

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Пояснювальна записка до дипломної роботи бакалавра

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність: 132 «Матеріалознавство»


Освітньо-професійна програма: «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

на тему: «Розробка технології зміцнення та ремонту деталей масляного
шестерінного насосу типу НШ»

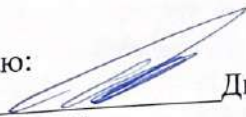
Шифр: ДРБАТ 24.21172.000. ПЗ

Виконав: студент 4 курсу, група МТВАс-21  Л.П. Шараварський

Керівник

 д. філос. В.О. Дитинюк

До захисту допускаю:

Зав. кафедри ТАМ  Диха О.В.

5 06

2024_р.

Хмельницький, 2024 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр
Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»
Спеціальність: 132 «Матеріалознавство»
Спеціалізація: «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав.кафедрою ТАМ
Диха О.В.
"10" квітня 2024 р.

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Шараварському Леоніду Павловичу

1. Тема проекту:
«Розробка технології зміцнення та ремонту деталей масляного шестерінного насосу типу НШ»

керівник проекту: Дитинюк Володимир Олександрович, д. філос.

Затверджено наказом університету від 15 лютого 2024р. № 8

2. Строк подання студентом проекту на кафедру: 10.06.2024 р.

3. Вихідні дані до проекту:

- 1) Дані про умови роботи гідронасосів типу НШ
- 2) Технічні умови на хіміко-термічну обробку цементациєю
- 3) Матеріали виробничої практики.
- 4) Нормативно – технологічна документація по способам обробки зубчастих шестерен.
- 5) Результати літературного огляду і патентного пошуку.

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

1. Загальна будова і основні несправності шестерінних насосів типу НШ
 2. Аналіз технологічності деталі. Огляд методів зміцнення деталі
- Проектування технологічного процесу виготовлення деталі
3. Дослідження технології цементациї зубчастих шестерень насосу типу НШ
 4. Конструкція та розрахунок пристрою для зубодовбальної операції

5. Консультанти розділів роботи

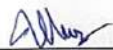
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

6. Дата видачі завдання: 10 червня 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Загальна будова і основні несправності шестерінних насосів типу НШ	1.05.2024	
2	Аналіз технологічності деталі. Огляд методів зміцнення деталі. Проектування технологічного процесу виготовлення деталі	15.05.2024	
3	Дослідження технології цементації зубчастих шестерень насосу типу НШ	25.05.2024	
4	Конструкція та розрахунок пристрою для зубодовбальної операції	5.06.2024	
5	Оформлення презентаційних матеріалів	15.06.2024	

Студент



Шараварський Л.П.

Керівник роботи



Дитинюк В.О.

РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки – 89 сторінок, кількість рисунків - 18, таблиць - 9, додатків - 2, кількість джерел згідно із переліком посилань - 30.

Тема «Розробка технології зміцнення та ремонту деталей масляного шестерінного насосу типу НШ»

В сучасному світі постійно прискорюються темпи науково-технічного прогресу шляхом всесвітнього розвитку досліджень в найбільш перспективних галузях науки, та зменшення строків впровадження наукових досліджень та налагодження виробництва по випуску нової продукції.

Виготовлення агрегатів автомобілів засновується на провідних світових підприємствах з використанням готових вузлів та агрегатів гідронасосів, гідромоторів та гідростатичних трансмісій.





В процесі виконання роботи

1. Проаналізована загальна будова і основні несправності шестерінних насосів типу НШ
2. Проведений аналіз технологічності деталі. Наведений огляд методів зміцнення деталі.
3. Розроблений технологічний процес ремонту і відновлення шестерні масляного насосу типу НШ
4. Проаналізована і досліджена технологія цементації зубчастих шестерень насосу типу НШ
5. Розроблена конструкція та розрахунок пристрою для зубодовбальної операції

Перелік ключових слів: гідравлічний насос, ведена шестерня, технологія ремонту, зношування, цементація, пристрій для довбання зубців

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. ЗАГАЛЬНА БУДОВА ТА ОСНОВНІ НЕСПРАВНОСТІ ШЕСТЕРННИХ НАСОСІВ ТИПУ НШ.....	7
1.1. Будова насосів НШ.....	7
1.2. Технічне обслуговування, а також основні дефекти насосів НШ.....	11
1.3. Ремонт масляного насоса та його елементів.....	18
1.4. Властивості та характеристики деталі та вузла.....	26
2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ТА ПРОЦЕСУ ЗМІЦНЕННЯ ШЕСТЕРНІ НАСОСА.....	31
2.1. Аналіз деталі.....	31
2.2. Огляд різних методів зміцнення деталі. Аналіз основного варіанту.....	31
2.2.1 Метод ремонтних розмірів.....	32
2.2.2 Електродугова та газова наплавка.....	33
2.2.3 Припікання порошкових матеріалів.....	35
2.2.4 Пластичне деформування.....	36
2.2.5 Гальванічне нарощення.....	38
2.2.6. Цементация.....	39
2.2.7 Азотування, ціанування та нітроцементация сталі.....	41

ДРБМТВА 24.21172.000. ПЗ								
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розробка технології зміцнення та ремонту деталей масляного шестерінного насоса типу НШ	Літ.	Аркуш	Аркушів
		Шараварський					4	89
		Дитинюк				ХНУ,		
		Бабак				гр. МТВАс-21		
		Диха						

2.3. Вибір оптимального методу зміцнення.....	43
2.4. Характеристика обраного методу зміцнення високої частоти..	48
2.5. Проектування технологічного процесу виготовлення деталей..	49
2.5.1 Складання структурної послідовності технологічного процесу.....	49
2.5.2 Розробка операцій технологічних процесів.....	51
2.5.3 Розрахунок припусків.....	53
2.6. Дослідження технології цементації зубчастих шестерень насосу.....	58
3. КОНСТРУКЦІЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ЗУБОДОВБАЛЬНОЇ ПРОЦЕДУРИ.....	67
ВИСНОВКИ.....	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	75
Додатки	

ВСТУП

У сучасному світі темпи науково-технічного прогресу надзвичайно прискорюються за допомогою всесвітнього розвитку досліджень у найбільш перспективних галузях науки та скорочення строків впровадження наукових розробок і запуску нової продукції.

Протягом останніх років вдалося значно збільшити випуск продукції сільськогосподарського сектору у 1,5-1,6 рази. Також було швидко розвинуто виробництво автоматизованих ліній для виготовлення гідронасосів, ковальсько-пресових машин, ліній та комплектів обладнання для виготовлення точних заготовок та готових деталей.

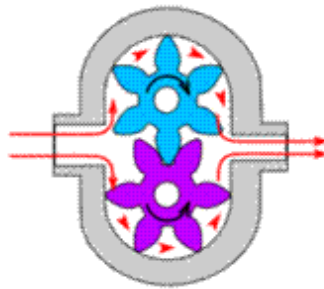
У галузі сільськогосподарського машинобудування було запущено випуск сільськогосподарських машин, вузлів та агрегатів нового покоління. Виробництво цих машин базується на передових світових технологіях з використанням готових вузлів та агрегатів гідронасосів, гідромоторів та гідростатичних трансмісій.

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

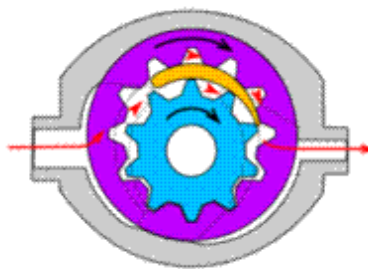
1. ЗАГАЛЬНА БУДОВА ТА ОСНОВНІ НЕСПРАВНОСТІ ШЕСТЕРННИХ НАСОСІВ ТИПУ НШ

1.1 Будова насосів НШ

Шестерневі гідромашини можуть бути виготовлені з зовнішнім або внутрішнім зачепленням. Один з варіантів внутрішнього зачеплення - героторна гідромашина із спеціальним трохоїдальним зачепленням. Гідромашини з внутрішнім зачепленням мають компактніші розміри, але через складність виробництва застосовуються рідко. Для зменшення шуму та нерівномірності подачі іноді використовують шестерні з косими зубами.



Шестеренна гідромашина з зовнішнім зачепленням



Шестеренна гідромашина із внутрішнім зачепленням

Шестерневі машини знайшли широке застосування в сучасній техніці. Основною їх перевагою є конструкційна простота, компактність, надійність та порівняно високий коефіцієнт корисної дії (ККД). У цих машинах відсутні робочі органи, які піддаються дії відцентрової сили, що дозволяє експлуатувати їх при частоті обертання до 20 обертів за секунду. В машинобудуванні шестерневі гідромашини застосовуються в системах з дросельним регулюванням. Основна група шестерневих насосів складається з двох прямозубих шестерень зовнішнього зачеплення. Застосовуються також і інші конструктивні схеми, наприклад, насоси з внутрішнім зачепленням та трьох- або більш шестерневі насоси.

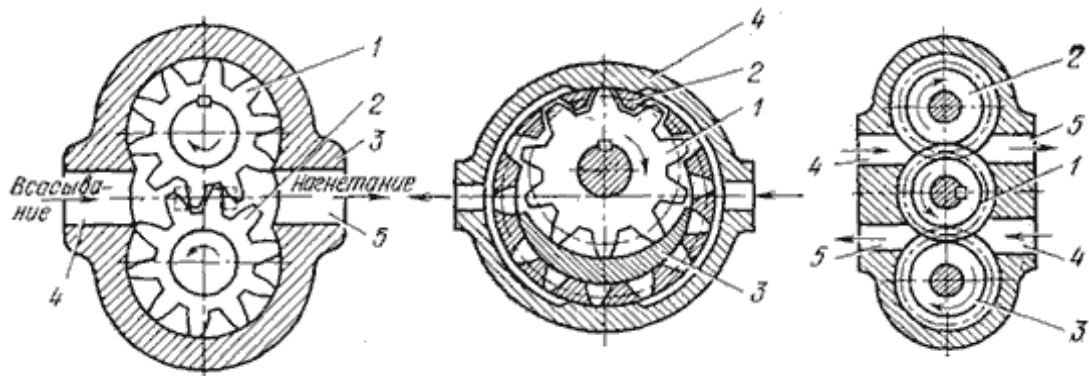


Рис. 1.1. Схеми шестеренних насосів:

а - зовнішнє зачеплення; б - внутрішнє зачеплення; в - тришестерінчасті

Шестерневий насос з зовнішнім зачепленням (див. рис.1.1, а) складається з провідної (1) і веденої (2) шестерень, які розміщені з невеликим зазором у корпусі (3). Під час обертання шестерень рідина, що заповнює робочі камери (міжзубові простори), переміщується з порожнини всмоктування (4) в порожнину нагнітання (5). З порожнини нагнітання рідина випливає в напірний трубопровід. У загальному випадку об'ємна подача шестерневого насоса визначається за формулою :

$$Q = k \frac{D^2}{z} b n \eta_{об},$$

де k - коефіцієнт, для данного випадку $k = 7$, для корегованих зубів $k = 9,4$; D - діаметр кола шестерні; z - число зубів; b - ширина ; n - частота обертів ведучого вала; $\eta_{об}$ - об'ємний ККД.

Шестеренний насос у розібраному вигляді показаний на рис. 1.2. Він складається з корпусу (8), виготовленого з алюмінієвого сплаву, в середині якого встановлені підшипниковий блок (2) з провідною (1) і веденою (3) шестернями, а також ущільнюючий блок (5), що складається з іншої половини підшипника. Для радіального ущільнення шестерень у центральній частині ущільнюючого блоку є дві сегментні поверхні, які охоплюють зазор зубів шестерень. Для торцевого ущільнення шестерень використовуються дві підтискні пластини (7), які встановлюються в спеціальні пази ущільнюючого блоку з обох сторін шестерень. У підтискних пластинах і в лівій частині ущільнюючого блоку є фігурні поглиблення для гумових прокладок (6).

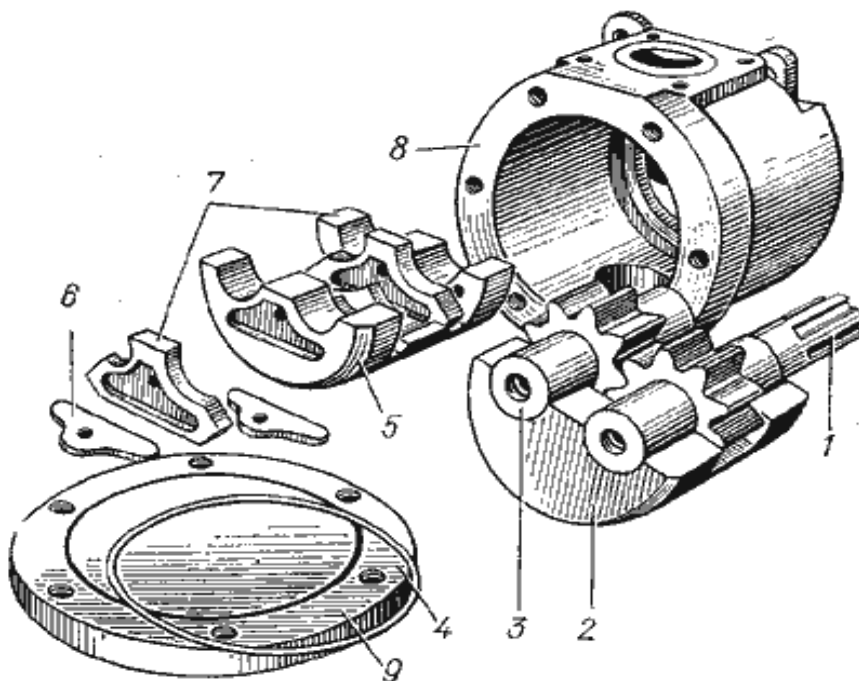


Рис.1.2. Шестеренний насос, а також його складові елементи

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Тиском рідини з порожнини нагнітання пластини 7 притискуються до торців шестерень, що автоматично компенсує зазор, забезпечуючи практично однаковий витік при будь-якому робочому тиску насоса. Ведуча і ведена шестерні виконані разом з цапфами, які спираються на підшипники ковзання підшипникового і ущільнюючого блоків. Одна з цапф провідної шестерні має шліци для з'єднання з валом приводу двигуна. Насос закривається кришкою 4 з ущільнювальним гумовим кільцем 9. Приводний вал насоса ущільнений гумовою манжетою, закріпленою спеціальними кільцями в корпусі насоса.

Шестеренні насоси з внутрішнім зачепленням складні у виготовленні, але забезпечують більш рівномірну подачу і мають менші розміри. У внутрішньої шестерні 1 (див. рис. 1.1, б) на два-три зуба менше, ніж у зовнішньої шестерні 2. Між внутрішньою і зовнішньою шестернями є серпоподібна перемичка 3, що відокремлює порожнину всмоктування від напірної порожнини. При обертанні внутрішньої шестерні рідина з робочих камер переміщується в напірну порожнину і витісняється через вікна в кришках корпусу 4 в напірний трубопровід.

На рис. 3.1, наведена схема тришестерінчастого насоса. У цьому насосі шестерня 1 є ведучою, а шестерні 2 і 3 - веденими; порожнини 4 - всмоктувальні, а порожнини 5 - напірні. Такі насоси вигідно використовувати в гідроприводах, де потрібно мати дві незалежні напірні гідролінії.

Рівномірність подачі рідини шестереневим насосом залежить від числа зубів шестерні і кута зачеплення. Чим більше зубів, тим менше нерівномірність подачі, однак це може зменшити продуктивність насоса. Для усунення зацемлення рідини в зоні контакту зубів шестерень у бічних стінках корпусу насоса розташовані розвантажувальні канавки, через які рідина відводиться в одну з порожнин насоса.

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

1.2 Технічне обслуговування, а також основні дефекти насосів нш

Перевірка та випробування масляних насосів

У гідросистемах встановлені шестерневі насоси типу НШ. Початкові букви у маркуванні цих насосів позначають назву та тип насоса, а наступне число вказує на теоретичну подачу насоса в кубічних сантиметрах на один оберт шестерень, а букви Т, Д, У, Е та інші після числа вказують модель насоса. У маркуванні насосів останніх випусків цифра 2 після тире вказує на друге виконання насоса з робочим тиском до 14 МПа. Напрямок обертання ведучої шестірні насоса вказується на його етикетці буквою Л (ліве), а праве обертання не вказується.

Основні дефекти масляних насосів:

- Зниження подачі внаслідок втрати герметичності ущільнень і спрацювання деталей. У насосі спочатку замінюють ущільнювальні кільця та сальники, а потім випробовують його на універсальних стендах типу КИ-4200 або КИ-4815. В якості робочої рідини використовують всесезонне дизельне масло.

Порядок перевірки та випробування насоса:

1. Випробовуваний насос закріплюється скобою на перехідній плиті, що відповідає маркуванню насоса.
2. З'єднують шлангом всмоктувальну порожнину насоса з штуцерами стенда.
3. Встановлюють рукоятки керування дроселями низького тиску і високого тиску у крайнє ліве положення "Відкрито", а рукоятку триходового крана у вертикальне положення "Вимкнено".
4. Включають стенд так, щоб вал електродвигуна обертався відповідно до робочого обертання насоса (лівого або правого).
5. Після вказаного положення рукояток керування вся робоча рідина проходить через сітчастий та відцентровий фільтри на злив.

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

6. Манометр низького тиску повинен показувати при холодному маслі тиск не більше 0,8 МПа.

7. Рукояткою дроселя встановлюють по манометру тиск 5...7 МПа і прогрівають робочу рідину до температури 50+5°C.

8. Після цього рідину обкатують насос і випробовують. Обкатку ведуть у режимі, встановленому для відремонтованих насосів.

9. Після обкатки перевіряють герметичність насоса протягом 0,5 хв при максимальному тиску 13,5...14,0 МПа.

10. Потрібний тиск по манометру встановлюють рукояткою.

11. Після перевірки герметичності насос випробовують, щоб визначити фактичну подачу.

Запускають стенд, встановлюють номінальну частоту обертання вала насоса, рукояткою по манометру встановлюють тиск для насосів НШ-10, НШ-32, НШ-46 та НШ-67 — 10,0 МПа, а для насосів НШ-32—2 та НШ-50—2 — 12,5 МПа. За допомогою лічильника рідини вибирають дві поділки, що відповідають початку та закінченню відліку.

Фактичний об'єм подачі визначають поділом контрольного об'єму робочої рідини у см³см³ на подвоєне значення числа імпульсів, зафіксованих при випробуванні лічильником імпульсів. Подвоєне значення враховується через те, що один імпульс відповідає двом обертам вала. Теоретичний об'єм подачі насоса беруть з його технічних характеристик (див. Таблицю 8), враховуючи категорію ремонту.

Якщо фактичний об'єм подачі насоса виявиться меншим за 65% від теоретичного, то його об'ємний коефіцієнт корисної дії буде меншим за 0.65 і насос потребує ремонту.

Перевірка та випробування розподільників

На тракторах сільськогосподарського призначення переважно встановлені клапанно-золотникові розподільники Р75-22, Р75-23, Р75-23Х,

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

P150-23 та P75-33P. Перша цифра в марці розподільника відповідає номінальному значенню потоку в л/хвл/хв, перша цифра після риски показує тип золотника, друга - кількість золотників. Додаткові позначення, такі як P, X та інші, вказують на конструктивні особливості залежно від умов роботи розподільника.

Основні дефекти, які можуть виникнути при експлуатації гідравлічних розподільників, такі:

- 1- Порушення ущільнювальних з'єднань;
- 2- Тріщини в корпусі;
- 3- Зношеність перепускних та запобіжних клапанів, а також золотникових пар.

Технічний стан розподільників, які надійшли на ремонт, перевіряють на тих самих стендах КИ-4200 або КИ-4815, що й масляні насоси. Гідравлічні розподільники розбирають тільки на спеціалізованих підприємствах після виявлення надмірного зносу золотникових пар під час перевірки на стенді.

Порушення герметичності ущільнювальних з'єднань, зношеність або порушення регулювання клапанів, виявлені під час перевірки на стенді, виправляють відразу після перевірки, після чого розподільник знову піддають випробуванням на стенді.

Перевіряють і випробовують розподільник з тим самим масляним насосом, з яким він працює на машині. Відремонтований і випробований розподільник, або новий, разом з відремонтованим або новим масляним насосом, закріплюють за допомогою пристроїв на привалковій плиті стенда, як показано на рисунку 155. Перед встановленням розподільника на стенд ставлять насос і прогрівають робочу рідину до температури $(50\pm 5)^{\circ}\text{C}$, як і перед перевіркою насоса. Після встановлення розподільника на нижню кришку стенда ставлять фланець з штуцером і трубкою для вимірювання витоку масла з розподільника. Трубку встановлюють замість шланга. Розподільник перевіряють у послідовності, описаній нижче.

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Перевірка герметичності золотникової пари:

У різьбовий отвір верхньої кільцевої порожнини першої золотникової пари ввінчують штуцер, а з ним з'єднують нагнітальну порожнину за допомогою шланга, підключеного до штуцера стенда. Після встановлення випробовуваного золотника у положення "Нейтральне" вмикають електродвигун стенда та за допомогою ручки манометра М встановлюють тиск на рівні 7,0 МПа. Протягом однієї хвилини за допомогою секундоміру вимірюють витікання масла через зазори між ущільнювальними смугами золотника та корпусом розподільника. Масло, що виходить через встановлену трубку, збирають у міркувальний посуд.

Витікання масла понад 3 см³ для розподільників типу Р75 та понад 9 см³ для розподільників типу Р150 за одну хвилину є неприпустимим. Також перевіряють герметичність решти золотникових пар розподільника. У разі перевищення допустимого витікання масла, розподільник потребує ремонту на спеціалізованих підприємствах.

Перевірка і регулювання тиску спрацьовування запобіжного клапана:

Шланг зі штуцера стенда з'єднують з нагнітальним каналом розподільника. Замість трубки для вимірювання витікання масла приєднують шланг. Решту різьбових отворів і штуцери закривають заглушками. Після включення електродвигуна стенда ручкою повністю закривають нагнітальну магістраль стенда. Під час цього манометр М буде показувати сталий тиск перепуску масла через запобіжний клапан. Нормальний тиск спрацьовування запобіжного клапана повинен становити $13 \pm 0,5$ МПа. Якщо тиск відрізняється від цього значення, необхідно налаштувати клапан.

Розкрутивши контргайку, затягують регулювальний гвинт для збільшення тиску або розкручують його для зниження тиску. Після затягування контргайки регулювального гвинта повторно перевіряють тиск спрацьовування клапана. Якщо клапан не можна налаштувати, його необхідно піддати ремонту.

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Перевірка витікання масла через запобіжний та перепускний клапани:

Замість зливного шланга на розподільник знову встановлюють трубку для вимірювання витікання масла. Ручкою одного з золотників в положенні "Підйом" запускають стенд. За допомогою ручки підвищують тиск у магістралі стенда до 8,0 МПа, а за допомогою міркувальної кувшини вимірюють витікання масла через перепускний та запобіжний клапани. Масло не повинно витікати більше, ніж 1 л за 3 хвилини. Якщо витікання масла перевищує цю норму, клапани потребують ремонту.

Ремонт запобіжного та перепускного клапанів:

Клапани розбирають, деталі промивають гасом та продувають стиснутим повітрям у спеціальній сітчастій тарі. Розкомплектовувати деталі заборонено.

У перепускному клапані можуть спрацювати:

1. Сідло, напрямна втулка, робочі поверхні самого клапана, а також ламається або втрачає пружність пружина клапана.

При спрацюванні кромки сідла в місці контакту з конусною частиною перепускного клапана поверхню сідла зенкують або сідло випресовують та шліфують на верстаті до утворення гострої кромки. Сідло можна проточувати на токарному верстаті за допомогою спеціальної розтискної оправки. Сліди спрацювань на конусній поверхні клапана також усувають шліфуванням або проточуванням. Шорсткість поверхні повинна бути не нижче 8-го класу. Клапан вибраковують, якщо висота циліндричного пояса після відновлення конічної поверхні становить менше 0,5 мм. Збільшення зазору між зовнішньою поверхнею хвостовика клапана та напрямною втулкою понад 0,1 мм відновлюють підбиранням втулки або клапана іншої розмірної групи. Нормальний зазор у цьому з'єднанні становить 0,015–0,022 мм. Пружність пружини при стисканні її до висоти 59 мм повинна становити (47 ± 5) Н. Пружину, що втратила пружність, замінюють новою.

У запобіжному клапані зазвичай спрацьовує або розклепується кулька

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

гнізда. Гніздо викручують за допомогою спеціального ключа і проточують або шліфують спрацьовану поверхню до видалення зносу. Пружину перевіряють на пружність. При стисканні пружини до висоти 32 мм її пружність повинна знаходитися в межах 165–180 Н. Пошкоджену або ослаблену пружину замінюють новою. Кульку із зношеними сідлами також замінюють новою.

Після перевірки та відновлення всіх деталей клапанів та їх посадочних місць у корпусі розподільника проводять промивання дизельним паливом та продування стиснутим повітрям. Під час складання сідла перепускного клапана (якщо вони були випресовані), вони пресують за допомогою спеціальної оправки з натягом у межах 0,008–0,052 мм. Зниження натягу сідла до значення менше 0,008 мм не припускається. Коректно складений перепускний клапан при натисканні на нього з боку нижньої кришки має повертатися і переміщуватися без заїдань. Перед установкою гнізда запобіжного клапана різьбу обробляють клеєм АК-20 і закручують гніздо до моменту відмови, встановивши під його торець нову шайбу з алюмінію або міді. Відремонтовані та зібрані клапани знову перевіряють та налаштовують настенді.

Перевірка та випробування силових гідроциліндрів На вітчизняних тракторах зазвичай встановлені силові гідроциліндри марок Ц50-2, Ц63-2, Ц80-2, Ц100-2 та Ц125-2. У відміну від попередніх гідроциліндрів марок Ц50, Ц75, Ц90 тощо, у нових циліндрах задня кришка приварена до корпусу, а передня кріпиться чотирма короткими болтами до фланця, також привареного до корпусу циліндра. Поршень виготовлений зі сталюї поковки з латунним напрямним пояском. Сповільнювальний клапан вбудований у кришку циліндра. Номінальний робочий тиск модернізованих циліндрів становить 14 МПа.

Основні дефекти силових циліндрів, які можуть виникати у процесі експлуатації, такі:

- порушення герметичності ущільнень, спрацювання та пошкодження деталей.

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Силові циліндри перевіряють на стенді КИ-4200 з функціонуючим масляним насосом та розподільником тих самих марок, з якими вони використовуються на тракторі. Для проведення випробувань циліндр закріплюють на спеціальній опорі, що постачається разом зі стендом, і з'єднують його шлангами з розподільником, встановленим на плиті стенда. Рукоятку золотника розподільника ставлять у положення "Підняття", вмикають стенд, створивши дроселем тиск у магістралі стенда 5–7 МПа, нагрівають робочу рідину до температури 60 °С і повертають рукоятку золотника в положення "Нейтральне". Потім, не знижуючи тиску в магістралі, поперемінно встановлюють рукоятку розподільника у положення "Підняття", "Опускання" і заповнюють обидві порожнини циліндра прогрітим маслом. Поршень повинен вільно переміщуватися в обидві сторони на всій довжині ходу поршня з тиском холостого ходу 5–7 МПа. Переміщення поршня в циліндрі перевіряють за допомогою лінійки.

Перевірка роботи клапана

Повністю закривають дросель високого тиску, встановлюють упор у проміжне положення, а рукоятку золотника розподільника в положення "Опускання" і втягують поршень у циліндр. Після зупинки поршня і повернення рукоятки золотника в нейтральне положення просвіт між упором і штоком клапана повинен становити 8–10 мм. При необхідності просвіт регулюють.

Герметичність поршня з циліндром та інших ущільнень перевіряють послідовно в обох порожнинах циліндра. Для цього шток циліндра висувають у крайнє положення до упору, рукоятку золотника встановлюють у положення "Нейтральне", і відкривають дросель стенда. Від'єднавши шланг штокової порожнини циліндра від штуцера розподільника, опускають його у відро для збирання масла, що міститься в цій порожнині. Штуцер розподільника закривають заглушкою. Встановлюють рукоятку золотника в положення "Піднімання" і рукояткою дроселя створюють тиск у магістралі до 16 МПа при

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

випробуванні циліндрів нової конструкції і до 10 МПа для циліндрів старої конструкції. При цьому тиску протягом 3 хвилин витікання масла не повинно перевищувати об'ємів, встановлених технічними вимогами, а підтікання масла в інших місцях циліндра не допускається.

Потім з'єднують шланг штокової порожнини з розподільником і, послідовно встановлюючи рукоятку золотника в положення "Піднімання" і "Опускання", кілька разів переміщують поршень до видалення повітря з циліндра. Витягнувши шток циліндра в крайнє положення до упору, встановлюють рукоятку золотника в положення "Нейтральне", і відкривають дросель стенда. Від'єднують від розподільника шланг безштокової порожнини, зливають масло у відро, а штуцер розподільника закривають заглушкою. Поставивши рукоятку золотника в положення "Опускання", випробовують на герметичність безштокову порожнину так само, як штокову, і вимикають стенд. При необхідності виявляють причини витікання масла і усувають їх, а якщо це не вдається, то циліндр ремонтують.

1.3. Ремонт масляного насоса та його елементів

РОЗБИРАННЯ І ДЕФЕКТИ МАСЛЯНОГО НАСОСА

Насос розбирають у спеціальному пристрої, закріпленому на верстаті або монтажному столі. Під час розбирання не можна розкомплектовувати шестерні, втулки і підтискні пластини (у насосів НШ-32-2, НШ-50-2, НШ-67 і НШ-100-2). Ці деталі мітять або з'єднують м'яким дротом і складають комплектно в окрему тару. На спеціалізованих підприємствах деталі масляного насоса промивають у розплаві солей або препаратом АМ-15. В умовах ремонтної майстерні господарства деталі промивають у гасі або дизельному паливі і продувають стиснутим повітрям. Як правило, у масляних насосах типу НШ спрацьовуються: • стінки і дно колодязів корпуса,

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

з'являються тріщини в корпусі та відколи кромок бортів кришки насоса під ущільнювальний сальник; • спрацьовуються торці шестерень, зубці по товщині і поверхні цапф, отвори втулок під цапфу, торцеві й стикові площини (лиски) втулок і площина кришки, що прилягає до торців шестерень. Деталі хитного вузла насоса, шестерні і втулки виготовлені з високою точністю і підібрані в комплекти для одного насоса по розмірних групах так, що довжина кожної пари нижніх втулок, шестерень і верхніх втулок відрізняється не більш як на 0,004 мм. Ці деталі дефектують і вимірюють у процесі відновлення мірним інструментом або приладами з точністю не менш як 0,002 мм. Глибину і діаметр колодязів, а також отвори під втулки вимірюють відповідно індикаторним глибиноміром і нутроміром з ціною поділки індикаторної головки 0,01 мм. Отвори втулок вимірюють індикаторним нутроміром з ціною поділки індикаторної головки 0,002 мм або 0,001 мм. Зовнішні поверхні втулок, цапфи шестерень, а також висоту і довжину зубів шестерень вимірюють важільними мікрометрами, важільною скобою або оптиметром на спеціальній підставці з точністю не менш як 0,002 мм.

Таку високу точність обробки і комплектування деталей масляних насосів найбільш ефективно можна забезпечити тільки на спеціалізованому ремонтному підприємстві за певною технологією. У масляних насосах, що надійшли в ремонт перший раз, основним дефектом буває зниження подачі внаслідок спрацювання стінки колодязів корпуса насоса з боку камери всмоктування в зоні роботи шестерень. Такі насоси відновлюють методом зміщення шестерень концентричними втулками. Втулки, відновлені обтискуванням або виготовлені заново, оброблюють за допомогою спеціального ексцентрикового цангового патрона. Ексцентриситет втулок, які зміщують шестерні в бік спрацьованих стінок колодязів, роблять рівним половині зазора, що утворився між вершинами зубів шестерень і спрацьованою стінкою корпуса насоса.

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Відновлення деяких деталей насоса

Основні деталі масляних насосів успішно відновлюють на спеціалізованих підприємствах, забезпечуючи високу їх надійність. Корпус насоса і кришки виготовлені з алюмінієвого сплаву АЛ-9 або АЛ-5. Вибраковують корпус при наявності тріщин і зламів. Спрацьовані поверхні колодязів корпуса відновлюють нанесенням шару епоксидної суміші Г (див. табл. 4), за допомогою вставок або обтискуванням корпуса із наступною обробкою під потрібний розмір. Кращих результатів відновлення корпуса досягають при обтисканні. Очищений корпус нагрівають в електропечі до 500°C і витримують при цій температурі протягом 1... 1,5 год. Потім його встановлюють у блок матриць на станину гідравлічного 100-тонного преса і обтискають пуансоном. Обтискання повинно закінчуватися при температурі корпуса не нижче 440°C . Обтискнутий корпус насоса термічно оброблюють.

У такому режимі: нагрівають до температури $(520\pm 5)^{\circ}\text{C}$, витримують протягом години і загартовують у гарячій воді ($60\text{...}100^{\circ}\text{C}$); після загартовування відпускають нагріванням до температури 180°C з витримкою 30 хв і охолодженням разом з піччю або на повітрі. Потім корпус насоса оброблюють під потрібні розміри. Пошкоджені при обтисканні різьбові отвори прорізають мітчиком. Іноді при односторонньому спрацюванні колодязів міняють місця порожнин всмоктування і нагнітання. У цьому випадку нагнітальний отвір розточують до розміру всмоктувального. Старий всмоктувальний отвір не відновлюють. Канавку в перемичці на дні корпуса заливають бабітом, попередньо просвердливши в дні два отвори діаметром 5 мм і глибиною 3...5 мм. З протилежного боку фрезерують нову канавку і дно колодязів зачищають торцевою фрезою вручну під пресом. Незбіг площин обох колодязів допускається не більш як 0,01 мм. Привалкову площину кришок корпусів проточують на токарному верстаті до видалення слідів

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

спрацювань і притирають. Биття площини в патроні допускається не більш як 0,1 мм. Втулки виготовлені з бронзи або спеціальних алюмінієвих сплавів.

При незначному спрацюванні отворів втулок відновлюють стикові (лиски) і торцеві поверхні. Торцеві поверхні облуджують, наплавляють бабітом і проточують під нормальний розмір. Зім'яті місця лисок наплавляють бронзою, вирівнюють напилком і притирають на плиті під нормальний розмір або обробляють на фрезерному верстаті спеціальними пристроями. Втулки із спрацьованими отворами, стиковими і торцевими поверхнями відновлюють обтисканням. Втулку з опорною шайбою та інструментом для обробки отворів встановлюють у матрицю і обтискають пуансоном під пресом. Під час обтискання циліндрична частина інструмента міститься в отворі втулки. Потім, утримуючи втулку в матриці і видаляючи інструмент виштовхувачем, обробляють отвір. В обтиснутій втулці за допомогою спеціальної оправки та інших пристроїв обробляють зовнішню, торцеві і стикову поверхні. Якщо висота втулки після обтискання стала меншою від ремонтного розміру, то малу торцеву площину нарощують напресовуванням алюмінієвої шайби. Якість обробки торцевих поверхонь перевіряють лекальною лінійкою. Просвіту між лінійкою і поверхнею не повинно бути. Відновлені втулки по висоті ділять на чотири групи з інтервалом до 0,004 мм і номер групи ставлять на неробочій частині торця.

Допускається відновлення торцевих поверхонь втулки нанесенням сумішей на основі епоксидної смоли ЕД-6. Сумішню покривають малу торцеву поверхню втулки після того, як її розточено і зачищено. Наповнювачем є бронзовий порошок (80 г на 100 г епоксидної смоли).

Втулку з нанесеним покриттям ставлять у нагрівальну піч і витримують при температурі 100°C протягом 2 год або при температурі 20°C не менше трьох діб, потім обробляють до потрібного розміру.

Збирання та випробування масляного насосу

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Складаючи масляний насос із відремонтованих деталей, підбирають комплект шестерень (ведучих і ведену) однієї розмірної групи і чотири втулки. Кожна пара втулок, з'єднана напрямними дротами, повинна бути однакової розмірної групи, і відрізнятися по висоті не більш як на 0,002 мм. По глибині колодязя корпусу шестірні і втулки підбирають так, щоб хитний вузол (комплект шестерень і втулок у складеному вигляді) заглибився відносно поверхні виточки під ущільнювальне кільце не більш як на 0,10 мм або виступав не більш як на 0,14 мм. Під час складання насоса із старими втулками і шестірнями, прошліфованими тільки по торцях, знеособлення деталей не допускається. Усі деталі перед складанням промивають гасом, продувають стиснутим повітрям і змащують дизельним маслом. Промиті деталі забороняється протирати. Складають насос у тому самому пристрої, у якому його розбирали. Складаючи насос правого обертання, ведучу шестірню ставлять у лівий колодязь, а в насосі лівого обертання — у правий колодязь при положенні корпусу насоса з написом «Вхід», повернутим до складальника. У складеному насосі валик ведучої шестірні повинен без заїдань прокручуватися від руки. Складений насос обкатують і випробовують на стендах КИ-4200 або КИ-4815 так, як і перед ремонтом. Відремонтований насос повинен мати об'ємний коефіцієнт корисної дії не нижче 0,90, тобто його подача має становити не менш як 90% теоретичної. Як правило, якість ремонту насоса оцінюють за кількістю імпульсів при подачі контрольного об'єму робочої рідини через лічильник рідини в процесі випробовування.

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Таблиця 1.1

Показники нових і відремонтованих масляних насосів по типу НШ

Марка насоса	Категорія ремонту	Контрольний об'єм по лічильнику рідини. л	Кількість імпульсів по лічильнику імпульсів. більше	Розрахункова (теоретична) подача за один оберт вала. см ³ /об
НШ-10Е	Нових	35	1722	10.56
	P1	35	1772	9.6
	P2	35	1832	9.46
	P3	35	1882	9.16
НШ-32У	Нових	65	1102	32.86
	P1	65	1112	32.06
	P2	65	1122	31.66
	P3	65	1132	30.86
НШ-46У	Нових	105	1242	48.56
	P1	105	1252	46.76
	P2	105	1172	46.06
	P3	105	1282	45.26

Ремонт силового циліндра та розподільника

Ремонт розподільника. Гідравлічні розподільники, призначені для ремонту, повністю розбирають, деталі промивають так само, як і деталі масляного насоса, і дефектують. При розбиранні розподільників не можна розкомплектовувати золотники з корпусом, перепускний клапан з напрямною

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ				23

або корпус гільзи золотника з бустером та інші прецизійні деталі, якщо вони не будуть відновлюватися. Основні дефекти деталей і способи усунення їх: • у корпусі, виготовленому із сірого чавуну, спрацьовуються робочі пояски під золотники, спряження перепускного і запобіжного клапанів, різьбові отвори, привалкові площини і з'являються тріщини. При наскрізних тріщинах корпус вибраковують. У верхній кришці, виготовленій з алюмінієвого сплаву, з'являються тріщини або спрацьовується поверхня у спряженні з кільцями. У нижній кришці, виготовленій з алюмінієвого сплаву або сірого чавуну, збільшується глибина колодязя внаслідок зминання або з'являються тріщини.

При незначному спрацюванні отворів корпусу під золотники їх перекомплектують і потрібний зазор відновлюють, підганяючи золотники по отворах. Але такий спосіб відновлення, як правило, не забезпечує тривалої і надійної роботи розподільників. Як правило, спрацьовані отвори під золотники розвертають до відновлення правильної геометричної форми, потім хонінгують алмазними брусками і притирають спочатку чорною пастою (30 мкм), а потім чистою (7 мкм). Після притирання корпус ретельно промивають гасом, потім бензином. Притерті робочі пояски вимірюють спеціальним пневматичним приладом з точністю до 0,001 мм, сортують їх на розмірні групи через, 0,004 мм і ставлять відповідні мітки.

Конус- ність і овальність поясків в одному отворі допускається не більш як 0,002 мм. Спрацьовані спряження перепускного і запобіжного клапанів відновлюють так, як описано вище. Різьбові отвори відновлюють нарізуванням різьби збільшеного розміру або пружинними вставками.

Тріщини в кришках заварюють газовим зварюванням, використовуючи прутки, відлиті з вибракуваних кришок, і флюс АФ-4, або ставлять латки на епоксидних смолах. У золотниках, виготовлених із сталі 15Х з термічною обробкою до твердості HRC 56...63, спрацьовуються поверхні робочих поясків. При незначних спрацюваннях золотники шліфують, притирають чорною (30 мкм) і чистою (7 мкм) пастами, а потім підбирають по отворах

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

корпуса розподільника. При значних спрацюваннях золотники нарощують насталуванням або хромуванням, шліфують і після притирання вимірюють пасаметром чи важільною скобою з точністю до 0,001 мм і сортують на розмірні групи через 0,004 мм. Овальність, конусність і різниця діаметрів робочих поясків на одному золотнику допускається не більш як 0,002 мм. Складання і випробовування розподільників Перед складанням золотники комплектують з корпусом однієї розмірної групи. Золотник, змащений маслом, при нормальному зазорі, перебуваючи у вертикальному положенні, під дією власної маси плавно переміщується в отворі корпусу.

При складанні розподільника особливу увагу звертають на місця спряження і стикові з'єднання, де є паронітові прокладки або гумові ущільнення (кільця). Ставити пошкоджені прокладки й ущільнення не допускається. Після складання розподільник промивають чистим паливом і випробовують на стендах КИ-4200 або КИ-4815 так, як і перед ремонтом.

Ремонт силових циліндрів Циліндри, призначені для ремонту, промивають у препараті АМ-15 або гасом і продувають стиснутим повітрям. Дефектація і відновлення деталей Шток перевіряють на биття в центрах. Якщо непрямолінійність штока становить більш як 0,1 мм на довжині 200 мм, його вирівнюють під пресом на призмах. При спрацюванні штока і отвору в кришці циліндра під шток до зазора між ними більш як 0,5 мм шток шліфують до усунення нерівностей спрацювання, а отвір у кришці розточують і запресовують бронзову або чавунну втулку. Потім втулку розточують, забезпечуючи нормальний зазор у спряженні 0,032...0,150 мм.

Спряження циліндр — поршень відновлюють, якщо зазор між ними становить більш як 0,45 мм. При подряпинах і рисках на дзеркалі циліндра, а також при спрацюванні циліндра більш як на 0,32 мм його шліфують до видалення слідів спрацювань і за утвореним розміром виготовляють новий поршень, забезпечуючи нормальний зазор у спряженні 0,04...0,11 мм. Усі гумові ущільнювальні кільця замінюють новими.

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Збирання та випробування силового циліндра.

Під час складання слід перевіряти, щоб ущільнювальні гумові кільця виступали над поверхнею центруючих поясків не менш як на 0,25 мм і не були пошкоджені. При встановленні штока у передню кришку, на його кінець слід надіти оправку, щоб ущільнювальні кільця залишилися цілими. У правильно зібраному силовому циліндрі поршень повинен вільно переміщуватися і повертатися на усій довжині циліндра. Випробовують силовий циліндр після ремонту на стенді КИ-4200 так, як і перед ремонтом.

1.4 Властивості та характеристики деталі та вузла

Деталь шестерня ведена НШ-63М-03/09-00-02 шестеренчастого насосу НШ-63М-03 використовується для нагнітання робочої рідини у гідравлічні системи машин. Ця деталь виготовлена із сталі 18ХГТ, яка має зубчастий вінець і дві цапфи, на які спирається антифрикційні вкладиші підшипникової обійми.

Легована сталь 18ХГТ застосовується для виготовлення деталей відповідального призначення, які вимагають підвищеної міцності та в'язкості середовища, а також високої поверхневої твердості, оскільки вони піддаються ударним навантаженням.

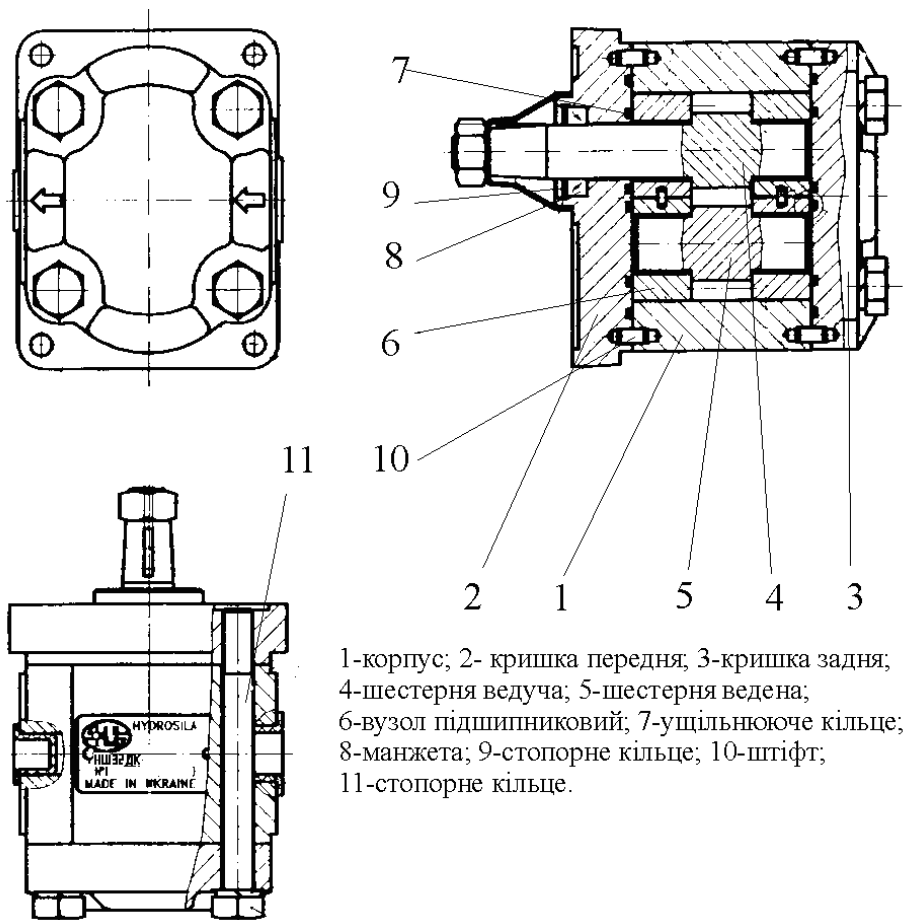
Хімічний склад сталі 18ХГТ подано в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 Хімічний склад сталі, %

С	Si	Mn	Cr	Ti	P	S	C	N
					не більш			
0,17- 0,23	0,17- 0,37	0,8 - 1,1	1,1 - 1,3	0,02- 0,09	0,0 36	0,0 36	0 , 3 5	0 , 3 5

Марганець у цій сталі підвищує прокатність та механічні властивості, зокрема пружність. Хром покращує стійкість до відпуску, прокатність, а також опір зношуванню та корозії. Титан сприяє підвищенню твердості, стійкості до відпуску та сприяє росту зерна.

Шестеренчасті насоси типу НШ (див. рис. 1.3) широко використовуються в гідросистемах тракторів, екскаваторів та комбайнів через їхню простоту конструкції, доступну вартість та високі початкові показники.



- 1-корпус; 2- кришка передня; 3-кришка задня;
 4-шестерня ведуча; 5-шестерня ведена;
 6-вузол підшипниковий; 7-ущільнюоче кільце;
 8-манжета; 9-стопорне кільце; 10-штіфт;
 11-стопорне кільце.

Рис. 1.3

Насос шестеренний (рис.1.3) складається з корпусу , кришок передньої та задньої , в яких встановлюються ущільнюючі кільця для ущільнення стиків, а також вузла, який качається, в який входять шестерні, чотири підшипники.

На бокових поверхнях корпусу розташовані по чотири різбових отвори М8 для кріплення арматури всасуючого та нагнітаючого трубопроводів. В корпусі виконані розточки під шестерні та підшипники, які виступають в якості опори для шестерень та ущільнюють їх торцеві поверхні. Ведучий вал

ущільнюється манжетою 8, яка затримується у кришці стопорним кільцем 9. Кришки кріпляться до корпусу чотирма болтами 11 і центруються за допомогою чотирьох штифтів 10. Для зменшення внутрішніх витрат робочої рідини в насосі використовується автоматичне регулювання зазорів по торцям шестерень, яке здійснюється за допомогою дії тиску рідини в порожнинах. Ці порожнини обмежені манжетами торцевого підтиску, розташованими в ущільнюючих кільцях 7, на "плаваючі" підшипники 6, що в результаті натискання до торців шестерень забезпечують мінімальні зазори та відповідно, мінімальні витоки.

У зв'язку з нестачею промисловості для задоволення потреб сільського господарства в запасних насосах, ремонт шестеренчастих насосів тракторних гідросистем став актуальною задачею, яка потребує наукового обґрунтування та практичних рішень. Шестеренчасті насоси гідравлічних систем відносяться до класу коловоротних роторних насосів. Деякі характеристики цих насосів наступні: 1) Робочі органи - статор, ротор та замикачі. 2) Напірна лінія завжди герметично відділена від приймальної. Це досягається шляхом одночасного замикання ротора, статора та замкача. 3) В шестеренчастому насосі рідину розподіляють шліцевим методом, що призводить до її просочення по значній частині периметра.

Робочий процес насоса супроводжується об'ємними та механічними втратами. Перепад тиску та оберти, при яких відбувається вижимання мастильного шару, визначають межу роботоздатності насоса. Проведений мікрометраж показав, що у деяких шестернях після зношення на цапфах спостерігається слабо виражена конусність з напрямом в бік шестерень. Це пояснюється, з одного боку, наявністю пружної деформації шестерні в утулках та, з іншого боку, наявністю контакту цапфа-утулка не по всій висоті утулки. У деяких шестернях на поверхнях цапф перед головкою утворюються загуси. Ці ділянки поверхні цапфи не піддаються зношуванню, оскільки вони контактують з виточкою утулки з боку торця. Поверхні торців шестерень

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

стають неплоскими при зношуванні. Ділянка поверхні торця шестерні, обмежена колом головок та колом впадин, стає випуклою: щодо точки у вершині зуба випуклість становить до 0,05 мм і розташована посередині торця. На ділянці торця, обмеженій колом впадин і головкою, утворюється канавка. Зазначений знос торців шестерень пояснюється наявністю нерівностей площини торців шестерні при виготовленні, порушенням точності приводу насоса, одночасним підживленням утулок на холостому ходу (насос працює на холостому ходу 90% часу), коли зусилля гідравлічного піджиму на верхні утулки менше, ніж зусилля піджиму через ущільнювальне кільце розвантажувальної пластини. Наявність конусності у криниці та пружної деформації корпусу у зоні верхніх утулок сприяє зміщенню верхньої утулки опори шестерні відносно нижньої утулки, що створює умови для перекосу шестерні та підвищеного зношування торців кола головок зубців. Профіль зуба зношується рівномірно по всій ширині зуба, а найбільше зношування евольвенти спостерігається у ніжках та головках зубців.

Як видно з вищевикладеного, шестерня ведена працює в складних умовах (передача обертового моменту, вібраційні навантаження). Це призводить до того, що деталь сильно навантажена і повинна мати пружні властивості. Шестерня ведена також контактує з робочою речовиною - гідромастилом, і тому повинна бути стійкою до корозії та гідрокорозії.

Технічні характеристики шестеренчастого насоса НШ-63М-03

Робочий об'єм (+3%), см³: 63

Частота обертів, с⁻¹:

- номінальна: 32
- максимальна: 40
- мінімальна: 8.3

Номінальна об'ємна подача, л/хв, не менше: 115.3

Тиск на виході, МПа:

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ				29

• номінальний: 20

• максимальний (короткочасно): 25

• дозволений (до 1% від загального часу роботи), не більше: 25

Тиск на вході, МПа:

• мінімальний: 0.08

• максимальний: 0.15

Коефіцієнт подачі, не менше: 0.95

Загальний коефіцієнт корисної дії, не менше: 0.86

Маса, кг, не менше: 17.0

Номінальна потужність, кВт: 56.9

Габаритні розміри, мм: 267.5x205x205

Температура оточуючого середовища, °С:

• мінімальна: -60

• максимальна: +50

Характеристика робочої рідини:

Кінематична в'язкість, мм²/с, номінальна: 55-70

Температура, °С:

• мінімальна: 0

• максимальна: +80

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ТА ПРОЦЕСУ ЗМІЦНЕННЯ ШЕСТЕРНІ НАСОСА

2.1 Аналіз деталі

Шестерня НШ-63М-03/09-00-02 виготовлена з легованої сталі 18ХГТ за стандартом ГОСТ 4543-71 і має твердість в діапазоні 159-207НВ. З точки зору механічної обробки зубчасті колеса взагалі є нетехнологічними, оскільки операції нарізання зубів із видаленням стружки проводяться малопродуктивними методами.

Проте, в цілому деталь достатньо технологічна. Зубчасті поверхні можна обробляти напрохід. Конструкторські особливості збігаються з технологічними можливостями. В конструкції деталі відсутні елементи, до яких доступ інструменту є ускладненим. Канавки для виходу шліфувального колеса мають стандартну форму, що значно зменшує кількість необхідного інструменту та кількість проходів. Розміщення основних розмірів вздовж деталі спрощує налаштування верстатів та зменшує складність обробки.

Наявність радіуса закруглення між цапфами та торцями зубчастого вінця підвищує стійкість інструментів при токарній обробці, а також сприяє швидшій підготовці інструменту та збільшує продуктивність обробки під час шліфування.

2.2 Огляд різних методів зміцнення деталі. Аналіз основного варіанту

Розглянемо методи посилення деталей шестерні веденої, оскільки шестерні зазвичай працюють в умовах великих навантажень, перекоосу у зчепленні та при наявності значної кількості абразивних часток. Абразивні

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

частки потрапляють у щілини між зубцями через недостатньо надійне ущільнення кінців валу, які виступають.

При перекосі зубчастих передач виникають ще більш складні умови. Перекоси у зчепленні можуть виникати з різних причин. Однією з них є несиметричне розточування вінця шестерні по зовнішній ступиці. Шестерні працюють у дуже незвичайних умовах при одночасному перекосі та непаралельності валів.

У цьому випадку напруга збільшується набагато більше, ніж при простому перекосі або непаралельності.

Зараз існує безліч методів посилення шестерень гідронасосів, розглянемо деякі з них.

2.2.1 Метод ремонтних розмірів

У наш час відновлення шестерень насосів здійснюється шляхом їх перешліфування до ремонтних розмірів.

Для перешліфування торців шестерні використовують шліфувальне колесо з спеціальним профілем. На його торцевому боці роблять канавку шириною 20 мм та глибиною 5-8 мм. По краю торця залишають кільцеву кромку шириною 2-2,5 мм, за допомогою якої і шліфують торці шестерень. Кромку також вирівнюють.

Канавку очищають за допомогою наждачного каменю розміром 80x20x20 з керамічною зв'язкою зернистістю 24.

Під час шліфування канавку каменя періодично заглиблюють безпосередньо на робочому місці.

Перед шліфуванням вирівнюють та встановлюють задню бабку. Точність установки задньої бабки верстата в горизонтальній площині визначають за конусністю після шліфування цапфи, а в вертикальній - за перехресними рисками на торці шестерні після шліфування.

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Для перешліфування торців шестерні використовують шліфувальне колесо з розмірами 300x23x127 мм, зернистістю 120, твердістю СМ1-СМ-2 та керамічною зв'язкою.

Шліфують торці за такими параметрами: швидкість 37-55 м/с, частота обертання деталі за хвилину - 450, подача - 0,001 мм/об. Після зняття зносу виконують закінчення. Після цього шліфують другий торець.

При шліфуванні цапф та зовнішнього діаметра використовують шліфувальне колесо з розмірами 400x50x127 мм, зернистістю 120, твердістю СМ1-СМ-2 та керамічною зв'язкою. Параметри шліфування такі: швидкість різання 24,5 м/с, обертання деталі 300 об/хв, подача 0,005 мм/об.

2.2.2 Електродугова та газова наплавка

Широке поширення у відновленні шестерень зубчастих передач отримали різні методи наплавки. У випадках індивідуального виробництва застосовують ручну електродугову наплавку з використанням електродів ОЗН-250 та ОЗН-300 з подальшим фрезеруванням зубів, а також ручну газову наплавку за допомогою сормаїту як присадкового матеріалу.

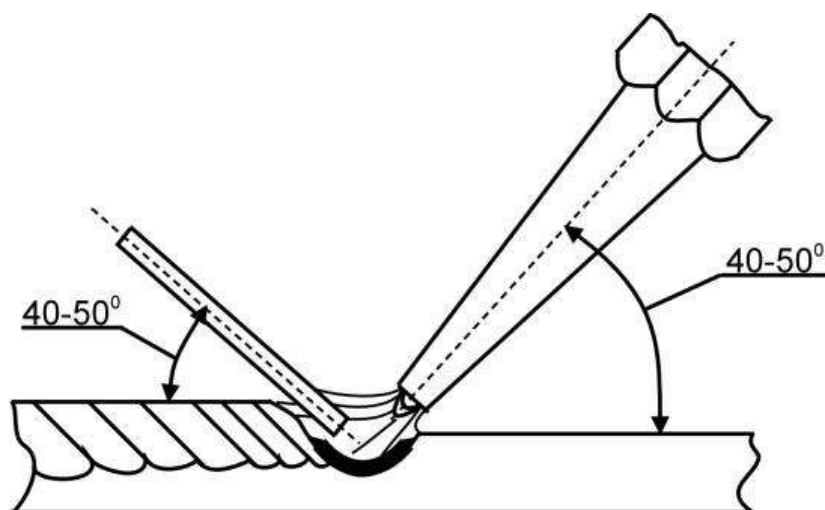


Рисунок 2.1 – Метод газової наплавки

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Більш вдосконалений метод використання електродугової та газової наплавки зношених зубців у глиняних вогнетривких формах (Патент №538877). При цьому втрати металу на подальшу механічну обробку мінімальні. Однак для цих методів характерні висока трудомісткість, низька технологічність, а зубці, відновлені таким чином, мають низькі механічні властивості.

Серед методів нанесення металу на зношену торцеву частину зуба заслуговує увагу розроблений у Челябінському інституті механізації та електрифікації сільського господарства (ЧІМЕСГ) метод автоматичної наплавки під флюсом торців зубів шестерень з примусовим формуванням наплавленого металу в мідній формі. Наплавна форма та тіло шестерні утворюють зварну ванну, в яку подається електрод і флюс. Завдяки високій швидкості наплавки, можливості максимального зниження теплової потужності дуги, а також інтенсивному відведенню тепла у наплавочну форму і тіло шестерні, термічний вплив дуги на матеріал зуба є мінімальним (що виключає подальшу термічну обробку). Ресурс роботи шестерень після їх відновлення становить 88% ресурсу нових, а собівартість складає 42-60% від собівартості нових.

У Казахському науково-дослідному та проектному інституті автомобільного транспорту спільно з Республіканським трестом Казахської СРСР була розроблена і впроваджена технологія наплавлення торців шестерень стрічковим електродом під шаром флюсу при безперервному обертанні шестерні. Для цього процесу застосовують флюс марки АН-348А, стрічковий електрод марки У8А з перерізом 0,5x10, 0,4x12, 0,4x15 мм; наплавочна головка напівавтомата А-7657.

Для повного профільного (за довжиною та шириною) відновлення зубів у ЧІМЕСГ був розроблений метод наплавлення зубів стрічковим порошковим електродом під шаром флюсу. При цьому електрод рухається вздовж зуба

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

нерухомої шестерні і забезпечує наплавлення зношеного профілю за один прохід.

Малоярославецький філіал ГОСНІТІ віддає перевагу та обґрунтовує переваги наплавлення зубів в середині інертних газів перед електродуговим способом. З огляду на матеріал зубчастих коліс (легована сталь) рекомендується використовувати аргонно-дугове наплавлення електродом, що не плавиться, з використанням присадкового дроту, наприклад, пружиною класу І-ІІ (Ст. 65Г). Наплавлення здійснюється без переривання дуги при малих коливаннях її теплової потужності, що забезпечує достатнє проплавлення основного металу, необхідну величину щеплення та задовільне формування наплавленого металу.

А.В. Овчінніков пропонує наплавляти зубці дротом – 30ХГСА та – 65Г в середовищі вуглецевого газу. Після наплавлення шестерні проходять механічну та термічну обробку.

Незалежно від обраного методу відновлення зубів шестерень, характерні такі недоліки:

- негативний термічний вплив електричної дуги;
- зниження контактної втомлювальної міцності зубів на 25% і циклічної міцності на 35% порівняно зі стандартними;
- недостатня міцність щеплення.

2.2.3 Припікання порошкових матеріалів

І.Н. Дорожкін (Патент №640837) пропонує відновлювати шестерні шляхом нанесення на зношену ділянку шару зносостійких порошоків з пластифікатором. Після цього проводиться нагрів для сушіння нанесеного покриття та формування вихідного профілю зубців (див. рис. 2.2).

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

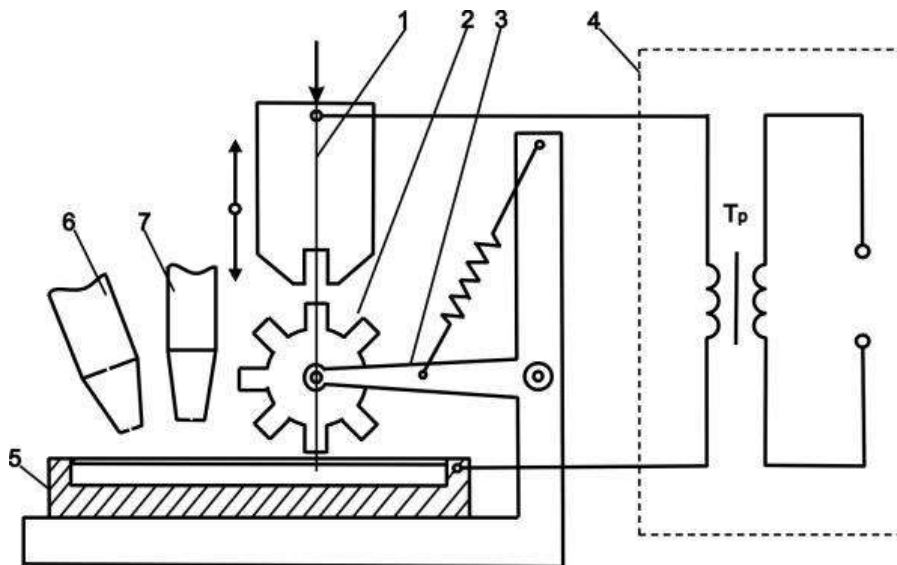


Рисунок 2.2 – Схема припикання порошку на вершини зубців шестерень гідронасоса

1 – верхній електрод який рухається; 2 – деталь; 3 – приспособа для підтримки деталі; 4 – джерело струму; 5 – нижній електрод ; 6 – посудина для рідини;
7 – бункер для порошку.

В Інституті проблем надійності і довговічності машин Академії наук Білоруської СРСР розроблений метод відновлення двох зношених шестерень одночасно за допомогою допоміжних (присадочних) матеріалів. При цьому методі дві порошкові стрічки, розділені гранітним змащенням, подаються в зону прокатки зубців. Шестерні попередньо нагріваються методом термічно-вакуумного цементування до температури 800-900 градусів Цельсія. В якості накатника використовується друге зношене колесо. Синхронізацію обертання зношених шестерень здійснюють за допомогою синхронізаторів.

2.2.4 Пластичне деформування

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ				36

Серед сучасних прогресивних методів відновлення зношених деталей тракторів, автомобілів та сільськогосподарських машин особливе місце займають методи пластичного деформування (тиску) (див. рисунок 2.3).

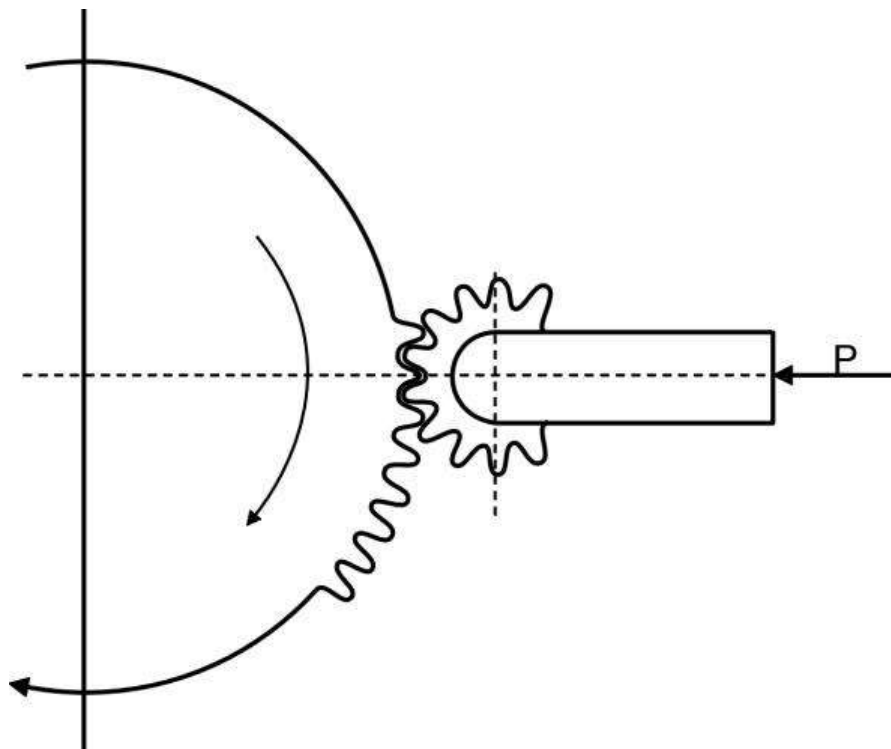


Рисунок 2.3 – Схема накатки пластичної деформації

Цей метод базується на використанні пластичних властивостей зношених деталей, конструктивна форма яких забезпечує значний запас цього матеріалу. Під час відновлення деталей зношення робочих поверхонь компенсується за рахунок пластичного перерозподілу матеріалу самої деталі.

Ще на початку 50-х років цей метод застосували радянські вчені Л.Д. Дехтеринський та М.А. Масино для відновлення автомобільних шестерень.

Шестерні нагріваються індукційним методом або в соляних ваннах до температури 900-1160 градусів Цельсія, після чого осаджуються в штампах на гідравлічних пресах. Під час осадження переміщується метал з торцевих поверхонь до зношених зубів. Після механічної обробки шестерні піддають термообробці.

Однак цей спосіб не передбачає повнопрофільного відновлення при одночасному зношенні зубів як за довжиною, так і за товщиною. Цей недолік усувається під час відновлення шестерень у матриці зубчастим дорном з індеторами.

На Оршанському тракторному ремонтному заводі зношені шестерні відновлюють ротаційним деформуванням (А. с. №343747). Деформація заготовок (зношеної шестерні) здійснюється за допомогою клинових або секторних індеторів, встановлених на торцях пуансона. Профіль зуба формується за допомогою накатника.

Найбільш сучасним на сьогодні є метод відновлення, розроблений в Саратовському інституті механізації сільського господарства ім. М.І.Калініна. Загальна технологія відновлення шестерень включає: мийку, виявлення дефектів, наплавку металу на неробочих поверхнях, нагрів шестерень до температури 1200-1250 градусів Цельсія, обробку тиском, механічну і термічну обробку, контроль. Границя витривалості зубів, відновлених за цією технологією, на 15-20% вища, ніж границя витривалості зубів серійних шестерень.

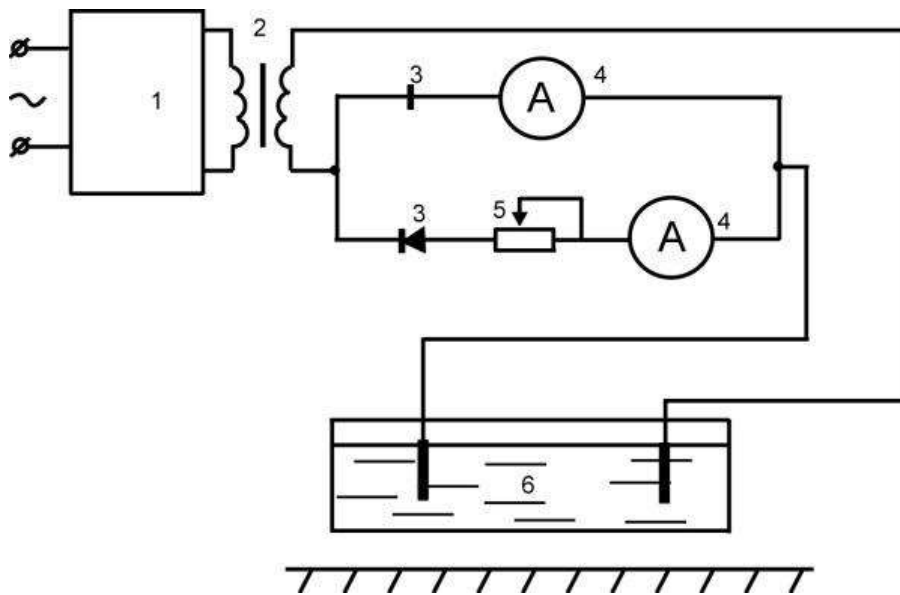
У галузевій лабораторії з відновлення деталей Київського автодорожнього інституту метод пластичного деформування застосовується для відновлення гідронасосів. Пуансон, рухаючись по внутрішньому отвору нагрітої веденої шестерні, збільшує зовнішні діаметри шестерні і цапф з одночасним виправленням евольвенти. Торцеве зношування при цьому не відновлюється.

Основним недоліком відновлення шестерень припіканням і пластичним деформуванням є їх нагрів, що негативно впливає на структуру металу шестерні і потребує послідууючої термічної і хіміко-термічної обробки.

2.2.5 Гальванічне нарощення

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Один з методів відновлення деталей, що не передбачає термічного впливу на структуру основного металу, це гальванічне нарощування (див. рис. 2.4).



1 – регулятор однофазного струму (РОС); 2 – силовий трансформатор; 3 – вентильні елементи; 4 – амперметр; 5 – резистор; 6 – гальванічна ванна.
Рисунок 2.4 – Схема установки для нанесення гальванічних покриттів при асиметричному струмі

Для відновлення цапф шестерень гідронасосів застосовують залізнєння. Залізнє покриття отримують з гарячих хлористих електродів. Технологічний процес відновлення включає такі операції: шліфування, обезжирювання, травлення, усталення, нейтралізацію та наступну механічну обробку. Р.Б.Саїдов розробив технологію відновлення шестерень гідронасосів типу НШ електролітичними металоолімерними покриттями на основі заліза. Покриття отримують з суспензії, яка містить хлористе залізо – 600 г/л, порошкоподібні поліаміди ПА 12-10 або епоксидну композицію П-ЕП-971 – 40-80 г/л та соляну кислоту. Застосування залізнєння при ремонті дозволяє підвищити зносостійкість поверхонь, які труться.

2.2.6. Цементация

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					39

Цементация – процес хіміко-термічної обробки, який полягає в дифузійному насиченні поверхневого шару сталі вуглецем при нагріванні в відповідному середовищі. Мета цементации – насичення поверхневого шару деталей машин вуглецем до концентрації 0,8 – 1,1% та отримання після гартування високої твердості при збереженні пластичної серцевини. Цементации підлягають деталі, які виготовлені з низьковуглецевих сталей (0,1 – 0,2% С) марок 15,20 або легованих низьковуглецевих сталей марок 20Г, 20Х, 20ХФ, 12ХН3А, 20Х2Н4А, 18ХГТ, 18Х2Н4ВА, 20ХГНР та ін. Цементацию можна проводити в твердих, газообразних і рідких вуглецевовмістких середовищах, які називаються карбюризаторами.

Цементация в твердому карбюризаторі

Найстаріший метод цементации полягає в застосуванні твердого середовища (твердого карбюризатора). Для цього використовується суміш деревного вугілля та вуглекислих солей (вуглекислого барію – BaCO_3 , вуглекислого натрію (соди) – Na_2CO_3 та ін.). Вуглекислі солі додаються до деревного вугілля в кількості 10 – 40%. Для цементации в твердому карбюризаторі деталі розміщують в цементацийному (сталевому) ящику і засипають карбюризатором. Ящик закривають кришкою та замазують вогнетривкою глиною. Після нагрівання до 900 - 950°C відбувається розподіл вуглецю між деталлю та карбюризатором.

Газова цементация

Більш досконалий метод – газова цементация, в якій науглецевування поверхні сталі відбувається газовим карбюризатором. Деталі нагрівають у спеціальних герметичних печах, в які безперервно подають цементуючий вуглецевовмісткий газ. Для газової цементации застосовуються як природні, так і штучні гази, а також рідкі карбюризатори, що розчиняються при високій температурі та утворюють цементуючий газ.

Рідинна цементация.

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Для рідинної цементації використовують ванни, що містять 75 – 85% вуглекислого натрію (Na_2CO_3), 10 – 15% хлористого натрію (NaCl) та 6 – 10% карбиду кремнію (SiC). Під час нагрівання карбід кремнію розкладається з виділенням атомарного вуглецю, який проникає в сталь. Рідинну цементацію використовують для обробки дрібних деталей, для яких достатньо тонкий цементований шар. Тому час витримки при рідинній цементації зазвичай невеликий (45 – 90 хвилин), і зерно сталі за цей час не має часу вирости, що дозволяє провести закалку безпосередньо у цементаційній ванні. Цементация у рідкому середовищі використовується рідко.

2.2.7 Азотування, ціанування та нітроцементация сталі

Азотування – це процес хіміко-термічної обробки, який полягає в дифузійному насиченні поверхневого шару сталі азотом. Мета азотування – отримання поверхні деталей з високою твердістю, зносостійкістю або стійкістю до корозії (антикорозійне азотування). Для азотування деталі нагрівають (при 500 – 700 °C) у спеціальній герметично закритій печі, через яку пропускають аміак NH_3 . Під час нагрівання аміак розчиняється, утворюючи атомарний азот, який поглинається поверхнею сталі та проникає в глибину деталі. Для отримання високої твердості та зносостійкості шару використовують спеціальні сталі, наприклад, сталь з хромом, молібденом, алюмінієм. Під час азотування такої сталі при 500 – 550 °C азот утворює хімічні з'єднання, які називаються нітридами (нітриди заліза Fe_2N , хрому CrN , алюмінію AlN та ін.), що надають шару дуже високу твердість (до 1200 HV). Недоліком азотування є тривалість процесу (до 90 годин). Азотуванню підлягають циліндри двигунів і насосів, зубчасті колеса, штампи, пунші та інші деталі. Антикорозійному азотуванню підлягають, переважно, вуглецеві сталі при 600 – 700 °C з витримкою 0,5 – 1 годину. Поверхневе насичення сталі одночасно вуглецем та азотом у розплавленій ціаністій солі називають

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

ціануванням, а в газовому середовищі – нітроцементациєю. Мета цих процесів – отримання високої твердості та зносостійкості поверхні деталей зі збереженням пластичного серцевини. Ціануванню та нітроцементациї піддаються деталі зі сталей з 0,2 – 0,4 % С. Під час ціанування деталі нагрівають при 820 – 960 °С у розплавлених солях, що містять ціаністий натрій NaCN. Для отримання шару товщиною до 0,3 мм ціануванням проводять при 820 – 860 °С у ціаністих солях, що містять NaCN, NaCl, Na₂CO₃. Під час нагрівання утворюючіся в ванні атомарний азот та вуглець дифундують у сталь. Шар містить приблизно 0,7 % С та 1 % N. Потім деталі закаляють безпосередньо з ванни та піддаються низькотемпературній відпусканню. Твердість шару досягає HRC 58 – 62.

Для отримання шару товщиною до 2 мм ціанування проводять при 930 – 960 °С у ціаністій ванні, що містить NaCN, NaCl, BaCl₂. Шар містить приблизно 1 % С та 0,3 % N. Після цього деталі охолоджують на повітрі, піддають гартуванню та низькотемпературному відпусканню. Недоліком ціанування є отруйність ціанідних солей. При нітроцементациї деталі нагрівають при 850 – 870 °С у газовій суміші, зазвичай складаючи з ендогазу, до якого додають 5 – 15 % природного газу та 3 – 8 % аміаку. Після насичення поверхні деталей вуглецем та азотом їх піддають гартуванню та низькотемпературному відпусканню; HRC 60 – 62. Нітроцементацию використовують для обробки широкого спектру деталей. Розглянемо детальніше базовий варіант зміцнення шестерні веденої НШ-63М-03/09-00-02 – азотування. Азотування, яке підвищує твердість, зносостійкість, корозійну стійкість і втомну міцність деталі, проводиться в атмосфері аміаку при 500...600 °С з витримкою при цій температурі, яка залежить від необхідної глибини шару, що насичується, і повільним охолодженням. Азотовані деталі найчастіше виготовляють зі сталі марок 38ХМЮА і 35Х10А, а також хромованадієвої й хромонікель-вольфрамової. Твердість азотованого шару сталей перших двох марок досягає HRC 70...78, а останніх HRC 60...65. Для

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

локального захисту деталей від азотування використовують рідке скло. Деталі ретельно очищають піском від мастила і забруднень до утворення рівного матового кольору, а потім підготовлені поверхні покривають рідким склом, попередньо очистивши від бруду, за допомогою дво-трикратного занурення до ванни. Шар рідкого скла на деталі повинен бути прозорим без бульбашок повітря. Після азотування шар рідкого скла видаляють з деталі промиванням у підігрій до 70...90 °С воді протягом 30 хвилин.

2.3 Вибір оптимального методу зміцнення

Після проведення аналізу вище розглянутих методів та способів поверхневого зміцнення деталі, а також враховуючи вимоги (хімічні, фізичні, механічні), які висуваються до готової продукції (шестерня ведена НШ 63М-03/09-00-02), обираємо найбільш оптимальний метод – цементация в твердому карбюризаторі або газова цементация.

2.4 Характеристика обраного методу зміцнення

Цементация в твердому карбюризаторі є одним з найстаріших способів цементацияі. Під час цього методу карбюризатором служить суміш деревного вугілля та вуглекислих солей (наприклад, вуглекислого барію – $BaCO_3$, вуглекислого натрію – Na_2CO_3 тощо). Вуглекислі солі додаються до деревного вугілля у певній пропорції, які зазвичай коливаються в межах від 10 до 40%. У практичній роботі цементацияі використовуються різноманітні склади карбюризаторів.

Для цементацияі в твердому карбюризаторі деталі розміщують у цементацияіному (сталевому) ящику і засипають карбюризатором. Пакування деталей в ящик з карбюризатором повинно бути здійснене так, щоб деталі з усіх сторін були оточені карбюризатором і не доторкалися одна одної, а також

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

стінок і дна ящика. Ящик закривають кришкою та герметизують вогнетривкою глиною. Через отвори в кришці ящика вставляють стержні з такої ж низько вуглецевої сталі, як і цементовані деталі. Ці стержні відомі як "свідки" і вони використовуються для контролю цементації. Ящик із вміщеними в ньому в карбюризаторі деталями розміщують у печі та нагрівають до 900 - 950°C.

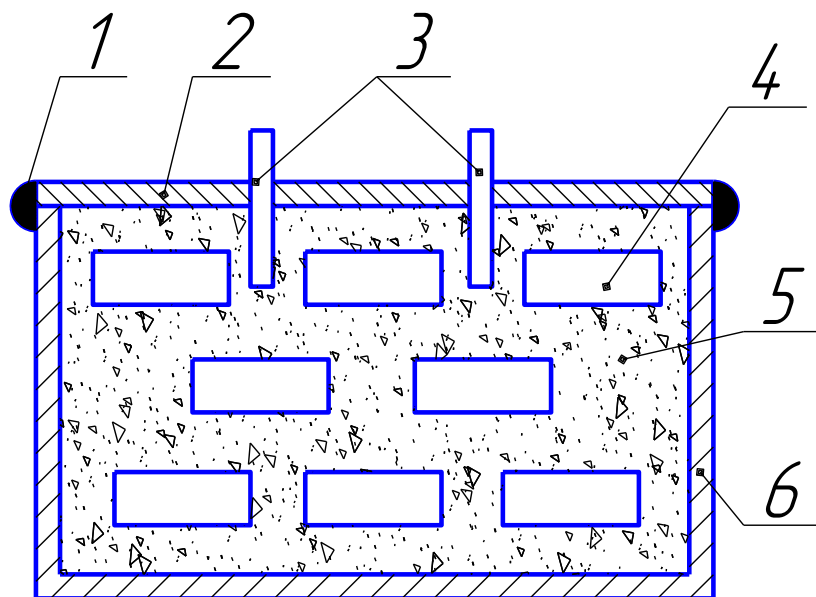


Рисунок 2.5 – Упаковка деталей в ємність для цементації 1 – замазка; 2 – крижка; 3 – свідки; 4 – деталь; 5 – карбюризатор; 6 – цементацийний.

При нагріванні відбуваються наступні процеси. Вуглець з вугілля з'єднується з киснем повітря, який перебуває в ящику, та утворюється оксид вуглецю (CO). Цей процес можна уявити такою реакцією:

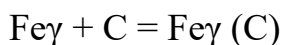


Оксид вуглецю розщеплюється на вуглекислий газ (CO₂) та вуглець у вигляді атомів (атомарний вуглець):



Атомарний вуглець проникає в поверхневий шар деталі. Оскільки деталі нагріваються до 900 - 950° С, тобто вище верхньої критичної точки Ас₃, а в

сталі при цій температурі утворюється γ -залізо, вуглець, який проникає в сталь, розчиняється в γ -залізі з утворенням аустеніту:



На процес цементації впливають температура цементації та час утримання при цій температурі. Зі збільшенням температури цементації та тривалості утримання зростає глибина цементованого шару.

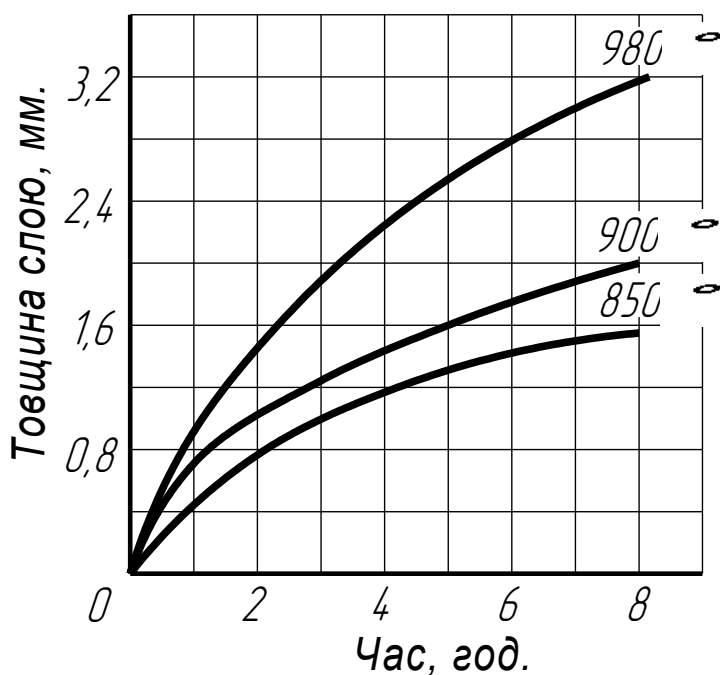


Рисунок 2.6 – Вплив температури та часу витримки на товщину шару твердим карбюратором

Тривалість витримки під час цементації залежить від того, яку глибину шару необхідно отримати. Зазвичай цементація деталей проводиться з формуванням шару глибиною 0,5 – 2 мм.

Дуже часто, в залежності від умов роботи, необхідно цементувати не всю поверхню деталі, а лише її окремі частини. У таких випадках ділянки деталі, які не підлягають цементації, захищаються від проникнення вуглецю за допомогою покриття їх тонким шаром міді (гальванічним методом), що надає найкращий захист від цементації, або покриваються спеціальними обмазками.

Як було вказано вище, для контролю процесу цементації в ящики розміщують «свідків». Контроль цементації здійснюється наступним чином. Перед завершенням цементації «свідків» виймають з ящика, закаляють у воді, ламають, і шляхом розлому визначають глибину цементованого шару.

Швидше шар цементації виявляється за макроструктурою. Глибину цементованого шару та розподілення вуглецю по глибині шару точно визначають за мікроструктурою. Цементований шар має три зони: заевтектоїдну (на поверхні) зі структурою перліту + цементиту, з вмістом вуглецю 1,1 – 0,8%, евтектоїдну, що має структуру перліту (0,8% C), та перехідну (доевтектоїдну) зі структурою фериту + перліту. Чим ближче до серцевини, тим менше в перехідній зоні перліту і більше фериту. За глибину цементованого шару зазвичай приймають суму заевтектоїдної, евтектоїдної та половину перехідної зони.

Після завершення цементації ящики виймають з печі, охолоджують на повітрі, а потім розпаковують та виймають деталі.

Цементовані деталі обов'язково підлягають подальшій термічній обробці – закалюванню та відпуску. Термічна обробка необхідна з двох причин: по-перше, для отримання високої твердості поверхні, і по-друге, для усунення перегріву сталі, оскільки внаслідок тривалої витримки при високій температурі відбувається зростання зерна сталі. Для усунення перегріву та отримання нормальної структури, а також для надання високої твердості цементованому шару, деталі після цементації піддаються термічній обробці. Залежно від призначення деталей використовують різноманітні варіанти термічної обробки.

Не відповідальні деталі підлягають гартуванню безпосередньо з цементацийного нагріву, за яким слідує низький відпуск (див. зображення а). Велике зерно аустеніту, що виросло під час тривалої цементації, утворює грубокристалічний мартенсит на поверхні та крупнозернисту феритно-перлітну структуру всередині деталі. Ці недоліки в значній мірі усуваються за

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

допомогою спадково дрібнозернистих сталей, газової цементації та скорочення часу перебування сталі при високій температурі. Охолодження при гартуванні до 750-800°C зменшує внутрішнє напруження, а обробка холодом зменшує кількість залишкового аустеніту в цементованому шарі.

При більш високих вимогах до структури деталей після цементації застосовується охолодження на повітрі, одноразове гартування з нагріванням вище точки A_{c3} та низький відпуск (див. зображення б). Це призводить до перекристалізації і подрібнення зерна в серцевині та на поверхні деталі. Проте в поверхневому високовуглецевому шарі може відбуватися перегрів через оптимальну гартувальну температуру заевтектоїдних сталей, яка знаходиться вище точки A_{c1} , але нижче точки A_{cm} .

Дуже відповідальні деталі після цементації піддаються подвійному гартуванню з низьким відпуском (див. зображення в). Під час першого гартування за температури, що на 30-50 °C вище точки A_{c3} , відбувається перекристалізація серцевини з утворенням дрібного аустенітного зерна, що забезпечує дрібнозернистість продуктів розчленування. Також під час цього процесу цементит на сітках у поверхневому шарі розчиняється. Під час другого гартування з нагріванням вище точки A_{c1} на 30-50 °C мартенсит, що утворився після першого гартування, піддається відпуску, що призводить до утворення шароподібних карбідів, що підвищують твердість поверхневого заевтектоїдного шару. Крім того, друге гартування забезпечує дрібне зерно у поверхневому шарі.

Після такої термообробки поверхневий заевтектоїдний шар матиме структуру відпущеного мартенситу з включенням шароподібного карбїду. Структура серцевини визначається хімічним складом сталі. При цементації вуглецевої сталі через низьку прогартуваність серцевина має феритно-перлітну структуру.

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Легована сталь під час цементації дозволяє отримувати в середині структуру сорбіту, тростини або навіть мартенситу, але завдяки низькій концентрації вуглецю серцевина матиме високу ударну в'язкість.

Деталі, виготовлені з вуглецевих сталей, охолоджуються при гартуванні в воді, а виготовлені з легованих сталей охолоджуються в мастилі.

В результаті термічної обробки на поверхневому шарі утворюється структура мартенситу з карбідами з твердістю HRC 60 – 64. Структура серцевини вуглецевих сталей складається з фериту та перліту, а легованих – з сорбіту чи тростини.

2.5 Проектування технологічного процесу виготовлення деталей

Технологічний процес розробляємо на основі існуючих типових технологічних процесів. Розробку технологічного процесу розпочинаємо з вибору способу виготовлення заготовки. Спосіб виготовлення заготовки, точність і технологічні вимоги, які пред'являються до неї, в значній мірі визначають загальні контури технологічного процесу виготовлення деталі і її вартість. Спосіб виготовлення заготовки вибираємо з урахуванням матеріалу деталі, річної програми виготовлення, конфігурації, розмірів та інших параметрів. При виборі заготовки враховуємо створення безвідходних та маловідходних технологій і інтенсифікацію технологічного процесу в машинобудуванні відповідно до тенденції використання більш точної і складної заготовки.

Для виготовлення шестерні веденої використовується метод гарячої ковки на горизонтально-кувальних машинах згідно з другим класом точності, за яким проводиться наступний відпал для нормалізації структури та зняття кувальних навантажень.

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

2.5.1 Складання структурної послідовності технологічного процесу

Маршрутна технологія була розроблена з врахуванням вибору технологічних баз та схем базування для всього технологічного процесу. Правильний вибір баз та методів заключної обробки найбільш відповідальних поверхонь суттєво впливає на якість деталі. Під вибором баз слід розуміти вибір установочних технологічних баз, які орієнтують деталь відносно інструменту та вузлів верстата під час виконання операцій механічної обробки.

Основними базами більшості валів (вал-шестерні) є поверхні його опорних шийок. Однак використання їх як технологічних баз для обробки зовнішніх поверхонь, як правило, ускладнене, особливо при збереженні єдності баз. Тому в якості технологічних баз для обробки зовнішніх поверхонь вибираємо поверхні центрових отворів з обох торців заготовки, що дозволяє обробляти всі зовнішні поверхні вал-шестерні на єдиних базах з встановленням його в центрах. З цієї причини механічну обробку шестерні розпочинаємо з операції підготовки технологічних баз - підрізання торців та їх центрування.

2.5.2 Розробка операцій технологічних процесів

Розробка операцій технологічних процесів передбачає опис кожної операції з вказівкою оброблюваних та базових поверхонь, а також обладнання, на якому вони виконуються, верстатних пристосувань, ріжучого та вимірювального інструменту. Розроблений маршрут обробки шестерні веденої представлений у таблиці 2.1.

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Таблиця 2.1 Процес технологічний

№ операції	Назва операції	Зміст операції
1	2	3
0050	Токарно-гвинторізна	Підрізати торець, зацентрувати
0100	Токарно-гвинторізна	Підрізати торець, зацентрувати
0150	Токарно-гвинторізна	Точити зовнішній діаметр вінця та цапфи, підрізати торець вінця початково
0200	Токарно-гвинторізна	Точнути зовнішній діаметр вінця та цапфи, підрізати торець вінця початково
0250	Вертикально-свердлильна	Зенкерувати центрові отвори
0300	Токарно-гвинторізна	Точну діаметр цапфи, підрізати торець вінця, точити фаску, врізати канавку з однієї сторони кінцево
0350	Токарно-гвинторізна	Точнути діаметр цапфи, підрізати торець вінця, точити фаску, вирізати канавку з іншої сторони кінцево
0400	Зубофрезерна	Фрезерувати зубця шестерні
0450	Зубодовбальна	Довбати зубця шестерні
0500	Зубошевінгувальна	Шевінгувати зубця шестерні
0550	Цементувальна	Цементування шестерні
10	20	30
0600	Круглошліфувальна	Шліфувати діаметра зовнішнього зубчастого вінця
0650	Круглошліфувальна	Шліфувати зовнішній діаметр цапфи
0700	Круглошліфувальна	Шліфувати зовнішній діаметр цапфи
0750	Круглошліфувальна	Шліфувати торець зубчастого вінця
0800	Круглошліфувальна	Шліфувати торець зубчастого вінця
0850	Полірувальна	Полірувати цапфу до шорсткості Ra = 0.16
0900	Полірувальна	Полірувати цапфу до шорсткості Ra = 0.16
0950	Доводочна	Довести торець зубчастого вінця
1000	Доводочна	Довести торець зубчастого вінця
1050	Зачистка	Зачистити торці цапф шестерень

									Арк.
									50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ				

Під час розробки технологічного процесу вибір ріжучого інструменту має вирішальний вплив на режими різання і простій обладнання під час наладки, а також на продуктивність процесу. Обраний інструмент повинен бути конструктивно зв'язаний з розмірами та конфігурацією оброблюваних деталей та операцій з базовими поверхнями відповідного металорізального обладнання. При можливості широко застосовуємо стандартний інструмент як економічно доцільний. При виборі інструменту слід враховувати можливість використання твердих сплавів, мінералокераміки та сучасних синтетичних матеріалів.

2.5.3 Розрахунок припусків

В залежності від точності та якості поверхні, що буде отримана після механічної обробки, визначається припуск на обробку.

Розрізняють загальні та міжопераційні припуски. Крім того, вони можуть бути однобічними та двобічними, симетричними та асиметричними.

Загальний припуск – це шар металу, який видаляється з даної поверхні заготовки в результаті виконання усіх переходів (операцій) технологічного процесу. Припуск повинен бути оптимальним, тобто мати розміри, які забезпечують необхідну механічну обробку даної поверхні при мінімальних витратах матеріалу та собівартості деталі. Тому визначення оптимальних припусків на обробку є важливим техніко-економічним завданням.

Операційний припуск повинен бути достатнім для того, щоб при механічній обробці були видалені всі дефекти та помилки попереднього переходу.

Значення припуску на обробку визначається розрахунково-аналітичним методом або за таблицями.

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

ця величина виключається з основної формули для розрахунку мінімального припуску. Таблиця 2.5 Значення елементів припуску

Технологічні переходи □ $40_{-0,075}^{-0,090}$	Елементи припуску, мкм			2Z _{min} , мкм	d _p , мм	Допуск □, мкм	Граничний розмір, мм		Граничні значення припусків, мкм	
	Rz		□				d _{min}	d _{max}	2Z _{min} ^{пр}	2Z _{max} ^{пр}
Заготовка	152	260	1280		43.73	1200	43,8	46		
Токарна попереднє закінченнє	52	55	81	2 . 1580	40.57	400	40,6	42	3202	4010
	32	35	57	2 . 171	40.23	120	40,23	40.55	372	656
Шліфування попереднє закінченнє	12	25	34	2 . 107	40.02	30	40,02	40.5	212	306
	2	16		2 . 54	39.91	15	39,91	39.25	112	126
Разом:									3895	5075

Сумарне відхилення за формулою з таблиці 31 [2]

$$\rho_z = \sqrt{\rho_{cm}^2 + \rho_{kop}^2 + \rho_{\square}^2}$$

$$\rho_{\square} = \sqrt{\left(\frac{\delta_3}{2}\right)^2 + 0,25^2}, \text{ де } \delta_3 - \text{ допуск на поверхні}$$

де H_{ed} – допуск за недоштамповкою. $H_{ed} = 0.9\text{мм}$ табл.41 [2];

I_{un} – допуск на знос ручья штампа. $I_{un} = 0.5\text{мм}$ табл. 41 [2];

K_y – допуск на усадку за температурними коливаннями. $K_y = 1\text{мкм/мм}$ (стр.85 [2]) $K_y = 1 \cdot 40 = 40\text{мкм} = 0.04\text{мм}$.

$$\Delta_3 = 0,8 + 0,4 + 0,04 = 1.24 \approx 1.2\text{мм} = 1200\text{мкм}.$$

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

$$\rho_4 = \sqrt{\left(\frac{1,2}{2}\right)^2 + 0,25^2} = 0,67 \text{ мм}$$

$$\rho_3 = \sqrt{0,9^2 + 0,023^2 + 0,67^2} = 1,18 \text{ мм}$$

РОЗРАХУНКИ МІНІМАЛЬНОГО ЗНАЧЕННЯ ПРИПУСКУ
ВИКОНУЄМО, БЕРУЧИ ЗА ОСНОВНУ ФОРМУЛУ ЗА ТАБЛ.26 [2]:

$$2Z_{min} = 2(R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \rho_{i-1})$$

Мінімальний припуск:

- під первинне обточування

$$2Z_{min1} = 2(150 + 250 + 1180) = 2 \cdot 1580 \text{ мкм}$$

- під завершальне обточування

$$2Z_{min2} = 2(50 + 50 + 71) = 2 \cdot 171 \text{ мкм}$$

- під первинне шліфування

$$2Z_{min3} = 2(30 + 30 + 47) = 2 \cdot 107 \text{ мкм}$$

- під завершальне шліфування

$$2Z_{min4} = 2(10 + 20 + 24) = 2 \cdot 54 \text{ мкм}$$

Заповнюємо графу "Розрахунковий розмір d_p " починаючи з кінцевого розміру шляхом послідовного додавання розрахункового мінімального припуску для кожного технологічного переходу.

$$D_{p3} = 39,91 + 0,108 = 40,018 \parallel 40,02 \text{ мм};$$

$$d_{p2} = 40,02 + 0,214 = 40,234 \parallel 40,23 \text{ мм};$$

$$d_{p1} = 40,23 + 0,342 = 40,572 \parallel 40,57 \text{ мм};$$

$$d_{p3} = 40,57 + 3,16 = 43,73 \text{ мм}.$$

Після внесення значень допусків для кожного технологічного періоду та заготовки у відповідні рядки розрахункової таблиці, у графі "Найменший

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

графічний розмір" визначаємо їх значення для кожного технологічного переходу. Щоб знайти округлені розрахункові розміри, збільшуємо їх значення. Округлення проводимо до того самого знаку після десяткової коми, що й даний допуск на розмір для кожного переходу. Потім враховуємо найбільші граничні розміри, додаючи допуск до округленого найменшого графічного розміру:

$$d_{max4}=39.91+0.015=39.9мм;$$

$$d_{max3}=40.02+0.03=40.0мм;$$

$$d_{max2}=40.23+0.12=40.3мм;$$

$$d_{max1}=40.6+0.4=41мм;$$

$$d_{max3}=43.8+1.2=45мм.$$

Граничні значення припусків Z_{max}^{np} обраховуємо, як різницю найбільших граничних розмірів та Z_{min}^{np} , як найменших граничних розмірів попереднього та виконуемого переходу:

$$2Z_{max4}^{np} = 40.05 - 39.925 = 0.125мм = 125мкм;$$

$$2Z_{max3}^{np} = 40.35 - 40.05 = 0.3мм = 300мкм;$$

$$2Z_{max2}^{np} = 41 - 40.35 = 0.65мм = 650мкм;$$

$$2Z_{max1}^{np} = 45 - 41 = 4мм = 4000мкм;$$

$$2Z_{min4}^{np} = 40.02 - 39.91 = 0.11мм=110мкм;$$

$$2Z_{min3}^{np} = 40.23 - 40.02 = 0.21мм=210мкм;$$

$$2Z_{min2}^{np} = 40.6 - 40.23 = 0.37мм=370мкм;$$

$$2Z_{min1}^{np} = 43.8 - 40.6 = 3.2мм=3200мкм.$$

Загальні припуски $Z_{o\ min}$ і $Z_{o\ max}$ обраховуємо додаючи проміжні припуски та записуємо їх значення внизу відповідних рядків.

Номінальний припуск у даному випадку визнаємо з урахуванням несиметричного розташування поля допуску

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

$$Z_{o \text{ ном}} = Z_{o \text{ min}} + H_3 - H_0;$$

$$H_3 = I_u + \frac{K_y}{2} = 0,4 + \frac{0,04}{2} = 0,42 \text{ мм} = 420 \text{ мкм};$$

$$Z_{o \text{ ном}} = 3895 + 420 - 15 = 4320 \text{ мкм};$$

$$d_{3 \text{ ном}} = 39,9 + 4,3 = 44,2 \text{ мм}.$$

На решту оброблюваних поверхонь деталі припуски та допуски вибираємо по ГОСТ 7505-80 та вносимо їх значення в таблицю 2.6.

Креслення заготовки деталі показано на рисунку 2.8.

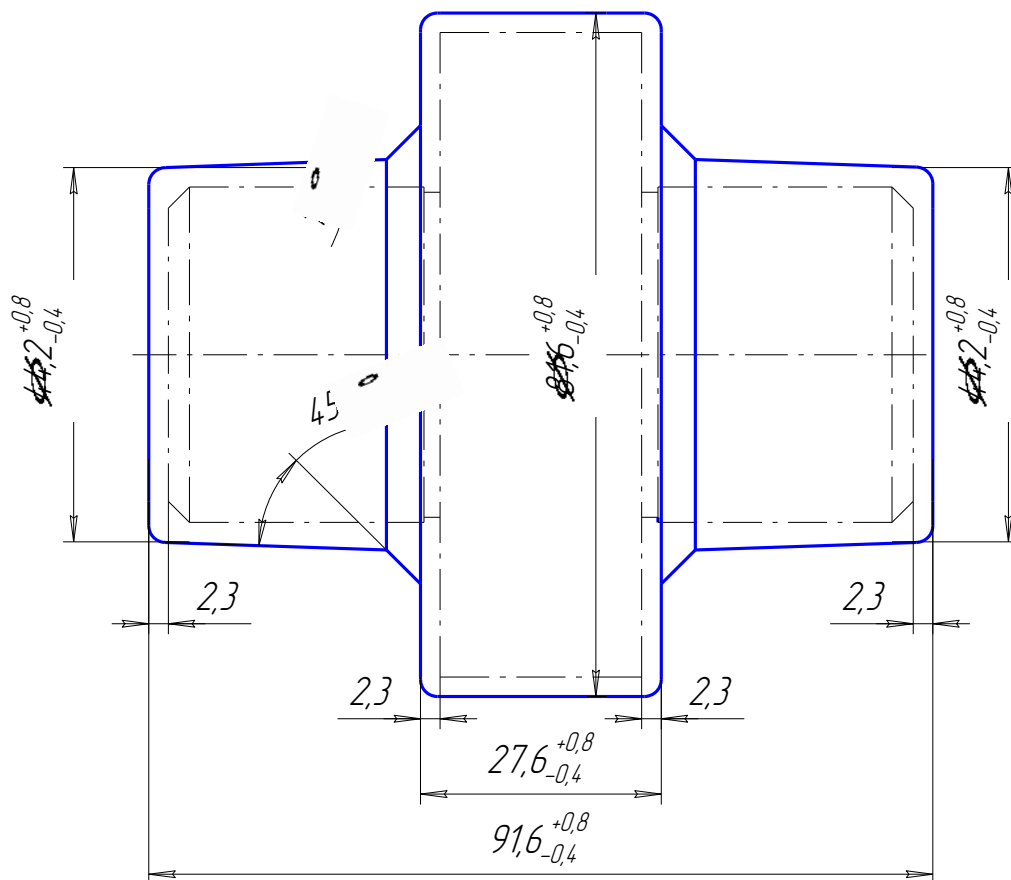


Рис. 2.8 – Заготовка шестерні веденої (рис. 2.7) з нанесеними припусками та допусками.

Таблиця 2.6 Припуски на обробляемі поверхні деталі

Поверхні	Розмір	Припуск	До
----------	--------	---------	----

я (рис.2.7)		таблични й	розрахун ковий	пуск
1.7	87	2·2.4	—	+ 0.8 — 0.4
2.6	35 ^{-0,140} _{-0,156}	2·2.4	2·2,15	+ 0.8 — 0.4
3.5	23 _{-0,04}	2·2.4	—	+ 0.8 — 0.4
4	68,5 ^{-0,03} _{-0,06}	2·2.4	—	+ 0.8 — 0.4

2.6 Дослідження технології цементації зубчастих шестерень насосу

Зубчасті колеса широко використовуються в автомобілях, механізмах та пристроях різних галузей машинобудування. Найкраща макроструктура у зубчастих коліс досягається при їх виготовленні методом штампування, коли напрямлення волокон відповідає конфігурації колеса, що сприяє підвищенню його міцності на вигин.

При виборі сталі для виготовлення зубчастих коліс важливо враховувати вартість матеріалу, його оброблюваність, здатність до прокалювання та деформацію під час термічної обробки. Оскільки зуб є основним елементом зубчастого колеса, застосовувані сталі та методи зміцнення повинні забезпечувати високу контактну міцність, стійкість до втоми, міцність на вигині, ударостійкість та зносостійкість зуба.

Цементовані зубчасті колеса виготовляють зі сталей, таких як 20Х, 12ХНЗА, 12Х2Н4А, 20Х2Н4А, 25ХГМ, 20ХН2М, 18ХГТ, 25ХГТ, 30ХГТ, 20ХГР, 18Х2Н4ВА та інші.

Для підготовки структури перед обробкою на металорізальних верстатах та для поліпшення механічних властивостей готових зубчастих коліс штамповані заготовки піддають термічній обробці - відпалу (повного або ізотермічного) або нормалізації, або нормалізації з високим відпуском.

Найкращою для різання (для отримання найменш грубої поверхні металу) є структура після ізотермічного відпалу за наступним режимом: нагрів до температури в точці $A_{c3} + 50^\circ C$, витримка, короткочасне охолодження до $480-500^\circ C$ і ізотермічна витримка при $580-600^\circ C$.

Для штампованих заготовок з цементуємих хромомарганцевих і хромонікелевих сталей також використовується прискорене охолодження штампованих заготовок від температури кінця кування до $500-600^\circ C$ з подальшим використанням залишкового тепла

									ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						58

Зубчасті колеса з хромомарганцетітанових сталей (18ХГТ, 25ХГТ, 30ХГТ) піддаються газовій цементації при температурі 920-950 °С з подальшим безпосереднім загартуванням у цементаційній печі після попереднього підстижування до 840-860 °С. Після гарту зубчасті колеса проходять відпуск при 180-200 °С. На поверхні досягається твердість HRC 56-62, а в серцевині HRC 30-45 (нижня межа для сталі 18ХГТ, верхня - для сталі 30ХГТ). Мікроструктура цементованого шару складається з дрібноголчастого мартенситу з дрібними включеннями карбідів та невеликою кількістю залишкового аустеніту; серцевини містять сорбіт (для сталі 18ХГТ) або троостосорбіт (для сталі 30ХГТ).

Для газової цементації зубчастих коліс використовуються муфельні та безмуфельні печі. Зазвичай обробку проводять на поточних лініях, що включають штовхальну піч для газової цементації, механізований гартівний бак, промивну машину, піч для відпуску та камеру для охолодження коліс після відпуску. Температура в печі для газової цементації по довжині робочої камери підтримується на рівні температури цементації, а у розвантажувальному кінці знижується до температури підстижування.

Для отримання зубчастих коліс з твердістю поверхні зубів $HRC \geq 60$ та зменшенням зношування зубів на початковому колу застосовують процес нітроцементації в безмуфельних агрегатах. Зубчасті колеса, наприклад зі сталі 25ХГМ, піддаються нітроцементації при 870 °С, підстижуються до 840 °С, охолоджуються в гарячому маслі з температурою 160-180 °С і відпускаються при 160-180 °С; при цьому досягається твердість поверхні зуба HRC 60-65, а серцевини - HRC 35-45.

Зубчасті колеса з хромонікелевих сталей, таких як 12Х2Н4А, 20Х2Н4А та інші, не піддаються безпосередньому загартуванню, оскільки це призводить до утворення великої кількості аустеніту, що знижує твердість поверхні зуба. Тому після цементації зубчасті колеса з цих сталей охолоджують на повітрі, піддають високому відпуску при 600-650 °С (щоб підготувати структуру

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ				59

цементованого шару для загартування; під час відпуску відбувається розпад залишкового аустеніту і мартенситу, а також виділення карбідів), гартують у маслі від 800-820 °С, а потім піддають низькому відпуску при 180-200 °С. Іноді для зменшення деформації після високого відпуску зубчасті колеса піддають шевінгуванню.

Для зменшення деформації зубчастих коліс застосовують такі методи:

1. Ступінчасте загартування: нагріті зубчасті колеса охолоджуються у ванні з маслом або розплавленою сіллю при температурі 150-180 °С, а після витримки в ванні до вирівнювання температури по перетину зубчастого колеса до температури ванни охолоджуються на повітрі до температури 20 °С.

2. Загартування на спеціальних фіксуючих оправках, які встановлюються в отворі зубчастого колеса.

3. Ступінчасте загартування в поєднанні з фіксуючими оправками: зубчасте колесо поміщається на оправці після витримки в гарячому середовищі, а потім охолоджується разом з оправкою до температури 20 °С.

4. Загартування в автоматизованих пресах: нагріте зубчасте колесо встановлюється на нижній штамп, затискається верхнім штампом і занурюється у гартівний бак з маслом.

Зубчасті колеса з покращених сталей.

Зубчасті колеса виготовляються з поліпшених сталей, таких як 45, 40Х, 40ХН та інші, а також зі сталі 55ПП зі зниженою прокалюваністю. Залежно від умов експлуатації зубчасті колеса піддаються різній термічній обробці: нормалізації, поліпшенню, загартуванню та низькому відпуску, ціануванню (нітроцементациї) з наступним загартуванням і відпуском.

Зубчасті колеса, що працюють при низьких швидкостях і малих тисках, виготовляють зі сталі 45 і піддають нормалізації при 850-870 °С (твердість НВ 170-217) або поліпшенню загартуванням у воді від 820-840 °С і відпуску при 520-550 °С (НВ 220-250).

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Зубчасті колеса, що працюють при значних навантаженнях, згинанні та невеликих швидкостях, виготовляють з легованих середньовуглецевих сталей і піддають поліпшенню - загартуванню в маслі і відпуску при 600-650 °С (НВ 230-260).

Зубчасті колеса, що працюють при середніх швидкостях, середніх тисках і невеликих ударних навантаженнях, виготовляють з легованих середньовуглецевих сталей. Режими термічної обробки зубчастих коліс з цих сталей наступні: а) загартування в маслі і відпуск при 180-200 °С (HRC 50-55); б) ціанування (нітроцементация) при 830-850 °С, загартування в маслі і відпуск при 180-200 °С (HRC 55-60); товщина шару повинна бути в межах 0,2-0,3 мм, для чого необхідна витримка 30-50 хв під час ціанування і 1-2 години під час нітроцементации.

Широкого застосування в заводській практиці набуло поверхневе загартування зубчастих коліс при індукційному нагріванні. Загартування у цьому випадку проводиться двома методами:

1. з наскрізним нагріванням зубів;
2. з нагріванням тільки контактних поверхонь зуба (гарт "по зубу") або з одночасним нагріванням контактних поверхонь і западини (гарт "по западині").

При загартуванні з наскрізним нагріванням зубів зубчастих коліс зі сталей, наприклад 45, 40Х, в індукторі нагріваються (до 850-870 °С), а потім охолоджуються (водяним душем або зануренням зубчастого колеса в масло) одразу всі зуби. Зуби прогартовуються наскрізь. На деяку глибину (до 5 мм) гартується також і обод зубчастого колеса. Після гарту здійснюється низький відпуск; твердість поверхні зуба HRC 58-60, а серцевини - HRC 45-55. Цей метод застосовується при загартуванні зубчастих коліс, слабо навантажених і малого модуля (до 4 мм), так як весь зуб має високу твердість і можливі його поломки в процесі експлуатації. Зубчасті колеса з модулем понад 4 мм загартовувати цим способом недоцільно.

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Методом гарту з наскрізним нагріванням зубів можна зміцнювати і важко навантажені зубчасті колеса (середнього модуля 4-10 мм), виготовлені зі сталі зниженої прокалюємості. У цьому випадку застосовується об'ємно-поверхневе загартування (при глибинному індукційному нагріванні) - спосіб, розроблений професором К. З. Шепеляковським і застосовуваний на багатьох заводах. При поверхневому загартуванні з глибинним нагріванням необхідним є застосування інтенсивного охолодження об'єктів струменем води (потокм води або душем). Для виконання такого охолодження застосовують спеціальні гартівні пристрої, одне з яких показано на рис. 2.9. Вода подається по трубопроводу 1 діаметром 150 мм; проходить по кільцевому пазу 2, який направляє її в зазор між оброблюваним зубчастим колесом 3 і індуктором 4. До включення гартівна вода знаходиться на рівні 5. Така система охолодження дає хороші результати при загартуванні зубчатих коліс модулем 6-10 мм.

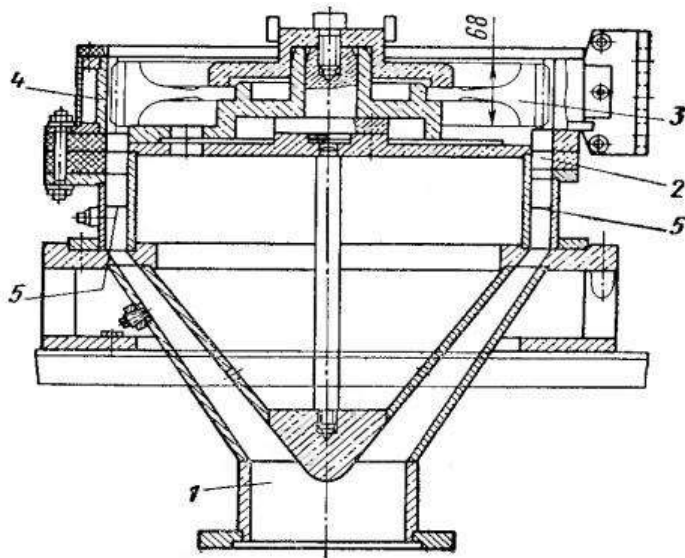


Рис. 2.9. Гартівний пристрій з подачею охолоджувальної рідини паралельно гартуємої поверхні в зазорі між індуктором і зубчастим колесом.

Режим гарту зубчастих коліс з модулем 6 мм наступний: 1 - частота струму 2650 Гц, 2 - загальний час нагрівання 90 секунд, 3- температура нагріву 850 °С, 4- тривалість охолодження (гартування з самовідпуском при

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ				62

200-210 °С, що еквівалентно відпуску в печі при 150-160 °С), 5 - витрата охолоджуючої води 100 літрів за секунду, продуктивність 30 деталей за годину. В результаті такого гарту формується шар високої твердості (HRC 59-61) товщиною (біля кореня зуба) 1,9 мм, що розташований по контуру зубів і западин (рис. 2.10), що забезпечує велику зносостійкість, контактну і втомну міцність зубів. Серцевина зуба має твердість HRC 30-35, що забезпечує високу міцність.

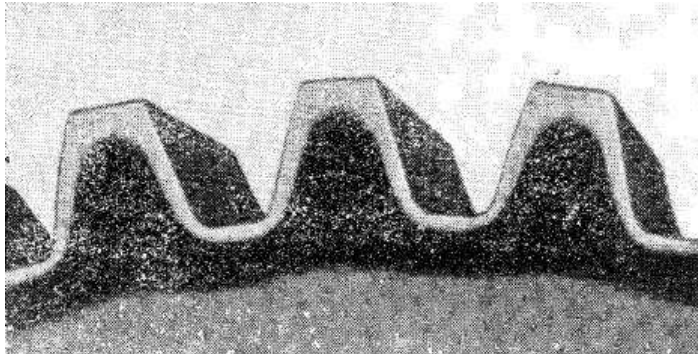


Рис. 2.10 Макроструктура зубчастого колеса зі сталі низької накалиємості загартованого при глибинному прогріванні

Зубчасті колеса зі сталі зниженої прокалиємості, підсилені об'ємно-поверхневим загартуванням через глибинне індукційне нагрівання, перевершують своїх аналогів з хромомарганцетитанових, хромонікелевих та інших сталей, які пройшли цементацію й загартування, за показниками статичної, динамічної та втомної міцності зубів.

Великогабаритні зубчасті колеса загартують за допомогою методу "по зубу" (рис. 2.11, а) або "по западині" (рис. 2.11, б). Однак недоліком методу загартування "по зубу" є зниження втомної міцності зуба, що пояснюється концентрацією напружень на кордоні загартованого шару та поверхні зуба. У випадку загартування "по западині" найбільш навантажене місце зубчастого колеса проходить процес загартування, і виходу напружень, що розподіляються по поверхні вершини зуба, не є небезпечним, оскільки це місце зуба не піддається навантаженню. Для проведення поверхневого

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ				63

загартування зубчастих коліс застосовують різні індуктори, що дозволяють проводити загартування як методом "по зубу", так і "по западині", одночасно або послідовно.

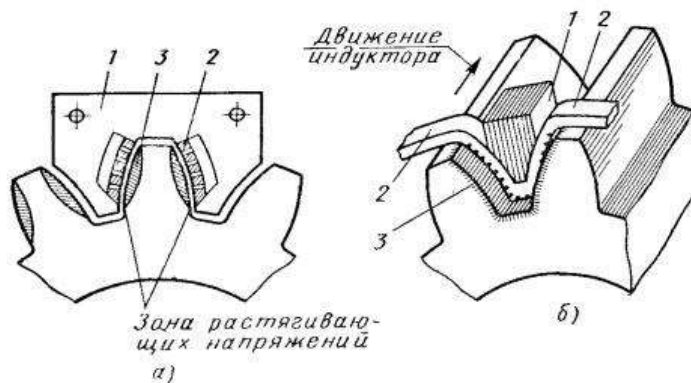


Рис. 2.11. Схема позубного гарту зубчастих коліс:

а - по зубу; б - по западині; 1 - магнітопроводом; 2 - індукуючим дротом;
3 - нагрітий шар.

Поверхнєве загартування зубчастих коліс проводиться на спеціальних верстатах і установках.

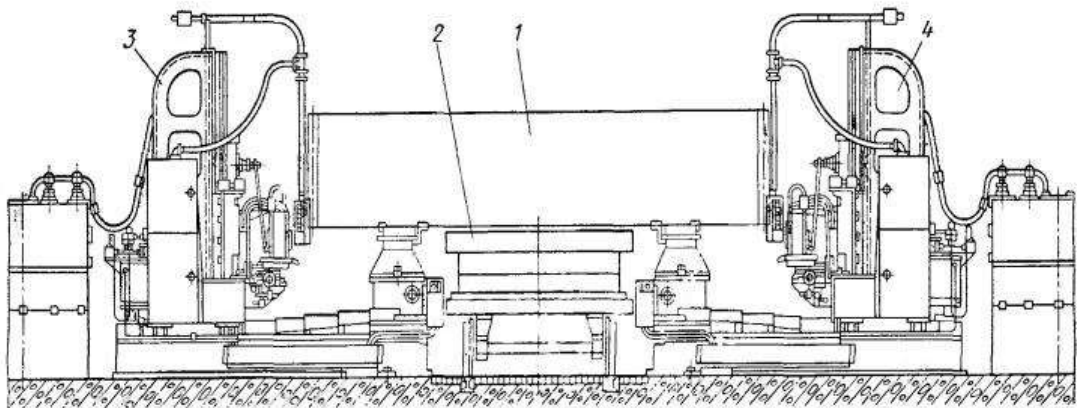


Рис. 2.12. Установка для високочастотного гарту великогабаритних зубчастих коліс

На рис. 2.12 зображена установка для високочастотного загартування великогабаритних зубчастих коліс з модулем 10-50 мм, діаметром початкового колеса 2000-5000 мм, числом зубів 40-500, шириною вінця до 1000 мм та масою до 15 000 кг. Установка складається з двох загартувальних верстатів і

механізованого візка. Зубчасте колесо 1 розміщують на механізованому візку 2 у механічному цеху й транспортують на загартовувальну ділянку. Загартування виконують з протилежних сторін, одночасно двома загартовувальними верстатами 3 і 4. Після завершення загартування всіх зубів, загартоване зубчасте колесо вивозять на тому ж візку. За допомогою різних індукторів можна проводити загартування по западині одночасним способом (зубчасті колеса з модулем 10-16 мм і довжиною зуба не більше 200 мм) та безперервно-послідовним способом (зубчасті колеса з модулем 16 мм і вище).

При загартуванні "по западині" одночасним способом індуктор 1 (рис. 2.13) вставляють між зубів зазором від 2 до 2,5 мм між індуктором і нагріваючою поверхнею. При цьому нагріваються западина й обидві сусідні поверхні по всій довжині зуба. Спреєр 2 безперервно охолоджує зовнішні поверхні нагрівання зубів, щоб уникнути відпуску раніше загартованих поверхонь. Після завершення нагрівання, що триває кілька секунд, індуктор 1 виймають з западини, і після паузи (для вирівнювання температури) з загартовувальних спреєрів 3 нагріту поверхню охолоджують водою протягом часу, що забезпечує загартування з автоматичним відпуском напруг. Після завершення загартування зубчасте колесо 4 повертають на один зуб, індуктор вводять в наступну западину між зубами і процес повторюють.

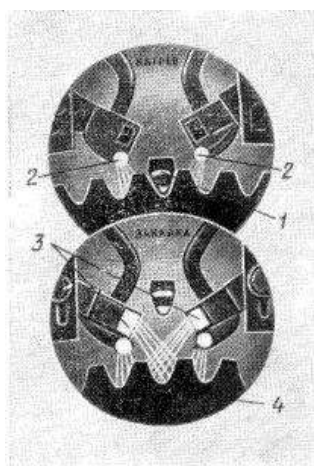


Рис. 2.13. Схема гарту зубчастого колеса по западині

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Іноді, під час загартування великомодульних зубчастих коліс, на деяких зубах на протилежній стороні до попереднього загартування можуть з'являтися тріщини через теплові і структурні напруги. Для уникнення таких тріщин доцільно використовувати метод загартування "по западині через зуб", що полягає в наступному. Спочатку проводять перше індукційне загартування "по западині через зуб" (див. рис. 2.14).

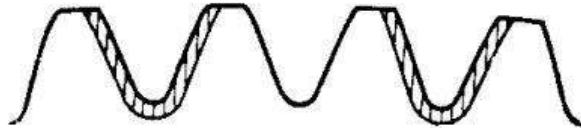


Рис. 2.14. Схема гарту зубчастого колеса по западині через зуб

Після першого загартування зубчасте колесо піддають відпуску при температурі 180-200 °С. Після відпуску гартують необроблені боки зубів, а потім знову проводять низький відпуск. За такого підходу тріщини на поверхні зубів не виникають.

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

3. КОНСТРУКЦІЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ЗУБОДОВБАЛЬНОЇ ПРОЦЕДУРИ

Засоби верстатного обладнання застосовуються для закріплення заготовок на металорізальних верстатах. Згідно з вимогами щодо загальної типізації, класифікують три види таких засобів: спеціальні (однозадачні), спеціалізовані (спрямовані на конкретне завдання), обмежено переналаштовувані та універсальні (багатозадачні, широко переналаштовувані).

Розумне використання верстатного обладнання сприяє досягненню високих техніко-економічних показників. Зменшення трудомісткості та тривалості процесу технічної підготовки виробництва, зниження собівартості продукції можливе завдяки використанню стандартних верстатних засобів, що дозволяє скоротити час, витрати та трудомісткість на їх виготовлення. В умовах серійного виробництва перевагу мають системи уніфікованих верстатних засобів, спеціалізованих регульовальних платформ та інші верстатні пристосування, придатні для многоразового використання.

Використання верстатного обладнання забезпечує підвищену точність обробки деталей за параметрами відхилень розмірів, форми та розташування поверхонь. Точні, надійні верстатні засоби з достатньою жорсткістю дозволяють ефективно працювати з дефектними заготовками та стабільними силами їх кріплення.

Контрольні засоби використовуються для перевірки якості заготовок, деталей та вузлів машин. Пристрої для контролю деталей використовуються на проміжних етапах обробки (проміжний контроль) та для заключного приймання продукції, де вони перевіряють точність розмірів, взаємне розташування поверхонь та геометричну відповідність. Контрольні засоби сприяють підвищенню продуктивності роботи контролерів, покращенню умов їх праці та забезпечують вищу якість та об'єктивність контролю.

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

Контрольні пристосування поділяють на пасивні та активні. Пасивні застосовуються після операцій обробки, тоді як активні встановлюються на верстатах і контролюють деталі в процесі обробки. Вони подають сигнал на органи верстата або робітника для перерви у обробці або зміни умов виконання, якщо виявляється брак.

Розглянемо контрольне пристосування, що використовується для контролю похибки направлення зубів шестерні.

Принцип роботи полягає в наступному. Перед початком контролю шестерні вимірювальний прилад (індикатор) налаштовується на "0". Це досягається за допомогою еталонного зразка, який розміщується на місці контролюємої деталі. Деталь встановлюється між центрами правої та лівої бабок за допомогою рукоятки на правій бабці, яка втягує центр в середину. Індикатор кріпиться на стійці, що монтується на індикаторну лапу. Індикаторна лапа з'єднується рухомо з подвижною плитою. Переміщення плити здійснюється за допомогою призми та шариків, які розташовані між призмами. Після налаштування всіх параметрів переміщуємо рухому плиту вручну і спостерігаємо відхилення індикатора від нульової позначки, таким чином контролюючи похибку направлення зуба шестерні.

Далі розглянемо пристосування, яке використовується на зубодовбальному верстаті для закріплення та базування шестерні (див. рис.3.1) під час виконання зубодовбальної операції. В ролі силової частини даного пристосування виступає гідроциліндр. Він нерухомо з'єднаний з пристосуванням через грибок різьбовим з'єднанням. На грибку під кутом 120° в напрямку вдовж розташовуються три тяги. Ричаг перетворює силу, що діє на нього від тяги, у поперечну силу, яка безпосередньо переміщує кулачок. Кулачки рухомо закріплені на планшайбі в Т-образних пазах, що дозволяє провести базування та кріплення.

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

заготовка знаходиться у рівновазі. Сила закріплення Q повинна бути достатньою для запобігання руху встановленої в пристрій заготовки. Якщо величина Q перевищує Q' , знайдену з умов точності виконання операцій, то необхідно внести корективи в її структуру (зміна схеми установки та закріплення заготовки, режиму різання, умов виконання операції), що може призвести до зменшення початкових значень похибок закріплення ϵ_3 та форми $\Delta\phi$. Під час повторної перевірки повинно бути виконано умову $Q \leq Q'$.

У другому (більш частому) випадку сила закріплення має перевірочний характер. Отримана з умов обробки необхідна сила закріплення повинна бути меншою за силу, яку виробляє затискний пристрій використаного пристосування, або дорівнювати їй. Якщо цього немає, то змінюють умови обробки з метою зменшення необхідної сили закріплення з наступним перевірочним розрахунком. Може вирішуватися і зворотна задача – за силою закріплення знаходять режими різання, кількість робочих ходів (проходів) та інші умови обробки. Під час розрахунку сил закріплення необхідно враховувати пружну характеристику затискного пристрою. У пристосуваннях застосовують затискні пристрої двох типів. До пристроїв першого типу відносяться самогальмуючі затискні механізми (гвинтові, клинові, ексцентрикові та інші), незалежно від виду приводу (ручний, пневматичний, гідравлічний). Якщо до затискного елемента цих механізмів прикласти додаткову силу, то величина пружного відступу елемента в напрямку прикладеної сили буде змінюватися лінійно (або близько до цього) в залежності від величини цієї сили. До пристроїв другого типу відносяться пневматичні, гідравлічні та пневмогідравлічні механізми прямого дії. Якщо до затискного елемента цих пристроїв (наприклад, штоку пневмоциліндра) прикласти збільшуючу за величиною силу, то переміщення елемента штока не відбудеться до тих пір, поки прикладена сила не перевищить протидіючу силу (від тиску стисненого повітря на поршень). У пристроях цього типу з проміжними ланцюгами без самогальмування величина відступу затискного

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

елемента спочатку змінюється лінійно через пружні деформації ланцюгу, а потім при певному значенні прикладеної сили елемент зміщується на більшу відстань.

Сили, які утворюються під час обробки, прагнуть зсунути заготовку від опор (кулачків) (див. рис. 3.2). Ця схема типова для випадків, коли напрям подачі інструменту змінюється (наприклад, маятникове фрезерування, фрезерування замкнених контурів, зубодовбання). Зміщенню заготовки протидіють сили тертя, які утворюються в місцях контакту заготовки з затискними елементами. Згідно з цією умовою повинне виконуватися наступне рівняння:

$$P \leq Q \cdot f_1 + Q \cdot f_2,$$

де f_1, f_2 – коефіцієнти тертя заготовки.

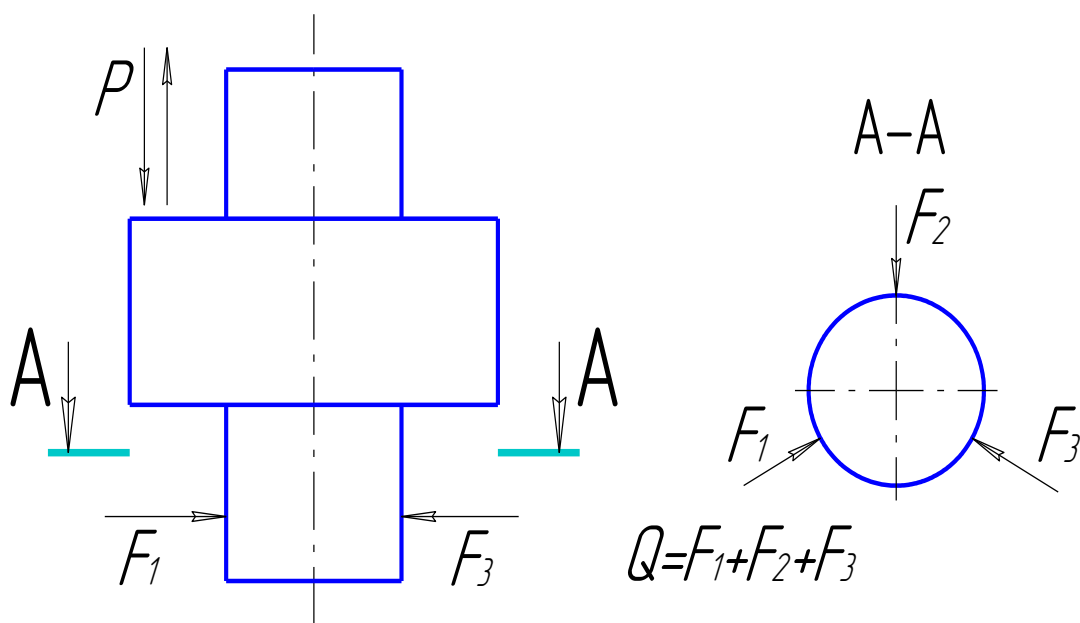


Рисунок 3.2 – Схема для розрахунку сили кріплення

Вводячи коефіцієнт запасу $k > 1$, одержуємо

$$Q = \frac{k \cdot P}{f_1 + f_2},$$

де $k = 1.2$;

P – сила різання, $P = 6 \text{ кН}$;

$f_1 = 0$;

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

$$f_2 = 0.25 \cdot 3 = 0.75.$$

$$Q = \frac{1,2 \cdot 6}{0,75} = 10 \text{ кН}.$$

Сила тримання на одному кулачку, кН:

$$F_1 = Q/3 = 10/3 = 3.3 \text{ кН}.$$

обрахунок гідроциліндру.

Необхідні умови для обрахунку:

F – потрібна сила на штоці, кН;

L – хід поршня, мм;

t – час робочого ходу, хв.;

Q – сила тримання заготовки, кН ;

F_1 – сила тримання на одному кулачку, кН.

З умови:

$$\frac{F_1 \cdot l}{l_1} = \frac{F}{3},$$

знаємо силу P

$$F = \frac{3 \cdot F_1 \cdot l}{l_1}, \text{ кН}$$

$$F = \frac{3 \cdot \frac{Q}{3} \cdot l}{l_1} = \frac{Q \cdot l}{l_1}, \text{ кН}$$

Також в формулу вносимо силу на протидію розтягування пружини $q = 0.1 \text{ кН}$ та коефіцієнт, який враховує втрати від тертя в ланцюгу затискного прихвата $\eta = 0.9$. Після цього формула виглядає:

$$F = \left(\frac{Q \cdot l}{l_1} + q \right) \cdot \frac{1}{\eta}, \text{ кН}$$

Потрібна сила в штоці

$$F = \left(\frac{10 \cdot 45}{30} + 0,1 \right) \cdot \frac{1}{0,9} = 16,8 \text{ кН} = 16800 \text{ Н}.$$

Діаметр циліндра

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot f}{\pi}} + d, \text{ мм}$$

де f – площа поршня, мм^2

$$f = \frac{F}{p}, \text{ мм}^2$$

де p – тиск мастила в гідравлічній магістралі, $p = 6 \text{ МПа}$

$$f = \frac{16800}{6} = 2800, \text{ мм}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 2800}{3,14}} + 26 = 85,7 \text{ мм}$$

Приймаємо діаметр поршня $D = 88 \text{ мм}$.

Секундна подача насоса ($\text{см}^3/\text{с}$)

$$Q = \frac{V}{t\eta_1} = \frac{FL}{t\eta_1} = \frac{PL}{pt\eta_1},$$

де η_1 – об'ємний ККД системи, який враховує втрату, $\eta_1 = 0,98$;

$$t = 2,5 \text{ с};$$

$$L = 0,7 \text{ мм}.$$

$$Q = \frac{16800 \cdot 0,7}{6 \cdot 2,5 \cdot 0,98} = 800 \text{ см}^3 / \text{с}.$$

Потужність, яка втрачається на привід насоса (Вт),

$$N = \frac{QP}{\eta_2} = \frac{PL}{t\eta_1\eta_2},$$

де η_2 – коефіцієнт корисної дії насоса та силового вузла, $\eta_2 = 0,96$

$$N = \frac{16800 \cdot 0,7}{2,5 \cdot 0,98 \cdot 0,96} = 5000 \text{ Вт} = 5 \text{ кВт}.$$

Проводимо перевірку різьбового з'єднання та розрахунок болта на розтяг у місці з'єднання штоку гідроциліндра з пристосуванням, з урахуванням умови:

$$\sigma_p = \frac{P}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot d^2} \leq [\sigma_p]$$

де P – вістова сила, $P = 16,9 \text{ кН} = 16900 \text{ Н}$;

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

d – діаметр різьби, $d = 25$ мм.;

$[\sigma_p]$ – допустиме напруження на розтяг, $[\sigma_p] = 85$ МПа.

$$\sigma_p = \frac{4 \cdot 16,8}{3,14 \cdot 24^2} = 37 \text{ МПа},$$

$$\sigma_p = 37 \text{ МПа} \leq [\sigma_p] = 85 \text{ МПа},$$

тобто умова міцності на розтяг дотримується.

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі на основі аналізу принципу роботи та структури вузла (шестереневого насосу) розглядається роль шестерні веденої. Ми прийшли до висновку щодо розробки технології виготовлення цієї деталі, використовуючи базовий технологічний процес із застосуванням менш витратної та менш впливової на кінцевий результат операції зміцнення – цементування.

Після проведення відповідних розрахунків щодо впровадження нової операції в виробництво, було визначено, що ця інновація призведе до значного скорочення трудомісткості операції, що в свою чергу зменшить час та витрати на загальну обробку деталі.

Також були проведені розрахунки щодо модернізації зубодовбального пристрою. Суть модернізації полягала в заміні механічного приводу закріплення деталі на гідравлічний, з проведенням відповідних силових та економічних розрахунків.

Була впроваджена високоефективна технологія цементації зубчастих шестерень.

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Елсануз А., Абобакер Е., Хан Ф., Рахман М.А., Аборіг А., Батт С.Д. (2022). Характеристика потоку не Дарсі та розробка нової кореляції коефіцієнта не Дарсі. *Енергії*, 15(20), номер статті 7616. doi: 10.3390/en15207616.
2. Ergun, S. (1952). Потік рідини через насадкові колони. *Прогрес хімічної інженерії*, 48 (2), 89-94.
3. Форххаймер, П. (1901). *Wasserbewegung durch boden. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure*, 45, 1781-1788.
4. Гертсма, Дж. (1974). Оцінка коефіцієнта інерційного опору течії рідини через пористі середовища. *Журнал Товариства інженерів-нафтовиків*, 14(5), 445-450. doi: 10.2118/4706-PA.
5. Ghahri, P., Jamiolahmady, M., & Sohrabi, M. (2011). Обтікання газоконденсатом нахилених і горизонтальних свердловин. На щорічній конференції та виставці SPE EUROPEC/EAGE (артикул SPE-143577-MS). Відень: Австрія. doi: 10.2118/143577-MS.
6. Харт, А.Ф., Омоболанле, О.К. (2023). Модель Дарсі-Форхгеймера: Застосування в проектуванні та оптимізації гідравлічного розриву пласта. Щорічна міжнародна конференція та виставка SPE Nigeria (артикул SPE-217106-MS). Лагос: Expo Centre, Eko Hotel and Suites. doi: 10.2118/217106-MS.
7. Fanhua Zeng, Gang Zhao (2010). Оптимальна геометрія тріщини ГРП за ефектів недарсі течії. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 1-2, 143-157. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2010.03.012>
8. Хупер, А. (1959). Про течії газів у пористих середовищах. *Revue de L'Institut Francais du Pétrole*, 14(11), 1468-1684.
9. Джонс Б. Р., ван Рой Дж. Л. та Діппенар М. А. (2020). Недарський потік у ненасичених породних масивах: наслідки для оцінки проникності. У

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

міжнародному симпозиумі ISRM – EUROCK (номер статті ISRM-EUROCK-2020-134). Тронхейм: Clarion Hotel & Congress.

10. Лі Д., Корнеліу-Лівіу І., Ехігеболо І.Т., Байрон Х.молодший, Жазбаєва А., Єргалієва Б. та Франсія Л. (2022). Моделювання та моделювання не-Дарсі або турбулентного потоку для нафтових свердловин. На щорічній Каспійській технічній конференції SPE (SPE-212067-MS). Астана: Hilton Astana. doi: 10.2118/212067-MS.

11. Ма Х. і Рут Д. (1993). Фізичні пояснення не-Дарсі ефектів для течії рідини в пористих середовищах. SPE Formation Evaluation, 12(01), 13-18. doi: 10.2118/26150-PA.

12. Мустафа, Х., де Лангавант, Л., Енн Гіддінс, магістр (2015). Потоки Дарсі та не-Дарсі в тріщинуватих газових колекторах. На конференції та виставці з опису та моделювання резервуарів SPE (номер статті SPE-175596). Абу-Дабі: Товариство інженерів-нафтовиків. doi: 10.2118/175596-MS.

13. Олсен К.Е., Хайдар С., Мілтон-Тейлер Д. та Олсен Е. (2004). Багатофазне падіння тиску без Дарсі при гідророзриві. Щорічна технічна конференція та виставка SPE (артикул SPE-90406-MS). Х'юстон: Конференц-центр Джорджа Р. Брауна. doi: 10.2118/90406-MS.

14. Saboogian-Jooybari, H., & Pourafshary, P. (2015). Ефект потоку, відмінний від Дарсі, у тріщинуватих щільних колекторах: наскільки він значний при низьких дебітах і далеко від свердловин. Конференція та виставка нетрадиційних ресурсів SPE Близького Сходу (SPE-172948-MS). Маскат: палац Аль-Бустан. doi: 10.2118/SPE-172948-MS.

15. Ван Батенбург Д. та Мілтон-Тейлер Д. (2005). Обговорення SPE 89325, «За межами бета-факторів: повна модель течії Дарсі, Форхгеймера та транс-Форхгеймера в пористих середовищах». Journal of Petroleum Technology, 57(8), 72-74. doi: 10.2118/0805-0072-JPT.

16. Чжоу, Ж.-К., Чень, Ю.-Ф., Тан, Х., Ван, Л., і Карденас, М.Б. (2019а). Виявлення одночасного впливу втрат інерції та розширення тріщин на

									ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						77

проникність тріщинуватих порід під тиском. *Geophysical Research Letters*, 46, 8862-8871. doi: 10.1029/2019GL083355.

17. Zhou, J.-Q., Chen, Y.F., Wang, L., & Cardenas, M.B. (2019b).

Універсальний зв'язок між в'язкою та інерційною проникністю геологічних пористих середовищ. *Geophysical Research Letters*, 46, 1441-1448. doi: 10.1029/2018GL081413.

18. Самір Алекперов; Арон Бер. (2020). Явна чисельна оцінка зниження продуктивності свердловин газоконденсатних колекторів із гідророзривом. <https://doi.org/10.2118/201953-MS>

19. Ван, Л.; Ю, В. Дослідження механічного моделювання процесу прокачування газу та наддуву для колектора Bakken із тріщинуватою нафтою з щільних пластів. *Fuel* 2019, 239, 1179–1193
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.11.119>

20. Лоренц, Дж., Брей, Б. Г., “Обчислення в'язкості пластових рідин на основі їх складу”, SPE 915, (1964).

21. Кеслер, М.Г., Лі, Б.І., Покращені прогнози ентальпії фракцій, Вуглеводневий процес, том 55, стор.153-158, (1976).

22. Галєб Аль Хабсі; Сохейл Ганбарзаде; Сіяваш Мотеалле; Бадар Аль Бусафі (2019). Гідравлічний розрив пласта: найкращий засіб від ефекту накопичення конденсату в щільних газоконденсатних колекторах.
DOI:10.2118/197422-MS

23. Ібе Алонж; Айдахоса Ехібор; Ікпонмвосо Охенхен; Олалекан Олафуї; Джон Анім; Інокентій Екпа; Оланіке Оладжиде; Патрік Оба (2023). Аналіз чутливості та порівняння історії газоконденсатного пласта, польове дослідження газоконденсатного пласта дельти Нігеру. DOI:10.2118/217260-MS

24. Клапейрон Е. (1835). Mémoire sur la puissance motrice de la chaleur. *Journal de l'École Polytechnique* (французькою мовою). XIV: 153–90. Факсиміле в *Bibliothèque Nationale de France* (стор. 153–90).

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

25. Редліх О., Квонг Дж. Н. С. Про термодинаміку розчинів. V. Рівняння стану. Хімічні огляди летючих речовин газоподібних розчинів. — 1949. — Т. 44. — № 1. — С. 233—244.

26. Грей Р. Д., молодший, Рент Н. Х. і Зудкевич Д. Модифіковане рівняння стану Редліха-Квонга // Журнал Американського інституту інженерів-хіміків. — 1970. — В. 6. — Т. 16. — С. 991—998.

27. Соаве Г. Константи рівноваги з модифікованого рівняння стану Редліха — Квонга // Хімічна інженерна наука. — 1972. — В. 6. — Т. 27. — С. 1197—1203.

28. Сугіянтто Б.С., Лукі Х., Дві Х.Ф., Багус Н., Тауфун М. (2012). Багаторазова характеристика рідини EOS для моделювання.

29. Газоконденсатний пласт з різними гідродинамічними системами: приклад родовища Сеноро. Папір SPE 120822. <https://doi.org/10.2118/150822-MS>

30. Кертіс Х. В., Ойвінд Ф., Тао Ю. (2000). Газовий конденсат PVT - що дійсно важливо і чому? Представлено на

					ДРБМТВА 24.21172.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79