

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА,  
ТРАНСПОРТУ ТА ЕНЕРГЕТИКИ  
КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА  
РЕМОНТ МАШИН»



МАГІСТЕРСЬКА ДІПЛОМНА РОБОТА

на тему

«Забезпечення підвищеного рівня подачі шестеренних насосів  
гідросистем автомобілів в процесі проведення ремонтних  
впливів у ТОВ завод «Дзеркальник» м. Кропивницький»

Виконав:

магістрант групи ТС-23-M2 ..... Олександр ПОПОВ

Керівник:

Д.т.н., проф. → ..... Юрій КУЛЄШКОВ

«ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри:

К.т.н., доц. → ..... Сергій МАГОПЕЦЬ

«...» ..... 2024 р.

Рецензент:

..... → ..... «...» ..... 2024 р.

Кропивницький — 2024 р.

Центральноукраїнський національний технічний університет

(повна назва державного вищого навчального закладу)

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра експлуатації та ремонту машин → → → → → → → →

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр → → → → → → → →

Спеціальність 208 «Агроінженерія» Освітньо-професійної програми «Технічний сервіс» → → → → → → → → → → → →

(підписати)

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри, доц. Магопещ С.О.

\_\_\_\_\_ «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 року

**З.А.В.Д.А.Н.Н.Я**  
**НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ МАГІСТРАНТУ**

Попову Олександрю Анатолійовичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи: «Дослідження технології відновлення циліндричних поверхонь деталей турбокомпресора дизелів сільськогосподарських машин у ТОВ «Дзеркальню» м. Кропивницький»

керівник роботи Кулешков Юрій Володимирович д.т.н., професор → → →

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «27» вересня 2024 р. № 64-13

2. Строк подання студентом роботи «30» листопада 2024 року → → → →

3. Вихідні дані до роботи: 1. Звіт з дослідницької практики на підприємстві. 2. Науково-технічна та навчально-методична література.

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

1. Загальний розділ. Історія підприємства. Структура підприємства. Обґрунтування теми магістерської роботи.

2. Дослідницький розділ. Стан питання, мета і задачі дослідження. Дослідження зони утворення з'єднання в межах контактних площадок. Дослідження твердості і структури металопокриття. Випробування на зношування зразків при електроконтактному наплавленні. Рекомендації по проектуванню технологічних процесів відновлення циліндричних поверхонь деталей. Висновки. →

3. Технологічний розділ. Коротка характеристика вузла, що ремонтується. Характеристика умов роботи та основних процесів зношування турбокомпресора і його сполучень. Розробка технологічного процесу розбирання турбокомпресора. Розробка структурної послідовності технологічного процесу відновлення вала.

ротора. Розрахунок і вибір режимів технологічних операцій і розрахунок технічних норм часу їх виконання. → → → → → ¶

¶

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) ¶  
1. Мета і задачі досліджень (ф. А1). 2. Теоретичні дослідження (ф. А1). 3. Результати досліджень (ф. А1). 4. Турбокомпресор. Схема розбирання (ф. А1). 5. Аналіз способів відновлення (ф. А1). 6. Вал ротора ремонтне креслення (ф. А. 2), технологічна карта дефектації (ф. А2) 7. Технологічна карта відновлення вала ротора (ф. А1). ¶

¶

7. Дата видачі завдання 03 жовтня 2024 р. ¶

¶

ГРАФІК ВИКОНАННЯ ЕТАПІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ¶

¶

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної магістерської роботи                                                                                     | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------|
| 1     | Розділ 1. Загальна характеристика та особливості базового підприємства. Обґрунтування теми магістерської роботи.                      | 5 листопада                   |          |
| 2     | Розділ 2. Стан питання, мета і задачі дослідження. Дослідження процесу контактного наварювання при відновленні циліндричних поверхонь | 15 листопада                  |          |
| 3     | Розділ 3. Технологічний розділ. Розробка структурної послідовності технологічного процесу відновлення вала ротора.                    | 25 листопада                  |          |
| 5     | Графічний матеріал                                                                                                                    | 30 листопада                  |          |

¶

¶

Магістрант: \_\_\_\_\_ Олександр ПОПОВ ¶

→ → ..... (підпис) ..... (прізвище та ініціали) ¶

¶

Керівник роботи: \_\_\_\_\_ Юрій КУЛЄШКОВ ¶

..... (підпис) ..... (ім'я та прізвище) ¶

¶

¶

¶

¶

¶

¶

## РЕФЕРАТ

У даній кваліфікаційній магістерській роботі на здобуття другого магістерського рівня вищої освіти з освітньо-професійної програми «Технічний сервіс» зі спеціальності 208 «Агроінженерія» на тему «Дослідження технології відновлення циліндричних поверхонь деталей турбокомпресора дизелів сільськогосподарських машин у ТОВ завод «Дзеркальник» м. Кропивницький» розроблені питання забезпечення підвищення якісного відновлення циліндричних поверхонь деталей турбокомпресора в процесі ремонту турбокомпресора дизелів сільськогосподарських машин у ТОВ завод «Дзеркальник» м. Кропивницький».

В роботі на основі результатів наукових досліджень контактного наварювання присадкових матеріалів було розроблено технологію відновлення циліндричних поверхонь деталей, зокрема циліндричної поверхні валу ротора турбокомпресора дизелів сільськогосподарських машин.

В першому розділі представлені загальна характеристика базового підприємства ТОВ завод «Дзеркальник» м. Кропивницький та наведено обґрунтування теми магістерської роботи.

В другому дослідницькому розділі сформовано мету і задачі досліджень. Проаналізовано способи відновлення циліндричних поверхонь деталей їх переваги і недоліки. Вибрано, для досліджень, способи відновлення циліндричних поверхонь деталей турбокомпресора шляхом контактної наварювання присадкових матеріалів. В теоретичних дослідженнях розглядали зони утворення з'єднання в межах контактних площадок. Досліджували структуру, твердість та зносостійкість покриттів, утворених на різних режимах електроконтактної наварювання присадкових матеріалів. На основі проведених досліджень запропоновано рекомендації для визначення технологічних параметрів електроконтактного наплавлення

В третьому технологічному розділі представлено технологічний процес дефектації валу ротора турбокомпресора. Наведені технічні умови на відновлення циліндричних поверхонь валу ротора турбокомпресора. Обґрунтовано вибір раціонального способу відновлення циліндричних поверхонь валу ротора турбокомпресора. Найбільш раціональним способом відновлення циліндричних поверхонь валу ротора турбокомпресора виявився спосіб контактної наварювання присадкових матеріалів. Спроековано технологічний процес відновлення циліндричних поверхонь валу ротора турбокомпресора контактним наварюванням. Обґрунтовано вибору технологічного устаткування ріжучого і вимірювального інструмента. Наведено розрахунок і вибір режимів виконання технологічних операцій та приведено нормування часу для виконання технологічних операцій по відновленню циліндричних поверхонь валу ротора турбокомпресора та технологічний процес збирання турбокомпресора.

Кваліфікаційна магістерська робота складається з вступу, 3 розділів, висновків; містить 80 сторінка тексту, 17 рисунків, 20 таблиць, 0 додатків.

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Завдання                                                                                             | 2  |
| Реферат                                                                                              | 4  |
| Зміст                                                                                                | 5  |
| Вступ                                                                                                | 7  |
| 1 Розділ 1 Загальний розділ                                                                          | 9  |
| 1.1 Коротка історія розвитку підприємства та характеристика підприємства                             | 9  |
| 1.3 Обґрунтування теми магістерської роботи                                                          | 10 |
| 2 Розділ 2 Дослідницький розділ                                                                      | 13 |
| 2.1 Стан питання, мета і задачі дослідження                                                          | 13 |
| 2.2 Дослідження зони утворення з'єднання в межах контактних площадок                                 | 22 |
| 2.3 Дослідження твердості і структури металопокриття                                                 | 29 |
| 2.4 Випробування на зношування зразків при ЕКН                                                       | 36 |
| 2.5 Рекомендації по проектуванню технологічних процесів відновлення циліндричних поверхонь деталей   | 38 |
| 2.6 Висновки                                                                                         | 46 |
| 3 Розділ 3 Технологічний розділ                                                                      | 47 |
| 3.1 Коротка характеристика вузла, що ремонтується                                                    | 47 |
| 3.2 Характеристика умов роботи та основних процесів зношування турбокомпресора і його з'єднань       | 48 |
| 3.3 Розробка технологічного процесу розбирання турбокомпресора                                       | 49 |
| 3.4 Характеристика конструктивно-технологічних особливостей вала ротора турбокомпресора              | 52 |
| 3.5 Аналіз причин зношування вала ротора                                                             | 54 |
| 3.6 Вплив основних зносів вала ротора на технічний стан спряжень і якість роботи турбокомпресора     | 55 |
| 3.7 Технологічний процес дефектування валу ротора                                                    | 55 |
| 3.8 Характеристика дефектів, складання технологічних маршрутів відновлення деталі                    | 57 |
| 3.9 Обґрунтування вибору раціонального способу відновлення деталі                                    | 59 |
| 3.10 Розробка структурної послідовності технологічного процесу відновлення вала ротора               | 61 |
| 3.11 Обґрунтування вибору технологічного обладнання, ріжучого та вимірювального інструменту          | 62 |
| 3.12 Вибір установочних баз                                                                          | 64 |
| 3.13 Розрахунок і вибір режимів технологічних операцій і розрахунок технічних норм часу їх виконання | 65 |
| 3.14 Складання таблиці основних деталей з'єднань для збирання турбокомпресора                        | 75 |
| 3.15 Технологічний процес збирання турбокомпресора                                                   | 76 |
| Висновки                                                                                             | 78 |
| Література                                                                                           | 79 |

## ВСТУП

В наш час в Україні розширюється парк машин закордонною технікою (Case IH, Deutz-Fahr, Fendt, John Deere, Lamborghini, Massey Ferguson, Renault і Same).

Закордонна техніка зазвичай відрізняється доволі високою надійністю, але ця техніка теж виходить із ладу. Основною причиною відмов цієї техніки є зношування робочих поверхонь деталей. Значною проблемою є те, що технічний сервіс і вартість запасних частин на закордонну техніку в рази вищі чим на вітчизняну.

Зважаючи на вищенаведене впливає, що одним із найбільш ефективних резервів підвищення надійності використання техніки, економія матеріальних, паливно-енергетичних і трудових ресурсів, є організація і розробка технології відновлення зношених деталей.

Економічна доцільність ремонту і відновлення деталей зумовлена можливістю повторного і неодноразового використання 65...75% зношених деталей. Вартість відновлених деталей зазвичай не перевищує 25-30% ціни нових деталей.

На жаль, в сучасних умовах питома вага відновлених деталей становить всього 7%, хоча створення виробництв по відновленню деталей вимагає в 2-2,5 рази менше капітальних вкладень у порівнянні з підприємствами з виготовлення запасних частин.

Однією з суттєвих переваг ремонту і відновлення зношених деталей є низька металоємність ремонтного виробництва. Відомо, що для ремонту і відновлення деталей зазвичай потрібно в 20-30 разів менше металу, ніж для виготовлення деталей нових.

Відомо, що у відповідності до досліджень понад 60% всіх дефектів деталей сільськогосподарських машин приходить на дефекти, що пов'язані із зношенням зовнішніх циліндричних поверхонь. З цього випливає, що найбільш часто доводиться відновлювати деталі типу «вал».

Встановлено, що по групі деталей нерухомих сполучень зношування їх розміру, а також і втрата її маси, не перебільшує всього 0,01%. Деталі, які відносять до групі деталей рухомих сполучень, які працюють у з'єднанні типу «вал - отвір», втрата маси таких деталей складає 0,75%, а втрата діаметру - 0,95%. За

відомими даними, деталі у з'єднанні «вал - підшипник кочення» мають знос, середнє значення яких не більше 0,1 мм. Деталі рухомих з'єднань, які слід віднести до групи «циліндричні стержні і осі» зношуються не більше ніж 0,13 мм.

Використання традиційних технологій дугового наплавлення для відновлення зношених автотракторних деталей, а саме таких технологій, як дугове наплавлення під флюсом, в наплавлення напівавтоматом в середовищі вуглекислого газу або вібродугове наплавлення, не дозволяє досягти належного рівня якості ремонту або призводить до занадто високої собівартості відновлених деталей.

Застосування сучасних технологій, зокрема плазмового та лазерного наплавлення, в зв'язку із значною собівартості відновлення, раціонально використовувати тільки для відновлення особливо відповідальних деталей і з'єднань, наприклад, великогабаритних валів, колінчастих валів, тощо.

Зазвичай такі деталі, що підлягають найбільшому зношуванню працюють в умовах знакозмінних навантажень. Це призводить до суттєвого зниження запасу їх втомної міцності. Часто буває, так, що надійність таких деталей вичерпана, що суттєво ускладнює можливість їх ремонту і відновлення.

Відомі технології, що порізані з технологіями гальванічного нанесення покриттів зазвичай малопродуктивні. Деталі, відновлені гальванічним нанесенням покриттів відрізняються значною собівартістю. Ці технології вимагають значних витрат на забезпечення їх екологічної безпеки. Ці технології можуть знайти широке застосування в разі відновлення великої серії однотипних деталей, бажано із однаковими величинами зносу, а це доволі рідко зустрічається на практиці підприємств по ремонту сільськогосподарської техніки.

В останній час особливого значення набувають ресурсозберігаючі технології. Поряд з цим однією з перспективних і ефективних технологій відновлення деталей залишається електроконтактне наплавлення.

З вищенаведеного втікає, що тема магістерської роботи «Дослідження технології відновлення циліндричних поверхонь деталей турбокомпресора дизелів сільськогосподарських машин у ТОВ завод «Дзеркальник» м. Кропивницький» є своєчасною і актуальною

¶

## 1.1 Коротка історія розвитку підприємства та характеристика підприємства ¶

¶

За майже 70 років роботи ТОВ «Завод «Дзеркальний» пройшов шлях від артілі до сучасного підприємства — лідера галузі регіону. І на всіх етапах існування підприємства головним його ресурсом був колектив однодумців. ¶

28 квітня 1948 року дзеркальний цех артілі «ХІМІК» став самостійною артіллю, яку зареєстрували під назвою «Червоний дзеркальний». Першим головою новоствореної артілі став Зяма Аазарович Ярошевський, а з 1952 року і аж до 1974-го артіллю керував Петро Тарасович Драган. ¶

У 1959 році артіль перебазувалась з приміщення на розі вулиць Червоногвардійська та Олексіївська (Гагаріна) на пустир по вулиці Р. Люксембург, 48А. До будівництва першого головного корпусу дзеркального цеху долучились всі працівники артілі. ¶

Тоді дзеркала вироблялись за технологією посріблення, що являла собою заливку поверхні скла відповідним розчином вручну. Для обробки країв скловиробів та виготовлення фацету (фасок) застосовувались чавунні та піщані шайби. ¶

У 1960 році підприємство стало державним заводом «Червоний дзеркальний». А в 1967–1969 роках була повністю змінена технологія виготовлення дзеркал: від посріблення перейшли до алюмінірування — методу термічного випарювання алюмінію у вакуумі з подальшою його конденсацією на поверхні скла. Це дозволило значно збільшити обсяги виробництва та розширити ринки збуту продукції. ¶

У 1981 році замість чавунних та піщаних шайб у виробництві почали використовувати алмазні шайби, завдяки чому значно підвищили продуктивність, розширили асортимент, зробили роботу фацетника привабливішою. ¶

У 1980–90 роках обсяг виробництва дзеркальних виробів досяг максимальних обсягів 184–193 тис. кв. м за рік, 60% з яких становили дзеркала для меблів, 30% побутові дзеркала і 10% дзеркала технічні. ¶

За розробку та впровадження технології шовкотрафаретного друку на дзеркала у 1988–89 роках завод отримав срібну та бронзові медалі ВДНГ СРСР та Диплом Першого ступеня і золоту медаль ВДНГ УРСР. ¶

Співробітники заводу розробили й впровадили у виробництво десятки зразків побутових дзеркал, які до цього часу користуються попитом. А географія збуту продукції заводу охоплювала практично всі регіони колишнього Радянського Союзу. ¶

Тодішні успіхи підприємства по'в'язують з іменами керівників: Саснка, Олександра Степановича, Головенка Віктора Павловича, Сподаренка Володимира Григоровича.¶

Темною сторінкою в історії заводу став загальний спад промислового виробництва в Україні в 1992-98 роках, який негативно позначився і на ринках збуту дзеркал.¶

З метою виходу з кризи у 1995 році завод було приватизовано трудовим колективом і перейменовано в ЗАТ «Завод «Дзеркальник»». Головою правління і виконавчим директором обрали Олександра Івановича Буйновського. Завдяки його вмілому керівництву вдалося зберегти спеціалістів, обладнання, а також відновити виробництво.¶

За останні роки придбано та впроваджено у виробництво нове високо-технологічне обладнання для обробки та декорування скла, а також обладнання для виготовлення корпусних меблів.¶

Розроблено широкий асортимент вітражних скловиробів та виготовлення орнаментів під замовлення. Все це дозволило не тільки стабілізувати виробництво, але й розширити та оновити номенклатуру виробів.¶

Нині ТОВ «Завод «Дзеркальник» виготовляє дзеркала в широкому асортименті, скло різної товщини, візерунчатє скло, вітражі, склопакети, скляні двері, перегородки та вітрини, скляні душові кабінки, скляні перила, огорожі та сходи, безпечне скло-триплекс, скляні столи, стійки для телевізорів, корпусні меблі та торговельне обладнання.¶

На підприємстві максимум уваги приділяється індивідуальній роботі з замовником та постійному підвищенню кваліфікації співробітників, адже головний ресурс підприємства - це люди.¶

В останні роки підприємство у рамках конверсії почало ремонтувати та технічно обслуговувати складові елементи гідравлічних систем, зокрема гідравлічні насоси різних типів, що використовуються на гідроприводах сільськогосподарської техніки та промислового виробництва.¶

## 1.2 Обґрунтування теми магістерської роботи

Збільшення кількості сучасної енергонасиченої техніки в агропромисловому комплексі України вимагає удосконалення обслуговуючої ремонтної бази, підвищення технічного і організаційного рівня ремонтного виробництва.

Проведений під час дослідницької практики аналіз технології і організації ремонту деталей турбокомпресора на ТОО «заводл «Дзеркальник»» показав, що технологія і організація ремонту турбокомпресора відповідає не в повній мірі сучасному рівню ремонтного виробництва і потребує подальшого удосконалення.

Від технологічного й організаційного рівня ремонту турбокомпресора залежить не тільки собівартістю його ремонту але і надійність агрегату в експлуатації, що в кінцевому рахунку впливає на техніко-економічні показники машини.

Одною із відповідальних деталей турбокомпресора є вал ротора. Аналіз технології ремонту показав, що має місце застосування неефективних технологій, а це негативно впливає на собівартість відновлення. По матеріалам практики ціна при відновленні зношеної деталі майже у 1,5 рази менша чим нова, але при цьому слід врахувати низьку якість деталі, що відновлена за заводською технологією. Аналіз собівартості відновлення деталей показав, що близько 25 % це собівартість енерговитрат, що не можна вважати нормальним явищем. Існують технології відновлення, які можуть значно знизити собівартість.

Важливою стороною питання є організація ремонту турбокомпресора, правильне розподілення робіт по його ремонту між учасниками. Правильною організацією ремонту залежить спряженість деталей після розбирання, ритмічність роботи дільниці, якістю збирально-регулюючих робіт і обкатки турбокомпресора.

До 70% деталей мобільної сільськогосподарської техніки та автомобілів мають зноси, що не перевищують 0,5 мм. Застосування для їхнього відновлення процесів, заснованих на електродуговому зварюванні (наплавлення під шаром флюсу, у середовищі захисних газів, вібродугова), не зовсім доцільно, оскільки мають збільшення (2...3 мм і більше) вимагають більших витрат на наступну механічну обробку. Крім того, спостерігається значне нагрівання деталі і її деформація.

Нами пропонується електроконтактне наплавлення, що має високу продуктивність (до 100 см<sup>2</sup>/хв), характеризується мінімальними втратами присадного матеріалу (до 5 %) і припуском на наступну механічну обробку за рахунок можливості регулювання товщини наплавочного шару (0,3...1,5мм).

Мінімальний термічний вплив на деталь (до 0,3 мм) дозволяє відновити як зовнішні, так і внутрішні поверхні деталей з різних марок сталей, чавунів, кольорових металів і сплавів.

Можливі способи електроконтактного наплавлення представлені на рисунку 2.1.

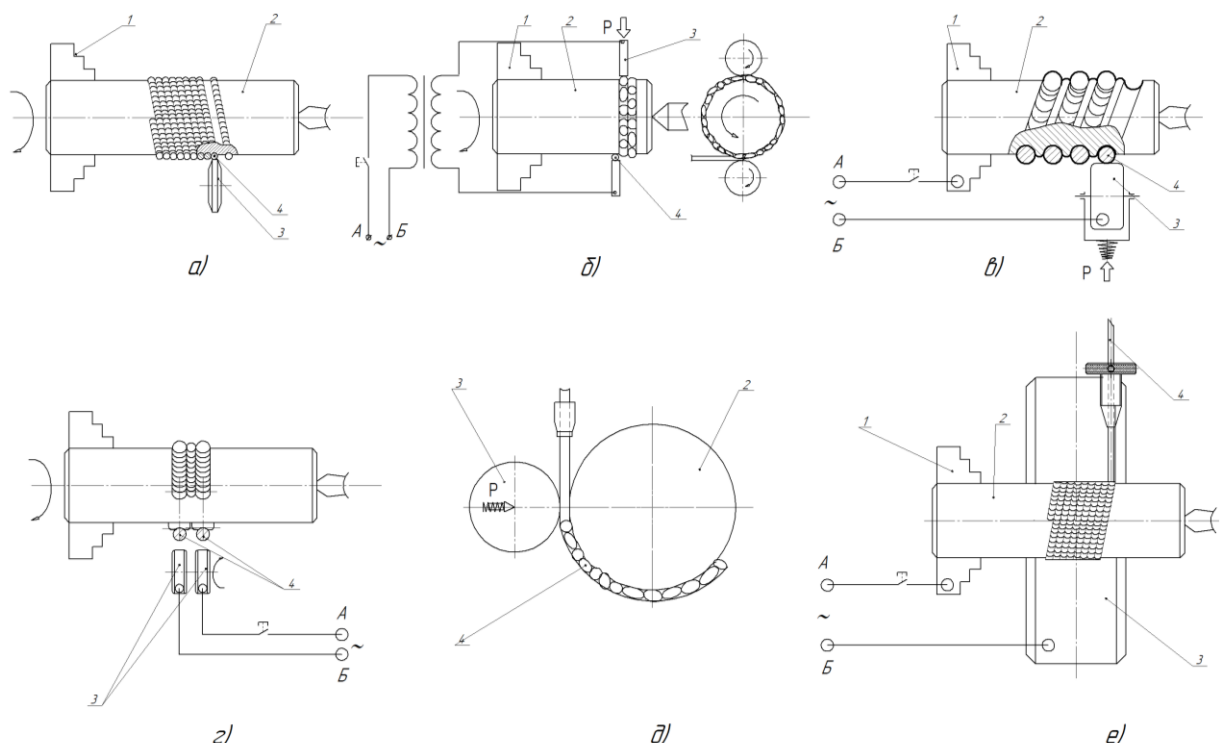


Рисунок 2.1 - Способи електроконтактного наплавлення

Даний спосіб дозволяє наплавляти деталі діаметром 10...180 мм, шаром товщиною 0,1...1,5 мм.

Деякі способи заслуговують на увагу: а) двозаходна схема, за цією схемою доцільно відновлювати зношені деталі малого перетину, пустотілих, тонкостінних деталей, до яких пред'являються тверді вимоги по допусках на жолоблення.

Єдиний недолік більше низька продуктивність; б) двоточкова - підвищується продуктивність на 70-80 %.

Однак через значне місцеве нагрівання її доцільно прийняти для відновлення масивних деталей, до яких не пред'являються тверді вимоги по допускнуому термічному впливі; в) у висаджену канавку - схема наплавлення забезпечує збільшення терміну служби відновлених деталей, що працюють у циклічному або знакозмінному режимі занурення; г) з нейтральним роликом; д) двома наплавляючими роликами; е) з переміщенням присадочного дроту.

Електроконтактного наплавлення має високу продуктивність (до 100 см<sup>2</sup>/хв) мінімальними втратами присадочного матеріалу (до 5 %) і припуском на наступну механічну обробку за рахунок можливості регулювання товщини наплавочного шару (0,3...1,5мм).

Із сказаного випливає, що тема магістерської роботи: «Дослідження технології відновлення циліндричних поверхонь деталей турбокомпресора дизелів сільськогосподарських машин у ТОВ завод «Дзеркальник» м. Кропивницький» безсумнівно є своєчасною і актуальною.

## РОЗДІЛ 2

### 2.1 Стан питання, мета і задачі дослідження

Затрати на ремонт техніки, що застосовується в агропромисловому комплексі України постійно збільшуються, причому до 50 – 70% затрат припадає на закупівлю нових запасних частин [1, 2, 3]. В таких умовах все більш актуальним стає питання технічного обслуговування і ремонту сільськогосподарської техніки.

В теперішній час в країні відбувається розширення парку машин закордонною технікою (Case IH, Deutz-Fahr, Fendt, John Deere, Lamborghini, Massey Ferguson, Renault і Same). Не дивлячись на високу надійність, відмови, пов'язані із зносом робочих поверхонь деталей, все ж відбуваються. Крім цього технічний сервіс і вартість запасних частин на закордонну техніку в рази вищі чим на вітчизняну [3-5].

Важливим резервом підвищення ефективності використання техніки, економія матеріальних, паливно-енергетичних і трудових ресурсів, на нашу думку, є організація відновлення зношених деталей.

Економічна доцільність відновлення деталей зумовлена можливістю повторного і неодноразового використання 65...75% зношених деталей [6]. Вартість відновлених деталей зазвичай не перевищує 25-30% ціни нових деталей.

На жаль, в сучасних умовах питома вага відновлених деталей становить всього 7%, хоча створення виробництв по відновленню деталей вимагає в 2-2,5 рази менше капітальних вкладень у порівнянні з підприємствами з виготовлення запасних частин. Найважливіша перевагою відновлення - низька металоємність. Для відновлення деталей необхідно в 20-30 разів менше металу, ніж для виготовлення нових.

Використання традиційних технологій дугового наплавлення для відновлення зношених автотракторних деталей (перш за все наплавлення під

флюсом, в середовищі вуглекислого газу або вібродуговій), не дозволяє досягти належного рівня якості ремонту або призводить до занадто високої собівартості відновлених деталей. Застосування технологій плазмового та лазерного наплавлення, зважаючи на значну собівартість ремонту, економічно доцільно тільки для відновлення дорогих деталей, наприклад, великогабаритних валів. Однак такі деталі працюють, як правило, в умовах знакозмінних навантажень і до моменту відновлення запас їх втомної міцності буває часто вичерпаний, що виключає можливість їх ремонту. Технології гальванічного нанесення покриттів малопродуктивні, дорогі і вимагають значних витрат на забезпечення їх екологічної безпеки. Застосування цих технологій може бути виправдане в разі відновлення великої серії однотипних деталей з однаковими ступенями зносу, що рідко зустрічається в практиці підприємств по ремонту сільськогосподарської техніки.

В останній час особливого значення набувають ресурсозберігаючі технології. Поряд з цим однією з перспективних і ефективних технологій відновлення деталей залишається контактне наварювання (КН).

Позитивними властивостями ЕКН є: малий температурний вплив на деталь і, як наслідок, вигорання легуючих елементів, мінімальний припуск на наступну механічну обробку, зменшення витрати металу (у порівнянні з вібродуговим наплавленням) у 2...4 рази, сприятливі умови роботи оператора [5-8].

Суттєвий вклад у розвиток теоретичних основ і прогресивних технологічних процесів відновлення зношених деталей внесли такі вчені: як М.В. Молодик, Ю.Н. Петров, М.М. Севернєв, М.І. Черновол та інші. Завдяки їх дослідженням, в теперішній час, найбільш перспективним є відновлення зношених валів деталей машин методами КН і припіканням металевих порошків.

Найбільш доступним, дешевим і недефіцитним видом присадочного матеріалу є сталі дроти. Промисловістю випускається дуже широка номенклатура вуглецевих і легованих присадочних дрітків.

Не дивлячись на переваги, цього виду присадочного матеріалу, його застосовують значно менше, ніж сталеві стрічки і металічні порошки. Це пояснюється дефіцитом відповідного технологічного обладнання, і пов'язано з тим, що розроблені установки призначені, перш за все, для приварювання сталевих стрічок і незручні у випадку застосування сталевих дрітків. Крім того суттєвим недоліком КН є підвищений знос інструмента – ролика-електрода.

З'єднання основного і присадочного матеріалу при КН відбувається у твердій фазі без оплавлення присадочного дроту. Тому дефекти у вигляді непроварів візуальним оглядом деталі виявити дуже складно. Не вирішені повністю питання вибору технологічних параметрів КН, які забезпечують високу міцність зварного з'єднання і якість відновлених деталей.

Згідно досліджень вказаних авторів близько 57 ... 60% всіх дефектів деталей сільськогосподарської техніки є дефектами зовнішніх циліндричних поверхонь, тому найбільш часто доводиться відновлювати деталі типу «вал». Встановлено, що по групі деталей відновлюваних нерухомих сполучень зміна їх розміру, як і втрата ваги, становить всього 0,01%. По групі деталей рухомих сполучень, що працюють за схемою «вал - отвір», втрата ваги складає 0,75%, а втрата розміру - 0,95%. За даними, всі деталі сполучень «вал - підшипник кочення» мають знос, середнє значення яких не перевищує 0,1 мм. Для деталей рухомих сполучень групи «циліндричні стержні і осі» знос не перевищує 0,13 мм.

Більшість відновлюваних валів мають діаметри 20 ... 50 мм і знос в межах 0,05...0,30 мм на сторону. Найчастіше для виготовлення валів вітчизняної сільськогосподарської техніки застосовуються сталі марок 40, 45 і 50.

В результаті проведеного аналізу деталей можна зробити висновок, що раціональними способами відновлення сталених автотракторних деталей типу «вал» є способи, які дають можливість наносити тонкі шари металопокриття до 0,10...0,25 мм на сторону після механічної обробки і забезпечують твердість металопокриття в межах HRC 50...55. Спосіб відновлення не повинен призводити до істотного зниження втомної міцності деталей.

Відзначимо три основних види зношування деталей (згідно ДСТУ 23.002-18): механічне, зношування при заїданні і корозійномеханічне. Основним видом зношування підшипників ковзання двигунів внутрішнього згоряння і сільськогосподарських машин є абразивний знос.

Відновлені деталі можуть втрачати свою працездатність через низьку міцності зчеплення металопокриття з основним металом. Недостатня міцність зчеплення може привести до викришування і відколювання частинок металопокриття. Особливо негативно впливає недостатня міцність зчеплення покриття з основним металом деталі на контактну міцність від утоми відновленої поверхні.

Тому розглянемо електроконтактні способи відновлення деталей.

Розроблена велика кількість способів і технологій відновлення зношених деталей: вібродугове наплавлення, автоматичне наплавлення і наплавлення в середовищі захисних газів, металізація, гальванічні способи, осталювання, електроімпульсне нарощування, газотермічне напилення і багато інших способів.

Більшість з перерахованих способів засновано на розплавленні присадного металу енергією електричної дуги або гальванічних процесах.

Поряд з перевагами, всі ці способи мають і недоліки, що обмежують їх застосування для відновлення циліндричних поверхонь валів з невеликими зносами; вони не завжди забезпечують необхідну якість відновлення деталей. Одними з найбільш раціональних і перспективних способів відновлення автотракторних деталей типу «вал» є електроконтактні способи, засновані на методах шовного зварювання. При цих способах присадний метал розігрівається тепловою енергією, що виділяється при проходженні імпульсів електричного струму. Одночасно на присадний метал здійснюється силовий тиск з боку наплавляють ролика-електрода.

Електроконтактні способи, в порівнянні з перерахованими вище, мають цілий ряд переваг. До числа таких переваг можна віднести: 1) несуттєвий нагрів основного металу деталі; 2) формування тонких і рівних шарів металопокриття і мінімальні припуски на подальшу механічну обробку наплавлених поверхонь; 3) практично повна відсутність вигорання легуючих елементів; 4) відсутність світлового випромінювання і низьке газовиділення, тобто сприятливі санітарні умови роботи оператора; 5) універсальність способів і можливість застосування присадних матеріалів в різних формах (сталеві стрічки, дроти і металеві порошки);

6) простота технологічного процесу; 7) висока якість відновлених деталей, що пояснюється термомеханічним впливом на присадний метал з боку інструменту - ролика-електрода; 8) висока продуктивність процесу наплавлення; 9) зменшення витрати металу (в порівнянні з електродуговим наплавленням) в 2...4 рази.

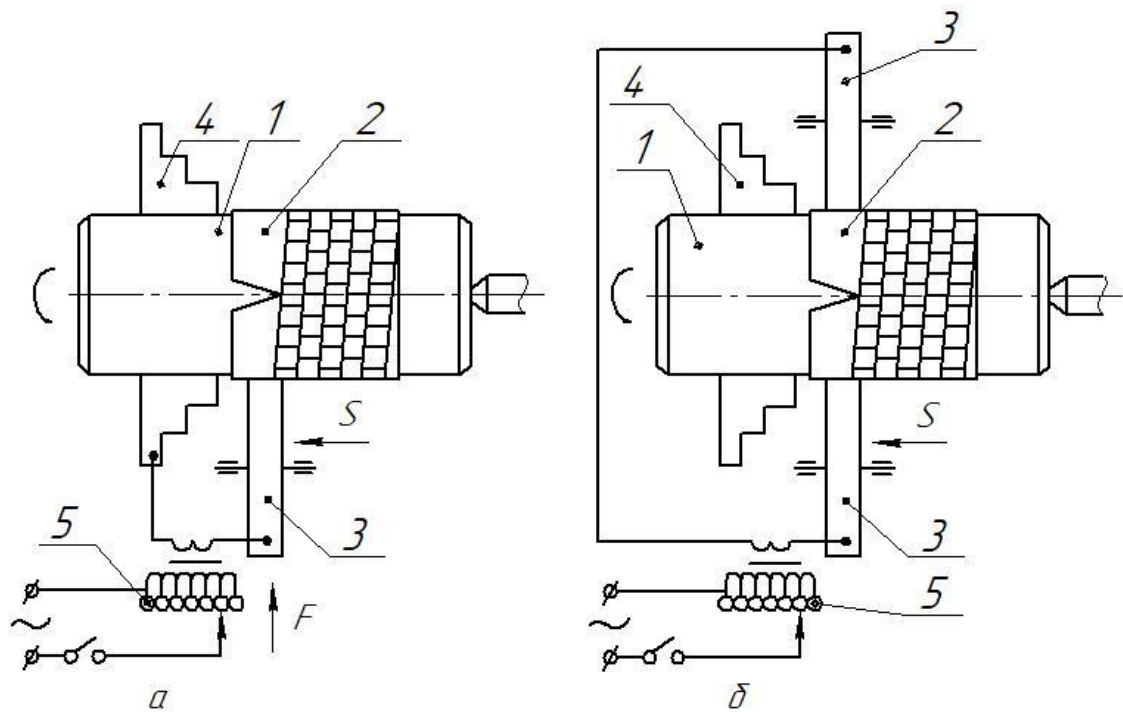
По виду застосованого присадного матеріалу електроконтактні способи нанесення металопокриттів поділяються на: 1) контактну приварку сталевих стрічок; 2) електроконтактне приварювання металевих порошків; 3) електроконтактне наплавлення сталевими дротами.

Спосіб електроконтактного приварювання сталевих стрічок розроблений під керівництвом А.В. Поляченко.

Дослідження цього способу проводилися також в багатьох інших ВУЗах країни.

На рис. 2.1 наводиться найбільш поширені схеми відновлення валів контактним наварюванням (КН). На практиці в конструкції наплавлювальних установок часто застосовується двухроликова схема струмопідведення. Відновлення деталей цим способом полягає в приварці сталевих стрічок до зношених поверхонь методами шовного зварювання. Метод КН сталевих стрічок полягає в наступному (рис. 2.1).

Присадну сталеву стрічку очищають від масла, слідів корозії та нарізають на заготовки. Деталь 1, що підлягає відновленню, затискають в патроні 4 наплавочної установки, покривають присадною стрічкою 2, ширина якої дорівнює ширині зношеної шийки, а довжина - довжині окружності шийки. Далі в місці стику приварюють обидва кінці стрічки до валу окремими точками. Ролики-електроди 3 притискають стрічку до деталі, і створюється зварювальний тиск. Включають обертання шпинделя, поздовжню подачу і джерело живлення - трансформатор 5 і переривник струму. Наплавлення проводиться по гвинтовій лінії з перекриттям зварного шва. В електричному ланцюзі установок використовуються тиристорні переривники імпульсів струму.



а - однороликова схема наплавлення; б - двороликова схема.

1 - відновлювана деталь; 2 - присадна стрічка; 3 - ролик-електрод; 4 - патрон; 5 - зварювальний трансформатор.

Рисунок 2.1 - Схеми відновлення валів електроконтактним приварюванням сталених стрічок

Для КН застосовують стрічки товщиною 0,25...0,8 мм з вуглецевих, легованих і інструментальних сталей. При використанні стрічки завтовшки більш як 0,8 мм або стрічки з високовуглецевих і пружинних сталей рекомендується попередньо згорнути її за допомогою вальців. Продуктивність процесу до  $0,4 \text{ дм}^2/\text{хв}$ . Процес з'єднання основного і присадного матеріалів супроводжується утворенням литого ядра.

Поряд з незаперечними перевагами, способу КН притаманні і деякі недоліки.

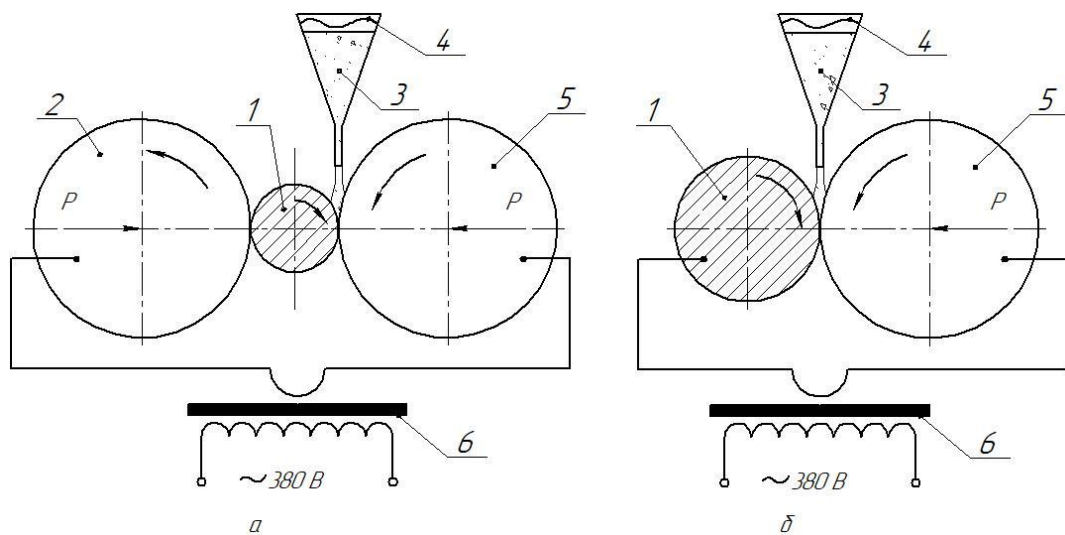
У зоні контакту стрічки з деталлю практично відсутня пластична деформація присадного металу, що є обов'язковою умовою якісного з'єднання металів у твердій фазі. При режимах наплавлення, що супроводжуються утворенням рідкої фази, через інтенсивне тепловідведення в масивний мідний ролик лите ядро в міру збільшення його розмірів зміщується від стику вглиб виробу, що також знижує якість з'єднання.

Навіть при оптимальних режимах процесу часом не вдається виключити дефекти наплавлення у вигляді пір, тріщин, викришування наплавленого шару.

Електроконтактна приварка металевих порошків

Спосіб розроблений в шістдесяті роки під керівництвом професора І.Є.Ульмана. Дослідження процесу велися також в деяких інших вузах.

Способи приварювання, засновані на вільній засипці присадного матеріалу (рис. 2.2), відрізняються простотою і відсутністю необхідності в складних додаткових пристроях і пристосуваннях.



а - приварювання двома роликами; б - приварювання одним роликом.

1 - відновлювана деталь; 2, 5 - ролики-електроди; 3 - бункер; 4 - перемішувач; 6 - зварювальний трансформатор.

Рисунок 2.2 - Схеми відновлення валів електроконтактним приварюванням порошків

Спосіб, заснований на вільній подачі присадного порошку, простий, але має ряд недоліків: неможливість регулювання товщини металопокриття; підвищена витрата присадного матеріалу через втрати і просипання; збільшення припусків на подальшу механічну обробку покриття.

Відомий спосіб електроконтактного приварювання порошкових матеріалів в магнітному полі. Отримані результати досліджень дозволяють спростити процес приварки присадного порошку на поверхню зношеної деталі і сприяють формуванню якісного покриття. Розроблений технологічний процес приварки порошкових матеріалів дозволяє формувати необхідну товщину приварюється покриттів і використовувати в якості присадного матеріалу сталеву і чавунну стружку, що дозволяє значно знизити собівартість при відновленні деталей. Доведено, що магнітне поле підвищує технологічність процесу шляхом утримування порошкових матеріалів в зоні приварювання, що і дозволяє більш ніж на 20% зменшити втрати присадного матеріалу від осипання в порівнянні з методом вільної засипки порошку.

Наявність пористості в напеченому шарі забезпечує його високу зносостійкість. Втомна міцність валів, відновлених припіканням металевих порошків, падає менш істотно в порівнянні зі способом контактної приварювання стрічок.

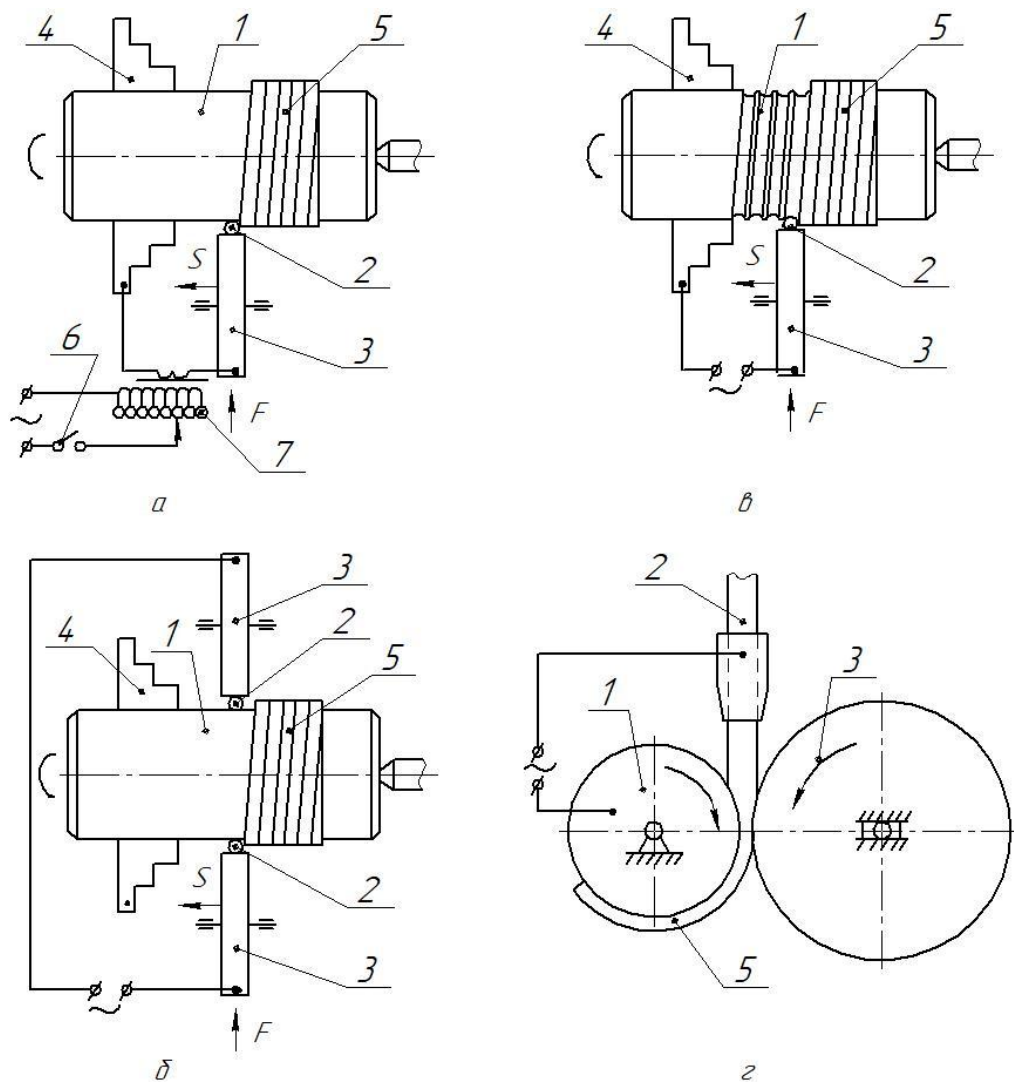
При відновленні валів контактним приварюванням сталевих стрічок або припіканням металевих порошків в металопокриттях діють несприятливі напруження розтягу, вони часто досягають межі текучості присадного матеріалу. Це є однією з головних причин зниження циклічної міцності відновлених цими способами валів. Невирішені повністю питання забезпечення високої міцності зчеплення покриття з основним металом деталі. Викликає труднощі подальша механічна обробка нанесеного покриття.

#### Електроконтактне наплавлення сталевими дротами (КН)

Спосіб був запропонований в шістдесяті роки Ю.В. Клименко. Дослідження процесу проводилися в Краматорському індустріальному інституті і деяких інших вузах.

Процес наплавлення здійснюється наступним чином (рисунок 2.3 а).

До наплавляемого валу 1 роликом-електродом 3 притискається присадний дріт 2. При пропущенні через контакти деталь-дріт-електрод імпульсів струму великої сили, що чергуються з паузами, і при одночасному тиску ролика-електрода присадний дріт нагрівається, осаджується і приварюється до поверхні вала. Суцільне металопокриття 5 на відновлюваній поверхні утворюється за рахунок обертання деталі і одночасної подачі наплавочної головки, що забезпечують приварювання присадного дроту по гвинтовій лінії з перекриттям. Живлення установки струмом проводиться від зварювального трансформатора 7, керованого електронним переривачем струму 6. Основна однороликова технологічна схема наплавлення найбільш проста і надійна і тому вважається оптимальною для відновлення великої групи виробів.



а - основна; б - двороликова; в - у висаджену канавку; г - нейтральним роликом.

1 - вал; 2 - присадний дріт; 3 - ролик-електрод; 4-патрон; 5-металопокриття; 6-переривач струму; 7-зварювальний трансформатор.

Рисунок 2.3 - Схеми електроконтактного наварювання

Однак при наплавленні по основній технологічній схемі відповідно при переміщенні ролика вздовж деталі змінюються розміри зовнішнього контуру електричного кола, тому значення струму на початку і в кінці наплавленої шийки виходять різними. Такого недоліку позбавлена схема наплавлення з двома роликами-електродами.

У проведених дослідженнях ми використовували двороликову схему наплавлення.

Питання контролю якості відновлення при розглянутому способі наплавлення є надзвичайно актуальними і досі не вирішені. Дефекти наплавлення у вигляді непровару в кращому випадку виявляються при механічній обробці наплавлених валів, а в гіршому - при експлуатації відновлених деталей.

До теперішнього часу практично не порушувалися питання забезпечення максимально однорідної структури металопокриття.

Тому метою досліджень є підвищення експлуатаційних властивостей циліндричних деталей вдосконаленням технологічного процесу відновлення електроконтактним наплавленням (КН).

Об'єкт досліджень: технологічний процес відновлення циліндричних поверхонь деталей КН.

Предмет досліджень: закономірності формування металопокриття при КН.

На основі поставленої мети сформувані наступні задачі досліджень:

1. Провести теоретичні і експериментальні дослідження процесу формування зварного з'єднання при КН і визначити параметри деформації присадного дроту в залежності від режимів наплавлення.
2. Дослідити вплив технологічних режимів КН на якісні показники відновлюваних деталей.
3. Розробити рекомендації і технологічні режими відновлення циліндричних деталей КН.

## 2.2 Дослідження зони утворення з'єднання в межах контактних площадок

Фізична природа з'єднання металопокриття з основою була розкрита Ю.В. Клименко і Е.С. Каракозовим. Було показано, що утворення з'єднання при КН відбувається без розплавлення основного і присадного металів. У стику основного і присадного металів загальна зварювальний ванна не утворюється, а сам процес КН є різновидом зварювання в твердій фазі.

При КН, як і при будь-якому виді зварювання металів тиском, міцність зварного з'єднання визначається інтенсивністю деформаційних процесів. Вал при наплавленні деформується незначно, тому міцність зчеплення покриття з основою валу залежить, перш за все, від деформації присадного дроту.

При проходженні імпульсу струму (0,02 .. 0,06 с) дріт розігрівається до пластичного стану і осаджується. При осадженні частина присадного металу видавлюється з-під інструменту в напрямку, протилежному напрямку затягування дроту. Довжина наплавленого валика виявляється істотно (на 20 ... 50% в залежності від режиму наплавлення) більшою довжини витраченої дроту.

В основі будь-якої методики визначення технологічних параметрів режиму КН лежить поняття одиничної площадки металопокриття.

Після кожного термомеханічного циклу на поверхню відновлюваного вала наплавляється (додається) чергова порція присадного металу (рисунок 2.4).

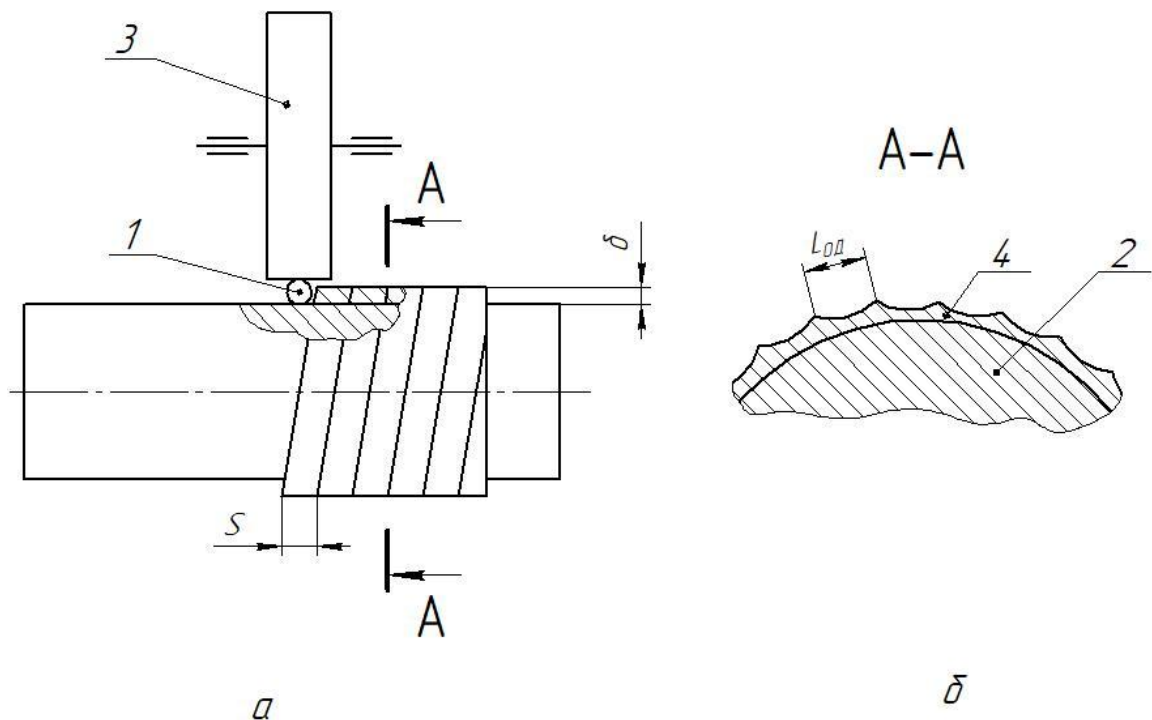


Рисунок 2.4 – Формування одиничних площадок металопокриття на поверхні вала:

а - схема формування металопокриття по гвинтовій лінії; б - переріз наплавленого вала. 1 - присадний дріт; 2 - вал; 3 - ролик-електрод; 4-наплавлений шар.

Довжина і висота одиничної площадки відповідно дорівнюють:

$$L_{оп} = v_o \cdot t_{ц}; \delta = \frac{\pi d}{4s(1 + \epsilon_y)}, \quad (2.1)$$

де  $L_{оп}$ ,  $\delta$  – відповідно довжина і висота одиничної площадки;

$v_o$  – колова швидкість обертання вала;

$t_{ц}$  – тривалість циклу наплавлення;

$s$  – крок наплавлення по гвинтовій лінії.

Середня висота одиничної площадки металопокриття є одночасно товщиною наплавленого шару. При розглянутому способі наплавленні формується тонке і рівне покриття, тому відмінність значень  $\delta$  в різних точках зварного валика несуттєво.

Розміри одиничної площадки металопокриття визначаються нами з урахуванням перекриття контактних площадок металопокриття по їх довжині.

[illegible]

1 - вал; 2 - наплавляющий ролик; 3 - присадный дріт; 4 - контактна площадка з боку вала; 5 - контактна площадка з боку ролика; 6 - металопокриття; 7 - елементарна призма.

До валу 1 роликом 2 притискається сталевий дріт 3, який при проходженні імпульсу струму розігрівається і осаджується. У міру пластичної деформації дроту ростуть розміри контактних площадок 4 і 5 присадного металу з поверхнями вала і ролика-електрода відповідно. Осадка закінчується через збільшення відведення тепла через контактні площадки. В першу чергу деформуються більш розігріті обсяги металу дроту, що веде до вирівнювання тиску і температури присадного металу по контактних площадках. В результаті наплавлення по гвинтовій лінії з кроком  $S$  формується суцільне металопокриття 6. У присадному металі виділена елементарна призма 7. Радіус вала  $R_1$  радіус ролика  $R_2$ , діаметр дроту  $d$ . Осадження дроту з боку вала  $t_1$ , істотно більше осадження  $t_2$  з боку ролика, так як  $R_2 \gg R_1$ . Ширина елементарної призми  $f$ , її положення визначається кутами  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$ .

Розміри контактних площадок присадного металу з поверхнями вала і ролика-електрода, близьких за формою до напів еліпса, можна визначити за схемами на рис. 2.5, 2.6.

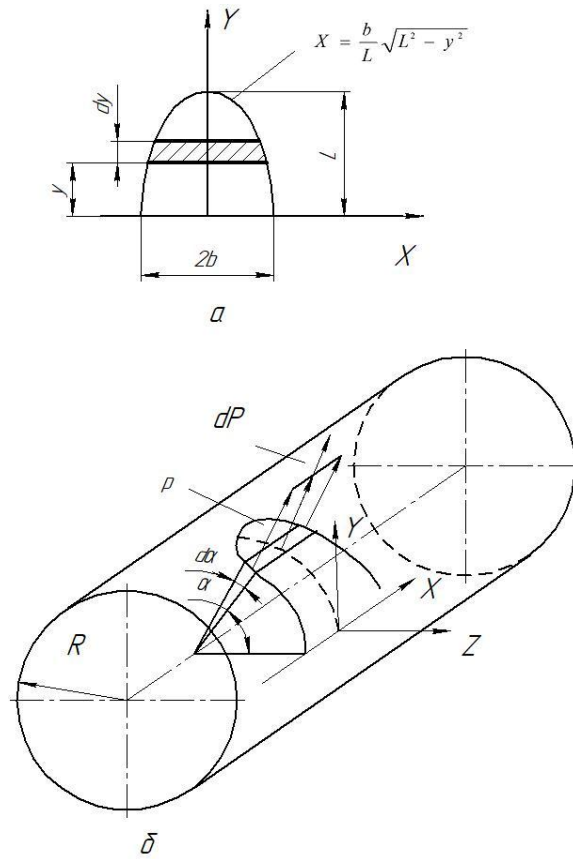


Рисунок 2.6 – Розгортка площадки контакту між валом і присадним металом (а) та напруження на виділеному елементі (б).

Складові осадження  $t_1$  і  $t_2$  відповідно з боку вала і інструмента, а також товщина металопокриття  $\delta$  зв'язані співвідношеннями (рис. 2.5):

$$t_1 + t_2 + \delta = d, \quad (2.2)$$

$$\cos \alpha_{1,2} = (R_{1,2} - t_{1,2}) / R_{1,2} \quad (2.3)$$

$$L_{1,2} = R_{1,2} \cdot \alpha_{1,2}^{MAX} \quad (2.4)$$

де  $L_1$  і  $L_2$  – довжини відповідних контактних дуг;

$\alpha_1^{MAX}$  і  $\alpha_2^{MAX}$  – центральні кути цих дуг.

Рівнянь (2.2-2.4) для визначення розмірів контактних площадок недостатньо.

Розглянемо додатково рівновагу присадного металу, що знаходиться в пластичному стані між валом і роликом-електродом. При температурах нагріву, близьких до температури плавлення сталі, знижуються характеристики пружності присадного металу, властивості сталі наближається до властивостей в'язких рідин.

Отримаємо умова рівновагу присадного металу, прийнявши при цьому деякі припущення:

- 1) не враховуємо обертання деталі і ролика-електрода;
- 2) не враховуємо сили тертя, що виникають в зоні контакту;
- 3) вважаємо тиск  $p$  по контактним площадкам з боку вала і з боку ролика-електрода постійними, приймаючи їх рівними межі опору пластичної деформації присадного металу  $\sigma_T$  для випадку одноосного напруженого стану, тобто  $p = \sigma_T$ .

Площа виділеного елемента (рис. 2.6а) дорівнює:

$$dA = R \cdot d\alpha \cdot 2x = 2 \frac{b}{L} \sqrt{L^2 - R^2 \cdot \alpha^2} \cdot R \cdot d\alpha \quad (2.5)$$

Перпендикулярно до даної елементарної площадки з боку вала діє тиск  $p$ , рівний межі текучості  $\sigma_T$  матеріалу дроту при даній температурі. Проекція елементарної сили  $dP = \sigma_T dA$ , що діє на виділений елемент, на лінію дії сили  $F$  на ролику-електроді, тобто горизонтальна складова елементарної сили  $dP$  дорівнює:

$$dP_z = \sigma_T \cdot 2 \frac{b_1 \cdot R_1^2}{L_1} \sqrt{(L_1 / R_1)^2 - \alpha^2} \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha \quad (2.6)$$

Сума проекцій елементарних сил, які діють на присадний матеріал з боку вала:

$$F = 2\sigma_T \cdot \frac{b_1 \cdot R_1^2}{L_1} \cdot \int_0^{L_1/R_1} \sqrt{(L_1 / R_1)^2 - \alpha^2} \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha. \quad (2.7)$$

Таке ж зусилля  $F$  діє на присадний матеріал з боку ролика-електрода:

$$F = 2\sigma_T \cdot \frac{b_2 \cdot R_2^2}{L_2} \cdot \int_0^{L_2/R_2} \sqrt{(L_2 / R_2)^2 - \alpha^2} \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha \quad (2.8)$$

При великих деформаціях присадного дроту ширина контактної площадки присадного металу з поверхнею вала  $2b_1$  дорівнює ширині  $2b_2$  контактної площадки з боку інструменту.

Заміривши відносну осьову деформацію присадного дроту  $\varepsilon_y$  на досліджуваному технологічному режимі наплавлення, і, користуючись рівняннями (2.2-2.4) і (2.7 2.8), можна визначити розміри  $L_x$  і  $L_2$  контактних площадок. Ширина  $2b$  контактних площадок визначається шляхом виміру.

Довжина  $L_1$  дуги контакту присадного металу з валом отримана в припущенні, що деталь не обертається. Фактичне значення довжини зварювальної площадки  $L_{3B}$  більше  $L_1$ , тобто:

$$L_{3B} = L_1 + v_o \cdot t_i \quad (2.9)$$

де  $v_o$  – колова швидкість обертання деталі;

$t_i$  – тривалість імпульсу струму.

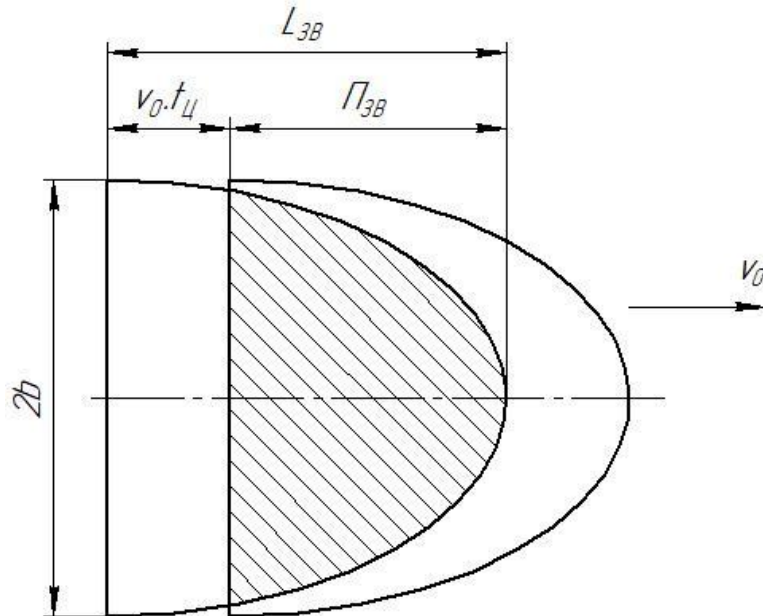


Рисунок 2.7 – Перекриття зварних площадок по довжині валика.

Зварні площадки повинні наноситися по довжині валика з перекриттям. Користуючись схемою на рис. 2.7, можна визначити коефіцієнт перекриття майданчиків  $K_{3B}$ :

$$K_{3B} = \frac{П_{3B}}{L_{3B}} = \frac{L_{3B} - v_o \cdot t_{ц}}{L_{3B}} = 1 - \frac{v_o \cdot t_{ц}}{L_{3B}} \quad (2.10)$$

Проведені розрахунки показують, що значення коефіцієнта перекриття контактних майданчиків при наплавленні на оптимальних режимах мають значення 0,70 ... 0,75.

Розігрітий до пластичного стану присадний метал піддається при осіданні тривимірній пластичній деформації. Як видно з (рис. 2.6), ступінь деформації присадного металу в межах контактних площадок нерівномірний.

Найбільш значніше присадний метал деформується по центру контактних площадок (по вісі  $2b$ ), найменше - на віддалених частинах контактних площадок, де деформація недостатня для формування зварного з'єднання.

Присадний метал отримує не тільки зусилля стиску, але і розтягу з боку деталі і ролика-електрода.

В літературних джерелах відомі способи визначення зони утворення з'єднання металопокриття з основою при КН.

Суть способів полягає в наступному.

На виділений елемент контактної площадки перпендикулярно її поверхні діють нормальні контактні напруження  $p$  рівні межі опору пластичній деформації присадного металу при даній температурі нагріву.

Присадний метал контактної площадки отримує як напруження стиснення, так і напруження розтягу по напрямку осі дроту.

У довільному перерізі контактної площадки, який визначається кутом  $\alpha$ , діє сила розтягу  $N_y$ , величину якої можна визначити, підсумувавши вертикальні складові  $dP_y$  елементарних сил  $dP$  по частинах контактних площадок, які розташовані вище наведеного на рис 2.5 перерізу..

$$N_y = 2\sigma_T \frac{b \cdot R_1^2}{L_1} \cdot \int_{\alpha_1}^{L_1/R_1} \sqrt{(L_1/R_1)^2 - \alpha_1^2} \cdot \sin \alpha_1 \cdot d\alpha_1 +$$

$$(2.11)$$

$$+ 2\sigma_T \frac{b \cdot R_2^2}{L_2} \cdot \int_{\alpha_2}^{L_2/R_2} \sqrt{(L_2/R_2)^2 - \alpha_2^2} \cdot \sin \alpha_2 \cdot d\alpha_2$$

Площа наведеного на (рис. 2.5) поперечного перерізу площадки дорівнює:

$$A_\alpha = f \cdot 2x = 2fb\sqrt{L_1^2 - a^2 \cdot R_1^2 / L_1} \quad (2.12)$$

$$f = R_1 \cdot (1 - \cos \alpha_1) + R_2 \cdot (1 - \cos \alpha_2) + \delta \quad (2.13)$$

Якщо вважати, що нормальні напруження  $\sigma_y$  рівномірно розподілені по поперечному перерізі сформованої зварної площадки, то

$$\sigma_y = \frac{N_y}{A_\alpha}, \quad (2.14)$$

У співвідношеннях (2.12) – (2.14) прийнято наступні співвідношення: - зусилля розтягу у перерізі контактної площадки, визначається кутами  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$ ;  $R_1$  і  $R_2$  – радіуси відповідно вала і ролика-електрода;  $b$  половина ширини наплавленого валика;  $L_1$  і  $L_2$  – довжини відповідних контактних дуг;  $f$  і  $x$  – розміри приведенного поперечного перерізу площею  $A_\alpha$ ;  $\delta$  – найменша товщина контактної площадки ( $\alpha_1=\alpha_2=0$ ).

Найбільші напруження розтягу діють в зоні найбільшої деформації присадного металу, тобто при значеннях ( $\alpha_1=\alpha_2=0$ ). При збільшенні кутів  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  напруження у поперечних перерізах контактних площадок знижуються.

Проведені нами дослідження показують, що при великих значеннях деформації присадного дроту в межах контактних площадок є зони, в яких розрахункові напруження  $\sigma_y$  перевищують максимально можливі напруження  $\sigma_T$ . Відсутність руйнувань в наплавленому шарі можна пояснити тільки однією причиною - в цих зонах утворилося зварене з'єднання, яке сприймає зайві навантаження.

Виходячи з цього, умова формування зварного з'єднання при КН матиме вигляд:

$$\sigma_y \geq \sigma_T, \quad (2.15)$$

При напруженнях  $\sigma_y \geq \sigma_T$  відбувається відносний рух розігрітого присадного матеріалу по відновлюваній поверхні. При такому русі руйнуються і видаляються оксидні плівки на поверхнях, які з'єднуються. Тим самим усувається енергетичний бар'єр, який перешкоджає утворенню хімічних зв'язків (загального електронного поля основного і присадного металів).

Наведені дослідження показують, що при великих значеннях деформацій присадочного дроту в межах контактних площадок є зони, в яких розрахункові напруження  $\sigma_p$  перевищують максимально можливі напруження  $\sigma_T$ . Відсутність руйнування у наплавленому шарі можна пояснити тільки тим, що в цих зонах утворюється зварне з'єднання, яке сприймає надлишкове навантаження.

### 2.3 Дослідження твердості і структури металопокриття

Вимірювання твердості зразків проводилося в кілька етапів. В першу чергу визначалася загальна твердість наплавленої поверхні за допомогою динамічного твердоміра моделі ТДМ - 2 ТУ 4271-00247621206-01

Виміри проводилися в 3-4 поясах на початку, середині і наприкінці наплавленої на довжині 150 мм шийки вала діаметром 50 мм (рис. 2.8).

Критерієм якісного з'єднання покриття і основного металу служило відсутність окисних плівок в зоні стику і утворення загальних зерен поверхонь, що з'єднуються.

Другим етапом оцінки твердості було вимір твердості на твердомірі Вікерса моделі ТП-7р-1, так як покриття, отримане КН, дає шар порівняно невеликої товщини. Вимірювання проводили при навантаженні 49 Н за схемою, представленої на рис. 2.8.

Проводилися виміри твердості за один оберт зразка, як в зонах стику, так і на решті поверхні по ширині наплавленого валика.

Така методика дозволяє отримати картину розподілу твердості по ширині наплавленого валика.

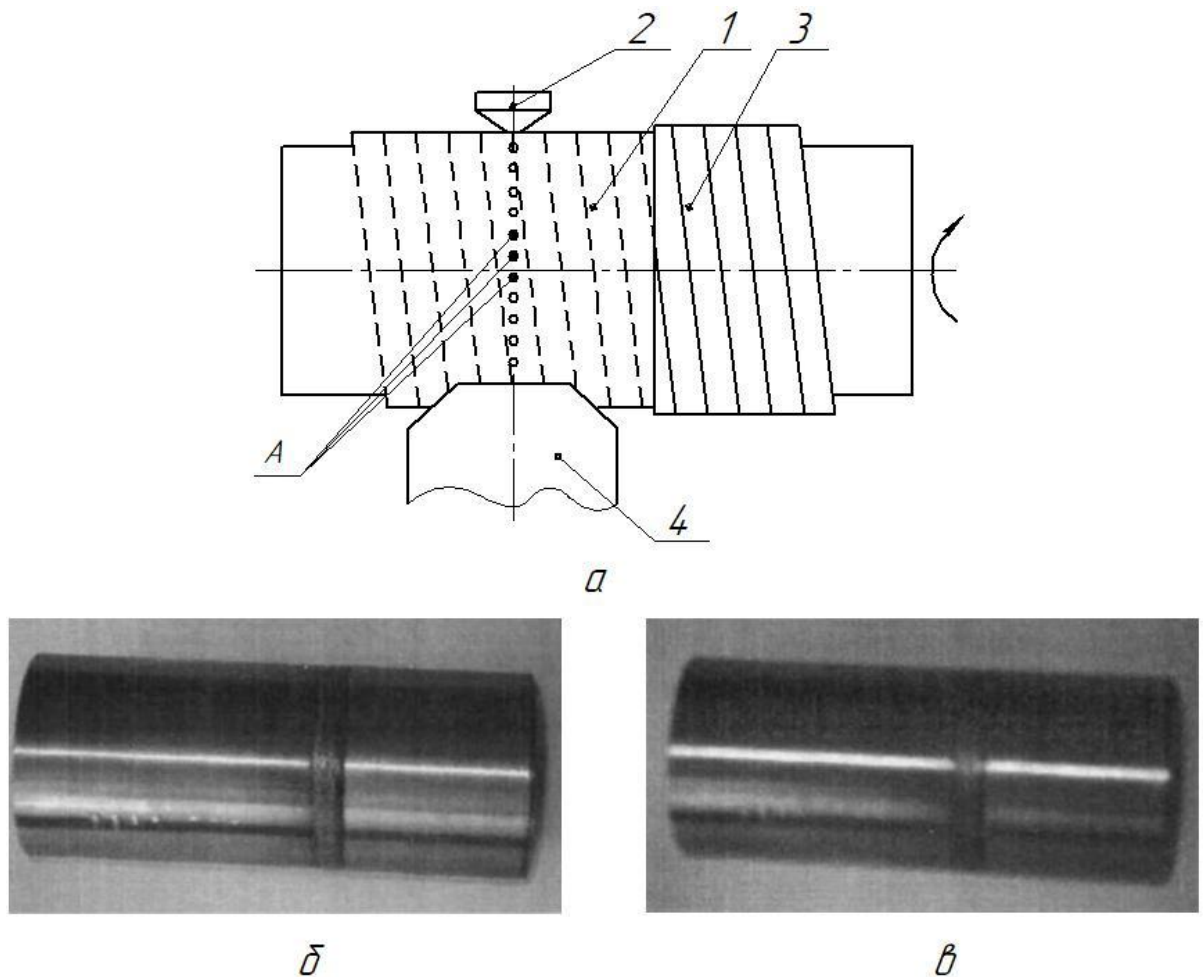
Третім, найбільш важливим етапом оцінки твердості отриманих покриттів, був вимір розподілу мікротвердості по глибині наплавленого шару.

Вимірювання проводилося вдавленням алмазного наконечника відповідно до ДСТУ 9450-18. Для реалізації досвіду застосовувався мікротвердомір ПМТ – 3.

При цьому навантаження на алмазну піраміду при вимірах становило 0,981Н (100г). Для зручності всі отримані дані по величинам твердості і мікротвердості переводилися на значення твердості за шкалою HRC.

Вивчення структури металопокриття і ЗТВ, якість зчеплення покриття з основним металом вала, дефектів структури металопокриття виконували за стандартними методиками.

Зразки для металографічних досліджень в більшості випадків вирізаються з наплавлених деталей вулканітовими кругами, із застосуванням охолодження, і на режимах, що виключають нагрів і структурні зміни. Така методика виготовлення зразків для металографічних випробувань тривала і трудомістка.



1 - наплавлена і відшліфована частина зразка; 2 - наконечник твердоміра; 3 - наплавлена частина зразка; 4- стіл-призма твердоміра; А-зони валика.

Рисунок 2.8 – Схема визначення твердості поверхні (а) та зразки (б, в) при КН

Травлення зразків здійснювалося в 4-6% -ому розчині азотної кислоти в етиловому спирті або 5% -ому розчині пікринової кислоти в етиловому спирті.

Для вивчення макроструктури наплавленого шару і ЗТВ використовувався мікроскоп МБС-9 зі збільшенням до 32 разів. Структура наплавленого металу і ЗТВ вивчалися на шліфах, вирізаних з наплавлених на досліджуваних режимах зразків

діаметром 50 мм з нормалізованої сталі 45 і 30ХГСА. Приготовлені відповідно до ДСТУ 9450-05 зразки вивчалися і фотографувалися.

Основною метою металографічних досліджень було вивчення впливу умов формування металопокриття КН на якісні показники відновлення, виявлення структурних складових наплавленого шару і ЗТВ, вивчення впливу технологічних параметрів режиму на характер утворення і якість з'єднання металопокриття з основою, глибину ЗТВ, наявність дефектів металопокриття, структурну однорідність металопокриття. Критерієм оцінки якості була відсутність пір, тріщин, непроварів і т.д.

Закономірності формування структури покриттів і ЗТВ підкоряються загальним закономірностям контактного зварювання. Однак необхідно враховувати і специфічні особливості структуроутворення в конкретних умовах КН:

1. При нагріванні методом електроопору теплова енергія виділяється як в контактах дроту з поверхнями деталі і ролика-електрода, так і в самому присадному металі. При нагріванні внутрішнім джерелом тепла відбувається прискорене перетворення перліту вуглецевих сталей в аустеніт.

2. Нагрівання і охолодження присадного металу і ЗТВ відбуваються з великими швидкостями. В умовах КН тривалість перебування металу при температурі вище  $AC_3$  дуже мала, тому металопокриття і ЗТВ мають різко виражену неоднорідність внаслідок обмеженого протікання дифузійних процесів.

3. Формування зварного з'єднання супроводжується термомеханічним впливом на дріт з боку ролика-електрода і з боку вала, що призводить до великих пластичних деформацій присадного металу, дроблення структури.

4. При наплавленні валів по гвинтовий лінії з перекриттям суміжних зварних валиків в металопокритті чергуються структури загартування, повного і часткового відпуску.

На рис. 2.9 приведена фотографія поверхні зразка, наплавленого на оптимальному режимі.

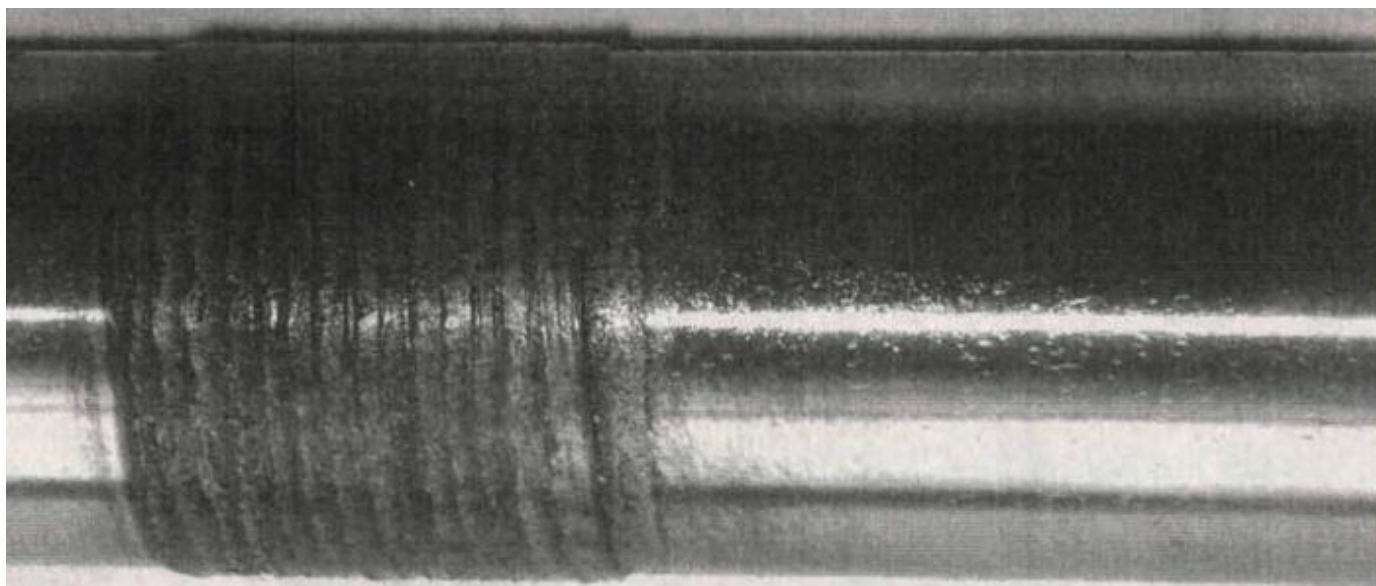
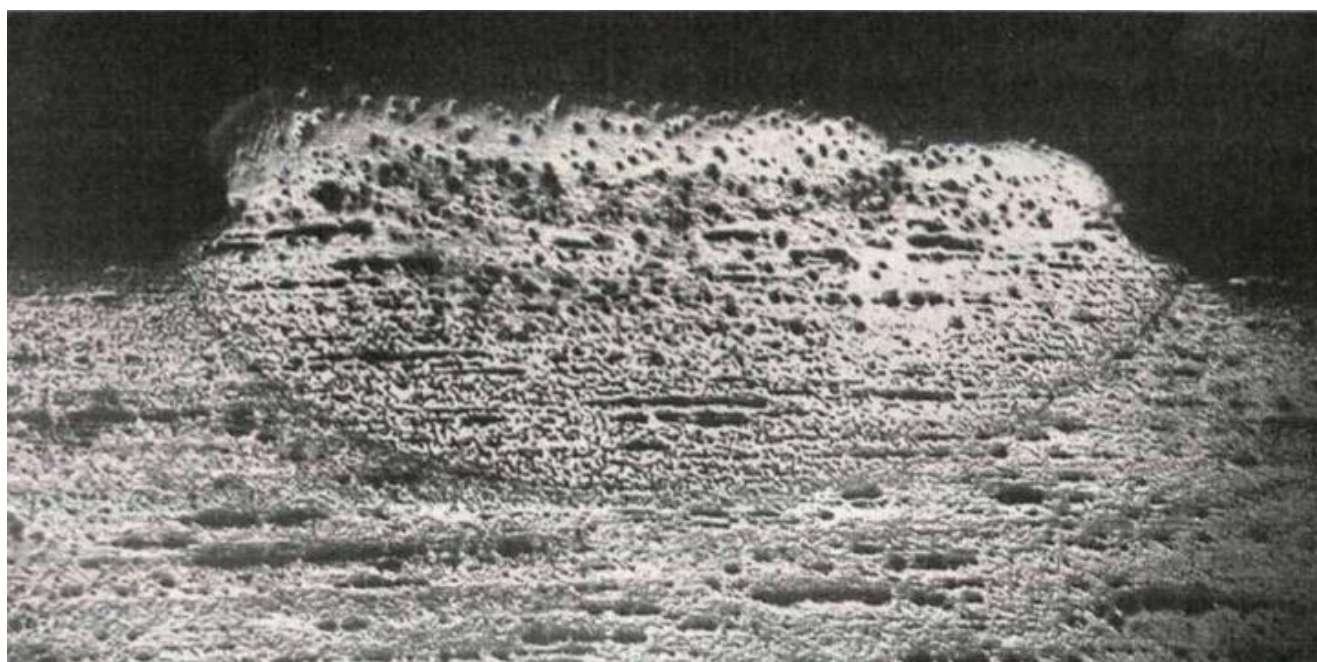


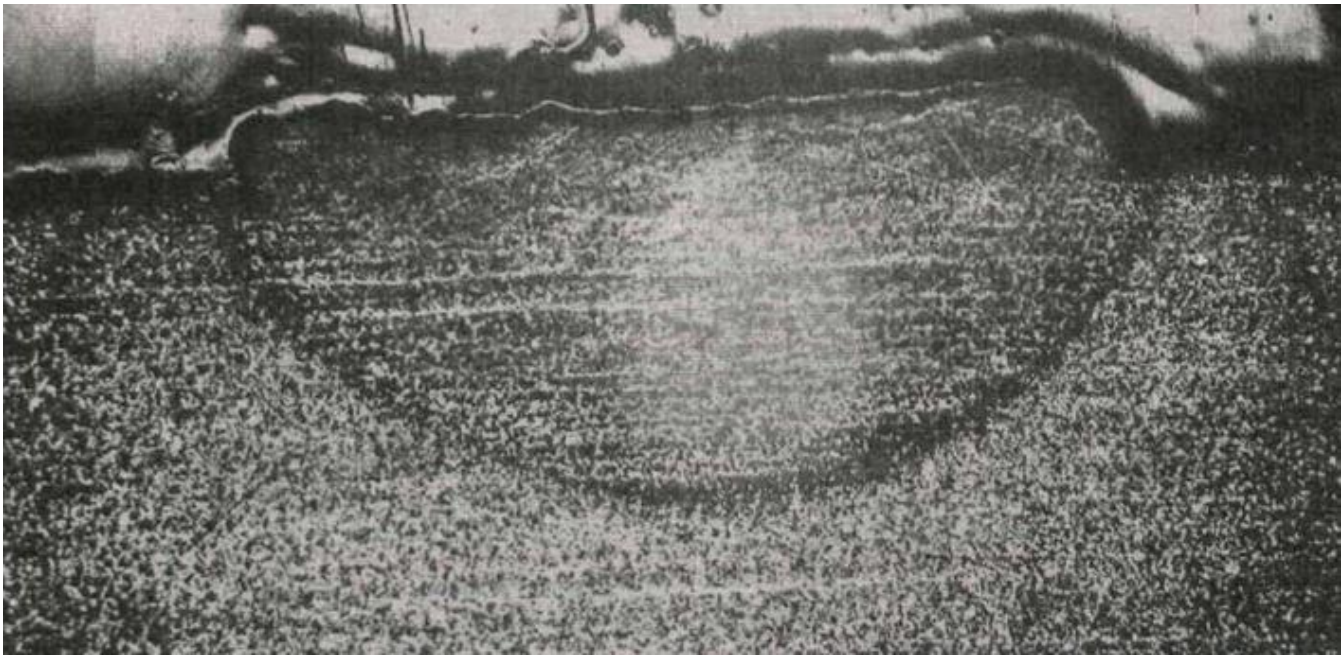
Рисунок 2.9 – Фотографія поверхні зразка із сталі 45, наплавленого дротом 1,8 Нп-30ХГСА на режимі:  $I=7,4$  кА;  $F=1,7$  кН;  $t_i=0,04$  с.

Як видно з рис. 2.9 поверхню зразка рівна і щільна. Візуальний огляд показав, що дефекти металопокриття у вигляді тріщин, пустот, непровари і т.д. не виявляються. При механічній обробці не відбувається відшарування і лущення нанесеного металопокриття.

На рис. 2.10 наведені макроструктури одиничних площадок металопокриття.



а



б

Рисунок 2.10 – Макроструктури одиничних валиків (x15):

а - вуглецевий дріт ПК-2; б - дріт 30ХГСА.

Металопокриття має структуру дрібногочастого мартенситу з присутністю залишкового аустеніту. Така структура наплавленого металу пояснюється термомеханичним характером циклів наплавлення. У ЗТВ основного металу деталі структура поступово переходить в тростомартенситну, троститную і сорбітну. Межа розділу ЗТВ від основної перлітною-феритної структури сталі 45 або сталі 30ХГСА чітка, що складається з дрібних зерен фериту. У наплавленому одиночному валику не має дефектів у вигляді пір, тріщин і несучільностей.

На рис 2.11 наведені фотографії зон з'єднання, отриманих при різних умовах наплавлення. Внаслідок недостатнього тепловиділення з'єднання на рис 2.11а неякісні, в зоні стику явно проглядається незруйнована оксидна плівка.

Умови формування з'єднань на рис. 2.11б характеризуються підвищеним зусиллям на ролику і малою тривалістю проходження імпульсу струму. При цьому режимі наплавлення оксидна плівка в зоні стику виявилася зруйнованою, але загальних зерен в контакті не утворилося, тому що об'ємна взаємодія основного і присадного металів відбулася не в повній мірі і обмежилася утворенням хімічних зв'язків. Відбулася релаксація напружень, необхідна для збереження встановлених зв'язків

При наплавленні на режимах з достатнім виділенням тепла і тривалістю проходження імпульсу струму, орієнтована в площині стику міжзеренна межа

мігрує, дифузійні процеси протікають більш повно. У зоні стику утворюються загальні для металів, що сполучаються зерна, сама межа на фотографіях рис. 2.11в не проглядається. Таке з'єднання відрізняється підвищеною пластичністю.

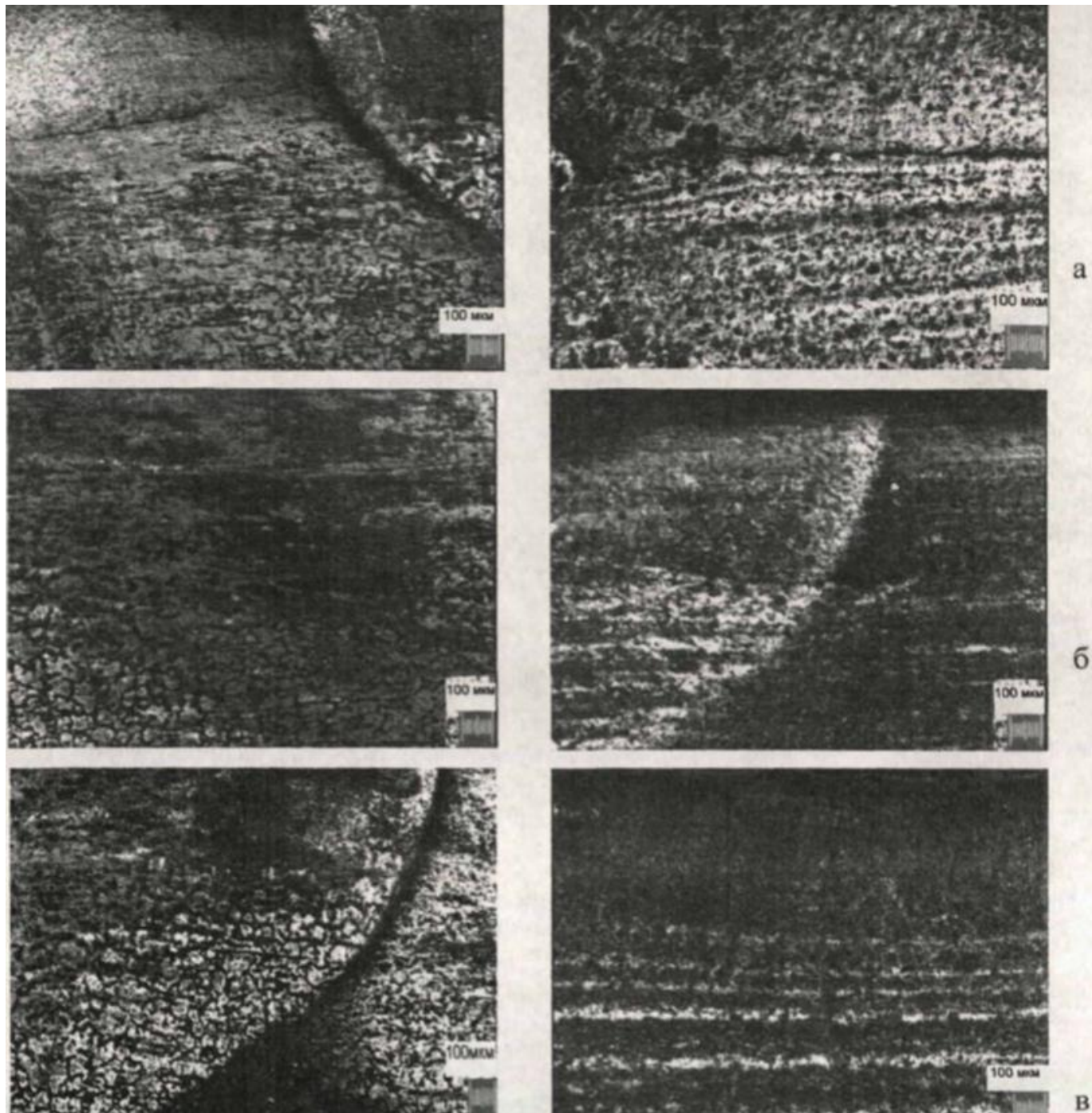


Рисунок 2.11 – Зони з'єднання отримані при різних умовах наплавлення (зліва наплавлення дроту ПК-2 на основу сталь 45; справа – дріт Нп-30ХГСА на сталь 30ХГСА): а –  $I=5,0$  кА;  $F=1,75$  кН;  $t_i=0,04$  с; б -  $I=8,5$  кА;  $F=1,75$  кН;  $t_i=0,02$  с; в -  $I=7,2$  кА;  $F=1,3$  кН;  $t_i=0,04$  с.

Результати вимірів мікротвердості по перерізах одиничних площадок наплавленого металу і ЗТВ показані на рис. 2.12.

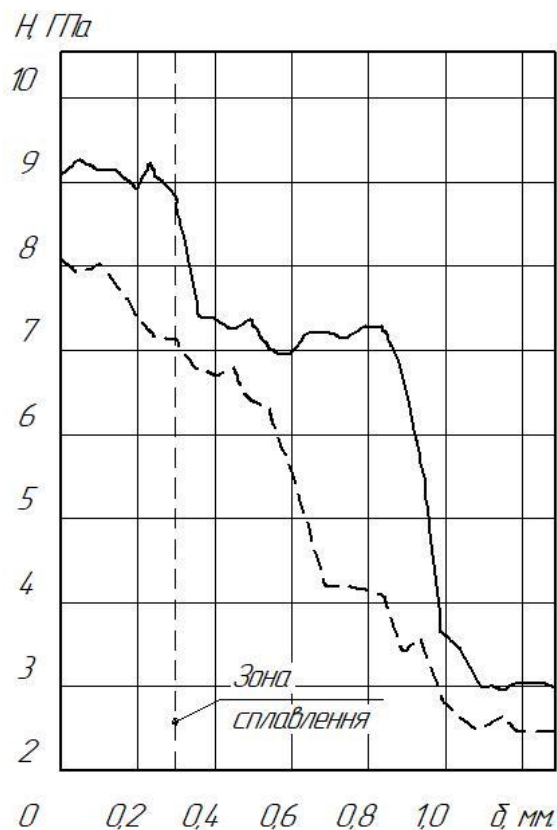


Рисунок 2.12 – Мікротвердість наплавленого шару і ЗТВ:  
(суцільна лінія – дріт НК-2; пунктирна – дріт Нп-30ХГСА).

Мікротвердість наплавленого металу дорівнює 9,2 ГПа для вуглецевої дроту Нп-65 ДСТУ 9389-055 і 8,1 ГПа для легованого присадного дроту Нп-30ХГСА ДСТУ 10543-15. Середня твердість металопокриття з вуглецевого дроту ПК-2 дорівнює 52...54 HRC, а для легованого дроту 30ХГСА 48...50 HRC.

Таблиця 2.1 – Значення середньої твердості зразків при КН дротами ПК-2 і Нп-30ХГСА.

| Зразки | Матеріал основи | Матеріал покриття | Середня твердість металопокриття, HRC |
|--------|-----------------|-------------------|---------------------------------------|
| а      | Сталь 45        | ПК-2              | 52...54                               |
| б      | Сталь 30ХГСА    | Сталь 30ХГСА      | 48...50                               |

## 2.4 Випробування на зношування зразків при КН

Переважаємим видом тертя для робочих поверхонь деталей типу «вал» тракторів, автомобілів і різноманітних сільськогосподарських машин є тертя ковзання, а найбільш типовим, що працюють в умовах цього виду тертя, є сполучення вал - підшипник. Нами для випробувань на зношування прийняті умови тертя, характерні для рухливих сполучень. Для створення цих умов найбільш придатною є схема буксового тертя, створити яку зручно на машині тертя СМЦ-2. Для отримання даних по зносостійкості, близьких до експлуатаційних, умови випробування слід максимально наблизити до реальних умов роботи конкретних деталей. Однак такі випробування дуже тривалі і трудомісткі. Досить точно для порівняльних випробувань значення зносостійкості можна отримати прискореними лабораторними випробуваннями наплавлених зразків.

Випробування зразків на тертя і зносостійкість проводились за схемою «вал-колодка» за відомими методиками. Основа зразків - роликів була з нормалізованої сталі 45 ДСТУ 1050-08 і сталі 30ХГСА ДСТУ 4543-11. Як матеріал стираючих колодок був прийнятий сірий чавун СЧ 15-32 ДСТУ 1412-15. Для отримання повного прилягання сполучених поверхонь колодки притиралися із застосуванням абразивного порошку на еталонному ролику.

Колодка з сірого чавуну мала висоту 10 мм, що дозволяло зберегти вимірювальну базу, так як по краях зразка залишалися незношені стрічки. Максимальна контактний тиск при випробуваннях становив 25 МПа, і змінювався східчасто через однакові часові проміжки. При цих умовах випробувань, обраних з урахуванням рекомендацій з літературних джерел, заїдання і схоплювання зразків не було. В експериментах використовувався забруднювач - абразивний порошок карбіду кремнію №10 з розрахунку 0,5 г на 75 мл. масла М-6з/12Г<sub>1</sub> ДСТУ 10541-18. Машиння здійснювалося зануренням роликів на 1/3 їх діаметра в ванночку з масла М-6з/12Г<sub>1</sub>. Частота обертання зразка становила 300 об/хв, час випробування при сталому режимі зношування становив 12 годин. Величина зносу вимірювалася через кожні 3 години випробувань.

Випробування на зношування наплавлених і еталонних зразків (із сталі 45) в парі з колодками з чавуну СЧ 15-32 ДСТУ 1412-15 показали, що покриття, отримані електроконтактним наплавленням, успішно працюють при терті з обмеженою

подачею мастила. За результатами випробувань на зношення побудовані графіки зміни моменту тертя і величини зносу через відповідні проміжки часу (рис. 2.13).

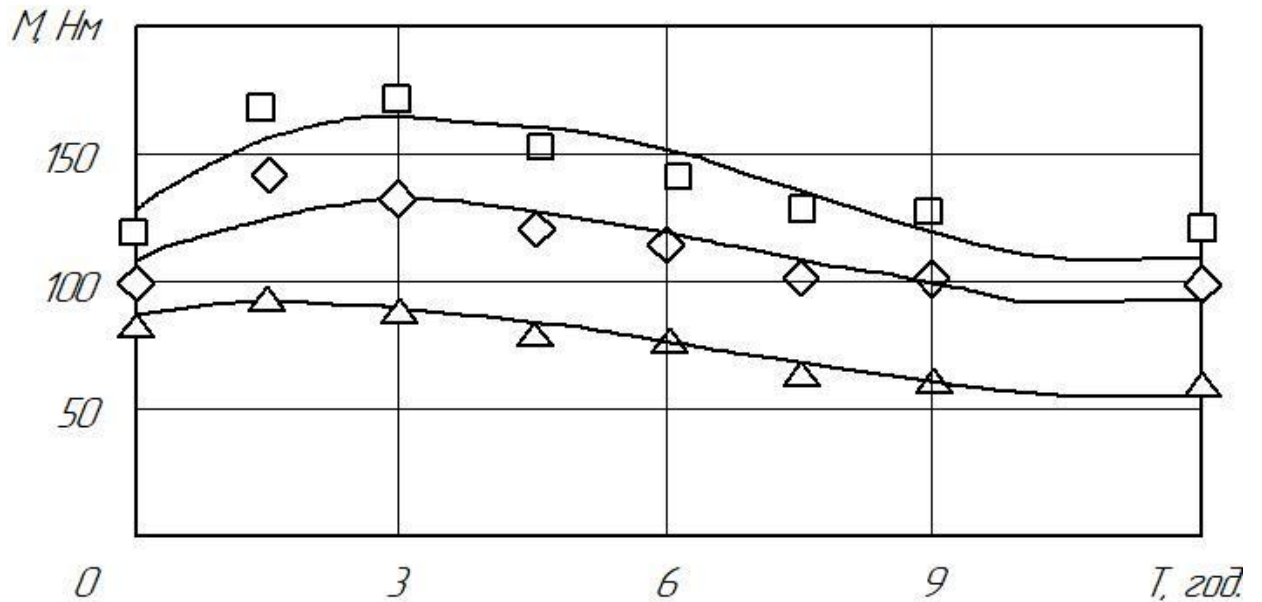


Рисунок 2.13 – Зміна моменту тертя при випробуваннях на зношування:

◇ – 30ХГСА; □ - сталь 45; △ - ПК-2.

З графіка випливає, що тривалість процесу припрацювання еталонних зразків із загартованої сталі 45 при роботі з контрзразками з сірого чавуну знаходиться в межах 1,5...2 год. До цього часу припиняється зростання моменту тертя в сполученні. При подальшому випробуванні спостерігається плавний і незначний спад моменту тертя, що говорить про стабілізацію процесу зношування. Період припрацювання наплавлених зразків коротший, і становить близько однієї години. За цей час температурний стан поверхонь і момент тертя стабілізуються, а при подальшому зношуванні залишаються на постійному рівні.

Порівнюючи величини моментів тертя можна відзначити, що при зношуванні зразків з покриттям з присадних дротів ПК-2 і 30ХГСА величина моменту тертя в 1,2...1,5 рази менша ніж при зношуванні еталонних зразків при одних і тих же умовах.

З огляду на вплив моменту тертя на процес зношування, і беручи до уваги меншу величину цього параметра під час зношування зразків з покриттям з присадних дротів ПК-2 і 30ХГСА, слід очікувати, що знос дослідних зразків буде менше зносу еталонних. Дійсно, аналіз результатів випробувань на зношування (рис. 2.14) показує, що в процесі припрацювання величина зносу еталонних зразків значно перевершує знос зразків з присадних дротів ПК-2 і 30ХГСА. Коефіцієнт

зносостійкості наплавлених зразків на цьому етапі досягає величини, порівнянної з коефіцієнтом зносостійкості еталонних зразків.

При сталому процесі зношування характер кривих зносу дослідних і еталонних зразків аналогічний. Зносостійкість зразків з покриттям на цьому етапі знаходиться в межах 1,25...1,5 зносостійкості еталонних зразків. Процес припрацювання не був виключений з циклу зношування, так як припрацьованість матеріалів сполучень тертя є важливою їх характеристикою.

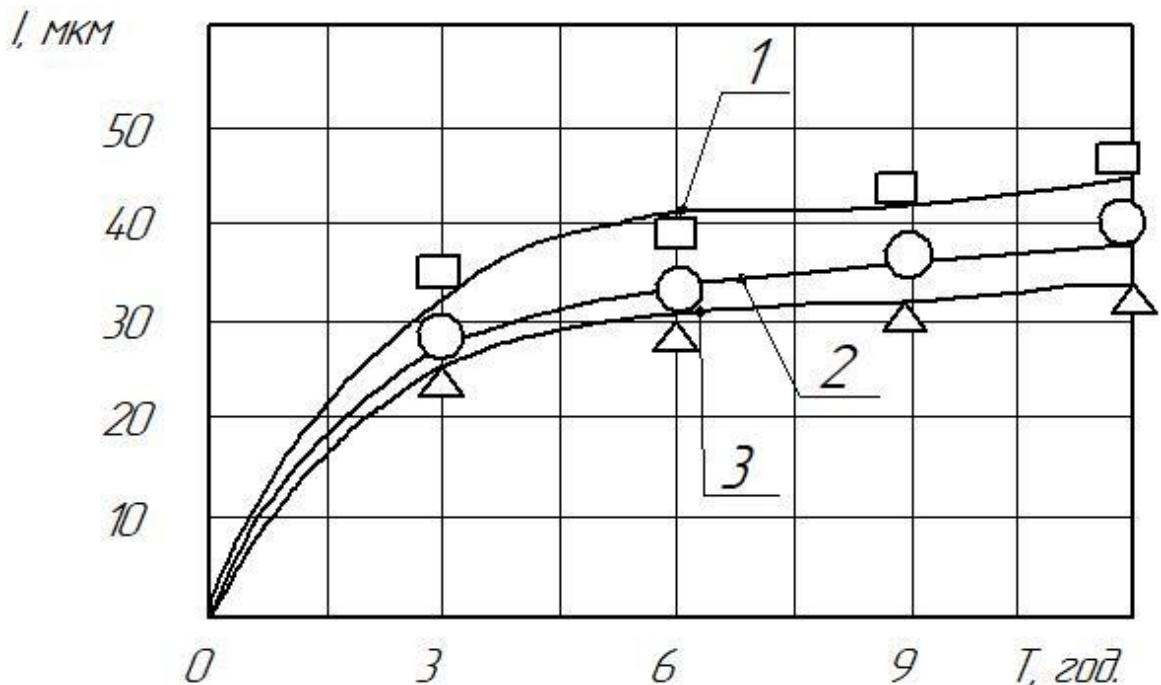


Рисунок 2.14 – Величина і характер зносу зразків:

1 - без покриття (еталон); 2 - сталь 30ХГСА; з дротом 30ХГСА; 3 - сталь 45 з дротом ПК-2.

Розглядаючи спільно графіки зносу і моментів тертя зношуються сполучень, можна сказати, що при зношуванні зразків з покриттям період початкового зносу їх скорочений, інтенсивність його і діючі сили тертя невеликі, тобто має місце випадок покращення процесу припрацювання. У цих умовах явища захоплювання не отримують розвитку, створюється певний мікрорельєф поверхонь.

## 2.5 Рекомендації по проектуванню технологічних процесів відновлення циліндричних поверхонь деталей

До технологічних параметрів режимів КН відноситься ефективний струм наплавлення  $I$ , зусилля на ролику-електроді  $F$ , тривалість імпульсів струму  $t_{\text{ц}}$ , тривалість пауз  $t_{\text{п}}$ , колова швидкість обертання деталі  $v_0$ , крок наплавлення по

гвинтовій лінії S, а також режим охолодження деталі при наплавленні. Перші п'ять з перерахованих параметрів впливають, в основному, на якість зчеплення покриття з основою деталі, а крок наплавлення і режим охолодження впливають на структуру і зносостійкість металопокриття.

Відомі з літературних джерел значення параметрів режимів КН визначалися, в основному, експериментально для випадків відновлення валів з вуглецевих сталей вуглецевим присадним дротом. У ремонтній практиці нерідко доводиться відновлювати деталі з різним зносом, виготовлені з різних, в тому числі легованих матеріалів, і застосовувати при цьому широку номенклатуру присадних дротів. Проведені нами теоретичні та експериментальні дослідження дозволяють розробити методику визначення режимів наплавлення різних деталей. У цьому пункті наводиться послідовність визначення режимів наплавлення вуглецевих і легованих присадних дротів (на прикладі дроту Нп-30ХГСА).

В пункті 2.2 було показано, що ці два параметри найбільшою мірою впливають на деформацію присадного дроту, а, отже, і на якість (міцність) зварного з'єднання.

Згідно робіт дослідників відомо, що при максимально можливій відносній осьовій деформації присадного дроту ( $\epsilon_y = 0,44 \dots 0,48$ ) міцність зчеплення покриття з основою виходить найбільш високою, рівній або близькій до міцності основного металу деталі. Оптимальними з точки зору забезпечення високої міцності зварного з'єднання є режими наплавлення з підвищеною тепловіддачею в зоні формування з'єднання, тобто при низьких значеннях зусилля на ролику і максимально великих значеннях зварювального струму.

Зниження зусилля на ролику  $F$  і збільшення зварювального струму  $I$  обмежуються необхідністю утворення фізичного контакту дроту з деталлю і перегрівом присадного металу. Таким чином, існують оптимальні значення цих двох технологічних параметрів.

Для визначення значень зусиль на ролику при різних випадках наплавлення користуємося формулою

$$F = 2\sigma_T \cdot \frac{b_{1,2} \cdot R_{1,2}^2}{L_{1,2}} \cdot \int_0^{L_{1,2}/R_{1,2}} \sqrt{(L_{1,2}/R_{1,2})^2 - \alpha^2} \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha \quad (2.16)$$

Значення межі опору присадного металу пластичній деформації  $\sigma_T$  можуть визначатися експериментально, для випадку відновлення валів вуглецевим дротом

ПК-2, або ж вони можуть братися з довідкової літератури, як характеристики опору пластичній деформації, що відповідають оптимальним температурам нагрівання при гарячій обробці металу тиском.

У подальших розрахунках були прийняті значення  $\sigma_T$  для дротів ПК-2 і Нп-30ХГСА рівними відповідно 47...49 і 60...65 МПа.

Після визначення оптимального значення зусилля на ролику знаходиться ефективне значення струму наплавлення.

Існує кілька методик визначення величини зварювального струму.

При контактному зварюванні для цих цілей складається рівняння теплового балансу, тобто вирішується теплова задача. Однак для умов КН, коли розміри відновлюваної деталі і одиничної площадки металопокриття між собою несумірні, відома методика не дає необхідного результату.

У деяких дослідженнях для вибору струму наплавлення рекомендується використовувати критерії теплової подібності. При цьому експериментальним чином визначається оптимальне значення струму наплавлення  $I_E$  для якого-небудь конкретного випадку відновлення певної (еталонної) деталі, конкретним присадним дротом.

Для цього випадку наплавлення підраховується необхідна кількість теплової енергії  $Q_E$ . Таке ж рівняння теплового балансу вирішується для досліджуваного випадку наплавлення і підраховується необхідне значення теплової енергії  $Q$ . Якщо припустити, що електричні опори зон формування зварного з'єднання у всіх випадках наплавлення рівні між собою, то необхідне значення зварювального струму  $I$  можна визначити з виразу:

$$I_E = I_E \cdot \sqrt{\frac{Q}{Q_E}} \quad (2.17)$$

Накопичений досвід показує, що і ця методика дозволяє визначити значення зварювального струму лише наближено. Похибка визначення струму наплавлення перевищує 20...25%.

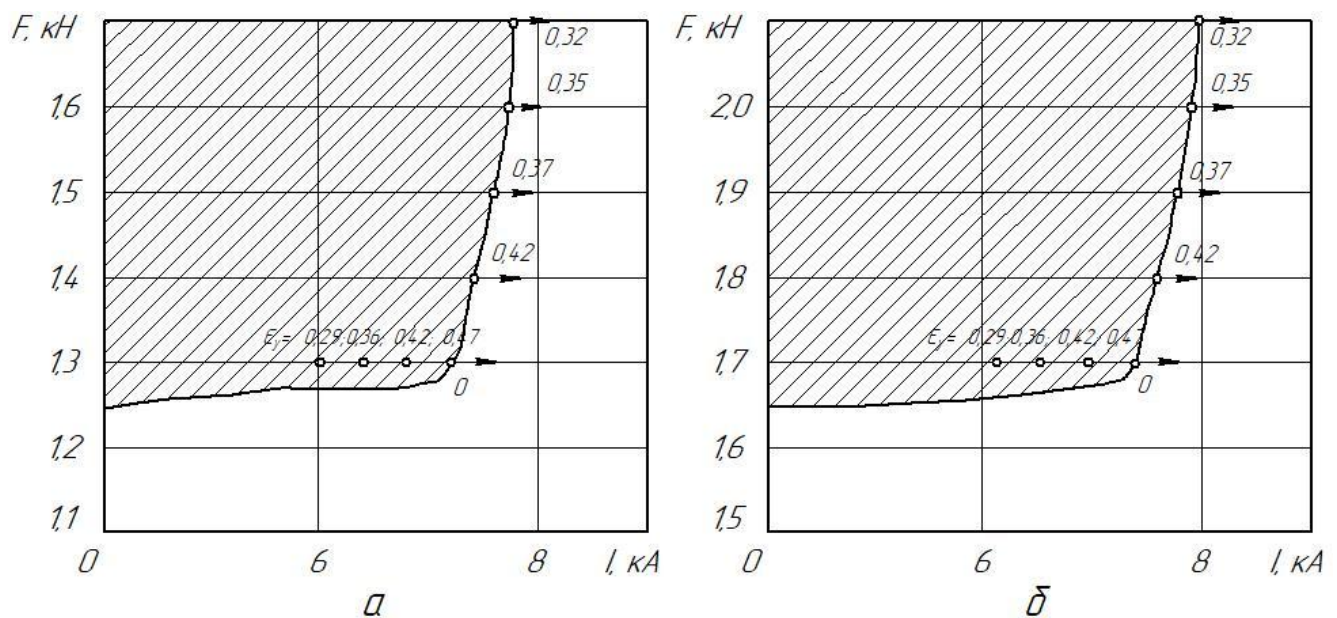
Найбільш точні результати визначення струму наплавлення можуть бути отримані експериментальним шляхом із застосуванням методики, заснованої на положеннях теорії формування з'єднання металів у твердій фазі.

У пункті 2.2 було показано, що найбільш міцним з'єднання покриття з основою деталі виходить при малих зусиллях на ролику і максимально великих значення струму наплавлення.

При достатньому тепловиділенні присадний метал в зоні наплавлення легко деформується зусиллям ролика, але не перегрівається. Зниження зусилля на ролику обмежується необхідністю утворення фізичного контакту дроту з деталлю. Збільшення струму наплавлення обмежується перегрівом присадного дроту. Існує область технологічних режимів наплавлення, при яких процес наплавлення протікає стабільно. Вихід хоча б одного з параметрів  $F$  або  $I$  за межі стійкої зони призводить до появи підвищеного іскріння і виплескам в зоні формування з'єднання.

На рис. 2.15 а, б область режимів наплавлення, при яких процес КН протікає без перегріву присадного металу, показана заштрихованою. Оптимальним режимом наплавлення, що забезпечує максимальну якість (міцність) зварного з'єднання, є режим наплавлення, наведений на рис. 2.15 точкою «О», що знаходиться на межі зон стійкого і нестійкого протікання процесу КН. Рациональний режим наплавлення, відповідний точці «О» на рис. 2.15, шукали експериментально наступним чином. Виконували наплавлення вуглецевих і легованих дротів різного діаметру на циліндричні зразки різних діаметрів. Значення зусилля на ролику при кожному напавленні встановлювали фіксованим і відповідним до оптимального значення. Виконували ряд напавлень, поступово збільшуючи струм наплавлення ручкою «нагрів» тиристорного переривника струму.

Після кожного напавлення заміряли осьову деформацію присадного дроту. Таким чином, встановлювали кожен раз положення точки «О», як межа перегріву присадного матеріалу візуально і за максимальною осьовою деформацією присадного дроту  $\epsilon = 0,44 \dots 0,48$ .



а - дроту ПК-2 на зразок із сталі 45; б - дроту Нп-30ХГСА на зразок із сталі 30ХГСА.

Рисунок 2.15 – Визначення межі перегріву металу присадного дроту при наплавленні:

У таблиці 2.2. дані певні за наведеними методиками оптимальні значення струму наплавлення і зусиль на ролику-електроді.

Таблиця 2.2 - Значення струмів наплавлення (кА, чисельник) і зусиль на ролику (кН, знаменник).

| Діаметр присадного дроту, мм    | Діаметр наплавлюваної деталі, мм |                    |                    |                    |
|---------------------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                                 | 20                               | 30                 | 40                 | 50                 |
| <i>Присадний дріт ПК-2</i>      |                                  |                    |                    |                    |
| 16                              | $\frac{4,9}{0,86}$               | $\frac{5,6}{0,88}$ | $\frac{6,3}{0,95}$ | $\frac{6,9}{1,10}$ |
| 18                              | $\frac{5,1}{1,06}$               | $\frac{5,9}{1,11}$ | $\frac{6,5}{1,23}$ | $\frac{7,2}{1,30}$ |
| 2,2                             | $\frac{5,3}{1,28}$               | $\frac{6,6}{1,40}$ | $\frac{7,5}{1,60}$ | $\frac{8,2}{1,80}$ |
| <i>Присадний дріт Нп-30ХГСА</i> |                                  |                    |                    |                    |
| 16                              | $\frac{5,1}{1,12}$               | $\frac{5,8}{1,15}$ | $\frac{6,5}{1,27}$ | $\frac{7,1}{1,41}$ |
| 18                              | $\frac{5,3}{1,36}$               | $\frac{6,2}{1,45}$ | $\frac{6,8}{1,60}$ | $\frac{7,4}{1,70}$ |
| 2,2                             | $\frac{5,5}{1,66}$               | $\frac{6,9}{1,82}$ | $\frac{7,7}{2,05}$ | $\frac{8,5}{2,34}$ |

Визначення швидкості наплавлення. Колова швидкість наплавлення визначається з умов відсутності непроварів по довжині наплавлених валиків. У пунктах наведених вище показано, що зварне з'єднання покриття з основою утворюється не по всій довжині контактної площадки, а лише на ділянці найбільшої деформації, що є частиною контактної площадки. Там же дається

методика визначення розмірів у зон формування зварного з'єднання в межах контактних площадок. За схемою рис. 2.16 визначаємо значення коефіцієнта перекриття зон формування зварного з'єднання.

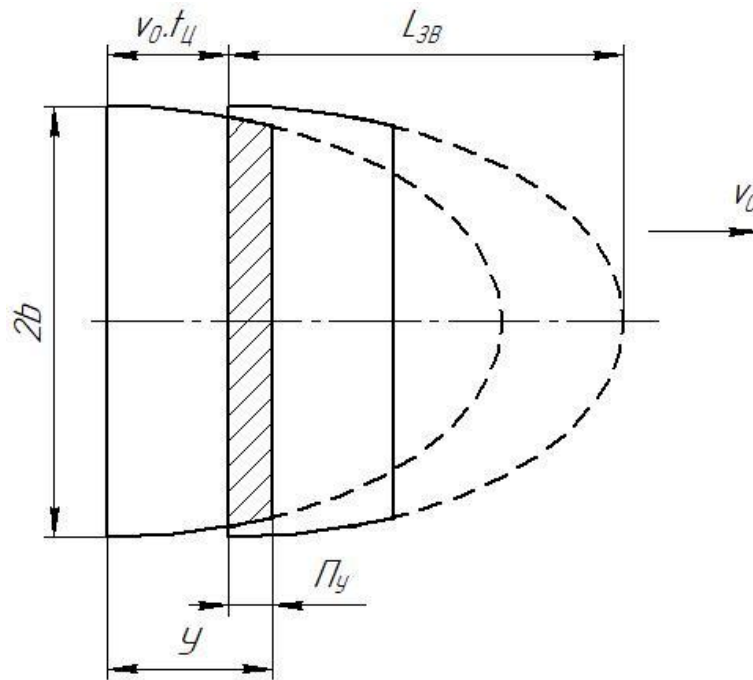


Рисунок 2.16 – Коефіцієнт перекриття зон утворення з'єднання.

$$K_y = \frac{\Pi_y}{y} = \frac{y - v_0 \cdot t_{ц}}{y} = 1 - \frac{v_0 \cdot t_{ц}}{y}. \quad (2.18)$$

З точки зору забезпечення максимального значення зварного з'єднання режим наплавлення (крок наплавлення по довжині зварного валика) визначається з умови забезпечення оптимального значення коефіцієнта перекриття  $K_y$ .

Дані літературних джерел показують, що в разі наплавлення вуглецевих присадних дротів оптимальні значення  $K_y$  становлять 0,02...0,10.

Легуючі елементи, що входять до складу стали 30ХГСА, погіршують її зварюваність.

Навіть при оптимальних режимах наплавлення присадного дроту Нп-30ХГСА не вдається досягти міцності зварного з'єднання, що дорівнює міцності на розрив основного металу деталі.

Розрахунки показують, що при режимах наплавлення з однаковою осьовою деформацією  $\epsilon$  довжини зон утворення зварного з'єднання в разі наплавлення легованих присадних дротів становлять 90...95% від відповідних розмірів при напавленні вуглецевих дротів.

Експериментально встановлені оптимальні значення коефіцієнта перекриття для дроту Нп-30ХГСА рівні 0,3...0,4.

Необхідну колову швидкість обертання деталі можна отримати з виразу (2.18)

$$v_o = \frac{y \cdot (1 - K_y)}{t_u} \quad (2.19)$$

Результати розрахунків швидкості наплавлення приведені в таблиці 2.3.

Обчислення показали, що рекомендовані швидкості наплавлення легованих дротів приблизно на 40% менше, ніж при наплавлення вуглецевих присадних дротів.

Результати цих розрахунків повністю відповідають практиці шовного зварювання, де рекомендуються знижені швидкості і збільшені зусилля на інструменті при зварюванні легованих матеріалів.

Таблиця 2.3 - Колова швидкість обертання деталі (м/с) для різних значень діаметрів деталей і присадного дроту.

| Діаметр<br>присадного<br>дроту, мм | Діаметр наплавлюваної деталі, мм |      |      |      |
|------------------------------------|----------------------------------|------|------|------|
|                                    | 20                               | 30   | 40   | 50   |
| <i>Присадний дріт ПК-2</i>         |                                  |      |      |      |
| 1,6                                | 18,3                             | 20,3 | 20,5 | 20,4 |
| 1,8                                | 19,4                             | 21,8 | 20,3 | 19,2 |
| 2,2                                | 21,3                             | 23,5 | 23,7 | 23,4 |
| <i>Присадний дріт Нп-30ХГСА</i>    |                                  |      |      |      |
| 1,6                                | 11                               | 12,2 | 12,3 | 12,2 |
| 1,8                                | 11,6                             | 13   | 12,2 | 11,5 |
| 2,2                                | 12,8                             | 14,1 | 14,2 | 14   |

Крок наплавлення по гвинтовій лінії.

З усіх технологічних параметрів режиму КН на структуру, твердість і зносостійкість металопокриттів має найбільший вплив крок наплавлення по гвинтовій лінії. Наші дослідження показали, що для забезпечення максимально зносостійкої і однорідної структури крок наплавлення  $S$  слід встановлювати максимально великим і забезпечувати мінімальне 10-15% перекриття суміжних зварних валиків по їх ширині. Рекомендовані значення кроку наплавлення наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Крок наплавлення по гвинтовій лінії (мм/об) для різних діаметрів і присадного дроту.

| <i>Діаметр присадного дроту, мм</i> | <i>Діаметр наплавлюваної деталі, мм</i> |            |            |            |
|-------------------------------------|-----------------------------------------|------------|------------|------------|
|                                     | <i>20</i>                               | <i>30</i>  | <i>40</i>  | <i>50</i>  |
| <i>1,6</i>                          | <i>3,8</i>                              | <i>3,4</i> | <i>3,0</i> | <i>2,8</i> |
| <i>1,8</i>                          | <i>4,3</i>                              | <i>3,9</i> | <i>3,4</i> | <i>3,0</i> |
| <i>2,2</i>                          | <i>5,2</i>                              | <i>4,6</i> | <i>4,1</i> | <i>3,8</i> |

#### Режим охолодження.

Ми рекомендуємо охолоджувати деталь і захищати металопокриття від окислення водопровідною водою температурою 8...15 °С. Схема охолодження при наплавленні повинна бути складена таким чином, щоб виключити потрапляння охолоджувальної рідини безпосередньо в зону формування зварного з'єднання. Відомо, що потрапляння охолоджувальної рідини в зазор між деталлю і ролик-електродом призводить до формування в металопокритті вкрай несприятливих залишкових напружень розтягу. В цьому випадку покриття виходить надмірно крихким і з численними тріщинами. Рекомендується витрата охолоджуючої рідини 1...1,5 л/хв. Мідний ролик-електрод при КН майже не нагрівається до високих температур і охолодження його не обов'язкове.

## 2.6 Висновки

1. Розглянуто процес пластичної деформації присадного дроту з урахуванням діючих сил і виникаючих напружень.
2. Отримано умова формування зварного з'єднання в межах контактних площадок у вигляді залежностей (2.14-2.15).
3. Показано, що основною умовою формування якісного і рівномірного основного металу зварного з'єднання при КН є руйнування і видалення із зони контакту щільних окисних і оксидних плівок на з'єднуваних поверхнях. При наплавленні на рекомендованих режимах в стику поверхонь, що з'єднуються утворюються загальні зерна, що підвищує пластичність зварного з'єднання.
4. Виявлено, що раціональними з точки зору забезпечення однорідної структури металопокриття є значення кроку наплавлення по гвинтовій лінії, який би забезпечував мінімальне 10...15% -е перекриття суміжних зварних валиків по їх ширині.
5. Встановлено, що середня твердість металопокриття з вуглецевої дроту ПК-2 дорівнює 52...54 HRC, а для легованої дроту 30ХГСА 48...50 HRC. Зносостійкість металопокриття з дроту ПК-2 в 1,4...1,5 рази, а для дроту 30ХГСА - в 1,2...1,25 рази вища зносостійкості зразків із сталі 45, загартованої СВЧ.

## РОЗДІЛ 3

### 3.1 Коротка характеристика вузла, що ремонтується

Турбокомпресор призначений для примусової подачі в циліндри двигуна підвищеного заряду повітря. Це сприяє процесу спалювання палива, підвищенню середнього індикаторного тиску, літрової потужності і зменшенню питомої маси дизеля без суттєвих змін його габаритів.

Наддув є загально признаним і найбільш раціональним направленням в розвитку і створенню нових дизелів з високими техніко-економічними параметрами.

Газотурбінний наддув здійснюється відцентровим компресором, який приводиться в рух газовою турбіною, що працює за рахунок використання енергії газів, що виконали свою функцію в передачі частини теплової енергії в механічну енергію обертання колінчастого валу.

Турбокомпресор представляє собою однороторний агрегат. Зазвичай він складається з газової турбіни і відцентрового компресора. Вони закріплені на одному валу і разом становлять з себе турбокомпресор.

На дизелях ЯМЗ, СМД встановлюється турбокомпресор марки ТКР низького тиску, який підвищує тиск повітря у 3 рази.

Технічна характеристика турбокомпресора ТКР-90 приведена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Технічна характеристика турбокомпресора ТКР-90.

| Тип    | Ступінь підвищення тиску | Довжина, мм | Ширина, мм | Висота, мм | Діаметр робочого колеса нагнітача, мм | Маса, кг | Ресурс нагнітача тис. год. |
|--------|--------------------------|-------------|------------|------------|---------------------------------------|----------|----------------------------|
| ТКР-90 | 3                        | 270         | 210        | 230        | 90                                    | 16       | Не менше 3                 |

Оскільки турбокомпресори в дизелях використовують енергію відпрацьованих газів, і тим самим досягається часткове використання енергії відпрацьованих газів. Результатом чого є підвищення термічного КПД, а разом з цим і потужність дизеля.

Раціональний вибір турбокомпресора створює оптимальну систему наддуву для даного дизеля забезпечується суттєве підвищення економічності без зниження його ресурсу і надійності.

В дизелях з газотурбінним наддувом досягається часткове використання енергії відпрацьованих газів, в результаті чого підвищується термічний КПД і потужність дизеля. При умові правильного вибору турбокомпресора і системи наддуву для даного дизеля забезпечується суттєве підвищення економічності без зниження його ресурсів і надійності.

Турбокомпресор ТКР-90 складається з радіальної доцентрової газової турбіни та відцентрового одноступеневого компресора з лопатним.

Корпус турбіни виготовляють литтям із спеціального чавуна, має два вхідних канали з загальним фланцем для закріплення до вихлопному колектору.

Корпус компресора виготовлений з алюмінієвої відливки АЛ10В, має центральний вхідний патрубок і спіральний канал з вихідним патрубком.

Обидва корпуса (турбіни та компресора) кріпляться к середньому корпусу відлитому з сірого чавуну СЧ 21-40. Між фланцями корпусів встановлені прокладки з боку компресора – картонна, з боку турбіни – мідна.

Вал ротора турбокомпресора обертається у підшипнику плаваючого типу, виготовленого з бронзи Бр.ОС 10-10. Підшипник встановлений в центральній бобишці середнього корпусу з визначеним зазором. Від обертання і осьового переміщення підшипник утримується упорним фланцем.

Шар мастила в зазорі між підшипником, втулкою та центральною бобишкою середнього корпусу, що подається під тиском 294...392 кПа утворює пружну підвіску.

Колесо турбіни відлито способом точного лиття з жароміцної легованої сталі та приварено до валу ротора.

Колесо компресора відлито з алюмінієвого сплаву АЛ-4 та встановлюється на вал ротора з перехідною посадкою.

Підшипник турбокомпресора змащується мастилом, що надходить по каналу, висвердленому в середньому корпусі. Для змащування підшипника турбокомпресора мастило з мастильної магістралі двигуна надходить по трубі в мастильний фільтр. З фільтра очищене мастило надходить в турбокомпресор, а з нього зливається в картер двигуна.

### 3.2 Характеристика умов роботи та основних процесів зношування турбокомпресора і його з'єднань

Особливістю роботи турбокомпресора є те що він працює при високій частоті обертання турбіни, для турбокомпресора ТКР-90  $n=35000...95000 \text{ хв}^{-1}$ .

Наступною особливістю є робота турбіни при підвищеній температурі відпрацьованих газів – 400...700 °С, що містять хімічно активні з'єднання. Ці особливості накладають суттєвий відбиток на роботу спряжень турбокомпресора.

Так попадання абразиву разом з мастилом в підшипниковий вузол від високої частоти обертання валу турбокомпресора, веде до виходу з ладу, як самого валу, так і підшипника і отвору в бобишці середнього корпусу.

Попадання сторонніх предметів може призвести до виходу з ладу робочих коліс як турбіни так і компресора.

Термічні пошкодження, що виникають при роботі турбокомпресора можуть призвести до виникнення тріщин в корпусі турбіни.

Пошкодження ущільнення, попадання відпрацьованих газів в середній корпус веде до нагрівання підшипників і виходу їх з ладу.

До можливих аварійних пошкоджень деталей турбокомпресора слід віднести обломи у корпусах, зрив різьби на корпусах, зношення різьби під штуцер в середньому корпусі.

Усі ці дефекти та пошкодження можуть призвести до виходу турбокомпресора з ладу і експлуатація турбокомпресора при таких дефектах недопустима.

Поступовий знос у процесі експлуатації характерний для валу турбокомпресора, підшипника і центрального отвору бобишки середнього корпусу. Ці поверхні піддаються більш за все зминанню і механічному стиранню.

Робоче колесо турбіни зазнає головним чином газовій корозії. Для робочого колеса компресора більш характерним є абразивне зношення частками, що надходять разом з повітрям. Таким чином бачимо, що практично всі деталі турбокомпресора піддаються зношенню.

### 3.3 Розробка технологічного процесу розбирання турбокомпресора

Після розбирання двигуна на вузли турбокомпресор надходить на миття, а потім на ділянку модернізації турбокомпресорів. Одним з відповідальних моментів ремонту турбокомпресора є техпроцес його розбирання. Правильно розроблений техпроцес розбирання, підбір необхідного обладнання та інструментів, розрахунок оптимальних норм часу на виконання переходів розробки забезпечує якісне розбирання вузла, що дає можливість використовувати багато деталей турбокомпресора ще раз після їх відновлення.

При розбиранні турбокомпресора необхідно слідкувати за тим, щоб на деталях не було забоїн, погнутостей і надривів. Щоб запобігти пошкодженню лопаток при розбиранні турбокомпресора не треба ставити середній корпус на колесо турбіни чи компресора.

Технологічний процес розбирання турбокомпресора приведений в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2. Технологічний процес розбирання турбокомпресора.

| Найменування операцій та переходів                                                             | Обладнання                                                | Пристосування та інструмент                                | Технічні норми часу хв. |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 1                                                                                              | 2                                                         | 3                                                          | 4                       |
| 005 Розбиральна<br>1. Відвернути 8 болтів, що кріплять корпус компресора до корпусу середнього | Верстак слюсарний<br>ОКС-1740,<br>пневмогайковерт ИП-3130 | Змінна головка 12<br>ГОСТ 25604-83                         | 2,5                     |
| 2. Від'єднати корпус компресора разом з дифузором від корпусу середнього                       |                                                           | Молоток<br>ГОСТ 2310-77<br>Викрутка 250мм<br>ГОСТ 17197-81 | 0,7                     |
| 3. Відвернути 3 гвинти кріплення кришки корпусу підшипників                                    |                                                           | Викрутка 250мм<br>ГОСТ 17197-81                            | 1,8                     |
| 4. Від'єднати дифузор                                                                          |                                                           | Молоток<br>ГОСТ 2310-77<br>Викрутка 250мм<br>ГОСТ 17197-81 | 0,7                     |
| 5. Відвернути 8 болтів, що кріпляться корпус турбіни до корпусу середнього                     | Пневмогайковерт<br>ИП31-30                                | Змінна головка 12<br>ГОСТ 25604-83                         | 2,5                     |
| 6. Від'єднати корпус турбіни від корпусу середнього                                            |                                                           | Молоток<br>ГОСТ 2310-71<br>Викрутка 250мм<br>ГОСТ 17199-81 | 0,7                     |

|                                                                 |  |                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------|--|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7. Відвернути гайку колеса компресора і зняти колесо компресора |  | Ключ<br>ГОСТ 16983-80<br>Пристосування для зняття та встановлення колеса компресора | 2,0 |
| 8. Відвернути 3 гвинти кріплення кришки корпусу підшипників     |  | Викрутка 250мм<br>ГОСТ 17199-81                                                     | 1,8 |

Продовження таблиці 3.2.

| 1                                                                                     | 2 | 3                                                       | 4    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---|---------------------------------------------------------|------|
| 9. Від'єднати кришку корпусу підшипників, зняти масловідбивач з ущільнюючими кільцями |   | Викрутка 250мм<br>ГОСТ 17199-81 Молоток<br>ГОСТ 2310-77 | 0,7  |
| 10. Відвернути 3 гвинти кріплення упорного фланця                                     |   | Викрутка 250мм<br>ГОСТ 17199-81                         | 1,5  |
| 11. Зняти упорний фланець та упорну втулку                                            |   | Викрутка 250мм<br>ГОСТ 17199-81 Молоток<br>ГОСТ 2310-77 | 1,0  |
| 12. Вийняти з корпусу середнього колеса турбіни з валом                               |   | Молоток з мідним бойком                                 | 1,2  |
| 13. Зняти диск ущільнення компресора і прокладку                                      |   | Викрутка 250мм<br>ГОСТ 17199-81 Молоток<br>ГОСТ 2310-77 | 1,0  |
| 14. Вийняти упорні кільця підшипників                                                 |   | Викрутка 250мм<br>ГОСТ 17199-81                         | 2,0  |
| 15. Випресувати підшипники з середнього корпусу                                       |   | Наставка цехова<br>Молоток<br>ГОСТ 2310-77              | 2,5  |
| 16. Зняти проставку турбіни                                                           |   | Викрутка 250мм<br>ГОСТ 17199-81 Молоток<br>ГОСТ 2310-77 | 0,9  |
| 17. Вийняти ущільнюючі кільця з канавок масловідбивача і турбіни                      |   | Викрутка 250мм<br>ГОСТ 17199-81                         | 2,0  |
| Всього                                                                                |   |                                                         | 25,5 |

Після розбирання всі деталі турбокомпресора вичистити дерев'яною лопаткою від нагару, а потім промити їх у бензині.

#### 3.4 Характеристика конструктивно-технологічних особливостей вала ротора турбокомпресора

Ротор турбокомпресора – це вузол, який закріплений у підшипниках плаваючого типу у підшипниковому вузлі середнього корпусу турбокомпресора.

Конструктивно ротор турбокомпресора представляє собою конструкцію з двох коліс (турбіни та компресора) та валу. Вал одним кінцем зварений тертям з колесом турбіни. А з іншої сторони встановлюється колесо компресора з перехідною посадкою та фіксується контргайкою. Від осьових переміщень ротор утримує упорний фланець.

Колесо турбіни з лопатками виготовляють із жароміцного сплаву на нікелевій основі АНВ-300. Заготовка колеса відлита методом лиття по моделі. Хімічний склад та механічні властивості сплаву АНВ-300 приведені у таблицях 3.3 та 3.4.

Таблиця 3.3. Хімічний склад сплаву АНВ-300.

| Марка сплаву                                                                                                                                                                                                              | Масова частка елементів, в % |               |        |             |          |              |         |             |           |         |       |        |        |       |     |          |        |         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|---------------|--------|-------------|----------|--------------|---------|-------------|-----------|---------|-------|--------|--------|-------|-----|----------|--------|---------|
|                                                                                                                                                                                                                           | Вуглець                      | Хром          | Нікель | Алюміній    | Молібден | Вольфрам     | Кобальт | Титан       | Марганець | Кремній | Сірка | Фосфор | Залізо | Церій | Бор | Цирконій | Вісмут | Свинець |
|                                                                                                                                                                                                                           | не більше                    |               |        |             |          |              |         |             |           |         |       |        |        |       |     |          |        |         |
| АНВ-300                                                                                                                                                                                                                   | н.б.<br>0,1                  | 14,0-<br>17,0 | Осн.   | 4,5-<br>5,5 | -        | 7,0-<br>10,0 | -       | 1,4-<br>2,0 | 0,5       | 0,5     | 0,010 | 0,015  | -      | -     | 0,1 | -        | -      | -       |
| <p><u>Примітки:</u></p> <p>1. Бор, церій та цирконій вводяться у метал по розрахунку та хімічним аналізом не визначаються.</p> <p>2. В сплаві АНВ-300 допускається масова частка кобальту до 1,0 и молібдену до 0,5%.</p> |                              |               |        |             |          |              |         |             |           |         |       |        |        |       |     |          |        |         |

Вал ротора виготовляється зі сталі 45 ГОСТ 1050-74. Кінцева механічна обробка валу ротора та турбінного колеса виконується після їх зварювання тертям. Підшипникові шийки валу ротора загартовані струмом високої частоти на глибину 1-3 мм до твердості HRC 56-63. Зона розташування канавок під ущільнюючі кільця також загартована струмом високої частоти на глибину не менше 3 мм до твердості HRC 37-44. Після механічної обробки вал ротора разом з турбінним колесом динамічно балансується з точністю 0,15 г·см за рахунок зняття металу зі спинки колеса.

Таблиця 3.4. Механічні властивості сплаву АНВ-300

| Марка сплаву | Режим термічної обробки контрольних зразків | Механічні властивості при кімнатній температурі           |                        | При випробуванні на тривалу міцність |                                                                          |                                       |
|--------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
|              |                                             | Тимчасовий опір, Н/мм <sup>2</sup> (кгс/мм <sup>2</sup> ) | Відносне видовження, % | Температура випробування, °С         | Постійно прикладене напруження, Н/мм <sup>2</sup> (кгс/мм <sup>2</sup> ) | Час до руйнування у годинах, не менше |
| АНВ-300      | Нагрів до температури                       | -                                                         | -                      | 850                                  | 250(25)                                                                  | 60                                    |

|  |                                                                    |  |  |  |  |  |
|--|--------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|
|  | 1120±10° С,<br>витримка 10<br>годин,<br>охолодженн<br>я на повітрі |  |  |  |  |  |
|--|--------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|

Примітки:

1. Зразки від кожної 10 плавки, що не зруйнувалися не протязі вказаного часу, знімають через 10 годин після закінчення контрольного часу, а від кожної 30 плавки - доводять до руйнування.

2. Допускається поставка сплаву АНВ-300 без визначення механічних властивостей на заводі-постачальнику, при цьому завод-постачальник гарантує показники механічних властивостей у відповідності до встановлених нормами в табл.2.4.

Колесо компресора встановлюється на валу з перехідною посадкою (максимальний натяг 0,006 мм, максимальний зазор 0,025 мм). Колесо компресора з лопатками виготовлено із алюмінієвої відливки (АЛ4 ГОСТ 1583-93, хімічний склад, технічні та механічні характеристики відповідно у таблицях 3.5., 3.6. та 3.7.) та піддається штучному старінню до твердості НВ 70. Зі сторони входу повітря маточина колеса має по зовнішній поверхні кільцеву канавку під зйомник. Після механічної обробки колесо компресора динамічно балансується. Метал при балансуванні знімають зі спинки, бобишки та лопаток. Колесо компресора встановлюють на вал ротора у нагрітому стані (до 100° С) та закріплюють спеціальною контргайкою, яка виготовлена зі сталі 40Х. Момент затягування складає 4 кг·м. Після цього ротор в зборі ще раз балансується з точністю 0,15 г·см.

Таблиця 3.5. Хімічний склад сплаву АЛ4.

| Кремній               | Марганець           | Залізо | Алюміній                  | Мідь       | Свинець     | Берилій | Магній                     | Олово       | Цинк       |
|-----------------------|---------------------|--------|---------------------------|------------|-------------|---------|----------------------------|-------------|------------|
| від 8%<br>до<br>10.5% | від 0.2%<br>до 0.5% | до 1%  | від 87.2%<br>до<br>91.63% | до<br>0.1% | до<br>0.05% | до 0.1% | від<br>0.17%<br>до<br>0.3% | до<br>0.01% | до<br>0.2% |

Таблиця 3.6. Технічні характеристики сплаву АЛ4.

| Марка сплаву               | АЛ4                                          |
|----------------------------|----------------------------------------------|
| Густина, кг/м <sup>3</sup> | 2710                                         |
| Застосування               | деталі відливні середніх та крупних розмірів |
| Модуль пружності, МПа      | 71                                           |
| Модуль здвигу, МПа         | 270                                          |

Таблиця 3.7. Механічні характеристики сплаву АЛ4.

| Стан                 | σ-B, МПа | σ-T, МПа | ξ, % | δ, % | НВ |
|----------------------|----------|----------|------|------|----|
| без термообробки     | 290      | 160      | 2    | н/д  | 30 |
| гартування, старіння | 260      | 200      | 4    | н/д  | 70 |

### 3.5 Аналіз причин зношування вала ротора

Вал ротора являє собою деталь, яка складається з вала і турбіни з'єднаних між собою зварюванням тертям.

Вал працює в умовах гідроабразивного зношування при швидкості ковзання близько 40м/с і високих питомих навантажень. На лопатки турбіни впливають вихлопні гази, температура, яких становить близько 700 °С.

Основними дефектами є:

1. Тріщини або злами на колесі турбіни.

Виникають при влученні сторонніх предметів на колесо в процесі роботи турбіни.

2. Погнутість, сліди натирів на лопатках.

Виникають при зношуванні посадочних місць під підшипник ковзання, у результаті биття колеса турбіни.

3. Ушкодження різьби.

Виникає при неправильному загвинчуванні гайки, при ударах по різьбовій поверхні.

4. Зношування канавок під ущільнювальні кільця до ширини більше 1,94 мм.

Виникає при дії гідроабразивних часток, які попадають у сполучення й під дією пластичних мікродеформацій поверхонь тертя.

5. Зношування опорних поверхонь під підшипник до діаметра менш 17,91мм під дією гідроабразивного зношування поверхонь.

6. Вигин вала.

Відбувається при неправильному розбиранні й складанні при аварійній перерві.

7. Зношування поверхні вала під колесо компресора й масловідбивач до діаметра більше 9,99 мм. Зношування поверхні відбувається під дією високих навантажень і фретингів.

### 3.6 Вплив основних зносів вала ротора на технічний стан спряжень і якість роботи турбокомпресора

Турбокомпресор є дуже швидкохідною машиною (частота обертання вала досягає  $750 \text{ c}^{-1}$ ), що працює в умовах підвищених температур. Крім того, багато деталей турбокомпресора, зокрема, ротор турбіни, працює в середовищі агресивних газів. Тому будь-які пошкодження його деталей, зокрема, ротора і вала турбіни дуже відчутно позначаються на працездатності турбокомпресора.

Так ушкодження поверхонь під підшипники може привести до заклинювання валу ротора і як наслідок, до виходу турбокомпресора з ладу. Вигин валу ротора компресора, при неправильному складанні, також може привести до його заклинювання.

Сліди зачіпання поверхні R 19,5 мм колесом турбіни приводить до збільшення шорсткості поверхні, зниженню швидкості робочих газів, росту аеродинамічного опору газового каналу, що веде до втрат продуктивності турбокомпресора.

Знос канавок під ущільнюючі кільця, а також будь-які тріщини у турбіні ведуть до проникнення агресивних газів за межі двигуна.

### 3.7 Технологічний процес дефектування валу ротора

Дефектування – технологічний процес характерний для ремонтного виробництва і призначене для визначення технічного стану деталей, що надходять в ремонт з метою виявлення можливості їхнього безпосереднього використання для збирання машин або ж напрямку деталі на відновлення чи в утиль.

Визначається технологічний стан деталі на спеціально обладнаних місцях дефектувальників. Робочі місця обладнуються спеціальними пристосуваннями і вимірювальними інструментами. В умовах ремонтних підприємств при порівняно невеликих програмах ремонту застосовується як спеціальний, так і універсальний вимірювальний і контрольний інструмент.

Технологічний процес дефектування вала ротора приведений в табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – Технологічний процес дефектування вала ротора

| Найменування операцій та переходів                                                                                                           | Спосіб дефектування та інструмент        | Розмір                 |                        |                        | Заключення |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------|
|                                                                                                                                              |                                          | номінал.               | допустимий без ремонту | допустимий для ремонту |            |
| Дефектування: контролювати:<br>1. Тріщини або злами на колесі турбіни.<br>2. Погнутість, сліди натирів на лопатках.<br>3. Ушкодження різьби. | Візуально                                | не допуск.             | -                      | -                      | невідновл. |
|                                                                                                                                              | Візуально                                | не допуск.             | -                      | -                      | невідновл. |
|                                                                                                                                              | Візуально                                | не допуск.             | -                      | -                      | ремонт.    |
| 4. Знос опорних поверхонь під підшипник                                                                                                      | Мікрометр МК25-1 ГОСТ 166-80             | $20^{+0,015}_{+0,002}$ | $20_{-0,5}$            | $19 \pm 0,015$         | ремонт.    |
| 5. Вигин вала.                                                                                                                               | Індикатор ИЧ-10Бкл1 ГОСТ 166-80          | 0,05 на радіусі        | 0,1                    | 0,15                   | ремонт.    |
| 6. Знос поверхні вала під колесо компресора і масловідбивач                                                                                  | Штангенциркуль ШЦ-5-125-0,05 ГОСТ 166-80 | $10^{+0,1}_{+0,05}$    | $9^{+0,55}_{+0,25}$    | $9^{+0,15}_{-0,25}$    | ремонт.    |

### 3.8 Характеристика дефектів, складання технологічних маршрутів відновлення деталі

Аналізуючи всі можливі дефекти, що з'являються на валу ротора, дійдемо висновку, що частина дефектів стосовних до аварійного стану деталі, які включають, як правило, наступні дефекти: поява обломів і тріщин. Але слід відмітити, що ці дефекти з'являються не настільки часто, як інші, хоча значно частіше чим звичайно з'являються дефекти такого роду.

Знос же поверхні на радіусі R 19,5 мм, знос отворів під штифт, знос канавок спостерігаються практично в будь-якій деталі.

Частоту зустрічі основних дефектів вставки турбіни приводимо в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Частість зустрічальності основних дефектів вала ротора

| Найменування дефекта                                         | Частість зустрічальності дефекту | Годні деталі, які мають дефект для ремонту, % |
|--------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1. Тріщини або злами на колесі турбіни.                      | 0,1                              | 15                                            |
| 2. Погнутість, сліди натирів на лопатках.                    | 0,1                              | 15                                            |
| 3. Ушкодження різьби.                                        |                                  |                                               |
| 4. Знос опорних поверхонь під підшипник.                     | 0,5                              | 70                                            |
| 5. Вигин вала.                                               | 0,75                             | 90                                            |
| 6. Знос поверхні вала під колесо компресора і масловідбивач. |                                  |                                               |
|                                                              | 0,3                              | 45                                            |
|                                                              | 0,65                             | 70                                            |

Виходячи з того, що на відновлення надходять деталі з різними наборами зносів тобто, власне кажучи, різні заготовки в ремонтному виробництві широко використовується маршрутна технологія відновлення деталей. Сутність маршрутної технології полягає в тім, що на кожную групу деталей, що відрізняються одна від одної різними сполученнями дефектів, розробляється свій технологічний процес відновлення. Технологія відновлення деталей по маршрутах різна і може відрізнятися як наявністю певних операцій так і порядком їхнього виконання. При розробці маршрутів в один маршрут попадають деталі з подібними дефектами або ж з дефектами, відновлюваними тим самим способом.

У таблиці 3.10 представлений перелік маршрутів і сполучення дефектів вала ротора турбокомпресора, що входять в кожен маршрут.

Таблиця 3.10 – Маршрути ремонту вала ротора турбокомпресора.

| Маршрути<br>Перелік дефектів              | Маршрут №1 | Маршрут №2 | Маршрут №3 | Маршрут №4 |
|-------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| 1. Тріщини або злами на колесі турбіни.   | +          | -          | +          | -          |
| 2. Погнутість, сліди натирів на лопатках. | -          | -          | +          | +          |
| 3. Ушкодження різьби.                     | +          | +          | +          | +          |
| 4. Знос опорних поверхонь під підшипник.  | -          | +          | +          | -          |

|                                                              |   |   |   |   |
|--------------------------------------------------------------|---|---|---|---|
| 5. Вигин вала.                                               | + | + | + | + |
| 6. Знос поверхні вала під колесо компресора і масловідбивач. | - | + | + | - |

Найбільша кількість деталей, що надходять в ремонт, необхідно відновлювати за маршрутом №3. Тому в дійсному проекті. будемо розробляти технологію відновлення вала ротора по маршруту №3.

### 3.9 Обґрунтування вибору раціонального способу відновлення деталі

Відновлення зношених деталей забезпечує їх тривалий терміни служби, знижує витрати запасних частин, матеріальних витрат і трудових ресурсів. Існує велика кількість сучасних способів відновлення деталей. При цьому згідно загальних вимог стандартів надійність відновлених деталей повинна складати не менше 80 % від надійності нових деталей. В теперішній час розроблено і використовується на виробництві велика кількість сучасних високоефективних способів відновлення деталей.

Методика вибору способів відновлення деталей машин, що пропонується базується на відомій методиці, основні принципи якої розроблені доктором технічних наук М.А.Масіно, в основу якої покладені критерії, розглянуті проф. В.А.Шадрічевим. Сутність методики, що рекомендується полягає в наступному. Розглядають різні потенційно можливі способи відновлення, що відповідають критерію застосування і вибирають ті, що забезпечують необхідний ресурс відновлюваної деталі, тобто відповідають необхідному значенню надійності, продуктивності і економічності. Загальна методика вибору способів відновлення деталей містить частині методики визначення чисельних значень коефіцієнтів застосування, надійності, продуктивності і відносної економічності, ефективності.

Раціональний метод відновлення деталі визначають використовуючи критерії:

$K_T$  – застосовності;

$K_d$  – довголіття;

$K_{ef}$  – ефективності.

Критерій застосовності дозволяє з усього розмаїття методів відновлення вибрати 3...5 найбільш придатних з технічної точки зору. Якщо одна з характеристик відновлюваної деталі не відповідає технологічним можливостям способу, то він не може бути використаний, тобто  $K_T=0$ . Якщо ж технічні характеристики відновлюваної деталі не виключають можливість його застосування і до того ж є великий виробничий та експлуатаційний досвід його використання,  $K_T=1$ .

Критерій довголіття залежить від трьох коефіцієнтів:

$K_z$  – зносостійкості;

$K_v$  – витривалості;

$K_{зч}$  – зчеплення.

Важливими критеріями, що визначають спосіб відновлення, який буде обрано, є критерії продуктивності та техніко-економічної ефективності.

З усього розмаїття методів спочатку обирають декілька, які б могли конкурувати між собою по критерію застосовності. В даному випадку це:

1. електроконтактне наплавлення (ЕКН);
2. наплавлення в середовищі захисних газів (НСЗГ);
3. ручне електродугове наплавлення (РЕДН);
4. метод ремонтних розмірів (ДРР).

Для вибору раціонального методу відновлення для кожного з обраних методів потрібно виписати коефіцієнти, що чисельно характеризують якість відновлення поверхні та техніко-економічну ефективність. Значення цих коефіцієнтів зведено у таблицю 3.11.

Таблиця 3.11 - Значення критеріїв для вибору методу відновлення

| Назва способу | Коефіцієнт застосування | Коефіцієнт довголіття | Коефіцієнт продуктивності | Коефіцієнт техніко-економічної ефективності |
|---------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------------------------|
| ЕКН           | 0,7                     | 0,6                   | 1,5                       | 1,6                                         |
| НСЗГ          | 0,5                     | 0,8                   | 1,7                       | 0,4                                         |
| РЕДН          | 0,25                    | 0,7                   | 1,0                       | 1,0                                         |
| РР            | 0,9                     | 0,9                   | 1,3                       | 0,35                                        |

Аналізуючи дані, наведені в таблиці 3.11. видно, що найбільш продуктивним способом відновлення валу ротора є електроконтактне наплавлення, яке до того ж має деякі інші показники з досить високими значеннями, порівняно з іншими методами.

Згідно вибраного технологічного маршруту і способу відновлення, пошкоджену різьбу відновлюємо до номінального розміру виправленням забитих ниток різьби нарізанням плашкою.

Зношені поверхні під підшипник ковзання відновлюємо до номінального розміру електроконтактним приварюванням дроту на зношену поверхню з наступним шліфуванням поверхні під номінальний розмір.

Вал, при вигині менш 0,03 мм правимо до усунення вигину. Зношену поверхню вала під колесо компресора і втулку відновлюємо до номінального розміру електроконтактним приварюванням дроту і шліфуванням до номінального розміру.

### 3.10 Розробка структурної послідовності технологічного процесу відновлення вала ротора

Структурна послідовність технологічного процесу передбачає його розчленовування на операції і переходи з наведенням їх змісту і послідовності виконання.

Правильний вибір переліку операцій їх послідовності і режимів виконання дозволить реалізувати всі переваги пропонованого способу відновлення і забезпечити необхідну якість відновлення.

В таблиці 3.12 представлений перелік операцій відновлення вала ротора турбокомпресора і їх зміст

Таблиця 3.12 – Технологічний процес відновлення вала ротора турбокомпресора

| Найменування операції | Зміст операції                                                              |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 005 Дефектувальна     | Визначити технічний стан валу ротора.                                       |
| 010 Токарна           | Контролювати й правити базові поверхні.                                     |
| 015 Слюсарна          | Правити вигин вала.                                                         |
| 020 Токарна           | Точити поверхні під підшипники, колесо компресора і втулку.                 |
| 025 Наплавлювальна    | Наплавити дріт на поверхні вала під підшипники, колесо компресора і втулку. |
| 030 Шліфувальна       | Шліфувати поверхні під підшипники, колесо компресора і втулку.              |
| 035 Слюсарна          | Виправити зім'яті нитки різьби M10×1,25-6g.                                 |
| 040 Балансувальна     | Балансувати ротор у зборі з точністю 0,15 г·см                              |
| 045 Контрольна        | Контролювати якість відновленої деталі                                      |

3.11 Обґрунтування вибору технологічного обладнання, ріжучого та вимірювального інструменту

Основним принципом при виборі необхідного обладнання є технологічна та економічна доцільність використання того чи іншого верстата в умовах даного виробництва. В умовах серійного виробництва як правило використовують універсальне обладнання, що дозволяє виконувати необхідний обсяг робіт при мінімальній кількості робочих місць.

При виборі обладнання слід керуватися наступними принципами:

1. Узгодженість технологічного обладнання та технологічних операцій;
2. Узгодженість розмірів робочої зони верстата з габаритами оброблюваної деталі;
3. Велика продуктивність виконання операції при мінімальній собівартості їх виконання.
4. Узгодженість продуктивності обладнання річній програмі відновлення деталей.

При виборі ріжучого інструменту слід обирати такий, використання якого дасть змогу задовольнити технічні вимоги на оброблювані поверхні деталі.

Вибір вимірювального інструменту залежить перш за все від того, чи зможе робітник використовуючи його забезпечити необхідну точність вимірювання за умови високої продуктивності.

Керуючись приведеними вище принципами здійснюють вибір необхідного обладнання, ріжучого та вимірювального інструмента, необхідних при відновленні вала ротора.

Вибране технологічне обладнання приведено в таблиці 3.13.

Таблиця 3.13 Технологічне обладнання, ріжучий та вимірювальний інструмент, необхідний для відновлення вала ротора.

| Назви операцій, найменування та марки технологічного обладнання та його коротка характеристика.                                                                                                       | Найменування пристосування та ріжучого інструменту.     | Найменування та марки вимірювального інструмента                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                                                                                                                                                                     | 2                                                       | 3                                                                                                                    |
| 005 Дефектувальна<br>Стіл дефектувальника<br>ОРГ-1468-01-060А                                                                                                                                         |                                                         | Мікрометр МК25-1<br>ГОСТ 166-80<br>Індикатор ИЧ-10Бкл1<br>ГОСТ 166-80<br>Штангенциркуль ШЦ-5-125-0,05<br>ГОСТ 166-80 |
| 010 Токарна<br>Верстат токарно-гвинторізний 16К20.<br>n=30...3000 об/хв<br>S <sub>прод</sub> =0,01...0,175мм/об<br>S <sub>поп</sub> =0,005...0,09 мм/об<br>N=1,5 кВт<br>Габарити:<br>1510×725×1360 мм | Зенковка 235 3 – 002,<br>Різець проточний<br>2141-0056, | Штангенциркуль ШЦ-5-125-0,05<br>ГОСТ 166-80                                                                          |
| 015 Слюсарна<br>Пресс П-6324                                                                                                                                                                          | центра 7032 - 0043;<br>пристосування для<br>правки;     | Індикатор ИЧ-10Бкл1<br>ГОСТ 166-80                                                                                   |

Продовження таблиці 3.13

| 1                                                                                                                                                                                                     | 2                                                   | 3                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 015 Слюсарна<br>Пресс П-6324                                                                                                                                                                          | центра 7032 - 0043;<br>пристосування для<br>правки; | Індикатор ИЧ-10Бкл1<br>ГОСТ 166-80           |
| 020 Токарна<br>Верстат токарно-гвинторізний 16К20.<br>n=30...3000 об/хв<br>S <sub>прод</sub> =0,01...0,175мм/об<br>S <sub>поп</sub> =0,005...0,09 мм/об<br>N=1,5 кВт<br>Габарити:<br>1510×725×1360 мм | Різець 2103 - 0057<br>Т15К6, поводок                | Штангенциркуль ШЦ-5-125-0,05<br>ГОСТ 166-80  |
| 025 Наплавлювальна<br>Установка для індукційного<br>наплавлення дроту Мод. 011-1-02                                                                                                                   | Дріт ПК-2, ГОСТ<br>9389-75                          | Штангенциркуль ШЦ-5-125-0,05,<br>ГОСТ 166-80 |
| 030 Шліфувальна<br>Круглошліфувальний верстат 3Б151                                                                                                                                                   | круг<br>ПП600×25×305 241                            | Мікрометр МК25-1<br>ГОСТ 166-80              |

|                                                                                                                                                                                                                                                 |                              |                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $n_{кр} = 1910 \text{ об/хв}$<br>$n_3 = 100 \dots 950 \text{ об/хв}$<br>$N = 1,1 \text{ кВт}$                                                                                                                                                   | 10 ПС 27к 53,5м/с<br>1кл. А. | Штангенциркуль ШЦ-5-125-0,05<br>ГОСТ 166-80                                                                          |
| 035 Слюсарна<br>Верстат токарно-гвинторізний 16К20.<br>$n = 30 \dots 3000 \text{ об/хв}$<br>$S_{прод} = 0,01 \dots 0,175 \text{ мм/об}$<br>$S_{поп} = 0,005 \dots 0,09 \text{ мм/об}$<br>$N = 1,5 \text{ кВт}$<br>Габарити:<br>1510×725×1360 мм | Плашка 2650-1765<br>6g       |                                                                                                                      |
| 040 Балансувальна<br>Динамічна балансувальна машина<br>ДБ-50А,                                                                                                                                                                                  | напилек слюсарний            |                                                                                                                      |
| 045 Контрольна<br>Стіл дефектувальника<br>ОРГ-1468-01-060А                                                                                                                                                                                      |                              | Мікрометр МК25-1<br>ГОСТ 166-80<br>Індикатор ИЧ-10Бкл1<br>ГОСТ 166-80<br>Штангенциркуль ШЦ-5-125-0,05<br>ГОСТ 166-80 |

### 3.12 Вибір установочних баз

Під базовою поверхнею розуміють таку поверхню, замінюючи яку на вісі, точки деталі або збіральної одиниці, по відношенню до яких орієнтуються інші поверхні деталі що обробляються або поверхні деталей, що з'єднуються в збіральну одиницю в даній операції .

Зазвичай за призначенням бази класифікуються поділяються на технологічні, вимірювальні, конструкторські.

Зазвичай під технологічною базою розуміють таку поверхню деталі, яка орієнтує інші поверхні деталі, що обробляються у просторі. Це також стосується щодо положення деталі в складальній одиниці в процесі збирання.

При виборі установчих баз потрібно дотримуватися їх простоти, тобто входження меншої кількості базуючих поверхонь. За цим стоїть простота й дешевизна пристосування для закріплення деталі на верстаті. Але не забуваємо й про технологію обробки, коли потрібно обробити поверхню, а для цього так чи інакше потрібно заbazувати деталь

Як базові поверхні при механічній обробці й наплавленні вала ротора приймаємо центрові отвори, які були базовими і при виготовленні деталі.

Для закріплення вала ротора в центрах токарного верстата при відновленні зношених поверхонь вала необхідно використовувати поводок.

### 3.13 Розрахунок і вибір режимів технологічних операцій і розрахунок технічних норм часу їх виконання

Однією з найважливіших умов якісного виконання операцій є правильний вибір режимів їх виконання. При виборі завищених режимів знижується час виконання операцій, росте

продуктивність, але разом з тим виростає товщина дефектного шару металу, ростуть внутрішні напруження, що надалі позначається на працездатності деталі самим невідповідним образом. З іншої сторони завищені режими не дозволяють реалізувати наявні резерви устаткування й обробного інструмента, що веде до падіння продуктивності і погіршенню техніко- економічних показників. Все сказане справедливо і при виборі і розрахунку часу виконання операцій.

Бачимо, що вибір і розрахунок режимів виконання технологічних операцій і розрахунок технічних норм часу один з найважливіших моментів розробки технологічного процесу, вимагають ретельного підходу.

При розрахунку і виборі режимів виконання технологічних операцій керуємося рекомендаціями [7, 8, 9].

Розрахунок технічних норм часу будемо робити відповідно до рекомендацій, приведеними в [9].

Технічна норма часу виконання операцій визначається за формулою [8, 9]:

$$T_n = T_o + T_{\text{доп}} + T_{\text{дод}},$$

де  $T_n$  – технічна норма часу, хв;

$T_o$  – основний час виконання операцій, хв;

$T_{\text{доп}}$  – допоміжний час виконання операцій, хв;

$T_{\text{дод}}$  – додатковий час на операційно-технічні заходи щодо обслуговування робочих місць і часу фізіологічної перерви:

$$T_{\text{дод}} = \frac{T_{\text{оп}} \cdot k}{100},$$

де  $T_{\text{оп}}$  – оперативний час, визначається по формулі:

$$T_{\text{оп}} = T_o + T_{\text{доп}}.$$

$k$  – інший додатковий час від оперативного [9].

005 Дефектувальна

Визначити технічний стан базових поверхонь і стан різьби  $T_o=0,3\text{хв}$ ,  $T_d=0,2\text{хв}$ .

Визначити технічний стан поверхні вала під підшипники, колесо компресора і втулку  $T_o=0,4\text{ хв}$ ,  $T_d=0,2\text{хв}$ .

Визначити радіальне биття валу ротора  $T_o=0,5\text{хв}$ ,  $T_d=0,5\text{хв}$ .

Тоді оперативний час визначається як [7]

$$T_{\text{оп}}=T_o+T_d$$

де  $T_o$  – основний час, хв.;

$T_d$  – допоміжний час, хв..

$$T_{\text{оп}}=(0,3+0,4+0,5)+(0,2+0,2+0,5)=2,1\text{хв}$$

Додатковий час

$$T_{\text{дод}} = \frac{T_{\text{оп}} \cdot k}{100},$$

де  $k$  – процентне відношення додаткового часу до оперативного  $k=5\%$ .

$$T_{\text{дод}} = \frac{2,1 \cdot 5}{100} = 0,11$$

підготовчо-заклучний час  $T_{\text{пз}}=5\text{хв}$  [7]

Тоді технічна норма часу

$$T_n = T_{on} + T_{доо} + \frac{T_{пз}}{n} = 2,1 + 0,11 + \frac{5}{3600} = 2,2 \text{ хв.}$$

010 Токарна

Зенкувати торець різьбової частини Ø 10 мм і торець турбіни на довжину 2 мм. Швидкість різання попередньо приймаємо  $V=17$  м/хв. Подача  $S=0,2$  мм/об.

Звідси

$$V_p = V_{p.пр} \cdot K_M \cdot K_x \cdot K_{тр} \cdot K_{оп},$$

де  $K_M=0,77$  – коефіцієнт який залежить від марки обробітку матеріалу;

$K_x=0,8$  – коефіцієнт який залежить від характеру заготовки;

$K_{пр}=1$  – коефіцієнт який залежить від матеріалу ріжучої частини;

$K_{оп}=1,25$  коефіцієнт який залежить від застосування СОЖ;

$$V_p = 17 \cdot 0,77 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1,25 = 13,1 \text{ м/хв.}$$

Тоді частоту обертання шпинделя приймаємо  $n=300$  об/хв.

Зенкувати вал ротора з двох сторін. Довжина різання дорівнює:

$$L = l_p + l_n + l_{вр},$$

де  $l_n=2$  – довжина конуса;

$l_{вр}=2$  – довжина врізання;

$$L = 2 + 2 + 2 = 6 \text{ мм.}$$

$$T_o = 4,5 / 0,2 \cdot 300 = 0,08 \text{ хв.} \quad T_d = 1,2 \text{ хв.} \quad T_{доо} = 1,28 \cdot 6 / 100 = 0,08 \text{ хв.}$$

$$T_n = 0,08 + 0,08 + 1,2 = 1,36 \text{ хв.}$$

015 Слюсарна

Правити вигин вала

Використовувати пристосування для правки і гідравлічний прес

Для правки, деталь встановити у пристосування, зафіксувати і шляхом повертання виставити у положення, що відповідає верхньому положенню кривини вала.

Потім визначити кривину валу і використовуючи прес виконати правку вала ротора.

При цьому норми часу на виконання технологічної операції будуть наступні:

Операційний час на визначення кривини валу складає

$$T_o = 0,8 \text{ хв.}$$

Допоміжний час

$$T_e = 0,35 \text{ хв.}$$

Тоді :

$$T_{on} = 0,8 + 0,35 = 1,15 \text{ хв.}$$

Додатковий час:

$$T_{доо} = \frac{T_{on} \cdot K_{ум}}{100} = \frac{1,15 \cdot 9}{100} = 0,1 \text{ хв.};$$

де  $K_{ум} = 9$  хв. – відсоток додаткового часу від  $T_{on}$  при пресових роботах.

Тоді технічна норма часу на слюсарну операцію складе:

$$T_n = 1,15 + 0,12 = 1,25 \text{ хв.}$$

020 Токарна

Припуск на обробку при точінні

$$h_1 = \frac{21-19}{2} = 1 \text{ мм.} \quad h_2 = \frac{11-9}{2} = 1 \text{ мм.}$$

Подача при точінні (табл. 9 [6])

$$S = 0,25 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо швидкість різання  $V = 40 \text{ м/хв.}$

Визначаємо кількість обертів деталі

$$n_1 = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d_1} = \frac{1000 \cdot 40}{3,14 \cdot 21} = 606,6 \text{ об/хв.} \quad n_2 = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d_2} = \frac{1000 \cdot 40}{3,14 \cdot 9} = 1415,4 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо найближчі по паспорту верстата оберти:

$$n_1 = 600 \text{ об/хв.,} \quad n_2 = 1400 \text{ об/хв.}$$

Дійсна швидкість розточування:

$$v_{d1} = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n_1}{1000} = \frac{3,14 \cdot 21 \cdot 600}{1000} = 39,6 \text{ м/хв.}$$

$$v_{d2} = \frac{\pi \cdot d_2 \cdot n_2}{1000} = \frac{3,14 \cdot 9 \cdot 1400}{1000} = 39,6 \text{ м/хв.}$$

Основний час визначаємо за формулою:

$$T_o = \frac{L \cdot i}{n \cdot S},$$

де  $L$  — розрахункова довжина поверхні, що обробляється, з розрахунком врізання і перебігу, мм;

$$L = l + y,$$

де  $l$  — довжина деталі, що обробляється, мм;

$y$  — величина врізання і перебігу, мм; приймаємо з [ ];  $y = 3 \text{ мм.}$

$$L_1 = 29 \text{ мм.}$$

$$L_2 = 21 \text{ мм.}$$

$$L_1 = 48 \text{ мм.}$$

$$L_2 = 39 \text{ мм;}$$

$$L_{3a} = 21 \text{ мм;}$$

$$L_{3б} = 21 \text{ мм.}$$

$$T_{o1} = \frac{L_1 \cdot i}{n_1 \cdot S} = \frac{29 \cdot 1}{600 \cdot 0,25} = 0,19 \text{ хв.} \quad T_{o2} = \frac{21 \cdot 1}{600 \cdot 0,25} = 0,14 \text{ хв.}$$

$$T_{o3} = \frac{48 \cdot 1}{1400 \cdot 0,25} = 0,14 \text{ хв.}$$

Тоді

$$T_o = 0,19 + 0,14 + 0,14 = 0,47 \text{ хв.}$$

Допоміжний час, пов'язаний з переходом згідно довідникових даних:

$$T_{дон} = 3 \text{ хв.}$$

Оперативний час:

$$T_{он} = T_o + T_{дон} = 0,47 + 3,0 = 3,47 \text{ хв.}$$

Додатковий час:

$$T_{доо} = 0,15 \cdot T_{он} = 0,15 \cdot 3,47 = 0,52 \text{ хв.}$$

Підготовчо-заключний час [    ]:

$$T_{нз} = 7 \text{ хв.}$$

Норма часу на операцію:

$$T_n = 3,47 + 0,52 = 3,99 \text{ хв.}$$

025 Наплавлювальна

Режими наплавлення поверхонь вала під підшипники ковзання й колесо компресора приймаємо.

Діаметр дроту  $d_n = 1,6 \text{ мм.}$

Сила струму наплавлення  $I = 7,2 \text{ кА.}$

Тривалість імпульсів  $f_i = 0,04 \text{ с.}$

Тривалість пауз  $f_{п} = 0,06 \text{ с.}$

Тиск на електрод  $P_p = 1,3 \text{ кН.}$

Швидкість наплавлення  $V_n = 1,8 \text{ м/хв.}$

Подача  $S = 3,8 \text{ мм/об.}$

Визначаємо число обертів шпинделя верстата

$$n_d = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d} \text{ об/хв.}$$

При  $d=19 \text{ мм.}$

$$n_{d1} = \frac{1000 \cdot 1,8}{3,14 \cdot 19} = 30,2 \text{ об/хв.}$$

Для поверхні під колесо компресора

При  $d=9 \text{ мм.}$

$$n_{d2} = \frac{1000 \cdot 1,8}{3,14 \cdot 9} = 63,7$$

Приймаємо найближчі по паспорту верстата оберти:

$$n_{d1} = 30 \text{ об/хв.} \quad n_{d2} = 65 \text{ об/хв.}$$

Дійсна швидкість наварювання:

$$v_{d1} = \frac{\pi \cdot d \cdot n_{d1}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 19 \cdot 30}{1000} = 1,79 \text{ м/хв.}$$

$$v_{d2} = \frac{\pi \cdot d \cdot n_{d2}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 9 \cdot 65}{1000} = 1,84 \text{ м/хв.}$$

Основний час визначаємо за формулою:

$$T_o = \frac{L \cdot i}{n \cdot S}$$

де  $L$  — довжина поверхні, яка наплавляється, мм;

$i$  — кількість проходів;

$S$  — поздовжня подача, мм/об;

а) для поверхні під 1 підшипник

$$T_{o1} = \frac{26 \cdot 1}{30 \cdot 2} = 0,43 \text{ хв.}$$

б) для поверхні під 2 підшипник

$$T_{o2} = \frac{18 \cdot 1}{30 \cdot 2} = 0,3 \text{ хв.}$$

в) для поверхні під колесо компресора

$$T_{o3} = \frac{45 \cdot 1}{65 \cdot 2} = 0,36 \text{ хв.}$$

Загальний основний час:

$$T_o = T_{o1} + T_{o2} + T_{o3} = 0,43 + 0,3 + 0,36 = 1,1 \text{ хв.}$$

Допоміжний час:

а) на установку і зняття деталі, з таблиці 108 [    ]:  $T_{don1} = 1,4 \text{ хв.}$

б) пов'язаний з наплавленням:  $T_{don2} = 3 \cdot 1,0 = 3 \text{ хв.}$

Загальний допоміжний час за формулою (2.14)

$$T_{don} = 1,4 + 3 = 4,4 \text{ хв.}$$

Оперативний час:

$$T_{on} = T_o + T_{don} = 1,1 + 4,4 = 5,5 \text{ хв.}$$

Додатковий час:

$$T_{dod} = 0,15 \cdot T_{on} = 0,15 \cdot 5,5 = 0,83 \text{ хв.}$$

Підготовчо-заклучний час [    ]:

$$T_{nz} = 16 \text{ хв.}$$

Норма часу на операцію:

$$T_n = 6,33 + \frac{16}{100} = 6,49 \text{ хв.}$$

030 Шліфувальна

Припуск на шліфування визначаємо по формулі

$$h = \frac{D-d}{2} = \frac{21-20}{2} = 0,5 \text{ мм.}$$

Для чорнового шліфування поперечну подачу приймаємо по таблиці 84;  $S_{\text{попер}} = 0,012 \text{ мм/об.}$  Поздовжню подачу приймаємо по таблиці 85;  $S_{\text{прод}} = 0,50 \text{ мм.}$

Для чистової обробки значення подачі приймаємо по таблиці 86;  $S_{\text{попер}} = 0,005 \text{ мм.}$ ,  $S_{\text{прод}} = 0,20 \text{ мм.}$   $V_{\text{окр}} = 20 \text{ м/мм}$

Число проходів визначаємо по формулі

$$i = \frac{h}{t},$$

де  $t$  - поперечна подача, мм

$$i_{\text{чорн}} = \frac{0,12}{0,012} = 10 \text{ проходів}$$

$$i_{\text{чист}} = \frac{0,02}{0,005} = 4 \text{ проходи}$$

Поздовжню подачу перераховуємо в частках ширини шліфувального кола по формулі

$$S_{\text{пр}} = B_k \cdot \beta$$

де  $B_k$  - ширина шліфувального кола, мм;

$\beta$  - поздовжня подача в частках ширини кола.

$$S_{\text{пр черн}} = 10 \cdot 0,5 = 5,0 \text{ мм}$$

$$S_{\text{пр чистий}} = 10 \cdot 0,2 = 2,0 \text{ мм}$$

Значення колових швидкостей обертання вибираємо по таблиці 87 й 88

$$V_{\text{кол черн}} = 16 \text{ м/хв.}$$

$$V_{\text{кол чистий}} = 25 \text{ м/хв.}$$

Число обертів деталі визначаємо по формулі

$$n = \frac{318 \cdot v}{d}$$

$$n_{\text{черн}} = \frac{318 \cdot 16}{21} = 242 \text{ об/хв.}$$

$$n_{\text{чист}} = \frac{318 \cdot 25}{20} = 397,5 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо паспортне число обертів шпинделя  $n_{\text{чорн}} = 250 \text{ об/хв.}$ ,  $n_{\text{чист}} = 400 \text{ об/хв.}$  Для поверхні під колесо компресора

$$n_{\text{черн}} = \frac{318 \cdot 16}{11} = 462 \text{ об/хв.}$$

$$n_{\text{чист}} = \frac{318 \cdot 25}{10} = 795 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо  $n_{\text{чорн}}=450$  об/хв,  $n_{\text{чист}}=800$  об/хв.

Основний час розраховуємо по формулі

$$T_o = \frac{L \cdot i}{n \cdot S_{\text{пр}}} k_s$$

де  $L$  - довжина оброблюваної поверхні з урахуванням врізання і перебіги шліфувального кола, мм;

$n$  - число обертів у хвилину;

$i$  - число проходів;

$S_{\text{пр}}$  - поздовжня передача, мм/об;

$k_s$  - коефіцієнт зачисних ходів (1,2 - 1,7).

Довжину обробленої поверхні розраховуємо

$$L=l+y$$

де  $l$  - довжина оброблюваної поверхні;

$y$  - величина у перерізі.

$$L = 89 + 3 = 92 \text{ мм.}$$

$$T_{o.\text{чорн}} = \frac{92 \cdot 10}{450 \cdot 5,0} = 0,41 \text{ хв.}$$

$$T_{o.\text{чорн}} = \frac{92 \cdot 4}{800 \cdot 2,0} = 0,23 \text{ хв.}$$

$$T_{o.\text{чорн}} = \frac{123 \cdot 10}{300 \cdot 5,0} = 0,8 \text{ мін;}$$

$$T_{o.\text{чист}} = \frac{123 \cdot 4}{500 \cdot 2,0} = 0,5 \text{ хв}$$

$$T_{\text{осн}} = 0,41 + 0,23 = 0,64 \text{ хв.}$$

Допоміжний час на установку й зняття деталі приймаємо по таблиці 90,  $T_{\text{доп1}} = 0,2$  хв.

Допоміжний час, пов'язане із проходом приймаємо по таблиці 91,  $T_{\text{доп2}} = 1,55$  хв.

$$T_{\text{доп}} = 1,55 + 0,2 = 1,75 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{опер}} = T_{\text{осн}} + T_{\text{доп}} = 0,64 + 1,75 = 2,39 \text{ хв.}$$

Додатковий час приймаємо по таблиці 92 [9].  $T_{\text{дод}} = 1$  хв.

Технічна норма часу

$$T_n = 2,39 + 1,0 = 3,39 \text{ хв.}$$

035 Слюсарна

Виправити зім'яті нитки різьби.

При виправленні ниток різьби використовувати верстат токарно-гвинторізний 16к20 і плашку 2650-1765 6г.

При цьому норми часу на виконання технологічної операції будуть наступні:

Основний час на визначення

$$T_o = 1,8 \text{ хв.}$$

Допоміжний час:

$$T_{\text{двн}} = 1,0 \text{ хв.}$$

Тоді :

$$T_{\text{он}} = 1,8 + 1,0 = 2,8 \text{ хв.}$$

Додатковий час:

$$T_{доо} = \frac{T_{он} \cdot K_{ум}}{100} = \frac{2,8 \cdot 6}{100} = 0,17 \text{ хв.};$$

де  $K_{ум} = 6$  хв. – відсоток додаткового часу від Топ при слюсарних роботах.

Тоді технічна норма часу на слюсарну операцію складе:

$$T_n = 2,8 + 0,17 = 2,97 \text{ хв.}$$

040 Балансувальна.

Балансувати колесо компресора з точністю 0,15 г·см

$$T_o = 12,1 \text{ хв.}$$

$$T_{доп} = 1,8 \text{ хв.}, T_{оп} = 12,1 + 1,8 = 13,9 \text{ хв.};$$

$$T_{до} = \frac{T_{он} \cdot K_m}{100} = \frac{13,9 \cdot 8}{100} = 1,1 \text{ хв.}$$

Технічна норма часу.

$$T_n = 13,9 + 1,1 = 15 \text{ хв.}$$

045 Контрольна

Визначити технічний стан базових поверхонь і стан різьби  $T_0 = 0,3$ хв,  $T_d = 0,2$ хв.

Визначити технічний стан поверхні вала під підшипники, колесо компресора і втулку

$$T_o = 0,4 \text{ хв}, T_d = 0,2 \text{ хв.}$$

Визначити радіальне биття валу ротора  $T_o = 0,5$ хв,  $T_d = 0,5$ хв.

Тоді оперативний час визначається як [7]

$$T_{оп} = T_o + T_d$$

де  $T_o$  – основний час, хв.;

$T_d$  – допоміжний час, хв..

$$T_{оп} = (0,3 + 0,4 + 0,5) + (0,2 + 0,2 + 0,5) = 2,1 \text{ хв}$$

Додатковий час

$$T_{дод} = \frac{T_{оп} \cdot K}{100},$$

де  $K$  – процентне відношення додаткового часу до оперативного  $K = 5\%$ .

$$T_{дод} = \frac{2,1 \cdot 5}{100} = 0,11$$

підготовчо-заклучний час  $T_{пз} = 5$ хв [7]

Тоді технічна норма часу

$$T_n = T_{он} + T_{доо} + \frac{T_{пз}}{n} = 2,1 + 0,11 + \frac{5}{3600} = 2,2 \text{ хв.}$$

Перелік операцій відновлення вставки турбіни турбокомпресора і розраховані норми часу на кожній операції представлені в таблиці 3.14.

Таблиця 3.14 Перелік операцій технологічного процесу відновлення валу ротора і технічні норми часу на їх виконання

| Найменування операції | Норма часу, хв. |
|-----------------------|-----------------|
|-----------------------|-----------------|

|                    | Основ-<br>ний час<br>То, хв. | Допоміж-<br>ний час,<br>Тд, хв. | Опера-<br>тивний<br>час,<br>Топ, хв | Додат-<br>ковий<br>час,<br>Тдод, хв. | Техніч-<br>на норма<br>часу,<br>Тн, хв. |
|--------------------|------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|
| 005 Дефектувальна  | 1,2                          | 0,9                             | 2,1                                 | 0,11                                 | 2,21                                    |
| 010 Токарна        | 0,08                         | 1,2                             | 1,28                                | 0,08                                 | 1,36                                    |
| 015 Слюсарна       | 0,8                          | 0,35                            | 1,15                                | 0,1                                  | 1,25                                    |
| 020 Токарна        | 0,47                         | 3,0                             | 3,47                                | 0,52                                 | 3,99                                    |
| 025 Наплавлювальна | 1,1                          | 4,4                             | 5,5                                 | 0,83                                 | 6,49                                    |
| 030 Шліфувальна    | 0,64                         | 1,75                            | 2,39                                | 1,0                                  | 3,39                                    |
| 035 Слюсарна       | 1,8                          | 1,0                             | 2,8                                 | 0,17                                 | 2,97                                    |
| 040 Балансувальна  | 12,1                         | 1,8                             | 13,9                                | 1,1                                  | 15                                      |
| 045 Контрольна     | 1,2                          | 0,9                             | 2,1                                 | 0,11                                 | 2,2                                     |
| ВСЬОГО             | 19,39                        | 15,3                            | 34,69                               | 4,02                                 | 38,86                                   |

\* Базовий технологічний процес відновлення вала ротора турбокомпресора відрізняється від пропонуємого тим, що для відновлення посадочних місць під підшипники і колесо компресора застосовується наплавлення у середовищі захисних газів.

Технічна норма часу для наплавлення у середовищі захисних газів становить  $T_n = 9,87$  хв. Відповідно сумарна технічна норма часу для базового технологічного процесу відновлення становить  $\sum T_n = 42,24$  хв.

### 3.14 Складання таблиці основних деталей спряжень для збирання турбокомпресора

Заключним у технологічному процесі відновлення турбокомпресора є його збирання. В цьому розділі наведена таблиця основних деталей спряжень турбокомпресора, що використовуються при його збиранні.

Таблиця 3.15. Таблиця деталей турбокомпресора ТКР-90

| №<br>з/п | Позначення     | Назва                                | Кількість |
|----------|----------------|--------------------------------------|-----------|
| 1        | 2              | 3                                    | 4         |
| 1.       | 122.1118154-21 | Корпус турбіни                       | 1         |
| 2.       | 122.1118086    | Колесо турбіни                       | 1         |
| 3.       | 122.1118086    | Вал ротора                           | 1         |
| 4.       | 122.1118107    | Ущільнююче кільце турбіни            | 2         |
| 5.       | 122.1118294    | Проставка корпусу турбіни            | 1         |
| 6.       | 122.1118282    | Ущільнююче кільце кришки підшипників | 1         |
| 7.       | 122.1118230    | Корпус компресора                    | 1         |
| 8.       | 122.1118054    | Дифузор                              | 1         |
| 9.       | 122.1118110-12 | Колесо компресора                    | 1         |
| 10.      | 122.1118120    | Гайка кріплення колеса               | 1         |
| 11.      | 122.1118280    | Кришка корпусу підшипників           | 1         |
| 12.      | 112.1118284    | Масловідбивач                        | 1         |
| 13.      | 122.1118272    | Упорний фланець                      | 1         |
| 14.      | 122.1118270    | Упорна втулка                        | 1         |
| 15.      | 122.1118020    | Корпус середній                      | 1         |
| 16.      | 122.1118034    | Кільце пружинне упорне               | 4         |
| 17.      | 122.1118030    | Підшипник ковзання                   | 2         |

|     |                           |                          |    |
|-----|---------------------------|--------------------------|----|
| 18. | 122.1118106               | Ущільнююче кільце ротора | 2  |
| 19. | Пароніт ГОСТ 481-58       | Диск ущільнення          | 1  |
| 20. | M8×20.36.019 ГОСТ 7798-70 | Болт                     | 16 |
| 21. | M8×20.36.019 ГОСТ 1491-80 | Гвинт                    | 3  |
| 22. | M4×8.36.019 ГОСТ 1491-80  | Гвинт                    | 3  |
| 23. | M4×8.36.019 ГОСТ 1491-80  | Гвинт                    | 3  |
| 24. | 8.01.019 ГОСТ 11371-78    | Шайба                    | 8  |
| 25. | 8.65Г.019 ГОСТ 6402-70    | Шайба пружинна           | 17 |
| 26. | 122.1118160               | Штуцер підводу масла     | 1  |

### 3.15 Технологічний процес збирання турбокомпресора

Одним з відповідальних і трудомістких процесів ремонту машин є складання.

Технологічний процес складання турбокомпресора наведений в табл. 3.16.

Таблиця 3.16 Технологічний процес складання турбокомпресора

| Назва операцій і переходів                                                     | Обладнання                 | Пристрої і інструменти                                             | Технічна норма часу, хв. |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| 1                                                                              | 2                          | 3                                                                  | 4                        |
| 005 Збиральна                                                                  |                            |                                                                    |                          |
| 1. Підібрати підшипники і вставити в корпус середній                           | Верстак слюсарний ОРГ-5365 | Штангенциркуль ШЦ-0-125-П-01 ГОСТ 166-80                           | 1,0                      |
| 2. Встановити упорні кільця                                                    | Те ж саме                  | Викрутка 250мм ГОСТ 17199-81                                       | 0,5                      |
| 3. Встановити проставку турбіни                                                | Те ж саме                  | Викрутка 250мм ГОСТ 17199-81                                       | 0,6                      |
| 4. Встановити на колесо турбіни ущільнюючі кільця                              | Те ж саме                  | Викрутка 250мм ГОСТ 17199-81                                       | 0,5                      |
| 5. Встановити вал ротора в корпус середній                                     | Те ж саме                  | Молоток з мідним бойком                                            | 0,8                      |
| 6. Встановити упорну втулку та упорний фланець                                 | Те ж саме                  |                                                                    | 0,8                      |
| 7. Вкрутити 3 гвинти кріплення упорного фланця                                 | Те ж саме                  | Викрутка 250мм ГОСТ 17199-81                                       | 2,7                      |
| 8. Встановити масловідбивач з ущільнюючими кільцями ротора                     | Те ж саме                  | Викрутка 250мм ГОСТ 17199-81                                       | 0,8                      |
| 9. Встановити кришку корпусу підшипників разом з резиновим ущільнюючим кільцем | Те ж саме                  | Молоток слюсарний ГОСТ 2310-77 Зубило слюсарне 15×60о ГОСТ 7212-84 | 1,0                      |
| 10. Вкрутити 3 гвинти кріплення кришки                                         | Те ж саме                  | Викрутка 250мм ГОСТ 17199-81                                       | 3,0                      |

|                                                     |           |                                                            |     |
|-----------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------------|-----|
| корпусу підшипників з пружинними шайбами            |           |                                                            |     |
| 11. Напресувати у нагрітому стані колесо компресора | Те ж саме | Пристосування для зняття та встановлення колеса компресора | 7,5 |
| 12. Закрутити гайку кріплення колеса компресора     | Те ж саме | Ключ гайковий 17×19 ГОСТ 2839-80                           | 2,1 |

продовження таблиці 3.16

| 1                                                                    | 2         | 3                                                                  | 4    |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------|------|
| 13. Встановити паронітовий ущільнюючий диск                          | Те ж саме |                                                                    | 0,5  |
| 14. Встановити корпус компресора                                     | Те ж саме | Молоток слюсарний ГОСТ 2310-77 Зубило слюсарне 15×60о ГОСТ 7212-84 | 0,7  |
| 15. Вкрутити 8 болтів з шайбами кріплення корпусу компресора         | Те ж саме | Ключ гайковий 13×14 ГОСТ 2839-80                                   | 5,5  |
| 16. Встановити дифузор у корпус компресора                           | Те ж саме | Молоток слюсарний ГОСТ 2310-77 Зубило слюсарне 15×60о ГОСТ 7212-84 | 0,7  |
| 17. Вкрутити 3 гвинти кріплення дифузора                             | Те ж саме | Викрутка 250мм ГОСТ 17199-81                                       | 3,0  |
| 18. Встановити корпус турбіни                                        | Те ж саме | Молоток слюсарний ГОСТ 2310-77 Зубило слюсарне 15×60о ГОСТ 7212-84 | 0,7  |
| 19. Вкрутити 8 болтів кріплення корпусу турбіни з пружинними шайбами | Те ж саме | Ключ гайковий 13×14 ГОСТ 2839-80                                   | 5,5  |
| Всього                                                               |           |                                                                    | 37,9 |

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній магістерській роботі на здобуття другого магістерського рівня вищої освіти з освітньо-професійної програми «Технічний сервіс» зі спеціальності 208 «Агроінженерія» на тему «Дослідження технології відновлення циліндричних поверхонь деталей турбокомпресора дизелів сільськогосподарських машин у ТОВ завод «Дзеркальник» м. Кропивницький» розроблені питання забезпечення підвищення якісного відновлення циліндричних поверхонь деталей турбокомпресора в процесі ремонту турбокомпресора дизелів сільськогосподарських машин у ТОВ завод «Дзеркальник» м. Кропивницький».

В роботі на основі результатів наукових досліджень контактного наварювання присадкових матеріалів було розроблено технологію відновлення циліндричних поверхонь деталей, зокрема циліндричної поверхні валу ротора турбокомпресора дизелів сільськогосподарських машин.

В магістерській роботі були розглянуті наступні питання

1. Розглянуто процес пластичної деформації присадного дроту з урахуванням діючих сил і виникаючих напружень.
2. Отримано умова формування зварного з'єднання в межах контактних площадок у вигляді математичних залежностей.
3. Показано, що основною умовою формування якісного і рівномірного основного металу зварного з'єднання при КН є руйнування і видалення із зони контакту щільних окисних і оксидних плівок на з'єднуваних поверхнях. При наплавленні на рекомендованих режимах в стику поверхонь, що з'єднуються утворюються загальні зерна, що підвищує пластичність зварного з'єднання.
4. Виявлено, що раціональними з точки зору забезпечення однорідної структури металопокриття є значення кроку наплавлення по гвинтовій лінії, який би забезпечував мінімальне 10...15% -е перекриття суміжних зварних валиків по їх ширині.
5. Встановлено, що середня твердість металопокриття з вуглецевої дроту ПК-2 дорівнює 52...54 HRC, а для легованої дроту 30ХГСА 48...50 HRC. Зносостійкість

металопокриття з дроту ПК-2 в 1,4...1,5 рази, а для дроту 30ХГСА - в 1,2...1,25 рази вища зносостійкості зразків із сталі 45, загартованої СВЧ.

6. Були виявлені передумови якісного відновлення циліндричних поверхонь деталей турбокомпресора дизелів сільськогосподарських машин контактним наварюванням металевих порошків, що полягають у виборі раціональних режимів контактного наварювання.

7. Були досліджені режими контактного наварювання присадкового матеріалу на циліндричні поверхні деталей турбокомпресора дизелів сільськогосподарських машин. Встановлено, що режими залежать від матеріалу і діаметру дроту. Струм наварювання лежить в межах 5,0...8,5 кА, при тиску на роликах 0,9...2,35 кН.

8. На основі проведених досліджень запропоновано рекомендації для визначення технологічних параметрів контактного наварювання на циліндричні поверхні деталей турбокомпресора дизелів сільськогосподарських машин .

## Література

1. Матеріали переддипломної практики на ВАТ «Завод «Дзеркальнику» м. Кропивницький
2. Техническое обслуживание и ремонт машин под ред. Лауша П.В.-К.: Вища школа, 1983 г.-351 с.
3. Методичні вказівки до виконання технологічного розділу кваліфікаційної бакалаврської роботи (ЦНТУ, 2023). Для спеціальностей 132 «Матеріалознавство», 208 «Агроінженерія», 274 «Автомобільний транспорт» Упорядники Кулешков, Ю. В.; Красота, М. В.; Руденко, Т. В.; Бевз, О. В.; Магопєць, С. О. Осін, Р. А. М. – во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2023. – 80 с. <https://dspace.kntu.kr.ua/items/4036972d-b720-401e-be98-dafe010a7b17>
4. Радомысельский И.Д., Рыморов В.Е. Уплотняемость и электросопротивление металлических порошков и их смесей при низких давлениях холодного прессования. – Порошковая металлургия, 1976, №11, с.8.-12.
5. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения: Справочник/И.М. Федорченко, И.Н. Францевич, И.Д. Радомысельский и др. – Киев: Наукова думка, 1985, –624 с.
7. Радомысельский И.Д., Сердюк Г.Т., Щербань Н.И. Конструкционные порошковые материалы. –К.: Техника 1985. –152 с.
8. Власюк Р.З. Грипачевский А.Н., Радомысельский И.Д. Изменение химического и фазового состава частицы  $Cr_3C_2$  находившейся в контакте с железной матрицей при спекании//Порошковая металлургия, 1984. – №8. с. 28–33.
9. Особенности взаимодействия карбидов хрома с матричной фазой на основе железа/Чепелева В.П., Делеви В.Т., Людви́нская Т.А. и др. //Порошковая металлургия, 1982. – №7. – С. 80–82.
10. Радомысельский И.Д., Дыменко В.А. Механизм и кинетика растворения  $Cr_3C_2$  находившейся в железе //Порошковая металлургия, 1971. – №3. С.88 – 92.
11. Основы проектирования деталей машин. В.Л. Устиненко, Н.Ф. Киркач, Р.А. Баласанян. – Харьков: Вища школа, 1983. –184 с.
12. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. –К.: Знання-Прес, 2003. –511 с.
13. Проективання підприємств і їх підрозділів з ремонту та технічного обслуговування тракторів, автомобілів та іншої техніки (методичні вказівки до виконання дипломного проекту)/ Укладач: І.А. Булей – Кіровоград: КДТУ–2000 – 47 с.