{ грн.}$$

Крім того, скорочення періоду припрацювання приведе до зниження начального періоду зношування, а в підсумку – до збільшення технічного ресурсу гідронасосів.

4.2. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів при ремонті агрегатів

При ремонті агрегатів можливі небезпечні ситуації, коли працівник знаходиться безпосередньо в небезпечній зоні (видалення тріщин, загартовування отворів). Ряд операцій здійснюється при таких же умовах, але працівник в такому місці знаходиться короткочасно (спостереження, огляд). Існують умови, коли небезпека виникає тільки у випадку порушення засобів захисту.

Аналіз технологічних процесів дав змогу виявити слідуючи небезпечні шкідливі виробничі фактори:

- рухомі, обертальні частини виробничого обладнання, транспортних і вантажопідйомних машин, рух виробів, інструменту;
- осколки інструментів, стружка, вилітання загоджуючих вставок;
- підвищений рівень шуму, вібрації;

- втрата стійкості складальними, випробувальними стендами;
- падіння деталей, інструменту, агрегатів;
- осколки металу, що відлітають при випресуванні та запресуванні пальців, підшипників, вісей, шворнів;
- недостатнє освітлення робочої зони;
- підвищений рівень напруги в електричній мережі при існуванні умов замикання електричного кола через тіло людини;
- наявність у повітрі робочої зони шкідливих речовин;
- вимушена поза напруженість робочих.

Проведений аналіз дає можливість обґрунтувати ефективні заходи з безпеки праці та створенню нормальних санітарно - гігієнічних умов праці.

Ремонтні роботи агрегатів передбачено проводити на верстатах, стендах, які мають необхідну стійкість.

Розташування верстатів, стендів забезпечує захист інших працівників від небезпечних факторів, вільний доступ, вільну зону, шляхи транспортування виробів.

Робочі місця укомплектовані необхідними інструментами і пристосуваннями, які передбачені в технологічній документації.

Інструменти, пристосування і комплектуючі вироби розташовуються біля працівника; те, що береться лівою рукою – зліва від нього, а те що береться правою – справа. Також розміщено і допоміжне обладнання.

Шляхи транспортування агрегатів технологічним процесом передбачені найкоротшими і виключають зустрічні перехресні вантажопотоки.

Комплектування і планування ділянки відповідає вимогам «Норм технологічного проектування».

Ширина проїзду – 2,5 м, ширина проходу – 1,5 м. Проходи і проїзди на ділянці позначені лініями білого кольору шириною не менше 100 мм.

Ручний механізований інструмент, маса якого перевищує 3 кг підвищується на еластичних підвісках.

Установка і зняття важких агрегатів масою понад 20 кг проводиться із застосуванням засобів малої механізації. Шланги до пневматичного

інструменту виконанні з прогумованого матеріалу за розміром штуцерів або ніпелів.

Для забезпечення безпеки при використанні електроінструменту використовуються розподільні трансформатори безпеки.

До роботи з електроінструментом класу I допускається працівники з II групою електробезпеки, а до експлуатації електроінструменту II і III класу – також з I групою електробезпеки.

Під час роботи електроінструментом класу I, якщо він не одержує живлення від розподільчого трансформатора безпеки, або через захисні пристрої, також використовуються засоби індивідуального захисту.

Електроінструмент, розподільчі трансформатори безпеки та знижувальні трансформатори, захисно-вимикальні пристрої та кабелі-подувжувачі – проходять перевірку 1 раз на 6 місяців (зовнішній огляд, перевірка роботи на холостому ході не менше 5 хв., вимірювання опору ізоляції і напруги протягом 1 хв.). Штепсельні з'єднання (розетки, вилки), що застосовуються на напругу 12 – 42 В за своїм конструктивним виконанням відрізняється від штепсельних з'єднань на напругу 220 В.

Для підйомно-транспортних операцій використовуються стропи, кліщі, траверси, які розраховані на необхідну вантажопідйомність.

Передбачено сигнальне фарбування елементів будівлі, виробничого обладнання, а також застосування знаків безпеки.

4.3. Висновки по розділу 4

За результатами матеріалу розділу 4 зроблено наступні висновки:

1. Розрахунок економічного ефекту від впровадження запропонованої технології ФАБО при річній програмі ремонту насосів 6000 шт. складає 306000,00 грн.

2. Виконано аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів при ремонті агрегатів. Обґрунтовано вибір заходів з безпеки праці та створенню нормальних санітарно - гігієнічних умов праці.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

За результатами виконання кваліфікаційної магістерської роботи, яка присвячена підвищенню технічного ресурсу гідронасосів вантажних автомобілів зроблені наступні висновки:

1. З'ясовано, що з'єднання «цапфа шестерні – обойма» визначає тривалість періоду припрацювання всього гідронасоса, а отже, її скорочення дозволяє підвищити технічний ресурс вузла.

2. Одним зі шляхів скорочення припрацювання цапф гідронасосів є введення в технологічний процес обробки фінішної операції, зокрема, фінішної антифрикційної безабразивної обробки поверхні.

3. Запропоновано технологічний процес відновлення шестерні веденої з використанням технології фінішної антифрикційної безабразивної обробки цапф.

4. Розроблено технологічний процес відновлення шестерні веденої. При цьому дефект «Зношування поверхонь цапф» обробляти за допомогою технології ФАБО.

5. Експериментальні дослідження технології ФАБО цапф шестерні засвідчили скорочення періоду припрацювання, зменшення зношування та інтенсивності зношування з'єднання.

6. Стендові випробування гідронасосів показали, що обробка цапф шестерень ФАБО дозволяє скоротити період припрацювання в 4 рази. Скорочення періоду припрацювання з'єднань цапфа шестерні - втулка призводить до зменшення зносу, стабілізації зазору в з'єднанні, що в підсумку збільшує технічний ресурс гідронасоса в процесі експлуатації.

7. Розрахований економічний ефект від впровадження запропонованої технології ФАБО, який склав 306000,00 грн.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шепеленко І.В., Черкун В.В., Гуцул В.І. Підвищення ефективності використання ФАБО. Інноваційні технології в агропромисловому комплексі: матеріали І Всеукраїн. наук.-практ. Інтернет-конференції (01 – 30 вересня 2020 р.), Мелітополь, ТДАТУ, 2020. С.35–38.
2. Кондрачук М.В. Трибологія/ М.В. Кондрачук, В.Ф. Хабутель, М.І. Пашечко, Є.В. Корбут. – К.: Вид-во Авіаційного університету «НАУ-друк», 2009. – 232 с.
3. <https://erm.kntu.kr.ua/materiali/pidgotovka.html>
4. Шепеленко І.В., Черкун В.В. Підвищення ефективності обробки цапф шестерень гідронасосів. Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології промислового комплексу - 2021» (07 – 10 вересня 2021 р.), випуск 7. – Херсон: ХНТУ, 2021. С.109–112.
5. <https://adara.ua/ua/categories/nasosi-nsh/nasos-shesterenniy-nsh-50a-3>
6. Гідропривід сільськогосподарської техніки: навчальне видання / О.М.Погорілець, М. С. Волянський, В. Д. Войтюк, С. І. Пастушенко; за ред. О.М. Погорільця. – К. : Вища освіта, 2004. – 368 с.
7. Ющенко К.А., Борисов Ю.С., Кузнецов В.Д., Корж В.М. Інженерія поверхні: Підручник. – К.: Наукова думка, 2007. – 559 с.
8. Кузнецов В.Д., Пащенко В.М., Ющенко К.А., Борисов Ю.С. Фізико – хімічні основи інженерії поверхні: Навч. посібник. – К.: ВІПОЛ, 2005. – 372 с.
9. Shepelenko I.V. The study of surface roughness in the process of finishing antifriction non-abrasive treatment// Проблеми трибології (Problems of Tribology), Хмельницький, 2020. – №1/95. – С.34–40.
10. Shepelenko I.V. The mechanism of formation of anti-friction coatings by employing friction-mechanical method/ I.V. Shepelenko, E.K. Posviatenko,

V.V. Cherkun// Проблеми трибології (Problems of Tribology), Хмельницький, 2019. – №1. – С.35–39.

11. Shepelenko I. Mechanics of Micro-cutting Using FANT/ I. Shepelenko, Y. Tsekhanov, M. Storchak M. et al.// In: Tonkonogyi V. et al. (eds) Advanced Manufacturing Processes II. InterPartner 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham (2021), pp.619–628.

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

13. Афтаназів І.С., Кусий Я.М. Аналіз та вибір оптимальних фінішних операцій технологічного процесу виготовлення довгомірних циліндричних деталей // Вісн. Нац. ун-ту "Львівська політехніка". - 2000. - № 412. - С. 3-11.

14. Шепеленко І.В, Чернявський О.В., Посвятенко Е.К. Перспективи комбінованих плівочних антифрикційних покриттів деталей машин. Качество, стандартизация, контроль: теория и практика: Материалы 18-й Международной научно-практической конференции, 3 – 07 сентября 2018 г., г.Одесса – Киев: АТМ Украины, 2018. – С.136.

15. Шепеленко І.В., Немировський Я.Б., Посвятенко Е.К. Інтенсифікація процесу нанесення антифрикційних покриттів. Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта: матеріали XXI Міжнародної науково – технічної конференції (06 – 09 жовтня 2020 р.), Київ, КПІ, 2020. С.94–96.

16. Готтлиб Польцер. Основы фрикционного нанесения покрытия в условиях селективной передачи / Польцер Готтлиб // РВМ (Ремонт. Восстановление. Модернизация). – 2010. – № 10. – С. 23–28.

17. Chernovol Mykhailo. Appliances for FANT of cylinder liners/ Mykhailo Chernovol, Ihor Shepelenko, Mohamed R.F. Budar// Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, Кіровоград, 2016. – Вип.46. – С.258–265.

18. Черновол М.І. Пристрої для фрикційно-механічного нанесення покриттів/ М.І. Черновол, І.В. Шепеленко // Збірник наукових праць

Кіровоградського національного технічного університету, Кіровоград, 2013. – Вип.26. – С.58–62.

19. Черновол М.І., Шепеленко І.В. Системний підхід до формування показників якості відновлених деталей // Збірник наукових праць. Науковий вісник. Технічні науки. Вип.7 (38)_І. – Кропивницький, 2023. С.30–36.

20. Shepelenko, I., Solovykh, E., Bevz, O., Katerynych, S., Solovuch, A. (2023). Research of the Surface Oil Absorption Processed by Vibration Rolling and Deforming Broaching. In: Karabegovic, I., Kovačević, A., Mandzuka, S. (eds) New Technologies, Development and Application VI. NT 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 687. Springer, Cham. pp. 131-138.

21. Черкун В. В. Триботехнічні властивості латуньованих поверхонь тертя / В. В. Черкун, В. Б. Юдовинський. // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2008.– Вип.8, т. 1. – С. 158 – 165.