

Вінницький національний технічний університет

Факультет машинобудування та транспорту

Кафедра галузевого машинобудування

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему:

**«Підвищення якості відновлення робочих поверхонь шліців цапфи поворотної вузла приводу заднього колеса тролейбуса ЗиУ-9»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 13В-23м  
спеціальності 132 – «Матеріалознавство».

(шифр і назва спеціальності)

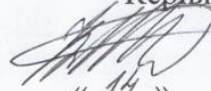


**Володимир ВЕРБИЦЬКИЙ**

(прізвище та ініціали)

« 12 » грудня 2023 р.

Керівник: к.т.н., доцент каф. ГМ

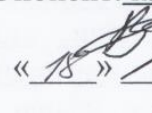


**Валерій ШЕНФЕЛЬД**

(прізвище та ініціали)

« 14 » грудня 2023 р.

Опонент: к.т.н., доцент кафедри АТМ



**Віталій ОГНЕВИЙ**

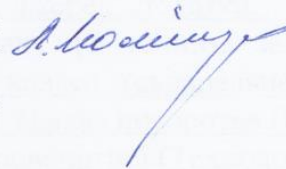
« 18 » грудня 2023 р.

**Допущено до захисту**

**Завідувач кафедри ГМ**

**д.т.н., проф. Леонід ПОЛІЩУК**

(прізвище та ініціали)



« 12 » вересня 2023 р.

Вінниця - 2023 р.

Вінницький національний технічний університет  
Факультет Машинобудування та транспорту  
Кафедра Галузевого машинобудування  
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)  
Галузь знань – 13 Механічна інженерія  
Спеціальність – 132 – Матеріалознавство  
Освітньо-професійна програма – Інтелектуальні технологічні системи в інженерії поверхні

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ГМ

*Поліщук Л.К.*  
Поліщук Л.К.

«18» вересня 2023 року

**ЗАВДАННЯ  
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Вербіцькому Володимирі Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ШЛІЦІВ ЦАПФИ ПОВОРОТНОЇ ВУЗЛА ПРИВОДУ ЗАДНЬОГО КОЛЕСА ТРОЛЕЙБУСА ЗИУ-9

керівник роботи Шенфельд Валерій Йосипович, к.т.н., доц., каф. ГМ,  
затверджені наказом вищого навчального закладу від «18» вересня 2023 року № 247

2. Строк подання студентом роботи «14» грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи: Робоче креслення цапфи поворотної, програма відновлення N =1000 шт.

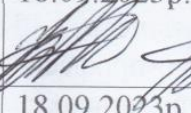
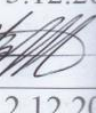


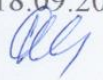
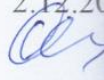
4. Зміст текстової частини: Вступ; 1. Техніко-економічне обґрунтування доцільності проектування технологічного процесу відновлення цапфи поворотної; 2. Наукова частина; 3. Технологічні засади підвищення якості відновлення робочих поверхонь шліців цапфи поворотної вузла приводу заднього колеса троллейбуса ЗиУ-9; 4. Конструкторська частина; 5. Економічна частина; 6. Охорона праці і безпека у надзвичайних ситуаціях; Висновки; Список використаних джерел; Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):1. Привід заднього колеса (складальне креслення); 2. Цапфа поворотна (робоче креслення); 3. Цапфа поворотна (Ремонтне креслення);

4. Маршрут відновлення цапфи поворотної (Технологічний процес).

5. Металізатор (складальне креслення); 6. Робоче місце (складальне креслення);

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	завдання	завдан
		видав	прийм
Спеціальна частина	Шенфельд В.Й., к.т.н., доц., кафедри ГМ	18.09.2023р. 	3.12.20 
Економіка виробництва	Ратушняк О. Г., к.е.н., доц., кафедри ЕПВМ	18.09.2023р. 	2.12.20 
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	Дембіцька С.В., д.п.н., пофесор, Березюк О.В. д.т.н. проф. кафедри БЖД та ПБ	18.09.2023р. 	2.12.20 

7. Дата видачі завдання «18» вересня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломног9999о проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Прим
1	Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)	25.09.23 р.	вик
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР	26.10.2023 р.	вик
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР	30.11.23 р.	вик
4	Виконання розділу «Економіка виробництва»	24.11.23 р.	вик
5	Виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях»	25.11.23 р.	вик
6	Попередній захист МКР	10.12.23 р.	вик
7	Нормоконтроль МКР	17.12.23 р.	вик
8	Опонування МКР	18.12.2023 р.	вик
9	Захист МКР	20.12.2023 р.	вик

Студент

Керівник проекту

  
(підпис)

Вербіцький В.О.

Шенфельд В.Й.

## АНОТАЦІЯ

УДК 621.791:681.5.015.23

Вербіцький В. О. Підвищення якості відновлення робочих поверхонь шліців цапфи поворотної вузла приводу заднього колеса тролейбуса ЗиУ-9. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 132 – матеріалознавство, освітня програма – інтелектуальні технологічні системи в інженерії поверхонь. Вінниця: ВНТУ, 2023. 178 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 32 назв; рис.: 26; табл. 20.

У магістерській кваліфікаційній роботі вдосконалено технологію відновлення робочих поверхонь шліців цапфи поворотної вузла приводу заднього колеса тролейбуса ЗиУ-9 з використанням електродугового наплавлення та напилення. У науковій частині роботи поведено аналіз середовища та умови роботи цапфи поворотної тролейбуса. У технологічній і розрахунково-конструкторській частині розроблений технологічний процес відновлення ь шліців та виконана розробка устаткування з числовим програмним керуванням на базі вузлів Festo.

Графічна частина складається з 7 креслень із результатами моделювання.

У розділі охорони праці опрацьовано такі питання, як причини виникнення, дія на організм людини та нормування шкідливих та небезпечних виробничих факторів у виробничому приміщенні; карта умов праці (обґрунтування вибору нормованих значень шкідливих та небезпечних виробничих факторів, оцінка факторів виробничого і трудового процесів, гігієнічна оцінка умов праці, оцінка технічного і організаційного рівня, атестація робочого місця); рекомендації щодо поліпшення умов праці, а також розглянуто норми пожежної безпеки, а також дія іонізуючих випромінювань на людей.

Ключові слова: Цапфа поворотна, структура, зносостійкість, плазматрон, наплавлення.

## ABSTRACT

Verbitsky V.O. Improving the quality of the restoration of the working surfaces of the splines of the trunnion of the pivot unit of the drive of the rear wheel of the ZyU-9 trolleybus. Master's qualification work on specialty 132 - materials science, educational program - intelligent technological systems in surface engineering. Vinnytsia: VNTU, 2023. 178 p.

In Ukrainian speech Bibliography: 32 titles; Fig.: 26; table 20.

In the master's qualification work, the technology of restoring the working surfaces of the splines of the trunnion of the pivot unit of the drive of the rear wheel of the ZYU-9 trolleybus using electric arc welding and spraying was improved. In the scientific part of the work, an analysis of the environment and working conditions of the pivot of the rotary trolleybus is conducted. In the technological and calculation and design part, the technological process of restoration of slots was developed and the equipment with numerical software control based on Festo nodes was developed.

The graphic part consists of 7 drawings with simulation results.

In the occupational health and safety section, issues such as the causes of occurrence, effects on the human body, and regulation of harmful and dangerous production factors in the production premises are elaborated; map of working conditions (justification of the choice of standardized values of harmful and dangerous production factors, assessment of factors of production and labor processes, hygienic assessment of working conditions, assessment of technical and organizational level, certification of the workplace); recommendations for improving working conditions, as well as fire safety standards, as well as the effect of ionizing radiation on people.

Key words: Rotary pin, structure, wear resistance, plasmatron, surfacing.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	9
<b>1. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ЦАПФИ ПОВОРОТНОЇ</b> .....	11
1.1 Сутність технологічної проблеми яка виникає на сучасному етапі розвитку техніки та виробництва.....	11
1.2 Галузь застосування та мета розробки.....	12
1.3 Варіантний аналіз існуючих методів відновлення та вибір оптимального методу відновлення.....	12
1.4 Висновки.....	17
1.5 Прогнозування обсягів відновленої продукції.....	18
1.6 Економічне обґрунтування доцільності удосконалення технологічного процесу відновлення.....	19
<b>2. НАУКОВА ЧАСТИНА</b> .....	22
2.1 Аналіз середовища та умови роботи цапфи поворотної тролейбуса.....	22
2.2 Причини втрати працездатності цапфи поворотної троллейбуса.....	24
2.3 Порівняльний аналіз технології відновлення зовнішніх шліцевих поверхонь із використанням наплавки.....	26
<b>3. ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ШЛІЦІВ ЦАПФИ ПОВОРОТНОЇ ВУЗЛА ПРИВОДУ ЗАДНЬОГО КОЛЕСА ТРОЛЕЙБУСА ЗИУ-9</b> .....	32
3.1 Описання вузла та умови його роботи.....	32
3.2 Дефекація цапфи поворотної.....	35
3.3 Загальний технологічний процес відновлення цапфи поворотної.....	39
3.4 Очистка.....	42

3.5 Дефектування .....	42
3.6 Токарна та фрезерна обробки до наплавки .....	42
3.7 Відновлювальна (Наплавка під шаром флюсу) .....	47
3.8 Термічна обробка наплавленої деталі .....	67
3.9 Токарна обробка після наплавки .....	71
3.10 Фрезерна обробка після наплавки. ....	78
3.11 Розрахунок параметрів напилення. ....	80
3.12 Шліфування. ....	81
3.13 Контрольна операція .....	82
3.14. Оптимізація методу наплавки під шаром флюсу і вибір режимів .....	83
3.15 Використання САПР для побудови 3Д-моделі цапфи поворотної .....	90
<b>4. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА</b> .....	93
4.1 Вибір установки для електродугового напилення .....	93
<b>5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА</b> .....	100
5.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки.....	101
5.2 Визначення рівня конкурентоспроможності розробки.....	105
5.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи.....	108
5.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором.....	117
5.5 Висновки до розділу.....	122
<b>6. ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</b> .....	123
6.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи.....	124
6.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	127
6.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи РЕС тролейбуса ЗиУ-9 в умовах дії загрозливих факторів НС.....	130

<b>ВИСНОВКИ</b> .....	134
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	135
Додаток А (обов'язковий). Технічне завдання.....	139
Додаток Б (обов'язковий). Комплект документів.....	147
Додаток В (обов'язковий). Графічна частина .....	165
Додаток Г (обов'язковий). Специфікації .....	172
Додаток Д (обов'язковий). протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень.....	177



## ВСТУП

Останнім часом відбувається якісне вдосконалення в галузі підвищення зносостійкості, відновлення та ремонту деталей машин. Впроваджуються прогресивні технологічні процеси ремонту вузлів, машин: ефективні методи відновлення деталей; вдосконалено ремонтну базу, зростають вимоги до інженерно-технологічних працівників, зайнятих в процесах відновлення та ремонту деталей та вузлів, які мають забезпечувати ефективне використання закладених в машинах можливостей; організувати експлуатацію обладнання на належному рівні, прийняти зменшення простого обладнання, відмов і забезпечувати відновлення працездатності деталей на рівні їх конструктивних параметрів.

Велика кількість деталей транспортних засобів поступає на ремонтні підприємства в результаті зносу, механічних та корозійних пошкоджень, втрати працездатності. Але деякі з них – найбільш прості і недорогі у виготовленні втрачають працездатність повністю і потребують заміни. Більшість деталей мають залишковий ресурс і можуть бути використані повторно після проведення порівняно невеликих об'ємів робіт по їх відновленню.

Відновлення деталей має велике значення на виробництві та народному господарстві. Затрати на відновлення деталей значно нижчі, ніж на їх виготовлення. Затрати на відновлення навіть в умовах сучасних невеликих ремонтних підприємств складають в залежності від конструктивних особливостей і ступені зносу деталі 10 – 50% від ціни нових деталей. При цьому чим складніша деталь, тим дорожча вона у виготовленні і менші затрати на її відновлення.

Тому є велика необхідність у розробці технологічного процесу відновлення, особливо того, що використовує сучасні передові види відновлення деталей машини, по причині, що його застосування дозволяє

економити енергетичні та матеріальні ресурси, та дозволяє збільшити термін служби деталі за рахунок нанесення покриттів з особливими зносостійкими властивостями.

Економічна ефективність відновлення деталей порівняно з їх виготовленням пояснюється рядом причин:

- при відновленні деталі значно скорочуються затрати на матеріали;
- повністю визначаються затрати, пов'язані з отриманням заготовок;
- виключаються затрати, пов'язані з обробкою деталей, так як при цьому обробляються не всі поверхні деталі а лише ті, які мають дефекти.

Все це дозволяє зменшити затрати у виробництві запасних частин.

Ефективність та якість відновлення значно залежить від застосовуваних технологічних методів їх обробки.

Метою даної магістерської дипломної роботи є дослідження технологічних засад підвищення якості процесів відновлення шліців цапфи поворотної тролейбуса і вирішення проблеми відновлення даної деталі, так як раніше застосовували методи показали негативні результати.

Для досягнення мети поставлені наступні задачі:

- дослідити варіанти наплавлення поверхневого шару шліців з використанням альтернативних способів наплавки;
- Провести мікроскопічні дослідження наплавленого шару;
- Запропонувати і розробити оптимальний технологічний процес відновлення цапфи поворотної;
- Виконати необхідні розрахунки;
- Технологічний процес відновлення цапфи поворотної повинен відповідати вимогам безпеки життєдіяльності.

# 1 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ЦАПФИ ПОВОРОТНОЇ

1.1 Сутність технологічної проблеми яка виникає на сучасному етапі розвитку техніки та виробництва

Відновлення деталей – технологічно-обґрунтований та досить часто економічно виправданий захід.

Відновлення деталей дозволяє ремонтним підприємствам або ремонтним господарствам виробничого підприємства і майстерням скоротити час простоювання несправних машин, підвищити якість їх технічного обслуговування і ремонту, якісно впливати на показники надійності машин.

Витрати на проведення відновлювальних робіт складають, в залежності від конструктивних особливостей та ступеню зносу виробу, від 20% до 85% вартості нових.

Досить часто економічний ефект при відновленні виробів отримують за рахунок зменшення витрат основного матеріалу і скороченні необхідної кількості технологічних операцій у 4 – 8 разів у порівнянні з виготовленням нового виробу.

В сучасних умовах економічної кризи в країні використання такого заходу як відновлення також додає додаткових позитивних моментів. На підприємствах використовується обладнання та транспортні засоби, величина зносу яких досягає 70-90% при відсутності коштів на придбання нового обладнання. Тому часто відновлення деталей є єдиним доступним заходом при проведенні ремонтів.

## 1.2 Галузь застосування та мета розробки

Основна галузь застосування – ремонтне господарство, майстерні, ремонтні підприємства.

Метою розробки є скорочення тривалості ремонтних робіт, підвищення їх якості та ефективності, а також скорочення вартості проведення ремонтів за рахунок удосконалення існуючих технологічних процесів відновлення; виключення з технологічного процесу трудоємких та дорогих операцій; підвищення якості поверхні після відновлення до рівня нового виробу при витрачанні мінімуму коштів.

## 1.3 Варіантний аналіз існуючих методів відновлення та вибір оптимального методу відновлення

При відновленні деталей невеликої програми, яка характерна для відновлювального виробництва, доцільно використовувати універсальні методи відновлення. Для раціонального вибору методу відновлення „Цапфи поворотної” колісного редуктора тролейбуса необхідно відмітити особливості основних методів.

Для відновлення такої деталі як „цапфа поворотна” можна використовувати наступні технологічні методи – методи нарощування та методи обробки.

Наплавка є найбільш розповсюдженим в ремонтному виробництві способом відновлення деталей. Широке використання наплавки обумовлено простотою технологічного процесу і обладнання, високою швидкістю наплавки і низькою собівартістю.

Технологічний процес відновлення деталей наплавкою включає в себе підготовку деталей до наплавки, виконання наплавочних робіт і обробку деталей після наплавки.

Наплавка під шаром флюсу.

Назва цього методу пов'язана з тим, що дуга при наплавці електродними матеріалами (проволокою, стрічкою та ін.) схована під шаром гранульованого флюсу, попередньо насипаного на поверхню основного металу.

Суть методу полягає в тому, що в зону дуги горіння, утвореною між деталлю і електродним дротом, подається гранульований флюс.

Наплавка під шаром флюсу має ряд наступних переваг:

1. Високу продуктивність процесу при наплавці виробів простої форми;
2. Простота здійснення процесу, не вимагаючи при цьому високої кваліфікації зварника;
3. Можливість отримати доброго зовнішнього вигляду валика.

Разом з тим цьому методу притаманні наступні недоліки:

1. У зв'язку з тим, що виникають труднощі з утворенням і утриманням розплавленого металу на поверхні деталі (при достатньому охолодженні шва утруднення виділення шлакової кірки);
2. Непридатність наплавки дрібних виробів складної форми.

Техніко-економічні показники способу

Максимальна швидкість наплавки однофазною дугою під флюсом при задовільному формуванні шва — 90 м/год. Застосування багатодугових апаратів дозволяє збільшити швидкість зварювання до 300 м/год. Діапазон застосовуваних значень наплавочного струму в залежності від діаметра електрода в табл. 2.2. Продуктивність механізованого наплавлення під флюсом 6 — 21 кг/ч. Коефіцієнт наплавлення 14 — 18 г/(А-год). Втрати на чад і розбризкування складають 1—3%.

Витрата флюсу складає 1,1 — 1,4 витрати електродного дроту.

Наплавка в середовищі вуглекислого газу

Суть методу: дуга горить між електродом та наплавляємою поверхнею деталі в потоці вуглекислого газу. Захисний газ витісняє повітря, тобто кисень та азот.

Переваги методу:

1. В 1,2-1,5 разів економніше та на 20-80% продуктивніше від інших методів наплавлення;
2. Відсутність шкідливого впливу на наплавлений шар металу.

Недоліки методу:

1. Наплавку доречно використовувати для циліндричних деталей не більш 50 мм;
2. Вуглекислий газ належить до активних газів і в процесі наплавки в зоні дуги виникають реакції розпаду вуглекислого газу на його складові.

Вібродугове наплавлення.

Суть методу: електродний дріт подається до поверхні деталі, яка знаходиться під струмом з коливанням, за рахунок яких відбувається періодичне замикання і розмикання електричної дуги між електродом і поверхнею деталі.

Вібродугове наплавлення забезпечує:

1. Малу зону термічного впливу;
2. Покриття різної товщини з високою твердістю;
3. Покриття з високою зносостійкістю і незначними деформаціями поверхні деталі.

Недоліком способу є неоднорідність структури, нещільність, пористість металу шва, які зменшують міцність і спричиняють втомленість деталі.

Електродугова металізація

При дуговій металізації утворення потоку напилених частинок відбувається зарахунок плавлення розпиленого матеріалу високоамперною дугою та його диспергування швидкісним потоком газу. Горіння дуги

відбувається в специфічних умовах. Площа активних пятен на електродах обмежена невеликими діаметрами використаних для розпилення проволоок.

Горіння дуги відбувається в умовах впливу потужного потоку газу. Це спричиняє стиск ( контрагування ) стовба дуги. Іншою особливістю горіння дуги є непостійність її довжини. Принципово можливі дві схеми горіння дуги: без короткого замикання і з періодичними короткими замиканнями.

При живленні дуги змінним струмом уникнути коротких замикань не є можливим. Застосування джерел постійного струму дає можливість ведення процесу як з коротким замиканням, так і без нього. Одне і в цьому випадку в горінні дуги просліджується циклічність.

Дуга, знаходячись під впливом електродинамічних та газодинамічних сил, рухається в міжелектродному просторі. Досить чітко просліджується два етапи в циклі горіння. Перший етап пов'язаний з збудженням і розвитком початкової стадії горіння дуги. На другому етапі відбувається винос дуги за межі оплавлених торців електродів ( зависання дуги ).

Розглянемо деякі головні конструктивні параметри, що впливають на процес металізації. Досить важливими є діаметр електродного дроту  $d_n$  та швидкість його подачі. Звичайно підбирають  $d_n$  в межах 1,0-3,5 мм і більше.

Необхідно враховувати , що із збільшенням діаметру дроту збільшується турбулентизація розпиленого струменя. Коефіцієнт турбулентизації  $a$  може бути визначений із залежності:

$$a = \left(0.4 \frac{d_n}{d_c}\right)^{2.56} + a_1, \quad (1.1)$$

де  $a_1$ - коефіцієнт турбуленції при вільному випромінюванні струменя в соплі.

В момент диспергування розпиленого металу утворені частинки знаходяться в рідкому стані. Їх орієнтовний розмір може бути розрахований з рівняння:

$$d_{\text{ч}} = K_1 K_2 \sqrt[3]{G_{\text{н}} / \gamma \mu}, \quad (1.2)$$

де  $G_{\text{н}}$  - продуктивність розпилення;

$\gamma$  - густина розпиленого матеріалу;

$\mu$  - коефіцієнт, що враховує безперервність горіння дуги;

$K_1$  - константа, що залежить від властивостей розпиленого матеріалу;

$K_2$  - константа, що залежить від радіуса і форми сопла.

Існує багато різновидів електродугових металізаторів. Найширше застосування знайшли металізатори типу ЕМ-14- для ручної металізації тамашинні апарати типу ЕМ-12

#### Плазмове напилення

Перевага плазмового напилення полягає в тому, що під час напилення поверхня відновлюємої деталі нагрівається до  $200^{\circ}$  С і не викликає жолоблення деталі.

В якості джерела теплоти енергії при плазмовому напиленні використовується струмінь плазми. Плазма представляє собою часткова або повністю іонізований газ, нагрітий до дуже високої температури і мають властивість електропровідності. Плазмовий струмінь одержують в спеціальних пристроях, які називають плазмотрони або плазмові пальники.

Плазмотрон складається із двох основних частин – катодної і анодної. Для того щоб одержати плазмовий струмінь між катодом і анодом, створюють електричну дугу, і в зоні її горіння вводять плазмоутворюючий газ, який проходячи дуговий проміжуток, нагрівається до високої температури іонізується, розпадається на позитивні і негативні заряджені іони.



В якості плазмостворюючого газу використовують аргон, азот, гелій, водень і їх суміші. Плазмовий струмінь з аргону має найбільш високу температуру (до 15...20 тис.<sup>0</sup>С) і надзвукову швидкість (1000...1200 м/с.).

Напиляє мий матеріал при плазмовому напиленні вводиться у вигляді порошку або проволочи. Порошкова наплавка відбувається двома методами: подачею порошку безпосередньо в плазмотрон транспортуючим газом або в струмінь плазми дозатором.

Якість покриття залежить від температури нагріву частинок і швидкості їх нанесення на поверхню деталі. Швидкість нанесення металевих частинок визначається в основному двома факторами: силою току дуги і витратами плазмоутворюючого газу. В залежності від значення цих факторів вона може бути досягнута 150...200 м/с. Найбільшої швидкості розплавлення частинки метала досягають на відстані 50...80 мм. від сопла плазмотрона. Велика швидкість нанесення частинок порошку і висока температура їх нагріву момент зустрічі з поверхнею деталі забезпечує більш високу чим при інших способах нанесення, механічні властивості покриття і більш міцне його з'єднання з поверхнею деталі.

#### 1.4 Висновки

Розглянувши перераховані вище методи та врахувавши їхні позитивні та негативні сторони можна зробити попередній висновок - як аналог методу, що дозволить розв'язати поставлену задачу по відновленню деталі "цапфа поворотна" тобто використовуємо методи наплавки під шаром флюсу та електродугової металізації.

Методи задовольняють наступним параметрам:

- в декілька разів економніший та на 20-70% продуктивніший від інших методів наплавки;
- відсутній шкідливий вплив на шар металу, що наплавляється;

- наплавку доречно використовувати для циліндричних деталей діаметром не менше 50 мм;

- висока продуктивність методу при низькій вартості; використання універсального обладнання.

Результатом розробки буде модернізація існуючого технологічного процесу відновлення використанням методу наплавки напилення та відповідного обладнання.

Поставлена задача може бути досягнута використанням методу наплавки в середовищі вуглекислого газу, який зберігає позитивні властивості наплавки під шаром флюсу, і одночасно, зменшує негативні наслідки та недоліки.

### 1.5 Прогнозування обсягів відновленої продукції

Важливим питанням доцільності розробки (модернізації) технологічного процесу відновлення деталей є прогноз попиту на дану послугу та продукцію.

Цапфа поворотна колісного редуктора тролейбуса використовується як одна з основних деталей рухомого складу. В процесі експлуатації на цапфу поворотну діють значні навантаження, як статичні так і динамічні, внаслідок чого відбувається значне зношування робочих поверхонь. Тому виникає потреба в їх заміні чи відновленні.

Тролейбус досить розповсюджений засіб міського транспортного середньої вантажопідйомності, який активно використовували та використовують міські комунальні служби. До того ж на сьогоднішній день їх термін використання складає 15-20 років. Величина зносу досягає 70-90% при відсутності коштів на придбання нового обладнання. Тому відновлення деталей часто є єдиним доступним заходом при проведенні ремонтів.

Потенційними споживачами даної продукції будуть, у першу чергу, ремонтні майстерні та депо.

Загалом у місті Вінниця нараховується близько 300 транспортних засобів. Середній термін заміни цапфи поворотної складає 5-7 років. Отже щорічно відновлюватися будуть

$$300/(5-7) = 60 - 43 \text{ тролейбуси.}$$

Додатково, через різні обставини, в рік деталей типу “цапфа поворотна” виходить з ладу, близько 10% від загальної кількості (що складе 30 одиниць), зважаючи на термін використання тролейбуса. Тому загальна кількість відновлень може коливатися 73 -90 одиниць.

Необхідно також врахувати те, що деталь „цапфа поворотна” є парною деталлю. Тобто кількість виробів для відновлення зросте майже вдвічі і складе

$$(73 - 90) * 2 = 146 - 180 \text{ шт. на рік.}$$

Підвищення кількості можливих відновлень пропонується за рахунок універсальності технології. Також можна розширити номенклатуру деталей, що відновлюються з поданням гарантії на їх якість.

## 1.6 Економічне обґрунтування доцільності удосконалення технологічного процесу відновлення

### 1.6.1 Розрахунок економії собівартості одиниці продукції при удосконаленні технологічного процесу відновлення виробу

Зменшення собівартості одиниці продукції  $\Delta S$  при модернізації технологічного процесу тощо можна спрогнозувати таким спрощеним способом:

- методом питомої ваги. Цей метод застосовується тоді, коли є можливість зменшити одну із прямих витрат (наприклад, зменшити витрати на матеріали, комплектуючі, заробітну плату робітників тощо) і коли відома питома вага даної статті витрат в собівартості аналога. Зменшення собівартості одиниці продукції можна спрогнозувати за формулою:

$$\Delta S = \frac{(B_a - B_n \cdot K_n) \cdot 100\%}{\Pi\%} \text{ [грн.]},$$

де:  $B_a$  - величина однієї із статей прямих витрат в одиниці продукції аналога, грн.,

-  $B_n$  - величина однієї із статей прямих витрат в одиниці нової продукції, грн.,

-  $\Pi$  - питома вага цієї статті витрат в собівартості аналога, % ;

-  $K_n$  - коефіцієнт, який урахує конструктивні та технологічні особливості нової розробки,  $K_n = 1 \div 1,2$ .

Проведемо порівняння за статтею – матеріали:

$B_a = 534$  грн. 30 коп.

$B_n = 2019$  грн 50 коп.

$\Pi = 80$  %.

$K_n = 1.1$

Тоді  $\Delta S = (2019,5 - 534,3 \cdot 1.1) \cdot 100 / 80 = 1789,8$  грн.

#### 1.6.2 Додаткові капітальні вкладення

Величину додаткових капітальних вкладень ( $\Delta K$ ) можна спрогнозувати за формулою:

$$\Delta K = (2 \div 4) \cdot B_{обл} \text{ [грн.]},$$

де:  $(2 \div 4)$  — коефіцієнт, який урахує витрати на проектування, оренду приміщень тощо, грн.,

-  $B_{обл}$  — вартість обладнання, яке необхідно придбати для впровадження нового технологічного процесу, побудови цеха, ділянки тощо, грн.

$$\Delta K = 2 * (2068) = 158400 \text{ грн.}$$

#### 1.6.3 Розрахунок терміну окупності технологічного процесу

Якщо існуючий технологічний процес (1) удосконалюється (модернізується), внаслідок чого з'являється удосконалений техпроцес (2), то в цьому випадку ведеться розрахунок додаткових капітальних вкладень ( $\Delta K$ ) на модернізацію техпроцеса, а також зменшення собівартості одиниці

продукції ( $\Delta S$ ), що буде виготовлятися на модернізованому техпроцесі в порівнянні з базовим.

Механізм співставлень додаткових капітальних вкладень та економії на собівартості продукції зводиться до розрахунку терміну окупності додаткових капітальних вкладень:

$$T_o = \frac{\Delta K}{(S_1 - S_2) \cdot N_2} = \frac{\Delta K}{\Delta S \cdot N_2} \text{ [років]},$$

$$T_o = \frac{158400}{1789,8 \cdot 150} = 0,59$$

- де:  $\Delta K$  - додаткові капітальні вкладення на модернізацію технологічного процесу, модернізацію дільниці, цеха тощо, грн.,

-  $S_1$  та  $S_2$  - собівартість одиниці продукції при застосуванні старого (1) та модернізованого технологічного процесу (2), грн/шт.,

-  $\Delta S$  - зменшення собівартості одиниці продукції, грн.,

-  $N_2$  - обсяг виробництва нової продукції за рік при застосуванні нового, модернізованого техпроцеса, шт.

Якщо термін окупності  $T_o$  буде менший за нормативний, тобто менший за  $4 \div 5$  років, то модернізація технологічного процесу буде економічно виправдана. По низче наведеним розрахункам термін окупності  $T_o$  складає 0,59 років (тобто 7 місяців), що менше нормативного. Тому проводити удосконалення технологічного процесу можна вважати доцільним.

## 2 НАУКОВА ЧАСТИНА

### 2.1 Аналіз середовища та умови роботи цапфи поворотної тролейбуса

При роботі цапфи поворотної тролейбуса, з часом, змінюються геометрія поверхонь тертя і фізико-механічні властивості поверхневих шарів матеріалу деталі, яка проявляється при постійних зовнішніх умовах в погіршенні тертя, температури і інтенсивності зношування.

Перехід від початкового стану поверхонь тертя до встановленого супроводжується важкими не зворотніми явищами, які проходять в тонкому поверхневому шарі.

Процес знакозмінних навантажень призводить до зміни поверхневих шарів цапфи поворотної тролейбуса і до такого його фізичного стану та такої структури, при якій поверхневий шар має мінімальну потенційну енергію, що і є причиною зносу робочих поверхонь.

Ці багато чисельні фактори можна розділити на основні і додаткові.

До основних можна віднести навантажуючі (навантаження, швидкість), вихідні фізико - механічні властивості матеріалу цапфи і мастильне середовище. До додаткових відносяться температура, яка підвищується під час тертя і пов'язані з нею різні фізико-хімічні зміни при фрикційному контакті. Всі ці фактори взаємопов'язані, тому вивчення їх впливу на роботу цапфи поворотної тролейбуса визначається значними затратами.

Оскільки при роботі цапфи, в основному працюють шліцеві поверхні, то доречно розглянути умови роботи шліців в зачепленні, так як більшість дефектів даної деталі приходить на різного типу поломку зубців шліців.

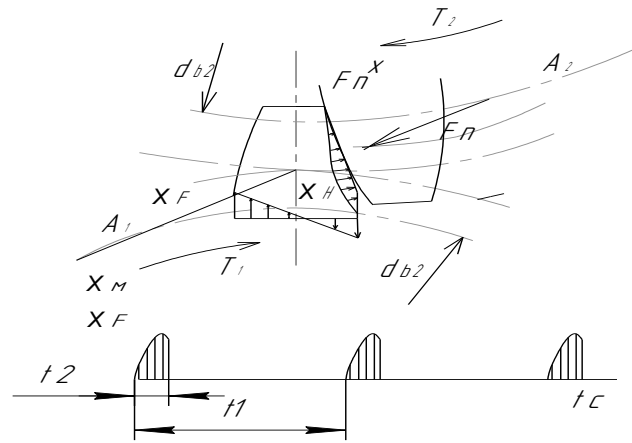


Рисунок 2.1 - Схема сил, діючих на зуб в зачепленні

При передачі крутного моменту (рисунок 2.1) у зачепленні, крім нормальної сили  $F_n$ , діє сила тертя, рівна  $F_n x$ , зв'язана з ковзанням. Під дією цих сил зуб знаходиться в складному напруженому стані. Вирішальний вплив на його працездатність роблять дві основні напруги: контактна напруга  $\sigma_n$  і напруга згину  $\sigma_F$ . Для кожного зуба ці напруги не є постійно діючими. Вони змінюються в часі по деякому переривчастому (пульсуючому) циклу. Час дії  $\sigma_F$  за один оборот колеса дорівнює тривалості зачеплення одного зуба ( $t_2$ ). Напруги  $\sigma_n$  діють ще менший час. Цей час дорівнює тривалості перебування в зачепленні даної точки поверхні зуба з урахуванням зони поширення контактних напруг.

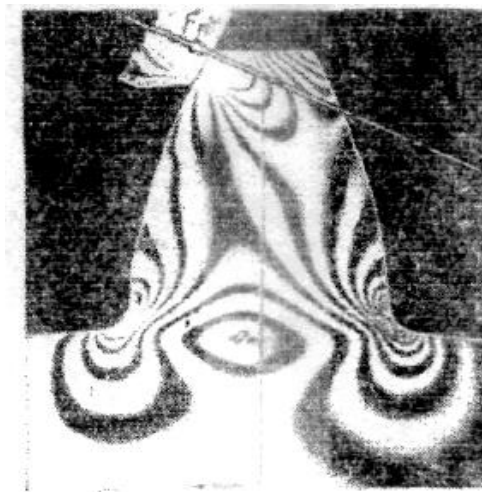


Рисунок 2.2 - Мікрофотографія шліців в зачепленні.

Змінні напруги є причиною втомленого руйнування зубів: поломка зубів від напруг згину і викришування поверхні від контактних напруг.

З тертям у зачепленні зв'язані зношення і заїдання поверхонь зубів.

## 2.2 Причини втрати працездатності цапфи поворотної тролейбуса

Втрата працездатності цапфи поворотної тролейбуса виникає на тих ділянках її поверхні, де реалізується силова взаємодія контактних поверхонь шліцевих з'єднань, рідшими дефектами є згин цапфи, зношення отворів та зношення різьби.

Розглянемо причини видів поломки шліців. На практиці спостерігається багато видів поломок шліців. Всі види пошкодження поверхні зубів зв'язані з контактними напругами і тертям. Виломлювання кутів шліців, пов'язане з концентрацією навантаження.

Розрізняють два види поломки шліців:

- поломка від великих перевантажень ударної або навіть статичної дії – попереджають захистом приводу від перевантажень або врахуванням перевантажень при розрахунку;
- втомлювана поломка, що відбувається під дією змінних напруг протягом порівняно довгого терміну служби – попереджають розрахунком на витривалість.

Втомлюване викришування від контактних напруг спостерігається при гарному змащенні передачі (найчастіше це бувають закриті передачі, захищені від пилу і бруду). Зуби таких передач розділені тонким шаром мастила, що усуває металевий контакт. При цьому знос зубів малий. Передача працює тривалий час до появи втоми в поверхневих шарах шліців. На поверхні з'являються невеликі поглиблення, що нагадують оспинки, що потім ростуть і перетворюються в раковини.



Викришування починається звичайно поблизу полюсної лінії на ніжках зубів там, де навантаження передається одною парою шліців, а ковзання і перекочування шліців спрямовані так, що мастило запресовується в тріщини і сприяє викришуванню часток металу. При викришуванні порушуються умови утворення суцільної масляної плівки з'являється металевий контакт із наступним швидким зносом або задиром поверхні.

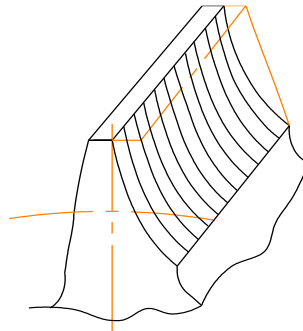


Рисунок 2.3 - Абразивне спрацювання шліців

Утворення перших втомлюваних раковин не завжди служить ознакою близького повного руйнування шліцевих передач, шліци яких мають невисоку твердість ( $HV < 350$ ), спостерігаються випадки так званого обмеженого або початкового викришування. Початкове викришування зв'язане з припрацюванням зубів недостатньо точно виготовлених передач. Воно з'являється в місцях концентрації навантаження після нетривалої роботи і потім припиняється. При цьому раковини, що утворилися, не розвиваються і навіть зовсім зникають внаслідок згладжування. Припинення подальшого викришування в цьому випадку пояснюється тим, що руйнування місць концентрації навантаження вирівнює її розподіл по поверхні шліців.

При високій твердості зубів ( $HV > 350$ ) явище обмеженого викришування звичайно не спостерігається. Тут утворені раковини швидко ростуть внаслідок крихкого руйнування їхніх країв.

Абразивне спрацювання є основною причиною виходу з ладу передач. До цього виду зношення відноситься й зношення шліців цапфи а також

відкриті, та закриті, передачі що недостатньо захищені від забруднення абразивними частками (пил, продукти зносу і т.п. ). Такі передачі можна зустріти в сільськогосподарських і транспортних машинах, у гірничорудному устаткуванні, у вантажопідйомних машинах і т.п..

Цапфа поворотна тролейбуса, працює зі значним зносом, викришування не відбувається, тому, що поверхневі шари знімаються раніше, ніж з'являються тріщини втоми. В більшості спостерігається зношення шліців по товщині.

При такому виді зношування в деталях збільшуються зазори в зачепленні, з'являється шум (удари), зростають динамічні навантаження. У той же час міцність зношеного зуба знижується внаслідок зменшення його поперечного переріза. Усе це може привести до виходу з ладу цапфи.

Основні міри попередження зносу цапфи поворотної тролейбуса

- підвищення твердості поверхні шліців, захист від забруднення, застосування мастил з підвищеною в'язкістю.

Також мають велике значення заходи для усунення концентраторів напруг (рисок від обробки, раковин і тріщин у виливках, мікро тріщин від термообробки).

В стаціонарному режимі фактична площа контакту постійна в будь – який момент часу. При зміщенні підшипника відносно цапфи на величину середнього діаметру плями контакту, існуючі фрикційні зв'язки порушуються і виникають нові в тій же кількості, але в іншій точці поверхні напіввісі, яка належить фрикційному зв'язку і реалізує повний цикл навантаження.

### 2.3 Порівняльний аналіз технології відновлення зовнішніх шліцевих поверхонь із використанням наплавки

Запропоновані два основні методи відновлення шліців:

Технологія реалізації першого методу полягає:

- Зрізання повністю зношених шліців на токарному верстаті;
- наплавлення поверхні під шаром флюсу;
- нарізання шліців.

В якості наплавляемого матеріалу використовуємо наплавочний дріт ПП-Нп-18Х1Г1М, наплавку виконуємо на наплавочній установці УД-209М. Недоліком даного методу є те, що за один раз не наплавляється потрібна товщина для нарізання шліців. Тому за технологією відновлення обробляється дефектний шар напавленої поверхні на токарному верстаті, і знов відбувається наплавка цієї поверхні. Тобто наплавка проходить в декілька етапів. Такий метод трудомісткий і займає багато часу, а також не дає високих показників механічних властивостей напавленого шару. Твердість напавленого шару знаходиться в межах НВ 2500...2700 МПа.

## 2. Наплавка поздовжніми валками (зображена на рисунку 2.4.).

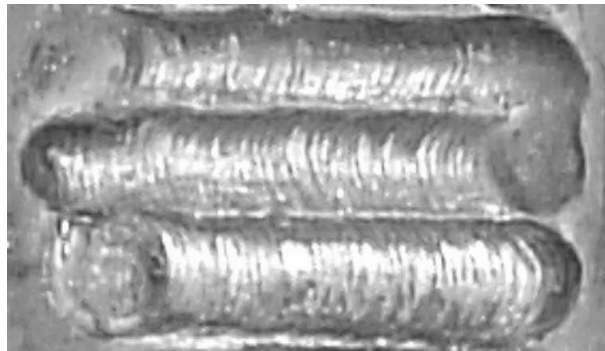


Рисунок 2.4 – Наплавка поздовжніми валками

З метою зведення до мінімуму жолоблення деталі, напавлення валиків відбувається в наступній послідовності: після напавлення першого валика деталь повертають на  $180^\circ$ , і напавляють наступний валик з протилежного боку (рис. 2.5).

Електрод в процесі напавлення повинен розміщуватись в середині канавки між зубцями. Твердість напавленого шару без термічної обробки складає НВ 2860-3000 МПа, після загартування і відпуску НВ 3200 МПа.

Згідно технології наплавки дана поверхня під шліці обробляється на токарному верстаті, а потім нарізаються шліці на вертикально-резерному верстаті спеціальною фрезою.

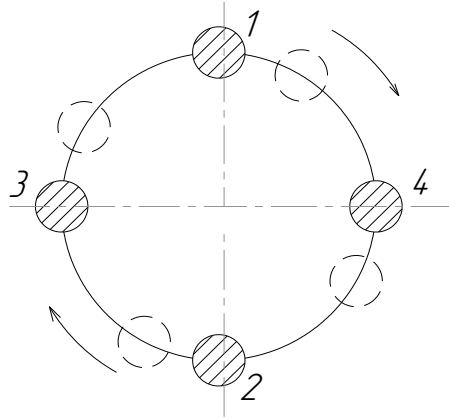


Рисунок 4.5 Послідовність заповнення шліців.

Другим варіантом для наплавлення використовуємо наплавочний дріт ПП-Нп-18Х1Г1М, діаметр дроту 2.4мм, хімічний склад якого: С – 0,18%; М<sub>n</sub> – 1,4%; С<sub>r</sub> – 1,4%; М<sub>o</sub> – 0,4; S<sub>i</sub> – 0,8%.

Для наплавлення поверхні такий дріт застосовують з метою отримати напавлений шар з високими механічними властивостями з межою міцності 600...700 МПа, а після відповідної термічної обробки після наплавки  $\sigma_{\epsilon} = 850...1400$  МПа. Таку високу технологічну міцність та працездатність можна отримати, якщо легуючих елементів в напавленому шві метала не більше (у %) 0,15С; 0,5Si; 1.5Mn; 1.5Cr; 2.5Ni; 0.5V; 1.0Mo; 0.5Nb. Комбінування різних елементів в визначених межах дасть можливість отримати необхідні експлуатаційні властивості.

Враховуючи те, що вуглець є основним карбідотвірним елементом, нами було запропоновано введення вуглецю в напавляємо ванну. Вуглець, у вигляді тканини, намотували на поверхню, що напавляється, і напавляли з наступними режимами: I<sub>n</sub>=324А, U=36В, V<sub>n</sub>=30,3м/год; V<sub>п.др</sub>=82 м/год.

В результаті наплавки вуглець переміщується в напавляемому шарі. При вмісті вуглецю в напавляемому шарі до 0,6% С з іншими карбідотвірними

елементами утворюються в наплавленому шарі доєвтектоїдні структури, що відрізняються високою ударною міцністю при порівняно високій зносостійкості. Твердість наплавленого шару після наплавки складає НВ 3100МПа.

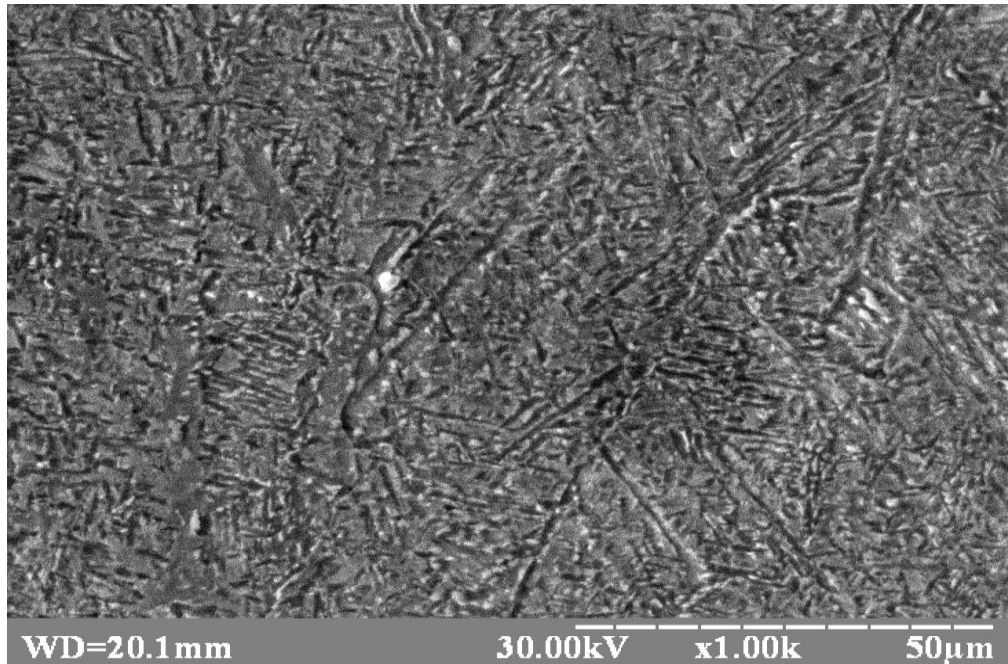


Рисунок 2.5 – Мікроструктура наплавленого шару

На рисунку 2.5 представлена мікроструктура наплавленого шару поверхні цапфи. Структура наплавленого шару являє собою бейніт (дрібногольчатий тростит). Характерною особливістю бейнтного утворення є те, що воно відбувається в інтервалі температур, коли практично відсутня дифузія, (самодифузія) заліза, але інтенсивно протікає дифузія вуглецю, що і відбулося у нашому випадку при явності вуглецевої тканини у місці сплавлення основного наплавляемого металу.

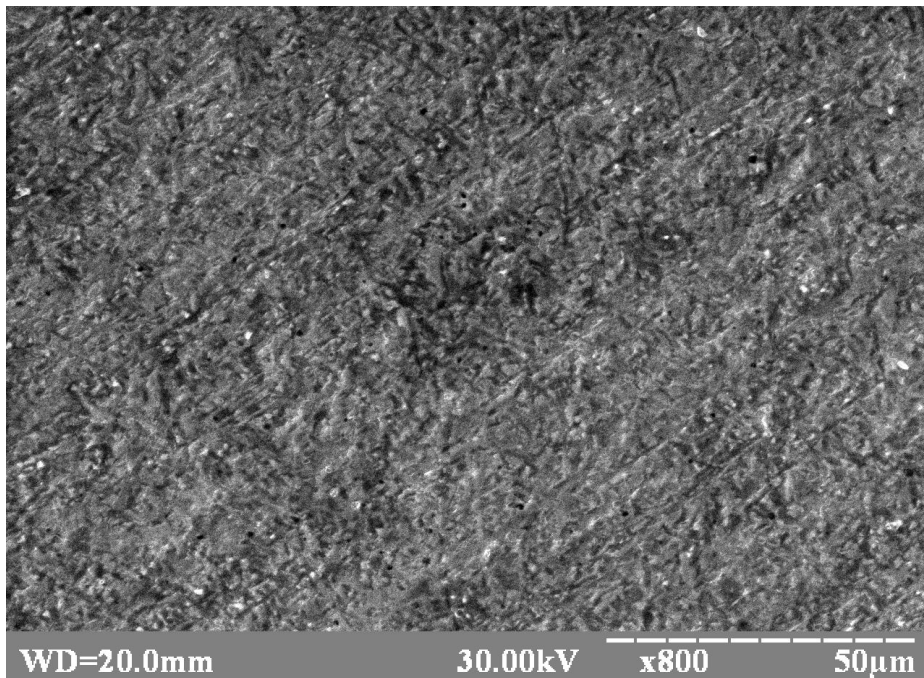


Рисунок 2.6 – Мікроструктура перехідної зони

На рисунку 2.6 показана перехідна зона, мікроструктура якої свідчить, що дифузійні процеси проходять плавно, не створюючи рідкої зони. На мікроструктурі є зони з внутрішнім мартенситом, який плавно переходить в бейніт.

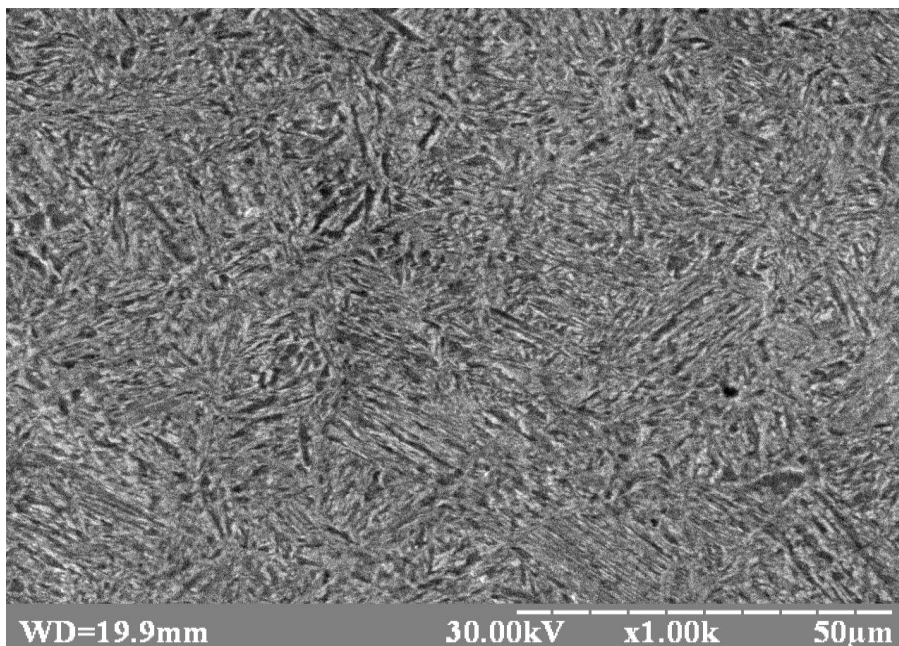


Рисунок 2.7 – Мікроструктура матеріалу деталі

На рисунку 2.7 показана мікроструктура основного металу, яка підпала під дію високих температур, але суттєвої зміни не відчула.

Подальшою роботою над цією проблемою буде визначення оптимального варіанту наплавлення з точки зору якості та структури наплавляемого шару і їх експлуатаційних властивостей.

### 3. ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ШЛІЦІВ ЦАПФИ ПОВОРОТНОЇ ВУЗЛА ПРИВОДУ ЗАДНЬОГО КОЛЕСА ТРОЛЕЙБУСА ЗИУ-9

#### 3.1 Описання деталі та умови її роботи

Поворотна цапфа є складальною одиницею ступиці колеса колісного редуктора виробництва Угорщини (рис. 3.1).

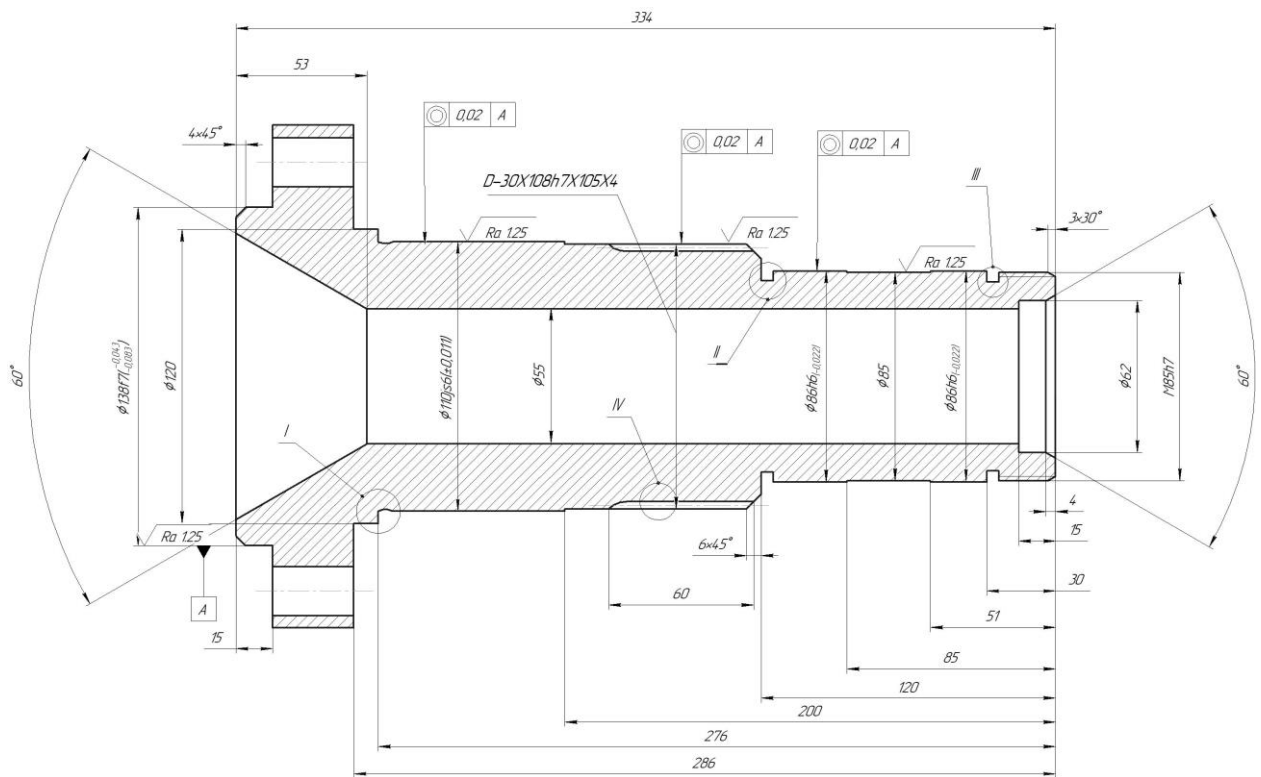


Рисунок 3.1 – Цапфа поворотна

Рукав (поворотна цапфа) є продовженням балки заднього моста (рис.3.2). Цапфа впресована і кріпиться 12–ма болтами М10, або шпильками до картера заднього мосту. Між цапфою й балкою встановлене ущільнювальне кільце  $\varnothing 136$  мм, яке виготовлене з гумового шнура.



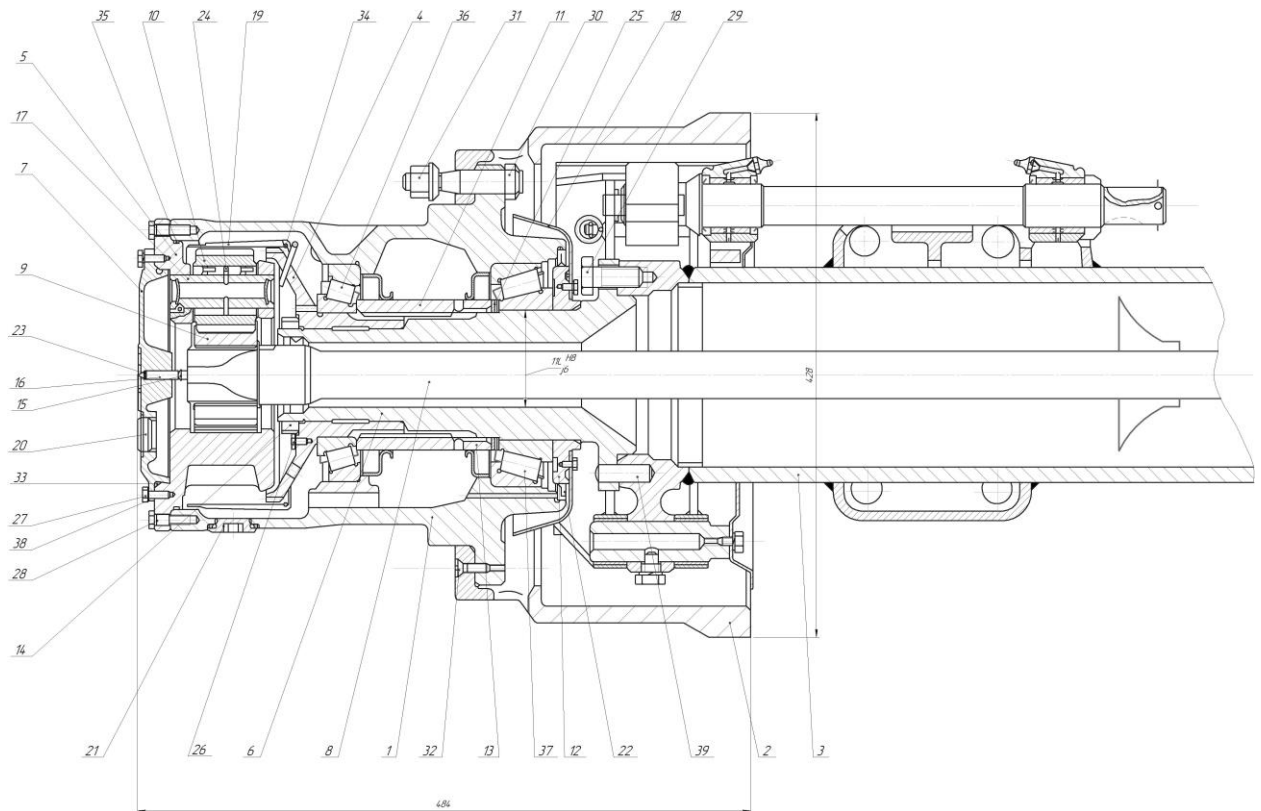


Рисунок 3.2 – Цапфа поворотна

На рукаві змонтована ступиця, напресована на зовнішні обойми конічних підшипників 7222, 7522 (ГОСТ 339-59). Внутрішня обойма конічного підшипника 7222 напресована безпосередньо на цапфу на шийці  $\varnothing 110j_s(\pm 0,011)$ . На шийці  $\varnothing 86h(\pm 0,02)$  цапфи напресована ступеця зубчатого вінця, на яку попередньо насаджена обойма конічного роликового підшипника 7522. Зазори у підшипниках регулюються завдяки зміні відстані між внутрішніми обоймами конічних підшипників, здійснюється це за рахунок підтягування опори коронної шестерні гайкою М85.

При збиранні нерухомих спряжень: внутрішня обойма підшипника – поворотка цапфа, необхідно дотримуватись натягу  $\varnothing 110j_s(\pm 0,011)$ . Якщо посадка нерухома, це не означає, що натяг у спряженні буде завжди однаковий, тому що якісь поверхні спряжених деталей здійснює на нього значний вплив. У процесі експлуатації спряжень міцність нерухомих посадок зменшується: вони можуть перейти в рухомі, що буде супроводжуватись

інтенсивним зношуванням, тому що в нерухомих спряженнях не передбачається прошарок мастила.

Складання нерухомого спряження ступеця зубчатого вінця – цапфа з малим натягом сприяє його швидкому переходу в рухоме спряження і в кінцевому результаті, до виходу його з ладу. Складання спряження з великим натягом також недопустиме, так як може призвести до втрати міцності деталей спряжень і його руйнування.

Отже, в будь-якому випадку, у процесі експлуатації відбувається зношування в нерухомих спряженнях поворотної цапфи, так як вона працює в умовах великих навантажень змінними силами як по величині, так і по знаку. Тривала робота в подібних умовах тягне за собою втому метала цапфи та поломку її.

Основними критеріями працездатності цапфи являються стійкість, зносостійкість, витривалість спряжень поверхонь та жорсткість. Тому для відновлення та підтримки таких параметрів необхідний якісний та надійний метод відновлення, економічно вигідний та продуктивний.

### 3.1.1 Матеріал деталі і його властивості

Цапфа поворотна виготовлена із середньовуглецевої сталі 45 ГОСТ 4543-81 і володіє всіма необхідними якостями для обробки на металорізальних верстатах.

Таблиця 3.1 - Хімічні склад сталі 45 ГОСТ 4543-81

Вміст елементів в %						
Вуглець С	Кремній, Si	Марганець Mn	Хром, Cr	Нікель, Ni	Фосфор, P	Сірка, S
0,36...0,4	0,17..0,37	0,5...0,8	0,8...1,1	0,25	0,04	0,04

Таблиця 3.2 - Механічні властивості

$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	КСУ, МДж/см <sup>2</sup>	НВ, одн
1000	800	10	45	0,6	163...168

### 3.2 Дефектація цапфи поворотної

Дефектацію деталей проводять з метою визначення їхнього технічного стану: деформацію і знос поверхонь, цілісність матеріалу, зміна властивостей і характеристик робочих поверхонь.

Процес дефектації значною мірою визначає якість відновлених деталей, тому приміщення, де проводиться дефектація, повинне мати гарне освітлення. Інструмент і деталі перед виміром повинні бути однакової температури, рівній температурі усередині приміщення (температура, що рекомендується, 18-20°C). Весь вимірювальний інструмент повинний бути справним і перевіреною службою метрології. Вимір і контроль деталей виконують тими інструментами і засобами, що зазначені в таблицях дефектації технічних вимог на ремонт.

Для прийняття об'єктивного рішення відносно подальшого використання деталей керуються нормативно – технічними документами для даного виду і об'єкта ремонту. У нормативному документі (технічних вимогах на дефектацію) зазначені два види оцінювання параметрів, тобто критерії технічного стану деталей:

А) критерій допустимого подальшого використання деталей, який забезпечує ресурс до наступного ремонту

Б) критерій граничного стану, за якого деталь не може бути встановлена на машину.

Отже, в процесі дефектації деталі сортують на групи, які визначають техно-логічні потоки деталей:

1. деталі придатні для подальшого використання в процесі ремонту машин;
2. деталі, які відправляють на ремонт;
3. непридатні деталі, які утилізують.

Для всіх груп відсортованих деталей даної марки машин за нагромадженою інформацією визначають коефіцієнт повторюваності дефектів  $K_{n.d}$ , який визначає відношення кількості деталей одного найменування з даним дефектом до загальної кількості ремонтпридатних деталей.

$$K_{n.d} = \frac{n_d}{n_{заг}}, \quad (3.1)$$

Де:  $K_{n.d}$  – коефіцієнт повторюваності дефектів;

$n_d$  – деталі одного найменування з даним дефектом;

$n_{заг}$  – загальна кількість ремонтпридатних деталей.

Проаналізувавши умови роботи цапфи поворотної можна зробити висновок, що вона може мати наступні дефекти:

- а) знос зовнішньої поверхні під підшипника;
- б) знос шліцевої поверхні;
- в) знос поверхні під посадку втулки
- г) знос різьби.

При дефектації цапфи поворотної виконують наступні операцій:

А) зовнішнім оглядом за допомогою лупи або використовуючи методи магніто-порошкової чи люмінесцентної дефектоскопії визначаємо наявність на деталі таких дефектів як тріщини, корозію, задири, відколи, викришування металу тощо. Зовнішнім оглядом визначаємо спрацювання різьби.

Б) за допомогою вимірювальних мікрометра та штангенциркуля встановлюємо наявність зносу на шліцевій поверхні.

В) за допомогою вимірювальних мікрометра та штангенциркуля встановлюємо наявність зносу поверхні під посадку ступеці зубчатого вінця.

Г) зовнішнім оглядом визначаємо пошкодження різьби

### 3.2.1 Основні дефекти та причини їхнього виникнення (рис. 3.3)

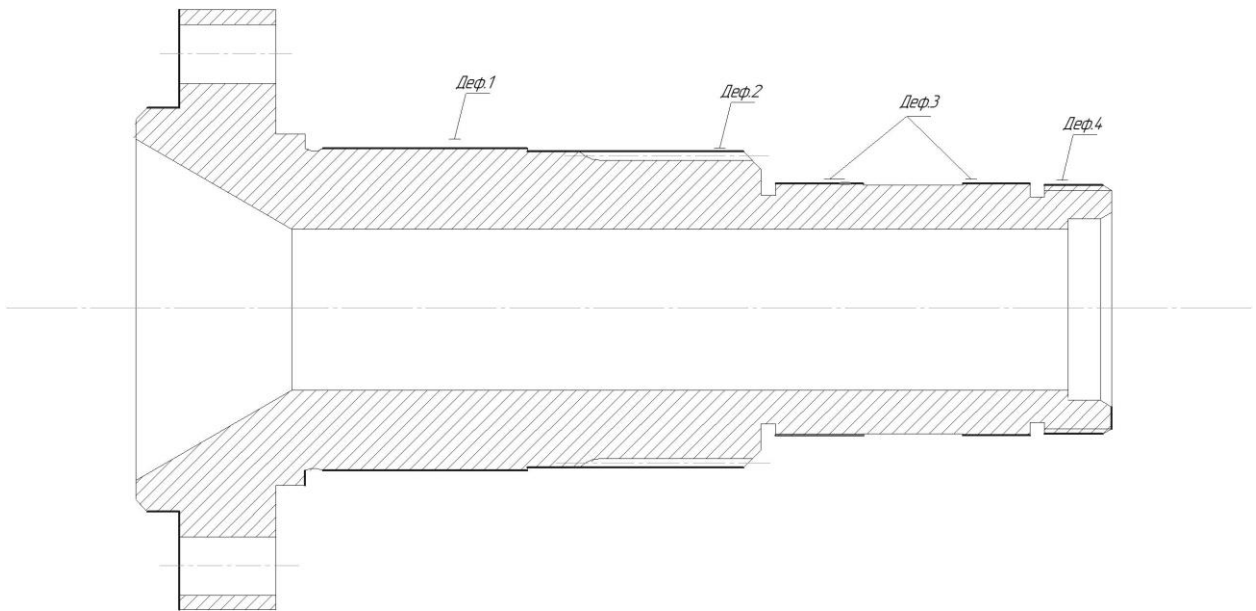


Рисунок 3.3 – Дефекти цапфи поворотної

Дефект 1. Знос поверхні під підшипники, що виходить за межі допустимого розміру  $\text{Ø}110j10_{-0,11}$  мм. Наявність дефекту зумовлюється фретинг-корозією. Дефект визначаємо за допомогою мікрометра М75-1 ГОСТ 166-90.

Дефект 2. Знос шліцевої поверхні, що виходить за межі розміру  $\text{Ø}108h8_{-0,039}$ . Дефект виникає внаслідок тертя, яке викликає глибинне місцеве виривання шарів поверхневого металу. Дефект визначаємо за допомогою мікрометра М50-1 ГОСТ 166-90

Дефект 3. Знос поверхні під посадку спупеці зубчатого вінця, що виходить за межі допустимого розміру  $\text{Ø}86h6_{-0,22}$  мм. Наявність дефекту зумовлюється терттям. Дефект визначаємо неозброєним оком, або за допомогою мікрометра М75-1 ГОСТ166-90

Дефект 4. Знос різьбової поверхні, що виходить за межі допустимого розміру  $\text{M}85h6_{-0,22}$  мм. Наявність дефекту зумовлюється фретинг-корозією. Дефект визначаємо неозброєним оком, або за допомогою мікрометра М75-1 ГОСТ166-90

Результати дефектування цапфи поворотної наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Дефектація цапфи поворотної

№ п/п	Дефект	Спосіб виявлення дефекту	Розміри, мм	
			За кресленням	Допустимий
1	Зношення поверхні під підшипник	Мікрометр М75-1 ГОСТ 166-90	110j6 <sub>(-0,11)</sub>	109,89
2	Знос шліцевої поверхні	Мікрометр М50-1 ГОСТ 166-90	108h8 <sub>(-0,039)</sub>	107,61
3	Знос поверхні під посадку ступеці	Мікрометр М75-1 ГОСТ 166-90	86h6 <sub>(-0,22)</sub>	85,88
4	Зношення різьбової поверхні	Мікрометр М75-1 ГОСТ 166-90	M85 <sub>(-0,028)</sub>	M85

Також дана деталь дифектується на приховані тріщини, які виникають в процесі експлуатації чи внаслідок відновлення деталі.

Основними методами виявлення прихованих тріщин є:

1. Магніто-порошковий метод
2. Електро-звуковий метод
3. Ультра- звуковий метод

Перевірявши цапфу на внутрішні тріщини, її можна використовувати як одну із складових ведучого вузла тролейбуса.

На основі таблиці дефектування розробляємо ремонтне креслення.

Місця сполучення цапфи з внутрішніми кільцями роликотідшипників знаходяться в дуже малому відносному пересуванні й піддаються особливому виду зношування, яке називається фреттинг-процесом чи фреттинг-корозією. Цей вид зношування розвивається на поверхнях валів у місцях насадки шестерень, підшипників кочення, а також у шліцевих, шпонкових і шарнірних з'єднаннях, у провушинах і на поверхні ресор. Ушкодження поверхні мають вид ямок і виразок, які небезпечні тим, що істотно знижують опір втоми деталей.

Єдиної теорії, що пояснює механізм цього виду зношування, немає. Відповідно до однієї теорії визначальним служить механічна взаємодія контактуючих поверхонь. Припускають, що воно викликає руйнування оксидних плівок, частки яких не віддаляються за межі контакту і діють як абразив. За іншою теорією основними вважається адгезійна взаємодія в поєднанні з корозією. Внаслідок адгезії частки металу спочатку відокремлюються від поверхні, потім окисляються киснем середовища і перетворюються в абразив. Прихильники цієї теорії називають такий процес фреттинг-корозією.

Основні методи захисту від цього виду зношування - підвищення твердості поверхонь, що контактують (цементация, азотування, нітроцементация, поверхневе гартування та ін.), застосування мастильних матеріалів, лаків, плівкових покриттів із полімерів, що утрудняють металевий контакт поверхонь тертя й доступ до нього кисню.

### 3.3 Загальний технологічний процес відновлення цапфи поворотної

Відновлення поворотної цапфи колісного редуктора тролейбуса являє собою послідовно виконувани очисні, дефектувальні, механічні, відновлювальні, механічні, та контрольні операції. Як результат виконання цих робіт цапфи повертається працездатність та відновлюється її ресурс.

Основні операції технологічного процесу відновлення:

005 – очисна;

010 – дефектувальна;

015 – токарна

022 – фрезерна;

025 – відновлювальна(наплавка під шаром флюсу);

030 – термічна;

035 – токарна

040 – фрезерна;

045 – відновлювальна(напилення);

050 – шліфувальна;

055 – контрольна.

На рисунку 3.4 показано технологічний процес відновлення цапфи поворотної.



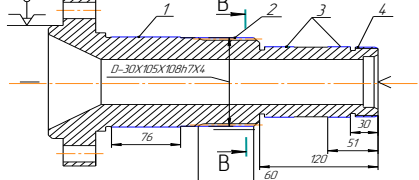
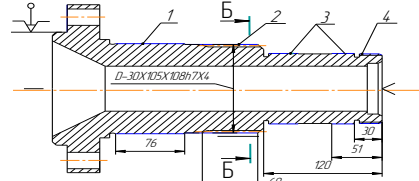
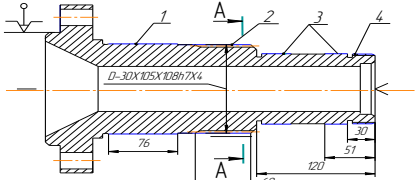
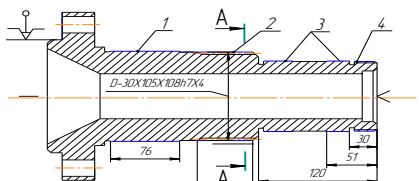
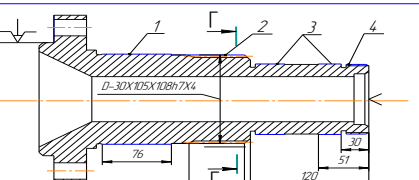
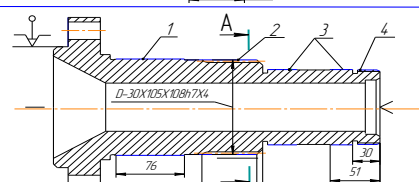
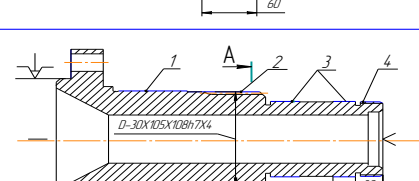
№ опер	Операційні переходи	Технологічний процес(Схеми установки)	Моделі верстатів
005	<b>Очисна</b> 1.Зачистити деталь в розчин Лобамід-101 2.Температура 65-80 С		Мийна машина АКТБ-116
010	<b>Дефектувальна</b> 1.Встановити деталь на стіл дефектоскопа 2.Час дефектації 3-5 хв		Магнітний спосіб
015	<b>Токарна</b> 1.Встановити, закріпити, зняти заготовку. 2.Точити поверхні 1, 3 та 4 згідно вимогам.		Токарно-гвинтарічний верстат 16К20,
020	<b>Фрезерна</b> 1.Встановити, закріпити, зняти заготовку. 2.Фрезерувати поверхню 2 згідно вимогам фрезерування шліців..		Горизонтально-Фрезерний верстат 5К310
025	<b>Наплавлення</b> 1.Встановити заготовку, закріпити зняти заготовку. 2.Напаяти поверхні 2, 3, 4 до відповідних розмірів		Наплавочна установка 5Д-209; наплавочна голівка А-580М
030	<b>Термічна</b>		Електрона пін СН06.12.4./10
035	<b>Токарна</b> 1.Встановити, закріпити, зняти заготовку. 2.Точити поверхні 2 і 4 до розміру за ескізом.		Токарно-гвинтарічний верстат 16К20,
040	<b>Фрезерна</b> 1.Встановити, закріпити, зняти заготовку. 2.Фрезерувати поверхню 2 згідно вимогам фрезерування шліців..		Горизонтально-Фрезерний верстат 5К310
045	<b>Наплення</b> 1.Встановити, закріпити, зняти заготовку. 2.Напаяти поверхню 1 забезпечивши відповідний допуск.		Модернізована наплавочна установка 5Д-209, з електро-дуговим металізатаром
050	<b>Шліфування</b> 1.Встановити, закріпити, зняти заготовку. 2.Шліфувати поверхню 1 до розміру на ескізі.		Шліцешліфувальний верстат 3П4.1
055	<b>Контрольна</b>		Мікрометр М350-1 ГОСТ 166-90

Рисунок 3.4 – Технологічний процес відновлення цапфи поворотної

### 3.4 Очистка

Для очищення деталі оберемо мийну машину АКТБ – 116, в якій операція очищення проводиться з повним зануренням деталі у спеціальний розчин. Завантажуємо поворотну цапфу в машину і промиваємо її на протязі 10-15 хвилин в розчині „Лабомід - 101” ТУ 308.10738-80 при температурі 65 - 80 °С і концентрації 10-15 г/л.

Сушимо деталь на повітрі.

### 3.5 Дефектування

Дрібні та приховані тріщини при ремонті виявляємо магнітним методом. Магнітний метод базується на властивості магнітного потоку створювати місцеві поля розсіювання у зоні прихованих тріщин, раковин та сторонніх вкраплень.

Деталь необхідно встановити на стіл дефектоскопа, намагнітити двох – трьох кратним вимиканням струму на 1,5 – 2 с та полити магнітною суспензією. Суміш магнітного порошку накопичується у місцях поля розсіювання, вказуючи розташування дефекту.

Особливо ретельно необхідно дослідити деталь у небезпечній зоні.

Після цього деталь розмагнічується повільним відводом від неї електромагніта.

Магнітна дефектація займає 3 – 5 хв.

### 3.6 Токарна та фрезерна обробки до наплавки

Перед наплавленням необхідно зняти дефектний шар металу зі зношеної деталі, так як знос діє нерівномірно по поверхні. Тому припуск на токарну обробку повинен забезпечити зняття металу по всій оброблюваній

поверхні і цей припуск повинен бути мінімальним, з метою економії матеріалів та інших затрат.

Враховуючи знос, припускаємо, що необхідно зняти шар металу товщиною  $t=0,75$  мм на сторону (поверхня  $\varnothing 110$  мм),  $t=0,6$  мм (поверхня  $\varnothing 86$  мм) та  $t=0,4$  (шліцева поверхня  $\varnothing 108$  мм)

Так як відновлювані поверхні мають однаковий характер зношування і майже подібні розміри (діаметри), то будемо розраховувати всі режими і припуски для одної поверхні ( $\varnothing 110$  мм), а для шліцевої поверхні режими будемо розраховувати окремо.

Аналітичний розрахунок припусків на розміри для механічної обробки після наплавки

Для того щоб визначити товщину наплавленого шару, зробимо розрахунок припусків на механічну обробку після наплавки.

Встановлюємо маршрут обробки поверхні цапфи поворотної

$D_1$  ( $\varnothing 110$  j6) [2, с. 8-9, табл. 4]:

- чорнове точіння;0
- чистове точіння;
- фрезерування;
- термообробка;
- попереднє шліфування;
- кінцеве шліфування.

Вся вказана обробка виконується з установкою деталі в грибоквих центрах.

Заносимо маршрут обробки в графу 1 (див. табл. 3.4). Дані для заповнення граф 2,3 для наплавленої деталі взяті з [2, с. 186, табл. 12], для механічної обробки – з [2, с. 188, табл. 25]. Дані графи 8 для наплавленої деталі взяті з [3, с. 245, табл. 47], а дані для обробки різання – з [2, с. 8, табл. 4].

Розрахунок відхилень  $\Delta\Sigma$  для напавленої деталі при обробці в грибкових центрах визначають по [2, с. 187, табл. 18]

а) Розрахуємо відхилення  $\Delta\Sigma$

$$\Delta\Sigma = \sqrt{\Delta\Sigma k^2 + \Delta y^2} \quad (3.2)$$

$\Delta\Sigma k$  - загальне відхилення вісі від прямолінійності

$$\Delta\Sigma k = 2 \cdot \Delta k \cdot l_k = 2 \cdot 1 \cdot 104 = 208 \text{ мкм}$$

$l_k$  - розмір від перерізу, для якого визначається кривизна до торця заготовки

$$l_k = 104 \text{ мм}$$

$\Delta k$  - питома кривизна напавленої деталі

мкм на 1 мм довжини; [2, с. 186, табл. 16]

Таблиця 3.4 Зведена таблиця з розрахунку припусків

Маршрут обробки поверхні D <sub>1</sub>	Елементи припуску, мкм				Розраховані величини		Допуск на виконувемі розміри T	Прийняті розміри деталі по переходам D, мм		Граничний припуск мкм	
	Rz	h	$\Delta\Sigma$	$\varepsilon$	Припуск 2Z <sub>i</sub> min мкм	Min $\varnothing$ Dmin		Dmax	Dmin	2Z <sub>i</sub> max	2Z <sub>i</sub> min
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Наплавка	150	150	496	-	-	112,627	1400	114	112,65	-	-
Точіння:											
чорнове	50	50	30	-	1600	111,027	400	111,45	111,05	2,55	1,6
чистове	25	25	1,2	-	260	110,767	120	110,92	110,8	0,53	0,25
Термообробка	25	0	334	-	-	-	-	-	-	-	-
Шліфування:											
чорнове	10	20	0	-	718	110,049	60	110,11	110,05	0,81	0,755
чистове	-	-	-	-	60	109,989	22	110,011	109,989	0,099	0,061
Фрезерування:											
	25	25	20	-	140	107,854	200	109,854	109,452	0,94	0,19

$$\Delta k = 1 \text{ мкм/мм}$$

$\Delta y$  - зміщення осі деталі внаслідок похибки центрування

$$\Delta y = 0,25 \cdot \sqrt{T^2 + 1} = 0,25 \sqrt{1,5^2 + 1} = 0,45 \text{ мм} \quad (3.3)$$

$T = 1,5$  - допуск на діаметральний розмір бази деталі, використаний при центруванні, мм [3,с.245, табл.47]

$$\Delta \Sigma = \sqrt{208^2 + 450^2} = 496 \text{ мкм}$$

- Чорнове точіння

$$\Delta \Gamma = K_y \cdot \Delta \Sigma = 0,06 \cdot 496 = 30 \text{ мкм}$$

$\Delta \Gamma$  - величина остаточних просторових відхилень

$$K_y = 0,06 \text{ - коефіцієнт уточнення} \quad [2, \text{с.190, табл.29}]$$

- Чистове обточування

$$\Delta \Gamma = 0,04 \cdot 30 = 1,2$$

$$K_y = 0,04 \quad [2, \text{с.190, табл.29}]$$

- фрезерування

$$\Delta \Gamma = 496 \cdot 0,04 = 20$$

$$K_y = 0,04 \quad [2, \text{с.190, табл.29}]$$

- Згідно [2,с.186, табл.16] питома кривизна деталі після термічної обробки в печі  $\Delta k = 1 \text{ мкм/мм}$ . Так як довжина деталі  $\ell = 334$ , то відхилення  $\Delta \Sigma$  приблизно буде складати :

$$\Delta \Sigma = 334 \text{ мкм}$$

б) Розрахунок мінімальних припусків на діаметральні розміри для кожного переходу виконують по формулі:

- чорнове точіння:

$$2Z_i \text{ min} = 2(R_{z_{i-1}} + h_{i-1} + \Delta \Sigma_{i-1}), \quad (3.4)$$

де  $R_{z_{i-1}}$  – висота нерівностей профіля на попередньому переході;

$h_{i-1}$  – глибина дефектного поверхневого шару на попередньому переході;

$\Delta \Sigma_{i-1}$  – сумарні відхилення розміщення поверхні на попередньому переході.

$$2Z_i \text{ min} = 2(150 + 150 + 496) = 1600 \text{ мкм};$$

- чистове точіння:

$$2Z_i \text{ min} = 2(50 + 50 + 50) = 260 \text{ мкм}$$

- попереднє шліфування:

$$2Z_i \min = 2(250+334)=718 \text{ мкм};$$

- кінцеве шліфування:

$$2Z_i \min = 2(10+20)=60 \text{ мкм.}$$

- фрезерування

$$2Z_i \min = 2(25+25+20)=140 \text{ мкм.}$$

в) Розрахунок найменших розрахованих розмірів по технологічним переходам виконуємо, додаючи значення найменших граничних розмірів, що відповідають попередньому технологічному переходу, до величини припуску на виконуємому переході:

$$109,89+0,06=110,049 \text{ мм};$$

$$10,049+0,718=110,767\text{мм};$$

$$10,767+0,26=111,027\text{мм};$$

$$111,027+1,6=112,627\text{мм};$$

$$07,854+0,140=107,994\text{мм.}$$

г) Потім визначаємо найбільші граничні розміри по переходам:

$$109,989+0,022=110,011 \text{ мм};$$

$$110,05+0,06=110,11 \text{ мм};$$

$$110,8+0,12=110,92 \text{ мм};$$

$$111,05+0,4=111,45 \text{ мм};$$

$$112,65+1,4=114 \text{ мм};$$

$$107,854+0,2=109,854\text{мм.}$$

д) Розрахунок фактичних максимальних і мінімальних припусків по переходам обчислюємо, віднімаючи відповідно значення найменших від найбільших граничних розмірів, що відповідають відповідно виконуємому і попередньому технологічних переходам

- максимальні пропуски, мм:

$$110,11-110,011=0,099;$$

$$110,92-110,11=0,81;$$

$$111,45-110,92=0,53;$$

$$110,8-109,854=0,94;$$

$$114-111,45=2,55.$$

- мінімальні пропуски, мм:

$$110,05-109,989=0,061;$$

$$110,8-110,05=0,75;$$

$$111,05-110,8=0,25;$$

$$110,05-109,854=0,19;$$

$$112,65-111,05=1,6.$$

е) Розрахунок загальних пропусків виконуємо по рівнянню:

найбільшого припуска

$$Z_{0\max} = \sum 2Z_{\max} = 0,099+0,81+0,53+2,55=3,989 \text{ мм}$$

найменшого припуска

$$Z_{0\min} = \sum 2Z_{\min} = 0,061+0,75+0,25+1,6=2,661 \text{ мм};$$

є) Перевірку вірності розрахунків виконуємо по рівнянню:

$$Z_{0\max} - Z_{0\min} = T_{\text{н}} - T_{\text{г}};$$

$$3,989-2,661=1,4-0,022=1,35.$$

Отже, виходячи з вищерозрахованих припусків, приймаємо для нашої деталі припуск на механічну обробку після наплавки  $2Z_1=3$  мм.

### 3.7 Відновлювальна (Наплавка під шаром флюсу)

При цьому способі наплавки електрична дуга горить під зернистим сипучим матеріалом, називаємим зварювальним флюсом. Під дією тепла зварювальної дуги розплавляються електродний дріт і основний метал, а також частина флюсу. У зоні наплавки утворюється порожнина, заповнена парами металу, флюсу і газами. Газова порожнина обмежена у верхній частині оболонкою розплавленого флюсу. Розплавлений флюс, оточуючи газову порожнину, захищає дугу і розплавлений метал у зоні наплавки від

шкідливого впливу навколишнього середовища, здійснює металургійну обробку металу в зварювальній ванні.

Перевагами даного способу є продуктивність наплавки (кількість металу, що розправляється, в одиницю часу) у 5 — 20 разів вище, ніж при ручному дуговому зварюванні. Флюс сприяє одержанню чистого і щільного металу шва, без пор і шлакових включень, з високими механічними властивостями. Практично відсутні втрати на чад і розбризування електродного металу. Процес наплавки майже цілком механізований.

Велике значення для забезпечення гарного формування має правильний вибір зміщення електроду 2 (рис.3.5,а ) із zenіту 1, тобто відстань від zenіту наплавляємої циліндричної поверхні до осі електроду. Якщо електрод зміщений в бік, протилежний обертанню виробу (рис. 3.5, а), то метал стікає під електрод. Тоді глибина проплавлення зменшується, ширина валика збільшується. При дуже великому зміщенні може відбуватися стікання металу ванни перед електродом і внаслідок цього отримання непровару. У випадку розташування електроду в zenіті (рис.3.5, б) режим наплавлення обмежується можливістю стікання металу ванни в бік обертання виробу внаслідок витіснення його тиском дуги на похилу поверхню.

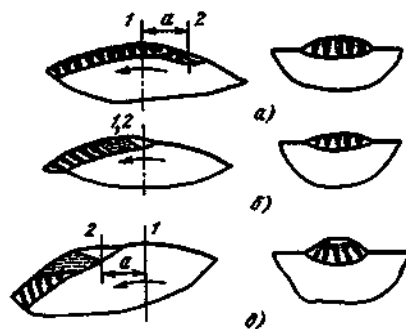


Рисунок 3.5. Вплив величини зміщення електроду від zenіту на формування валика наплавленого металу (напрямок обертання зазначений стрілкою)



Зміщення електроду в сторону обертання виробу (рис. 3.5, в) приводить до зниження рівня рідкого металу в кратері і збільшення глибини проплавлення.

Наплавлений метал стікає в сторону обертання, і формується більш вузький валик з подрізами.

Для кращого утримання металу ванни електрод зміщують із zenіту (крапки, що знаходиться над вертикальною віссю) виробу в сторону, протилежну напрямкові обертання, на величину  $a$ , що залежить від режиму наплавлення, діаметра виробу і флюсу. Величину  $a$  можна визначити по формуванню валиків.

Для наплавлення під шаром флюсу використовуємо наплавлювальну установку УД209М в комплекті: джерело живлення ВДУ-506, редуктор, пульт керування, дріт електродний ПП-Нп-18Х1Г1М.В якості наплавлювального апарата обираємо спеціалізовану головку А-580М для дугової наплавки під флюсом тіл обертання.

Головка призначена для дугової наплавки під флюсом круглих деталей діаметром 40-650 мм, наприклад деталей сільськогосподарських, будівельних машин, транспорту і т. п., в центрах токарного верстата. Вона також може бути застосована і в установках для автоматичного зварювання.

Механізм подачі головки приводиться в рух асинхронним електродвигуном змінного струму. Для установочних переміщень головки вздовж вісі центрів токарного верстата передбачений додатковий супорт з ручним гвинтовим приводом. Переміщення головки ввєрх і вниз здійснюється за допомогою електродвигуна.

Швидкість подачі електродного дроту регулюється за допомогою коробки швидкостей або змінними шестернями (в залежності від виконання).

При заміні зварювальної горілки головка може бути використана для наплавки в середовищі захисних газів.

Наплавка ведеться на постійному або змінному струмі.

Технічні дані :

- діаметр електродного дроту, мм	1-4
- швидкість подачі електродного дроту, м/хв.	0,8-6,8
- швидкість вертикальної настройки, м/хв.	0,25
- номінальний зварювальний струм, А	400
- напруга трьохфазного джерела живлення, В	220-380
- маса електродного дроту в касеті, кг	10
- ємність бункера для флюсу, дм <sup>3</sup>	12
- габаритні розміри зварювального апарату, мм, і маса його, кг:	
довжина	725
ширина	1000
висота	1100
маса	74
- габаритні розміри шафи, мм, і маса її, кг:	
довжина	640
ширина	430
висота	585
маса	70

### 3.7.1 Вибір дроту

У багатьох випадках виготовлення суцільнотягнутого дроту з високолегованої сталі для одержання зносостійкого наплавленого металу практично неможливо, це пов'язано з великими труднощами. У цьому випадку застосовують порошковий дріт. Порошковий дріт простий у виготовленні і є повноцінним замінником суцільнотягнутого.

Порошковий дріт виготовляють на спеціальних прямоточних багатобарабанних станах шляхом безупинного згортання в трубку стрічки з одночасним заповненням трубки сумішшю розмелених компонентів і наступного волочіння через фільтри з твердого сплаву чи металокераміки зі зменшенням діаметра для запресовування сердечника. Коефіцієнт заповнення порошкового дроту для наплавлення (відношення маси

порошкового сердечника до маси оболонки зі стрічки) звичайно не перевищує 40—50%. При більшому коефіцієнті заповнення потрібно тонка стрічка-оболонка й збільшення діаметра дроту. Такий дріт не має необхідної твердості, мнеться й розкривається роликками, що подають.

На практиці застосовують порошкові дроти трьох типів: для наплавлення під флюсом, у середовищі захисних газів і відкритою дугою в атмосфері повітря (самозахисні).

За даними розрахунків по програмі, розробленій інститутом електрозварювання імені Патона, для нашого випадку найкраще підходить порошковий дріт марки ПП-Нп-18Х1Г1М. Обраний дріт відноситься до типу порошкових, призначених для наплавки під шаром флюсу.

### 3.7.2 Вибір флюсу для наплавки

Для виконання механізованого дугового наплавлення звичайно застосовують наступні варіанти сполучення зварювальних матеріалів: 1) нелегуючий флюс і легований дріт (стрічка) суцільного перетину; 2) нелегуючий флюс і порошковий дріт (стрічка); 3) легуючий (керамічний) флюс і низьковуглецевий дріт суцільного перетину; 4) легуючий (керамічний) флюс і легований (суцільного перетину чи порошковий) дріт (стрічка).

Елементи, що окисляються, до складу наплавляемого металу не вводяться, тому використовуємо малоактивні чи навіть активні флюси з високим рівнем зварювально-технологічних характеристик.

Таблиця 3.5 Коефіцієнти переходу деяких елементів з плавлених флюсів на базі шлакової системи CaO-CaF<sub>2</sub> - SiO<sub>2</sub> у наплавлений метал

Елемент	Межа зміни коефіцієнта переходу	Елемент	Межа зміни коефіцієнта переходу
Cr	0,65—0,75	Mo	0,7—0,85
Ni	0,8—0,95	Nb	0,6—0,85
Mn	0,45—0,6	Ti	0,25—0,6
W	0,8—0,92	V	0,65—0,85
Si	0,65—0,85		Al

Отже, для нашого випадку найкраще відповідає поставленим вимогам плавлений флюс АН-28.

Флюс плавлений марки	ТУ ИЭС 410—84	Тип	СРС
АН-28		АВ	Р

Флюс АН-28 побудований на базі шлакової системи CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-CaF<sub>2</sub>. Можна з повною впевненістю сказати, що основні компоненти сполуки — це CaO і Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, а SiO<sub>2</sub> і CaF<sub>2</sub> - технологічні і металургійні добавки.

Дійсно, для сполуки флюсу АН-28 у перерахуванні тільки на вмісти CaO й Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> температура плавлення шлаку лежить у межах 1400—1450 °С. Ця температура занадто висока для флюсу, призначеного для наплавлення. Присутність у флюсі АН-28 до 15 % CaF<sub>2</sub> помітно впливає на його температуру плавлення, знижуючи її до 1100°С. Зміна температури розплаву, що відповідає по змісту CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> і SiO<sub>2</sub> флюсу АН-28, від 1600 до 1900 °С веде до зниження його в'язкості від 0,2 до 0,03 Па·с. При цьому необхідно враховувати розріджуючу дію CaF<sub>2</sub> на флюс АН-28 і відповідно зниження його в'язкості.

а) Призначення

Механізоване зносостійке наплавлення чавунною стрічкою, сталевим дротом і порошковим дротом поверхонь, стійких до абразивного зношування.

б) Зварювально-технологічні властивості

Стійкість дуги гарна, розривна довжина дуги до 13 мм; формування шва задовільне, без особливостей; схильність металу шва до утворення пір -низька, тріщин — низька; відокремлюваність кірки шлаку гарна, у тому числі при температурі до 300 °С.

Дані для контролю якості. Сполука флюсу, %:

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	CaF <sub>2</sub> Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	MnO	FeO	S	P
5—10	36—45	35—44	5—15	1—2	до 2	<1	<2	<0,08	<0,08

Колір зерено — білий з відтінками сірих тонів; розмір зерен 0,35—5 мм; будова зерен — пемзовидна; об'ємна маса 0,7—1 кг/дм<sup>3</sup>.

в) Металургійні властивості

Відноситься до групи низькокремнієвих безмарганцевих флюсів солеоксидного класу з хімічною активністю  $A_{\phi} \leq 0,1$ . Флюс практично двокомпонентний. Побудований на базі шлакової системи CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, і містить незначні добавки кремнезему і фтористого кальцію для поліпшення зварювально-технологічних характеристик (кремнезем) і металургійних властивостей (фтористий кальцій).

Низька концентрація кремнезему в складі флюсу і підвищена основність, з одного боку, роблять сполуку практично пасивною стосовно наплавляемого металу, з іншого боку — флюс має підвищену схильність до гідратації, тому після мокрої грануляції потрібно високотемпературне прогартування.

Низька хімічна активність флюсу позитивно позначається на зниженій концентрації кисню в наплавленому металі. Зміст кисню в наплавленому

металі не перевищує 0,025 %. Легуючі елементи з дроту тому переходять у наплавляємий метал з мінімальними втратами.

г) Дані для застосування

Рід і значення максимальне припустимого струму = (+); 900 А; максимально припустима швидкість зварювання 50 м/ч; мінімально допустиме напруження холостого ходу джерела живлення 65 В; сушіння при температурі 850—900 °С, 3 год; дроти, що рекомендуються: чавунна стрічка, сплави типу В25Х38, 80Х4СГ, У35Х7М7С, У35Х3Г6, порошкові дроти типу Пп-Нп-18Х1Г1М та ін.

д) Технологія виготовлення.

Плавленням у дугових печах, грануляцією мокрим способом у проточну воду.

### 3.7.3 Визначення температури підігріву деталі перед наплавкою

Для зменшення концентрації напруг в небезпечній зоні деталі із сталі 45 перед наплавкою необхідно підігрівати. Підігрівати ми будемо деталь разом зі спеціальним пристосуванням, вмонтованим в неї. Призначення пристосування – зменшення відводу теплової енергії від зони наплавки і зменшення швидкості охолодження напавленої ділянки за рахунок збільшення маси та теплоємності зкомпанованої деталі.

Температура підігріву деталі визначається за такою формулою:

$$T_{\text{під}} = 350 \sqrt{1 - C'_e} \quad (3.5)$$

$C'_e$  – еквівалентний вміст вуглецю, який враховує товщину деталі:

$$C'_e = C_e (1 + 0,0055 \times S) \quad (3.6)$$

$C_e$  – еквівалентний вміст вуглецю:

$$C_e = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cr}{5} + \frac{\%V}{5} + \frac{\%Mo}{4} + \frac{\%P}{2} \quad (3.7)$$

% - вміст елементів у основному металі.

Знаючи хімічний склад сталі 45 обчислюємо  $C_e$ :

$$C_e = 0,45 + \frac{0,6}{6} + \frac{0,035}{2} = 0,567$$

$S$  – товщина стінки напавленої деталі:

$$S = 27,5 \text{ мм}$$

Отже, 
$$C'_e = 0,567(1 + 0,0055 \times 27,5) = 0,653$$

Тоді 
$$T_{\text{під}} = 350 \sqrt{1 - 0,653} = 206 \text{ }^\circ\text{C}$$

Перед напавкою деталь разом з спеціальним пристосуванням потрібно підігріти до температури  $206 \text{ }^\circ\text{C}$ .

#### 3.7.4 Розрахунок режимів напавки

Практично неможливо розрахувати режими напавки так, щоб потім при застосуванні їх на практиці можна було б отримати позитивні результати. Тому для обчислення режимів у нашому випадку ми оберемо 2 варіанти, які по суті зовсім відрізняються один від одного, і приймемо результати одного з них, ті, що для даного випадку підходять найкраще.

##### 1. Розрахунок режимів напавки за обраною силою струму

а) Обираємо силу струму:

$$I = 300 \text{ А}$$

б) Визначаємо швидкість напавки:

$$V_H = \frac{\alpha_H \cdot I}{h \cdot S \cdot j} \quad (3.8)$$

де  $\alpha_H$  - коефіцієнт напавки  $\alpha_H = 14 \div 16$

Приймаємо  $\alpha_H = 14$ .

$I$  - сила наплавочного струму,  $I = 300 \text{ А}$ ;

$h$  - товщина наплаляемого шару,  $h = 2,25 \text{ мм}$ ;

$S$  - крок напавки,  $S = 6 \text{ мм/об}$ ;

$j$  - густина наплавляемого матеріалу,  $j = 7,85 \text{ г/см}^3$ .

$$V_H = \frac{14 \cdot 300}{2,25 \cdot 6 \cdot 7,85} = 40 \text{ м/год}$$

в) Знаходимо частоту обертання деталі:

$$n = \frac{1000 \cdot V_H}{60 \cdot \Pi \cdot d} \quad (3.9)$$

де  $V_H$  - швидкість наплавки,  $V_H=40$  м/год;

$d$  - діаметр деталі до наплавки,  $d=85,7$  мм.

$$n = \frac{1000 \cdot 40}{60 \cdot 3.14 \cdot 85,7} = 2,46 = 2.5 \text{ об/хв}$$

г) Швидкість подачі дроту:

$$V_{dp} = \frac{4 \cdot \alpha_H \cdot d_{dp} \cdot I}{\Pi \cdot d_{dp}^3 \cdot j}; \text{ м/год}$$

де  $d_{dp}$  - діаметр електродного дроту,  $d_{dp}=2,4$  мм;

$I$  - сила наплавочного струму,  $I=300$  А;

$j$  - густина наплавляемого металу,  $j=7.85$  г/см<sup>3</sup>;

$$V_{dp} = \frac{4 \cdot 14 \cdot 2,4 \cdot 300}{3,14 \cdot 27 \cdot 7,85} = 75,6 \text{ м/год}$$

д) Крок наплавки:

$$S = (2 \div 2.5) d_{dp} \quad (3.10)$$

де  $d_{dp}$  - діаметр електродного дроту, мм

$$S = 2 \cdot 2,4 = 4,8 \text{ мм}$$

е) Виліт електрода:

$$B = (10 \div 12) d_{dp} = 10 \cdot 2,4 = 24 \text{ мм}$$

є) Зміщення електрода:

$$L = (0.05 \div 0.07) d$$

де  $d$  - діаметр зношеної деталі після механічної обробки під наплавку,

$$d = 85,7 \text{ мм};$$

$$L = 0,05 \cdot 85,7 = 4,3 \text{ мм}$$

ж) Товщина покриття:

$$h = \frac{D - d}{2} + Z \quad (3.11)$$

де  $D$  - номінальний діаметр деталі,  $D=86$  мм;



$d$  - діаметр зношеної деталі після механічної обробки під наплавку,  
 $d=85,7$  мм;

$Z$  - припуск на механічну обробку,  $Z=1,5$  мм

$$h = \frac{86 - 85,7}{2} + 1,5 = 1,65 \text{ мм}$$

з) Розрахунок норми часу, необхідного для наплавки:

$$T_{\text{шт}} = T_o + T_{\text{вп}} + T_{\text{доп}} + T_{\text{п.з.}}$$

де  $T_o$  - основний час:

$$T_o = \frac{Z \cdot d \cdot l}{1000 \cdot V_n \cdot S} \quad (3.12)$$

де  $Z$  - припуск на механічну обробку,  $Z=1,5$  мм;

$d$  - діаметр зношеної деталі після механічної обробки під наплавку,  
 $d=85,7$  мм

-  $l$  - довжина відновлюваної поверхні,  $l=85$  мм;

$V_n$  - швидкість наплавки,  $V_n=40$  м/год

$S$  - крок наплавки,  $S=4,8$  мм

$$T_o = \frac{1,5 \cdot 85,7 \cdot 85}{1000 \cdot 40 \cdot 4,8} = 0,056 \text{ год} = 3,5 \text{ хв}$$

$T_{\text{вп}}$  - впровадження час,  $T_{\text{вп}}=2$  хв;

$T_{\text{доп}}$  - допоміжний час,

$$T_{\text{доп}} = \frac{(T_o + T_{\text{вп}}) \cdot R}{100}$$

де  $R=20\%$

$$T_{\text{доп}} = \frac{(3,5 + 2) \cdot 20}{100} = 1,1 \text{ хв}$$

$T_{\text{п.з.}}$  - попередньо заключний час,  $T_{\text{п.з.}}=1,5$  хв;

$$T_{\text{шт}} = 3,5 + 2 + 1,1 + 1,5 = 8,1 \text{ хв}$$

2. Розрахунок та перевірка режимів автоматичної наплавки під шаром флюсу за даною глибиною провару

а) Приймаємо струм постійний, зворотної полярності, діаметр електроду  $d=2,4\text{мм.}$ , флюс АН – 28.

б) Визначимо силу зварювального струму в (А) із рівняння:

$$I=h/k \quad (3.13)$$

$h$ - коефіцієнт, який враховує товщину наплавлюваної деталі

$$h=0.13*S=0.13*26.5=3.44 \quad (3.14)$$

$S$  – товщина наплавлюємої деталі;  $S=26,5$  мм.

$k$  – коефіцієнт, що залежить від виду струму та полярності, діаметра електрода, а також марки флюсу (за даними інституту зварювання ім. Е.О.Патона приймаємо  $k=1,1(100\text{мм/А})$  ).

Таким чином:

$$I=3,44*100/1,1=324 \text{ А}$$

в) Знаючи, що напруга на дузі змінюється в межах 32-40В, приймаємо  $U=36\text{В.}$

г) З [8, ст.41, рис.19] встановлюємо коефіцієнт форми провару  $\Psi_{\text{пр}}=4$ . Знаючи  $\Psi_{\text{пр}}$  визначаємо ширину шва за формулою:

$$e=\Psi_{\text{пр}}*h=4*3.44=14.3 \text{ мм} \quad (3.15)$$

д) Розрахуємо опуклість наплавленого валика:

$$q=e/\Psi_{\text{в}}=14.3/8=1.79 \text{ мм} \quad (3.16)$$

$\Psi_{\text{в}}$  – коефіцієнт форми валика: для швів, які зроблені автоматичною наплавкою  $\Psi_{\text{в}}=5\div 8$

Приймаємо  $\Psi_{\text{в}}=8$

е) Визначимо площу наплавленого металу за формулою:

$$F=0.75e q=0.75\times 14.3\times 1.79=19.2 \text{ мм}^2 \quad (3.17)$$

є) Визначимо коефіцієнт наплавлення за формулою:

$$\alpha_{\text{н}}=13,6\pm 0,4$$

В даному випадку

$$\alpha_{\text{н}}=13,6+0,4=14 \text{ г/(А}\cdot\text{год)}$$

ж) Продуктивність зварювання за 1 год:

$$C_n = \alpha_n \times I \times t = 14 \times 324 \times 1 = 45362 = 4,5 \text{ кг} \quad (3.18)$$

з) Швидкість пересування дуги:

$$V_n = \frac{\alpha_n \times I}{F \times \gamma} = \frac{14 \times 324}{19.2 \times 7.8} = 30,3 \text{ м/год} \quad (3.19)$$

$\gamma$  – густина металу:  $\gamma = 7,8 \text{ г/см}^3$

и) Швидкість подачі дроту:

$$V_{др} = \frac{4\alpha_n \times I}{\pi \times d^2 \times \gamma} = \frac{4 \times 14 \times 324}{3.14 \times 2,4^2 \times 7.8} = 82 \text{ м/год} \quad (3.20)$$

$d$  – діаметр наплавлюємого дроту.

Порівнявши результати обчислень 2-х варіантів, обираємо останній, так як режими обчислені по ньому будуть давати найкращі результати для нашого випадку. Матеріали для наплавки будемо обирати теж по 2-му варіанту.

### 3.7.5 Дефекти наплавки

Основними дефектами наплавлень є тріщини в наплавленому шарі й у зоні сплавлення з основним металом деталі, пори і раковини, шлакові включення, несплавлення шару з основним металом, надриви й ін.

Дефекти можуть бути зовнішніми, вихідними на поверхню наплавлень, і внутрішніми, що розташовуються всередині наплавленого шару.

Зовнішні дефекти знайти порівняно легко шляхом огляду наплавлень, за допомогою магнітної дефектоскопії та ін. Виявлення внутрішніх дефектів представляє складну і не завжди надійно розв'язну задачу. В цьому випадку користуються наступними методами контролю: просвічуванням рентгенівськими або гамма-променями, магнітною й ультразвуковою дефектоскопією, металографічними дослідженнями макро- і мікрошліфів та ін.

Тріщини є найбільш небезпечним дефектом наплавлень, тому що під впливом швидкозмінних навантажень або теплових коливань вони можуть розвиватися, тобто збільшуватися в розмірах, що може привести до

передчасного виходу деталі з ладу. В зв'язку з цим контролю на виявлення тріщин необхідно приділяти найбільш серйозну увагу.

Виникнення тріщин залежить від вмісту вуглецю і сірки в наплавленому металі, від недостатнього попереднього підігріву деталі при наплавленні, твердості виробу та ін. Холодні тріщини можуть виникати при відсутності уповільненого охолодження деталі після наплавлення.

Пори утворюються при використанні вологого флюсу, при наявності іржі на наплавлених поверхнях, при недостатньому шарі флюсу та ін. Пори з'являються при наплавленні по металу, раніше наплавленому електродами з крейдовою обмазкою, що містить підвищену кількість азоту. Пори — менш небезпечний дефект, чим тріщини, але вони знижують зносостійкість і міцність наплавленого металу.

Несплавлення наплавленого металу з основним металом деталі можуть утворитися при невідповідності, наприклад, обраної швидкості наплавлення і типу устаткування, неправильній установці електрода, забрудненні наплавлених поверхонь, порушенні режиму наплавлення та ін. Наявність цих дефектів може привести до відколу наплавленого шару в процесі роботи відновленої деталі.

При установці наплавлених деталей на машини без наступної механічної обробки (ножі бульдозерів, опорні ковзанки тракторів і ін.) важливою вимогою є гладка поверхня наплавленого шару.

Причиною напливів і підрізів у наплавленому шарі є порушення режиму наплавлення — сили струму, напруги дуги, швидкості наплавлення, зсуву електрода з zenіту при наплавленні циліндричних деталей, зміна величини вильоту електрода та ін.

Причиною поверхневих дефектів наплавленого шару може бути і погана стійкість дуги.

### 3.7.6 Хімічний склад наплавленого металу

Спочатку нам потрібно взнати хімічний склад наплавленого шару, для того, щоб правильно призначити режими термічної обробки.

Хімічний склад наплавленого металу та його властивості залежать від складу та долі участі у формуванні валика основного та електродного (присаджувального) металу, реакцій взаємодії розплавленого металу з газами атмосфери та захисними засобами. Метал валика при наплавці чи плавким електродом, чи застосуванні металевих присадок (дроту, порошку і т. п.) утворюється в результаті перемішування в ванні основного та електродного (присаджувального) металу. Частка основного металу в валику залежить від виду наплавки і може бути визначена за відношенням площі, що зайнята основним металом у поперечному перерізі шва, до всієї його площі (рис. 2.3):

$$\psi_0 = F_0 / (F_{пр} + F_H), \quad (3.21)$$

де  $F_0$ ,  $F_{пр}$  — площі, зайняті відповідно основним, електродним (присаджувальним) та наплавленим металом.

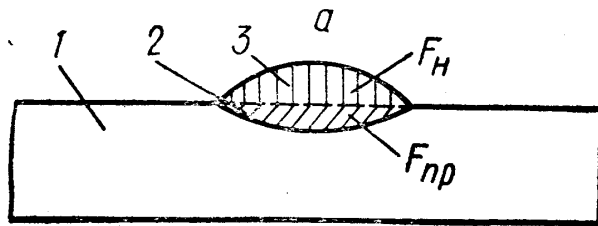


Рисунок 3.6 – Поперечний переріз валика: 1 — основний метал;  
2 — проплавлений метал; 3 — наплавлений метал

При ручному дуговому зварюванні покритим електродом частина основного металу у шві становить: 0.15...0.40 — при наплавлянні валиків, 0.25...0.50 — при зварюванні корневих швів, 0.40...0.60 — при наплавці під флюсом.

Коли хімічних реакцій у зоні зварювання немає, вміст будь-якого елемента в наплавленому металі ( $C_H$ ) можна знайти за формулою:

$$C_H = C_o\psi_o + C_e(1 - \psi_o), \quad (3.22)$$

де  $C_o$ ,  $C_e$  — висхідний вміст елемента в основному та електродному металі,  $\psi_o$  — частка основного металу.

Коли відбуваються хімічні реакції розплавленого металу з газами, покриттями, шлаковою ванною, склад металу валика визначають з урахуванням коефіцієнтів переходу, що показують, яка частка металу, що міститься в електродному дроті, переходить в метал валика.

$$C_H = C_o\psi_o + C_e(1 - \psi_o),$$

Визначимо хімічний склад шару наплавленого металу для нашого випадку без врахування перемішування з основним металом

Хімічний склад основного металу (сталі 45):

$C - 0,45\%$ ;  $M_n - 0,6\%$ ;  $S_i - 0,3\%$ ;  $S - 0,035\%$ ;  $P - 0,035\%$ .

Хімічний склад дроту ПП-Нп-18Х1Г1М:

$C - 0,18\%$ ;  $M_n - 1,4\%$ ;  $C_r - 1,4\%$ ;  $M_o - 0,4$ ;  $S_i - 0,8\%$ .

Так як в процесі електродугової наплавки під шаром флюсу відбуваються хімічні реакції розплавленого металу з газами, покриттями, шлаковою ванною, то склад наплавленого металу визначаємо за такою формулою.

Визначасмо вміст вуглецю в наплавленому металі:

$$C_{oC} = 0,45\%; \quad C_{eC} = 0,18\%$$

$$C_{HC} = 0,45 \times 0,45 + 0,18(1 - 0,45) = 0,3015\%$$

Вміст марганцю  $M_n$ :

$$C_{oMn} = 0,6\% \quad ; \quad C_{eMn} = 0,14\%$$

$$C_{нMn} = 0,6 \times 0,45 + 1,4(1-0,45) = 1,04\%$$

Вміст хрому  $C_r$ :

$$C_{oCr} = 0\% ; C_{eCr} = 1,4\%$$

$$C_{нCr} = 0 \times 0,45 + 1,4(1-0,45) = 0,77\%$$

Вміст молібдену  $M_o$ :

$$C_{oMo} = 0\% ; C_{eMo} = 0,4\%$$

$$C_{нMo} = 0 \times 0,45 + 0,4(1-0,45) = 0,22\%$$

Вміст фосфору:

$$C_{oP} = 0,035\% ; C_{eP} = 0\%$$

$$C_{нP} = 0,035 \times 0,45 + 0(1-0,45) = 0,016\%$$

Вміст кремнію:

$$C_{oSi} = 0,3\% ; C_{eSi} = 0,8\%$$

$$C_{нSi} = 0,3 \times 0,45 + 0,8(1-0,45) = 0,575\%$$

Вміст сірки  $S$ :

$$C_{oS} = 0,035\% ; C_{eS} = 0\%$$

$$C_{нS} = 0,035 \times 0,45 + 0(1-0,45) = 0,016\%$$

Отже, хімічний склад наплавленого металу такий:

$$C - 0,3\% ; M_n - 1,04\% ; C_r - 0,77\% ; M_o - 0,22\% ; P - 0,016\% ;$$

$$S_i - 0,575\% \quad ; S - 0,016\% .$$

Даний хімічний склад близький до хімічного складу сталі 30ХМ. Тому далі ми будемо розглядати наплавлений метал, як шар сталі 30ХМ.

### 3.7.7 Аналіз процесів структуроутворення під час наплавлення

Чутливість металу до теплової дії при наплавленні є одним з головних показників здатності до якісного наплавлення. Метал у будь-якій зоні з'єднання наплавленого шару з основним металом зазнає нагрівання та наступного охолодження. Зміна температури металу під час наплавлення називається термічним циклом. Максимальна температура нагрівання в різних зонах з'єднань різна: у шві перевищує її, в зоні плавлення — близька, в зоні термічного впливу — менша температури плавлення, поступово зменшуючись у міру віддалення від шва.

При нагріванні в металі відбуваються такі структурні та фазові перетворення:

- розчинення фаз у металі в твердому стані, наприклад, карбідів (з'єднань металів із вуглецем) у нагрітому металі;
- поліморфне перетворення, тобто перетворення низькотемпературної модифікації матеріалу у високотемпературну;
- плавлення металу в ділянках, що нагріваються вище температури плавлення.

При охолодженні структурні та фазові перетворення йдуть у зворотному порядку:

- кристалізація;
- поліморфне перетворення, тобто перехід із високотемпературної фази в низькотемпературну; випадання з металу різних вторинних фаз — карбідів, інтерметалідів та ін.

Крім названих перетворень у металі в низькотемпературній зоні при наплавленні відбуваються структурні зміни, що викликають знеміцнення основного металу — рекристалізацію, старіння та ін.

На ділянці, де метал, що перебував у розплавленому стані, після затвердіння має литу структуру зі стовпчастих кристалів. Груба стовпчаста



структура металу шва є несприятливою, бо знижує міцність і пластичність металу.

Зона термічного впливу має кілька структурних ділянок, що різняться формою та будовою зерна, викликаних різною температурою нагріву в межах 450...1500 °С.

Ділянка неповного розплавлення — перехідна від наплавленого металу до основного. На цій ділянці утворюється з'єднання і проходить межа сплавлення, це дуже обмежена зона (0.1...0.4 мм) основного металу, нагрітого до часткового оплавлення зерен. Тут спостерігається значне зростання зерен, накопичення домішок, тому ця ділянка звичайно найслабкіше місце з'єднання наплавленого металу з основним з пониженою міцністю та пластичністю.

Ділянка перегріву — зона основного металу, що нагрівається до температур 1100...1450 °С, в зв'язку з чим метал відрізняється крупнозернистою структурою та зниженими механічними властивостями (пластичністю та ударною в'язкістю). Ці властивості тим нижчі, чим крупніше зерно і ширша зона перегріву.

Ділянка нормалізації — зона металу, що нагрівається до 900... 1100 °С. Метал цієї ділянки має високі механічні властивості, бо при нагріванні та охолодженні на цій ділянці утворюється дрібнозерниста структура в результаті перекристалізації без перегріву.

Ділянка неповної перекристалізації — зона металу, що нагрівається при наплавленні до 725...900 °С. У зв'язку з неповною перекристалізацією, що викликана недостатністю часу та температурою нагріву, структура цієї ділянки характеризується сумішшю дрібних зерен, що перекристалізувалися, та крупних зерен, які ще не встигли перекристалізуватися. Метал цієї ділянки має нижчі механічні властивості, ніж метал попередньої ділянки.

Ділянка рекристалізації — зона металу, що нагрівається до 450... 725 °С. Якщо сталь перед наплавленням піддали холодній деформації (прокатування, кування, штампування), то на цій ділянці розвиваються

процеси рекристалізації, що призводять до зростання зерен, огрублення структури і, як наслідок, до зменшення міцності.

Ділянка, що нагрівається до 200...450 °С, є зоною переходу від зони термічного впливу до основного металу. В цій зоні можуть проходити процеси старіння у зв'язку з випаданням карбідів заліза та нітридів, внаслідок чого механічні властивості металу цієї зони знижуються. Якщо метал перед наплавленням було відпалено, то істотних змін на ділянках 6 та 7 не відбувається.

Ширина зони термічного впливу залежить від товщини металу, виду та режимів наплавлення.

Поряд із структурою під дією термічного циклу змінюються міцність і пластичність у різних зонах з'єднання наплавленого металу з основним.

Як правило, чим вища міцність наплавлюваного матеріалу та більший ступінь його легування, тим чутливіший матеріал до термічного циклу наплавлення і складніша технологія його наплавлення.

Чутливість металу до теплового впливу під час наплавлення оцінюють за властивостями різних зон з'єднань і з'єднань наплавленого металу з основним у цілому при статичних, динамічних і вібраційних випробуваннях (розтяг, згин, визначення твердості, визначення переходу металу в крихкий стан та ін.), а також за результатами металографічних досліджень залежно від застосовуваних видів і режимів наплавлення.

Опірність металу утворенню тріщин при наплавленні. При наплавленні можуть виникати гарячі та холодні тріщини в металі шва та в навколошовній зоні.

Гарячі тріщини — крихкі міжкристалічні руйнування наплавленого металу та навколишньої зони, що виникають у твердо рідкому стані в процесі кристалізації, а також при високих температурах у твердому стані.

При кристалізації рідкий метал шва спочатку переходить у рідко твердий, а потім у твердорідкий і, нарешті, у твердий стан. У твердорідкому

стані утворюється каркас із кристалітів затверділого металу (твердої фази), у проміжках якого є рідкий метал, який в тому стані має дуже низькі пластичність і міцність.

Усадка та лінійне скорочення нагрітого металу у з'єднанні наплавленого металу з основним при охолодженні можуть призвести до утворення гарячих тріщин.

Для оцінки металів за опірністю гарячим тріщинам застосовують два основних види випробувань — технологічних проб і машинних досліджень.

Холодні тріщини — локальні міжкристалічні руйнування, що утворюються в з'єднаннях наплавленого металу з основним переважно при нормальній температурі, а також при температурах нижче 200 °С.

Причини холодних тріщин при наплавленні:

- збільшення крихкості металу внаслідок загартувальних процесів при швидкому його охолодженні;
- залишкові напруги, що виникають у з'єднаннях наплавленого металу з основним ;
- підвищений вміст водню в наплавленому шарі, який підсилює несприятливу дію перших двох причин.

### 3.8 Термічна обробка наплавленої деталі

Після наплавки деталі, як правило, піддають термічній обробці. Причина цієї додаткової операції полягає в литій структурі наплавленого металу, зоні термічного впливу, де можуть утворюватись гартівні структури, та в зростанні розміру зерна.

Найчастіше деталі після наплавки (в особливості із середньовуглецевих сталей) піддають відпалу, нормалізації чи поліпшенню. Згідно з рекомендаціями [9] відновлену деталь необхідно піддавати такій же самій термічній обробці, якій вона піддавалась при виготовленні. При виготовленні цапфа піддавалась поліпшенню.

Сталь 45 відноситься до поліпшуваного класу сталей із середнім вмістом вуглецю (0,25—0,45%). Поліпшувані сталі бувають нелеговані (наприклад,

марок 25, 30, 40, 45) й низьколеговані (20ХГСА, 30ХГСА, 25ХГМ, 40Х й ін. за ГОСТ 4543—71). Ці конструкційні машинобудівні сталі застосовують, як правило, після загартування з відпуском й рідше в нормалізованому стані. Температурна область застосування наплавлених виробів зі сталей —5 ÷ +60° С. Ударна в'язкість сталей розглянутої групи зберігається досить високою (—60°С). Після термообробки досягається міцність сталей до 100 кгс/мм<sup>2</sup> й гарна опірність циклічним навантаженням .

Критична швидкість охолодження середньовуглецевих легуючих сталей при загартуванні набагато нижча, ніж у низьковуглецевих сталей у зв'язку з помітним збільшенням інтервалу малої стійкості аустеніту. Тому при охолодженні цих сталей навіть на повітрі частина аустеніту може переохолодитися й зазнати перетворення нижче температури Мн. В умовах нагрівання й охолодження ЗТВ при наплавці навіть у найбільше перегрітих ділянках з гомогенним аустенітом при підвищеній швидкості охолодження може утворитися мартенсит.

Утворення мартенситу в ЗТВ при наплавці сталі 45 - це основна причина труднощів її наплавки в зв'язку зі схильністю до утворення холодних тріщин. Холодні тріщини можуть виникати відразу після наплавки й через якийсь час. Недоліком наплавки розглянутих сталей є також мартенситна будова ЗТВ, що визначає підвищену крихкість цих ділянок, що може позначитися при їхній експлуатації, особливо при роботі при знижених температурах, динамічних навантаженнях і ін.

Щоб уникнути утворення холодних тріщин при наплавці сталі 45 насамперед необхідно знизити швидкість охолодження зони наплавки після наплавки й знизити рівень виникаючих зварювальних напруг. Для цього прибігають або до підігріву металу, що наплавляється, або до збільшення погонної енергії при наплавці - збільшенню наплавочного струму й зниженню швидкості наплавки. Часто приходиться одночасно використовувати підігрів й збільшення погонної енергії, що дозволяє зменшити крихкість металу ЗТВ.

Зниження швидкості охолодження ЗТВ не завжди дозволяє запобігти перетворення аустеніту в мартенсит. Але навіть якщо не вдається уникнути мартенситного перетворення, розпад аустеніту з мартенситній зоні переноситься в область температур ближче до  $M_n$ , (далі від  $M_k$ ), що робить мартенсит, що утвориться, менш напруженим й менш крихким.

Оскільки на утворення холодних тріщин може вплинути водень, що попадає в метал, для сталі 45 при наплавці необхідно приймати особливі запобіжні заходи проти влучення в зону наплавки вологи й окалини. Для цього варто ретельно сушити наплавочні матеріали й очищати перед наплавкою поверхні виробу, що наплавляються. Доцільні також технологічні заходи, що дозволяють знизити рівень напруг у наплавленому виробі, термообробка, найчастіше високий відпуск, що дозволяє одночасно привести до розпаду мартенситу й до зниження остаточних зварювальних напруг. Термообробка для наплавлених виробів зі сталей 45 необхідна відразу ж після завершення наплавки, щоб звести до мінімуму час, за який може розвинути руйнування.

Ще в більшій мірі, чим при наплавці середньовуглецевих сталей у загартованому й відпущеному стані, при наплавці термополішених середньовуглецевих сталей відбувається послаблення ЗТВ. Усунути це послаблення може тільки загальна термообробка усього наплавленого виробу — загартування й відпуск. Загальний або місцевий відпуск, природно, не підвищують міцності послабленої зони.

### 3.8.1 Режими термообробки

Основний матеріал у нас сталь 45 – поліпшуєма сталь. Після поліпшення такі сталі отримують найкращі фізико-технічні властивості. Хімічний склад наплавленого шару відповідає сталі 30ХМ, яка теж відноситься до поліпшуємих. Тому і ми зробимо поліпшення деталі після наплавки.

Для сталі 45 поліпшення проводиться в такому режимі:

- гартування  $T_r=800-830\text{ }^\circ\text{C}$ ;
- відпуск  $T_b=620-640\text{ }^\circ\text{C}$ . [12,ст.183,табл.V.37]

Для наплавленого металу 30ХМ:

- гартування  $T_r=820-860\text{ }^\circ\text{C}$ ;
- відпуск  $T_b=600-630\text{ }^\circ\text{C}$ . [12,ст.185,табл.V.39]

Порівнявши ці значення на діаграмі стану залізо-цементит,оберемо оптимальні для покращення всієї деталі:

гартування при  $T_r=850\text{ }^\circ\text{C}$ ; відпуск при  $T_b=600\text{ }^\circ\text{C}$ .

### 3.8.2 Визначення часу нагріву

Час нагріву  $\tau_{\text{заг}}$  визначаємо за формулою:

$$\tau_{\text{заг.}}=\tau_{\text{H}}+\tau_{\text{B}}$$

де:  $\tau_{\text{H}}$  - час нагріву до заданої температури, обчислюється за формулою:

$$\tau_{\text{H}}=0,1 \cdot D_1 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$$

$D_1$ - розмірна характеристика виробу (мм) – мінімальний розмір максимального перерізу.

В нашому випадку даний розмір будемо розглядати як товщину стінки деталі  $\delta=27,5\text{ мм}$ .

$K_1$  - коефіцієнт, що враховує фізичні властивості середовища ( для газу 2, солі 1, металу 0,5).

Так як середовищем в нас являється повітря, то  $K_1=2$ .

$K_2$  - коефіцієнт, що враховує геометричну форму деталі ( куля - 1, циліндр - 2, паралелепіпед - 2,5, пластина - 4).

Обираємо  $K_2=4$

$K_3$  - коефіцієнт рівномірності нагріву ( при односторонньому нагріві  $K_3=4$ , при всесторонньому - 1 ).

Так як підігрів деталі відбувається при всесторонньому нагріві, то  $K_3=1$ .

Тоді

$$\tau_H=0,1 \cdot 27,5 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 1=22 \text{ хв}$$

$\tau_B$  - час витримки при заданій температурі.

Час витримки для конструкційних сталей складає 10-15 хв.,

для сталі 45 приймаємо  $\tau_B=10$  хв.

Отже:

$$\tau_{\text{заг}}=22+10=32 \text{ хв}$$

Для нагріву однієї деталі до температури  $T_3=850$  °С потрібно 32 хвилини.

### 3.9 Токарна обробка після наплавки

Обчислимо режими різання

Чорнове точіння:

Глибину різання приймаємо  $t = 1,0$  мм (з попередніх розрахунків припусків), так як наплавлена деталь має розмір  $\varnothing 88$  мм.

Подачу при чорновому точінні приймаємо максимально допустимою:

$S = 1,2$  мм /об, [11,ст.266, табл. 11]).

а) Обчислимо швидкість різання за емпіричною формулою:

$$V = \frac{C_v}{T^m \times t^x \times S^y} \times K_v; \text{ м/хв.} \quad (3.22)$$

де  $T$  – середнє значення стійкості різання при одноінструментній обробці ;

$$T = 30-60 \text{ хв}$$

Приймаємо  $T = 60$  хв.

$C_v = 340$ ;  $x = 0,15$ ;  $y = 0,45$ ;  $m = 0,2$  – значення цих коефіцієнтів взяті з [11, ст. 269, табл. 17] ;

$K_v$  – добуток ряду коефіцієнтів, поправочний коефіцієнт:

$$K_v = K_{mv} \times K_{nv} \times K_{uv} \quad (3.23)$$

$K_{mv}$  – коефіцієнт, що враховує вплив матеріала деталі на обробляємість; з [11, ст.261, табл.1]:

$$K_{mv} = K_r \cdot \left( \frac{760}{\sigma_b} \right)^{n_v} \quad (3.24)$$

$K_r$  – коефіцієнт, що характеризує групу сталі по обробляємості:

$$[11, \text{ст. 262, табл. 2}] K_r = 1;$$

$n_v$  – показник степеня [11, ст. 262, табл. 2]  $n_v = 1,75$ ;

$\sigma_b = 610$  МПа – тимчасовий опір матеріала (сталь 45) при розтягу:

$$K_{mv} = 1 \times \left( \frac{760}{610} \right)^{1,75} = 1,47$$

$K_{nv}$  – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив стану поверхні заготовки на швидкість різання  $K_{nv} = 0,6$  [табл. 5, ст. 263, 11] ;

$K_{uv}$  – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив інструментального матеріала на швидкість різання:  $K_{uv} = 1$

[11, ст. 263, табл. 6]

$$K_v = 1,47 \times 0,6 \times 1 = 0,88$$

Тоді 
$$V = \frac{340}{60^{0,2} \times 1^{0,15} \times 1,2^{0,45}} \times 0,88 = 121,6 \text{ м/хв}$$

б) Знайдемо частоту обертання деталі:

$$n = \frac{1000 \times V}{\pi \times D} \quad (3.25)$$



$V$  – швидкість різання;  $V = 121,6$  м/хв

$D$  – діаметр деталі:  $D = 110$ мм

$$n = \frac{1000 \times 121,6}{3,14 \times 110} = 352 \text{ об/хв}$$

в) Обчислимо складові сили різання ( $P_z, P_y, P_x$ ) за формулою:

$$P_{z,y,x} = 10C_p \times t^x \times S^y \times V^n \times K_p \quad (3.26)$$

$P_{z,y,x}$  – відповідно тангенціальна, радіальна і осьова сила різання;

Знайдемо  $P_z$  (тангенціальну складову):

$$C_p = 300; x = 1; y = 0,75; n = -0,15 \quad [11, \text{ст. 273, табл. 22}]$$

$K_p$  – поправочний коефіцієнт:

$$K_p = K_{mp} \times K_{\varphi p} \times K_{\gamma p} \times K_{\lambda p} \times K_{\Gamma p} \quad (3.27)$$

$K_{mp}$  – коефіцієнт, що враховує вплив якості оброблюваного матеріалу на силові залежності:

$$K_{mp} = \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^n$$

$$n = 0,75 \quad [11, \text{ст. 264, табл. 9}]$$

$$K_{mp} = \left( \frac{610}{750} \right)^{0,75} = 0,86$$

$K_{\varphi p}; K_{\gamma p}; K_{\lambda p}; K_{\Gamma p}$  - коефіцієнти, що враховують вплив геометричних параметрів ріжучої частини інструмента на складові сили різання

$$K_{\text{фр}} = 1; K_{\text{гр}} = 1,1; K_{\lambda p} = -; K_{\text{тр}} = 0,93 \quad [11, \text{ст. 275, табл. 23}]$$

$$K_p = 0,86 \times 1 \times 1,1 \times 0,93 = 0,88$$

$$P_z = 10 \times 300 \times 1^1 \times 1,2^{0,75} \times 121,6^{-0,15} \times 0,88 = 1473,4$$

Знайдемо складову  $P_y$  (радіальну)

$$P_y = 10 C_p \times t^x \times S^y \times V^n \times K_p \quad (3.28)$$

$$C_p = 243; x = 0,9; y = 0,6; n = -0,3 \quad [11, \text{ст. 273, табл. 22}]$$

$$K_p = K_{\text{мп}} \times K_{\text{фр}} \times K_{\text{гр}} \times K_{\lambda p} \times K_{\text{тр}} \quad (3.29)$$

$$K_{\text{мп}} = 0,75 \quad [11, \text{ст. 264, табл. 9}]$$

$$K_{\text{фр}} = 1; K_{\text{гр}} = 1,4; K_{\lambda p} = 1; K_{\text{тр}} = 0,82 \quad [11, \text{ст. 275, табл. 23}]$$

$$K_p = 0,75 \times 1 \times 1,4 \times 1 \times 0,82 = 0,86$$

$$P_y = 10 \times 243 \times 1^{0,9} \times 1,2^{0,6} \times 121,6^{-0,3} \times 0,86 = 552,2$$

Знайдемо складову  $P_x$  (осьову)

$$P_x = 10 C_p \times t^x \times S^y \times V^n \times K_p$$

$$C_p = 339; x = 1; y = 0,5; n = -0,4 \quad [11, \text{ст. 273, табл. 22}]$$

$$K_p = K_{\text{мп}} \times K_{\text{фр}} \times K_{\text{гр}} \times K_{\lambda p} \times K_{\text{тр}}$$

$$K_{\text{мп}} = 0,75 \quad [11, \text{ст. 264, табл. 9}]$$

$$K_{\text{фр}} = 1; K_{\text{гр}} = 1,4; K_{\lambda p} = 1; K_{\text{тр}} = 1 \quad [11, \text{ст. 275, табл. 23}]$$

$$K_p = 0,75 \times 1 \times 1,4 \times 1 \times 1 = 1,05$$

$$P_x = 10 \times 339 \times 1^1 \times 1,2^{0,5} \times 121,6^{-0,4} \times 1,05 = 571,2$$

г) Обчислимо потужність різання для чорнової обробки:

$$N = \frac{P_z \times V}{1020 \times 60}; \text{ кВт} \quad (3.30)$$

$P_z$  – тангенціальна складова сили різання;

$$P_z = 1473,4$$

$V$  – швидкість різання;

$$V = 121,6 \text{ м/хв}$$

$$N = \frac{1473,4 \times 121,6}{1020 \times 60} = 3 \text{ кВт.}$$

Така потужність чорнової обробки задовольняє технічні характеристики токарного станка 16К20 ( $N = 14 \text{ кВт}$ ).

Чистове точіння

Глибину різання приймаємо  $t = 0,15$  (з таблиці припусків).

Подачу різання при чистовій обробці приймаємо

$$S = 0,165 \times K_s \quad [11, \text{ст. 268, табл. 14}]$$

$K_s$  для сталей з  $\sigma_B = 500-700 \text{ МПа}$  складає 0,45

$$S = 0,165 \times 0,45 = 0,074 \text{ мм/об}$$

Аналогічно п.2.9.1 обчислюємо режими різання:

а) Швидкість різання:

$$V = \frac{C_v}{T^m \times t^x \times S^y} \times K_v; \text{ м/хв}$$

$T$  – середнє значення стійкості різця при одноінструментній обробці;

$$T = 30-60 \text{ хв}$$

Приймаємо  $T = 60 \text{ хв}$ .

$$C_v = 420; \quad x = 0,15; \quad y = 0,20; \quad m = 0,20; \quad [11, \text{ст. 269, табл. 17}]$$

$K_v$  – поправочний коефіцієнт

$$K_v = K_{mv} \times K_{nv} \times K_{uv}$$

$K_{mv}$  – коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу деталі на обробляємість:

$$K_{mv} = K_r \times \left( \frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} \quad [11, \text{ст. 261, табл. 1}]$$

$$K_r = 1; n_v = 1 \quad [11, \text{ст. 262, табл. 2}]$$

$$K_{mv} = 1 \times \left( \frac{750}{610} \right)^1 = 1,24$$

$K_{pv}$  – коефіцієнт, враховує вплив стану поверхні деталі на швидкість різання:

$$K_{pv} = 1 \quad [11, \text{ст. 263, табл. 5}]$$

$K_{uv}$  – коефіцієнт, що враховує вплив інструментального матеріалу на швидкість різання:

$$K_{uv} = 1$$

$$K_v = 1,24 \times 1 \times 1 = 1,24$$

Отже,

$$V = \frac{420}{60^{0,2} \times 0,15^{0,15} \times 0,07^{0,2}} \times 1,24 = 521,6 \text{ м/хв.}$$

б) Знайдемо частоту обертання деталі:

$$n = \frac{1000 \times V}{\pi \times D}; \text{ об/хв.}$$

$D$  – діаметр деталі:  $D = 110$  мм

$V$  – швидкість різання:  $V = 521,6$  м/хв.

$$n = \frac{1000 \times 521,6}{3,14 \times 110} = 1500 \text{ об/хв.}$$

в) Обчислимо складові сили різання  $P_z, P_y, P_x$ :

$$P_{z,y,x} = 10 C_p \times t^x \times S^y \times V^n \times K_p$$

Тангенціальна  $P_z$  сила різання

$$C_p = 300; x = 1,0; y = 0,75; n = -0,15 \quad [11, \text{ст. 273, табл. 22}]$$

$K_p$  – поправочний коефіцієнт

$$K_p = K_{mp} \times K_{fp} \times K_{yp} \times K_{lp} \times K_{rp}$$

$K_{mp}$  – коефіцієнт, що враховує вплив якості оброблюваного матеріалу на силові залежності:

$$K_{mp} = \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^n$$

$$n = 0,75 \quad [11, \text{ст. 264, табл. 9}]$$

$$K_{mp} = \left( \frac{610}{750} \right)^{0,75} = 0,86$$

$K_{\phi p}; K_{\gamma p}; K_{\lambda p}; K_{\Gamma p}$  - коефіцієнти, що враховують вплив геометричних параметрів ріжучої частини інструмента на складові сили різання:

$$K_{\phi p} = 1; K_{\gamma p} = 1,1 \quad K_{\lambda p} = -; K_{\Gamma p} = 0,93 \quad [11, \text{ст. 275, табл. 23}]$$

$$K_p = 0,86 \times 1 \times 1,1 \times 0,93 = 0,88$$

$$P_z = 10 \times 300 \times 1^1 \times 1,15^1 \times 0,07^{0,75} \times 521,6^{-0,15} \times 0,88 = 21$$

Радіальна  $P_y$  складова сили різання:

$$P_y = 10 C_p \times t^x \times S^y \times V^n \times K_p$$

$$C_p = 243; x = 0,9; y = 0,6; n = -0,3 \quad [11, \text{ст. 273, табл. 22}]$$

$$K_p = K_{mp} \times K_{\phi p} \times K_{\gamma p} \times K_{\lambda p} \times K_{\Gamma p}$$

$$K_{mp} = 0,75 \quad [11, \text{ст. 264, табл. 9}]$$

$$K_{\phi p} = 1; K_{\gamma p} = 1,4; K_{\lambda p} = 1; K_{\Gamma p} = 0,82 \quad [11, \text{ст. 275, табл. 23}]$$

$$K_p = 0,75 \times 1 \times 1,4 \times 1 \times 0,82 = 0,86$$

$$P_y = 10 \times 243 \times 0,15^{0,9} \times 0,07^{0,6} \times 521,6^{-0,3} \times 0,86 = 11,5$$

Осьова  $P_x$  складова сили різання:

$$P_x = 10 C_p \times t^x \times S^y \times V^n \times K_p$$

$$C_p = 339; x = 1; y = 0,5; n = -0,4 \quad [11, \text{ст. 273, табл. 22}]$$

$$K_p = K_{mp} \times K_{\phi p} \times K_{\gamma p} \times K_{\lambda p} \times K_{\Gamma p}$$

$$K_{\text{мр}} = 0,75 \quad [11, \text{ст. 264, табл. 9}]$$

$$K_{\text{фр}} = 1; K_{\text{γр}} = 1,4; K_{\text{λр}} = 1; K_{\text{гр}} = 1 \quad [11, \text{ст. 275, табл. 23}]$$

$$K_p = 0,75 \times 1 \times 1,4 \times 1 \times 1 = 1,05$$

$$P_x = 10 \times 339 \times 0,15^1 \times 0,07^{0,5} \times 521,6^{-0,4} \times 1,05 = 11,3$$

г) Обчислимо потужність різання при чистовій обробці:

$$N = \frac{P_z \times V}{1020 \times 60} = \frac{21 \times 521,6}{1020 \times 60} = 0,2 \text{ кВт}$$

Потужність чистової обробки також задовольняє технічні характеристики токарного верстату 16К20. Отже верстат обрано вірно.

### 3.10 Фрезерна обробка після наплавки

Фрезерну обробку отворів виконуємо на горизонтально-фрезерному універсальному верстаті 5К310.

Переходи 1 і 2.

Ріжучий інструмент: 2 дискові фрези Т15К6 ГОСТ 2679-73

$D=58$  мм,  $B=14$  мм,  $d=22$  мм,  $z=64$

Глибина різання

$$t = \frac{D}{2} - l = \frac{58}{2} - 26,75 = 2,25 \text{ мм} \quad (3.31)$$

$$n = t / t_0 = 2,25 / 1,2 = 1,875 = 2 \text{ проходи}$$

де  $t_0=1-1,2$  мм – глибина фрезерування за один прохід

Подачу визначаємо за нормативами. Для фрез із сталі Р6М5 з заданими параметрами рекомендується подача  $s_z=0,06-0,10$  мм.

Керуючись паспортом верстата обираємо  $s_z=0,1$  мм.

Швидкість різання

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m t^x s_z^y B^u z^p} K_v = \frac{53 \cdot 58^{0,25} \cdot 0,4}{81^{0,2} \cdot 2,25^{0,3} \cdot 0,1^{0,2} \cdot 14^{0,2} \cdot 64^{0,1}} = 9,5 \text{ м/хв.} \quad (3.32)$$

Частота обертання фрези

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 9.5}{3.14 \cdot 58} = 52.16 \text{ об/хв.} \quad (3.33)$$

Коректуючи по паспорту, приймаємо  $n=60$  об/хв.

Дійсна швидкість різання складає

$$v = \frac{\pi n D}{1000} = \frac{3.14 \cdot 60 \cdot 58}{1000} = 10.92 \text{ м/хв.} \quad (3.34)$$

Сили різання

Головною складовою є тангенціальна сили

$$P_z = \frac{10 C_p t^x s_z^y B^u z}{D^q n^w} K_{mp} \quad (3.35)$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 1.2^{0,86} \cdot 0,1^{0,72} \cdot 14^1 \cdot 64 \cdot 0,85}{58^{0,86} \cdot 142,5^0} = 2868 \text{ Н} \quad (3.36)$$

Горизонтальна складова сили

$$P_h = 1,1 P_z = 2868 \cdot 1,1 = 3154,8 \text{ Н} \quad (3.37)$$

Вертикальна складова сили

$$P_v = 0,1 P_z = 2868 \cdot 0,1 = 286,8 \text{ Н} \quad (3.38)$$

Радіальна складова сили

$$P_y = 0,3 P_z = 2868 \cdot 0,3 = 860,4 \quad (3.39)$$

Осьова складова сили

$$P_x = 0,5 P_z = 2868 \cdot 0,5 = 1434 \text{ Н} \quad (3.40)$$

Потужність різання

$$N = \frac{P_z v}{1020 \cdot 60} = \frac{2868 \cdot 10.92}{1020 \cdot 60} = 0.51 \text{ кВт} \quad (3.41)$$

Ефективна потужність на шпинделі складає

$$N_e = N_{об} \cdot \eta = 0.51 \cdot 0.85 = 0.43 \text{ кВт} \quad (3.42)$$

### 3.11 Розрахунок параметрів напилення

#### 1. Розрахунок припуску під напилення

Зношена деталь згідно допуску має розмір :

$$d_n = 110,8 - 0,94 = 109,86 \text{ мм};$$

Визначаємо розміри заготовки після напилення:

Дефектний шар дорівнює 0,5 мм на сторону;

Припуск на механічну обробку дорівнює 0,5 мм на сторону;

Таким чином після напилення діаметр цапфи стає:

$$d_n = 109,86 + 2 \cdot (0,5 + 0,5) = 111,86 \text{ мм};$$

Тоді припуск під напилення складає:

$$H = (d_n - d_n) = 111,86 - 109,86 = 2 \text{ мм};$$

Тобто ми повинні нанести 2 мм покриття, на 1 сторону:

$$H_1 = Z / 2 = 2 / 2 = 1 \text{ мм};$$

#### 2. Розрахунок об'єму плями напилення

$$Q = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h}{4} = \frac{3,14 \cdot 24^2 \cdot 0,08}{4} = 36,17 \text{ мм}^3,$$

де  $d$  – діаметр плями напилення, значення якої коливається в межах 15...25мм.

Обираємо  $d = 24$ мм.

$h$  – мінімальна товщина шару напиленого за один прохід ( $h = 0,02 \dots 0,1$ мм).

Вибираємо  $h = 0,08$ мм.

#### 3. Обчислення маси плями:

$$m = \frac{Q \cdot \rho}{1000} = \frac{36,17 \cdot 8}{1000} = 0,29.$$

де  $\rho$  - густина дроту (для дроту Нп-40Х13  $\rho = 8 \text{ г/см}^3$ ).

#### 4. Розраховуємо лінійну швидкість напилення:

$$v_n = \frac{P \cdot d}{3,6 \cdot m} = \frac{12 \cdot 24}{3,6 \cdot 0,29} = 275,9 \frac{\text{мм}}{\text{с}},$$

де  $P$  – продуктивність плазмотрона, кг/год,

#### 5. Обчислюємо горизонтальну швидкість переміщення металізатора:



$$v_z = \frac{k \cdot d \cdot v_n}{\sqrt{k^2 \cdot d^2 + \pi^2 \cdot D^2}} = \frac{0,45 \cdot 24 \cdot 275,9}{\sqrt{0,45^2 \cdot 24^2 + 3,14^2 \cdot 110^2}} = 5,7 \frac{\text{мм}}{\text{с}},$$

де  $k$  – коефіцієнт перекриття,

$D$  – діаметр деталі, що напиляється.

6. Швидкість обертання деталі:

$$\omega_o = \frac{v_z}{k \cdot d} = \frac{5,7}{0,45 \cdot 24} = 0,52 \frac{\text{об}}{\text{с}},$$

Беремо  $\omega_o = 0,5 \frac{\text{об}}{\text{с}},$ .

7. Кількість проходів:

$$n = \frac{H}{h} = \frac{1\text{мм}}{0,08\text{мм}} = 12,5 \text{ проходів.}$$

де  $H$  – загальна товщина напиленого шару.

Приймаємо кількість проходів  $n=13$ .

8. Час напилення:

$$t_n = \frac{L}{\omega \cdot v_z} \cdot n = \frac{76}{2 \cdot 5,7} \cdot 13 = 86,6\text{с.}$$

де  $L$  – довжина проходу

### 3.12 Шліфування

Оберемо режими шліфування

Для забезпечення потрібної шорсткості відновлюваної поверхні поворотної цапфи після напилення необхідно проводити шліфування. Шліфуванням нам потрібно досягти шорсткості  $R_a 1,25$ . Для цього потрібно виконати попереднє та кінцеве шліфування.

#### 3.12.1 Попереднє шліфування

Оберемо шліфувальний круг: для обробки загартованих та твердих сталей підходить така марка 63С 40 СТ2 6К5/ПСС 40 15 – зелений карбід кремніяд 63С, на керамічній зв'язці К5, зернистість 40, твердість круга СТ2 (середньо твердий), номер структури 6, об'ємний вміст шліфувального

матеріалу – 52%, пороутворювачем є полістирол загального призначення марки ПСС зернистістю 40, об'ємний вміст якого в абразивній масі при пресуванні складає 15% [11, ст.242-260].

По [11, ст.301, табл.55] приймаємо основні параметри шліфування:

- швидкість обертання деталі  $v_d=18$  м/хв;
- швидкість обертання круга  $v_k=35$  м/с;
- глибина шліфування  $t=0,03$  мм;
- повздовжня подача  $S=10$  мм/об.

### 3.12.2 Кінцеве шліфування

Оберемо шліфувальний круг: 63С 16 СМ2 3К2/ПСС 40 15 – зелений карбід кремнія 63С, на керамічній зв'язці К2, зернистість 16, твердість СМ2 (середньом'який), номер структури 3, об'ємний вміст шліфувального матеріалу 55%, пороутворювач – полістирол загального призначення марки ПСС, зернистістю 40, об'ємний вміст якого в абразивній масі при пресуванні складає 15% [11, ст.242-260].

Основні параметри [11, ст.301, табл.55] :

- швидкість обертання деталі  $v_d=35$  м/хв;
- швидкість обертання круга  $v_k=35$  м/с;
- глибина шліфування  $t=0,015$  мм;
- повздовжня подача  $S=6$  мм/об.

### 3.13 Контрольна операція

По зовнішньому вигляду покриття контролюють з метою виявлення зовнішніх дефектів: тріщин, вздувань, напливів і т. ін. Для огляду покриття слід застосовувати лупи 10 – кратного збільшення типу ЛИ-3, ЛИ-4 (ГОСТ 8309-75, ГОСТ 25708-83) при достатньому освітленні. Якщо робоче місце освітлюється лампами розжарювання, то його освітленість повинна бути не менше 300 лк. При природньому освітленні не менше 1.5 лк.

Товщину покриття вимірюють штангенциркулями, мікрометрами, а також спеціальними товщиномірами різного типу. Товщину покриття на деталях простої форми та невеликих розмірів вимірюють штангенциркулями. Після механічної обробки покриття їх товщину можна вимірювати також мікрометрами.

### 3.14 Оптимізація методу наплавки під шаром флюсу і вибір режимів

Визначимо оптимальні режими наплавлення деталі цапфи поворотної за допомогою експертної системи проектування технології електродугової механізованої наплавки розробленої інститутом електрозварювання ім. Е.О. Патона.

В залежності від форми наплавляємої поверхні, видів зносу та умов експлуатації вибираємо групу деталей до якої відноситься цапфа.

В нашому випадку це група № 25 Рисунок 3.6. А також поверхню типу тіл обертання (Рисунок 3.7).



Рисунок 3.6 – Вибір групи деталей

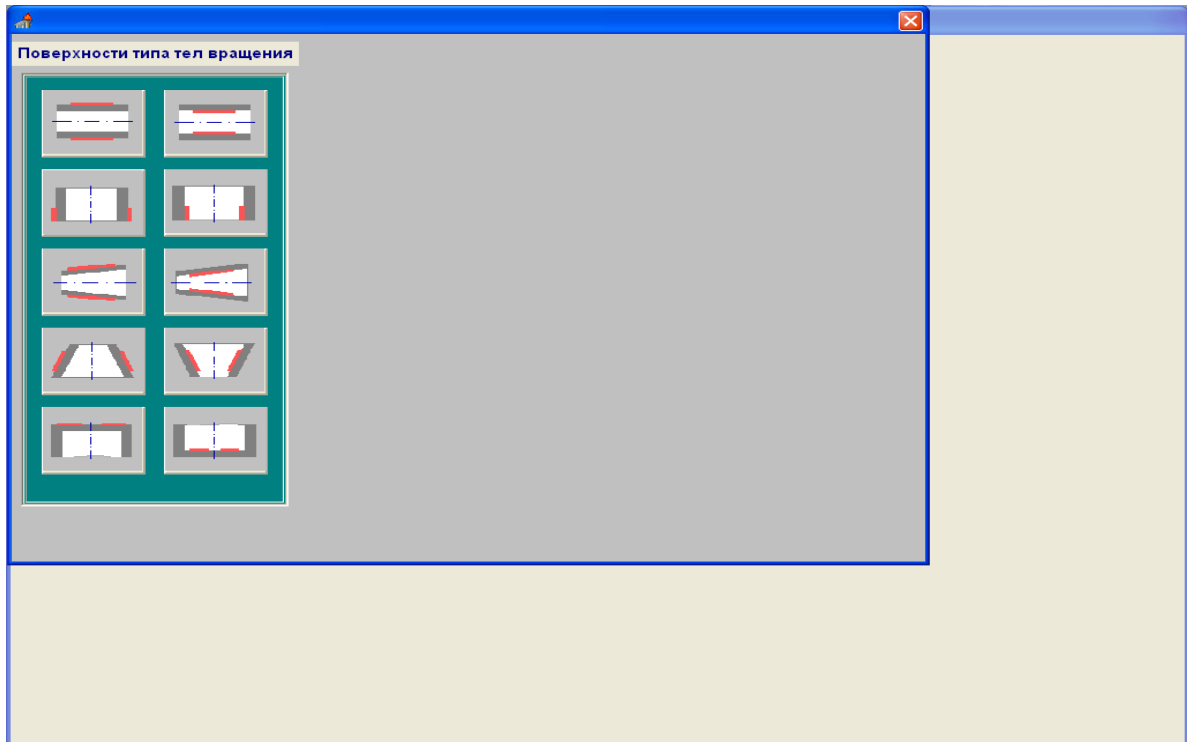


Рисунок 3.7 – Вибір поверхні

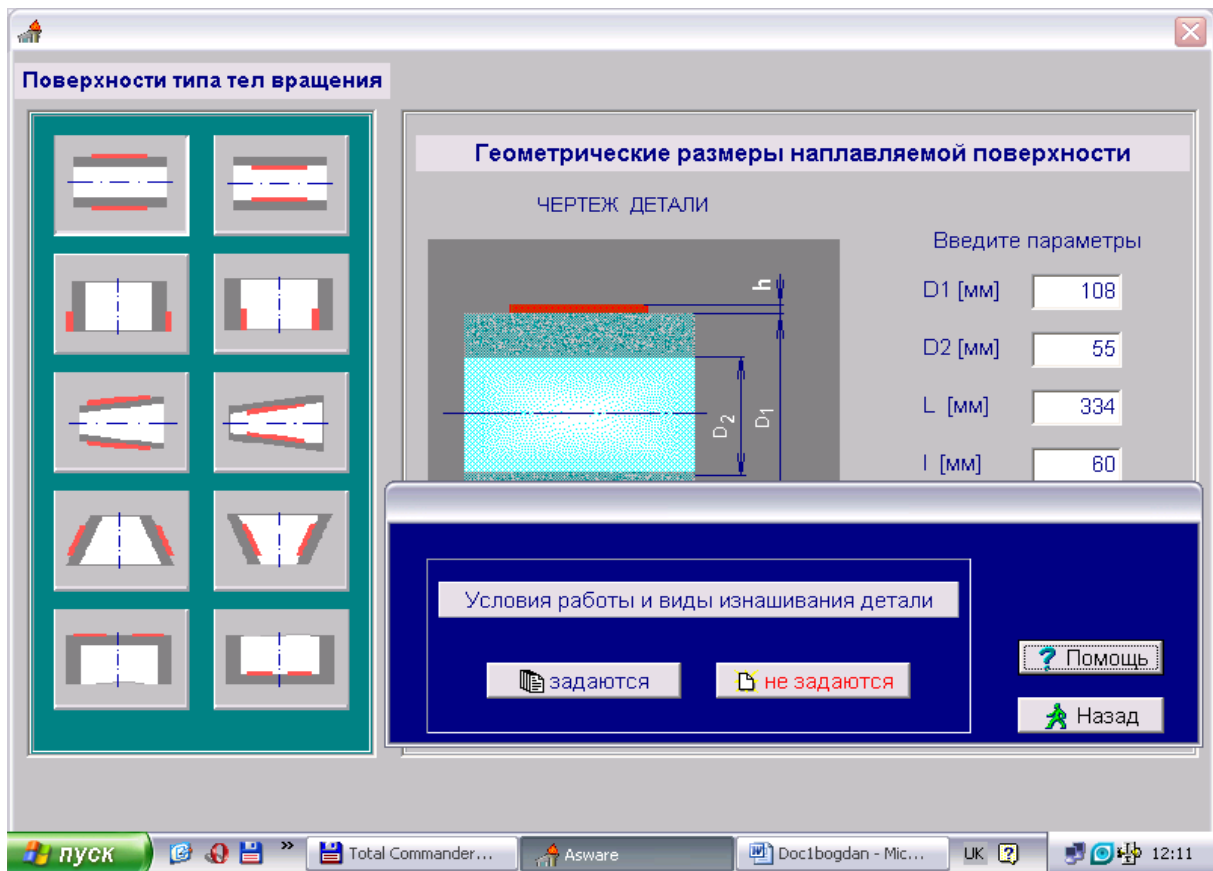


Рисунок 3.8 – Геометричні розміри наплавляємої поверхні, та умови роботи і види зносу деталі

У вікні, що показано на рисунку 3.8 зазначаємо всі геометричні розміри поверхні, що наплавляється і умови роботи і види зносу деталі натискаємо кнопку « Далее ». Потім у вікнах, що з'являються (рисунки 3.9, 3.10, 3.11, 3.12) зазначаємо умови роботи та види зношування.

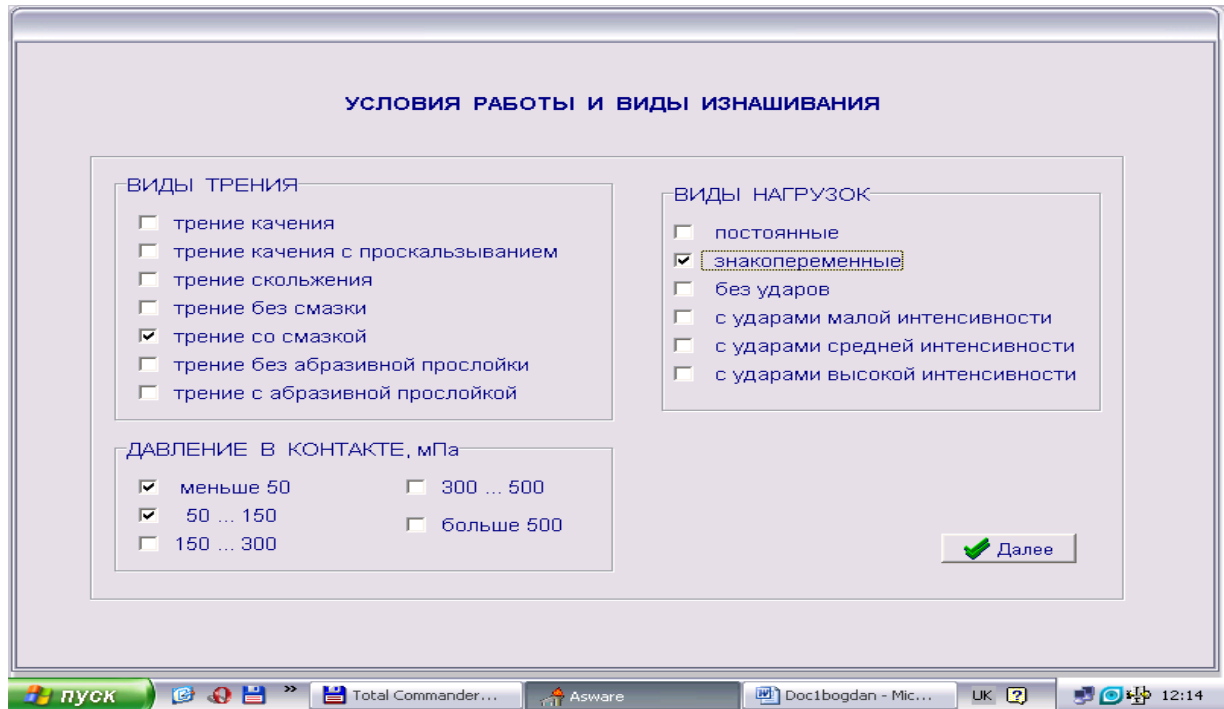


Рисунок 3.9 – Умови роботи і види зношування.

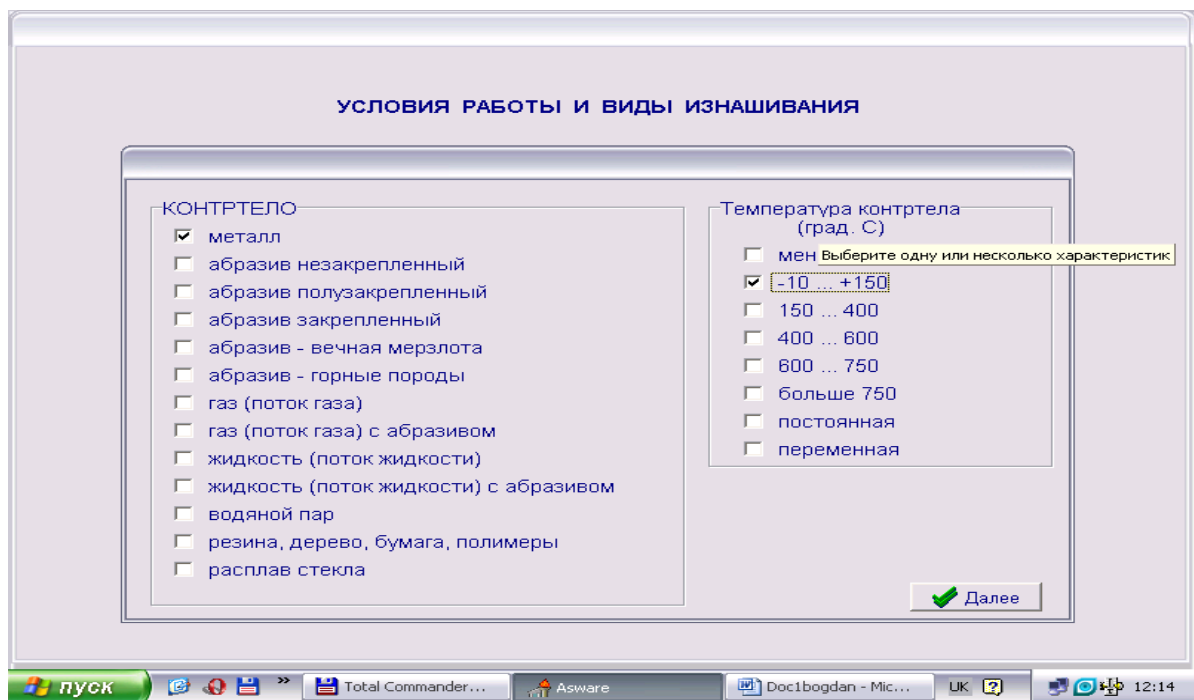


Рисунок 3.10 – Умови роботи і види зношування.

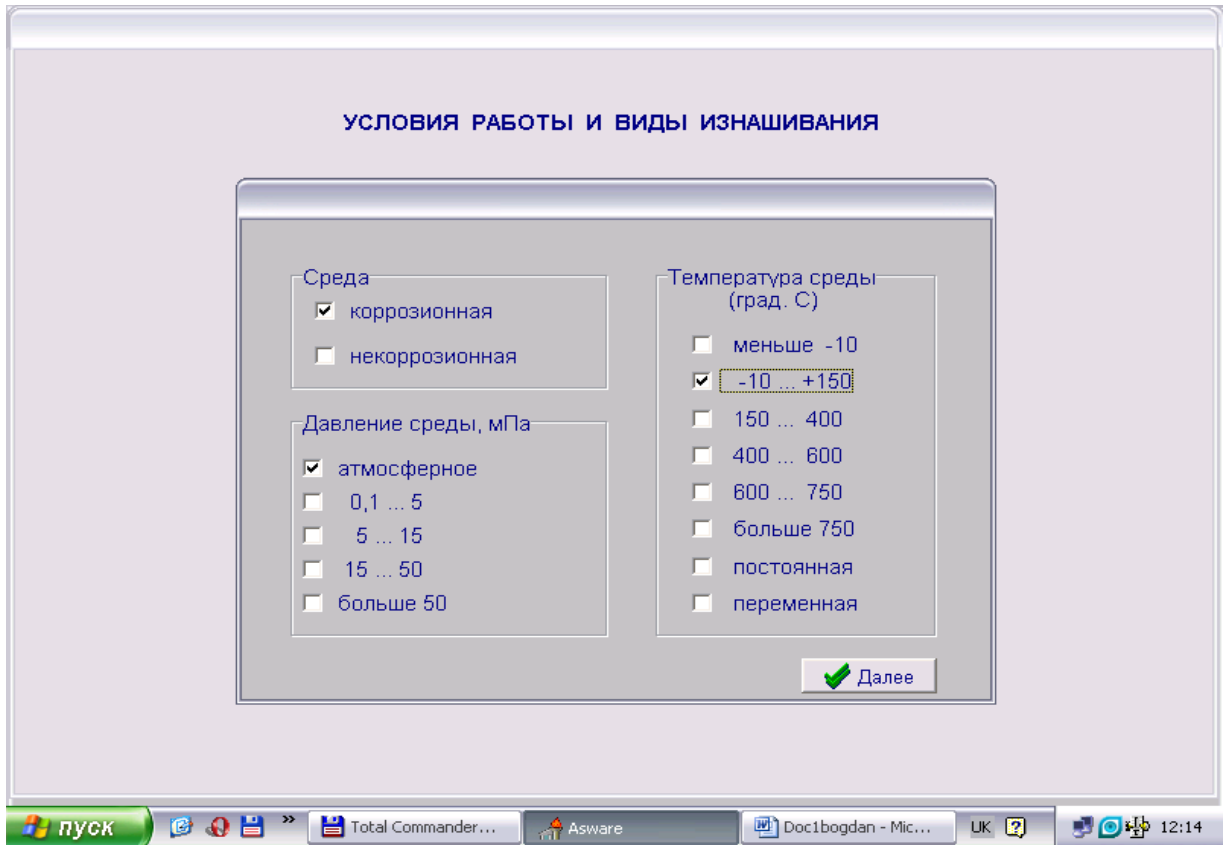


Рисунок 3.11 – Умови роботи і види зношування.

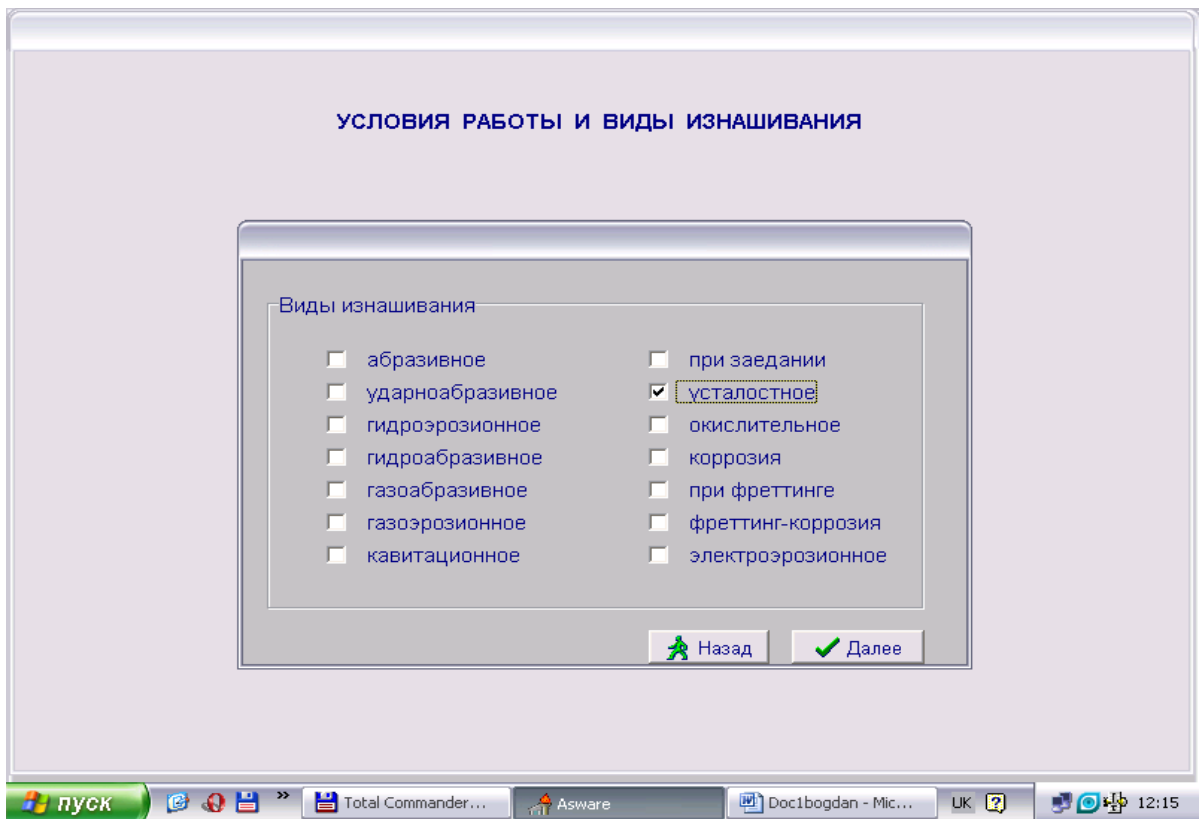


Рисунок 3.12 – Умови роботи і види зношування.

Після вибрання умов роботи і виду зношування у наступному вікні (рисунк 3.13.) вибираємо наплавочний дріт. В слідуючих вікнах (рисунки 3.14, 3.15, 3.16) програми видає характеристики обраного дроту.

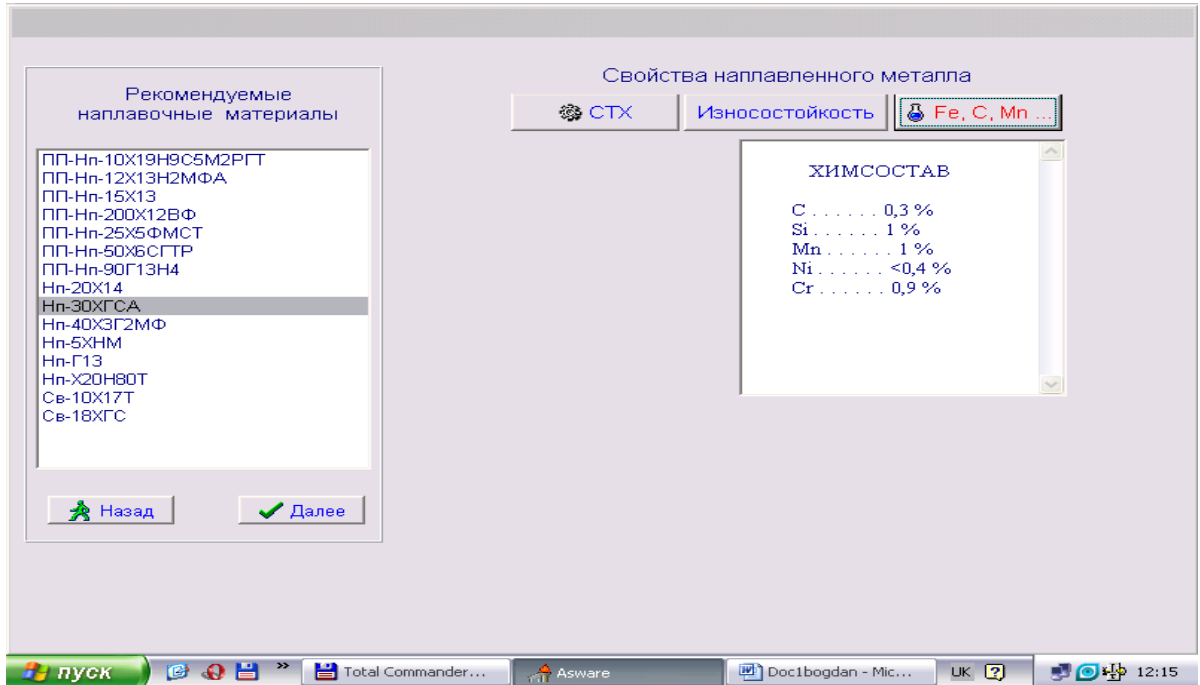


Рисунок 3.13 – Хімічний склад наплавочного дроту.

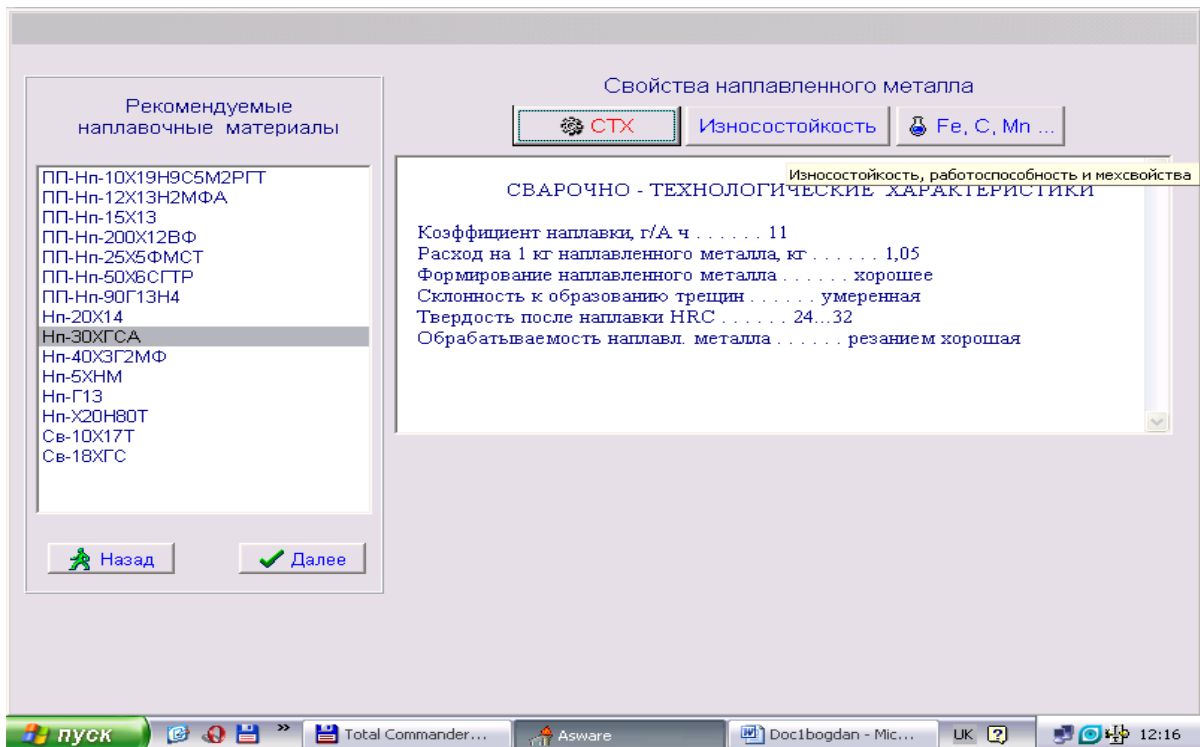


Рисунок 3.14 – Зварювально- технологічні характеристики дроту

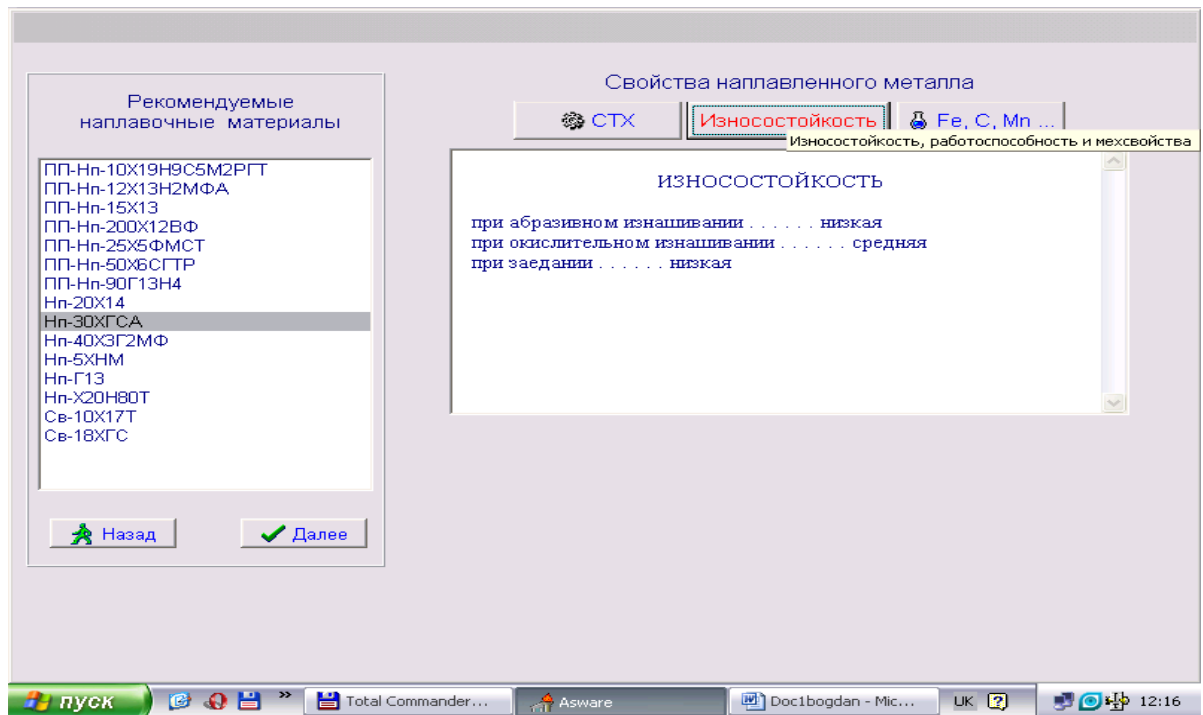


Рисунок 3.15 – Зносостійкість наплавочного дроту

Після обрання наплавочного дроту, обираємо спосіб наплавки: по напрямній лінії(рисунок 3.16)

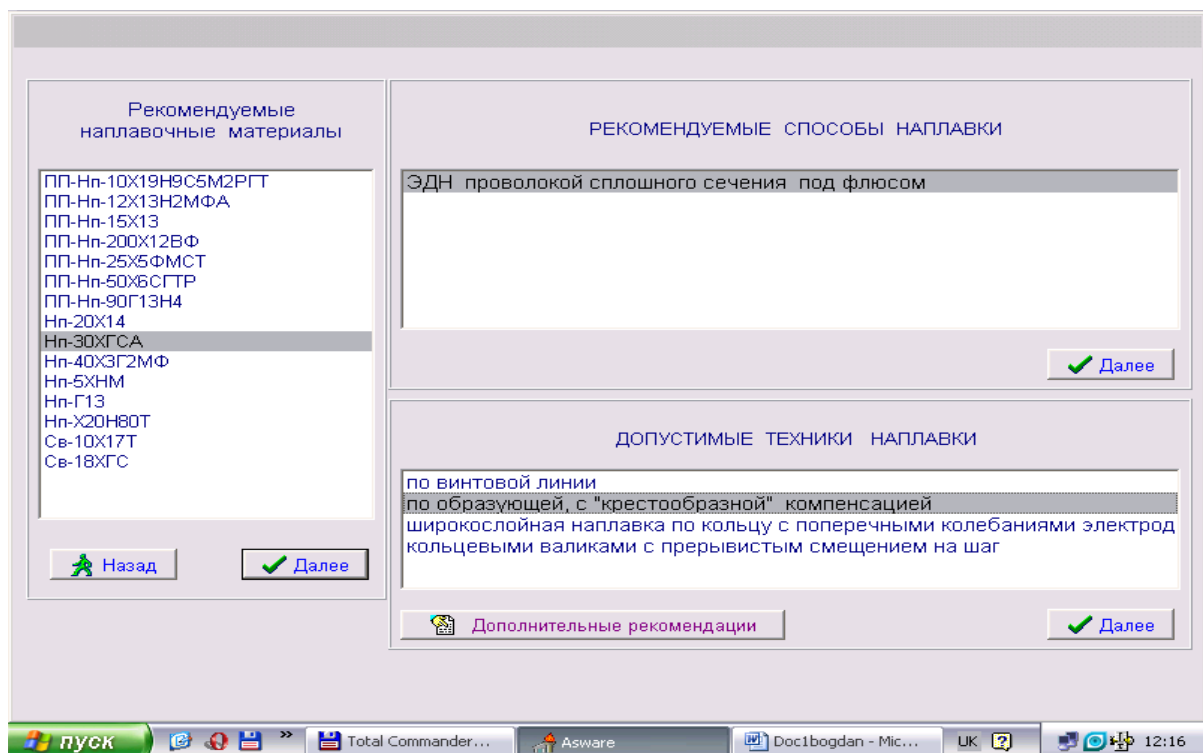


Рисунок 3.16 – Рекомендовані методи наплекви.



Після цього програма видає документ оптимальних режимів наплавки, що зображено на рисунку 3.17.

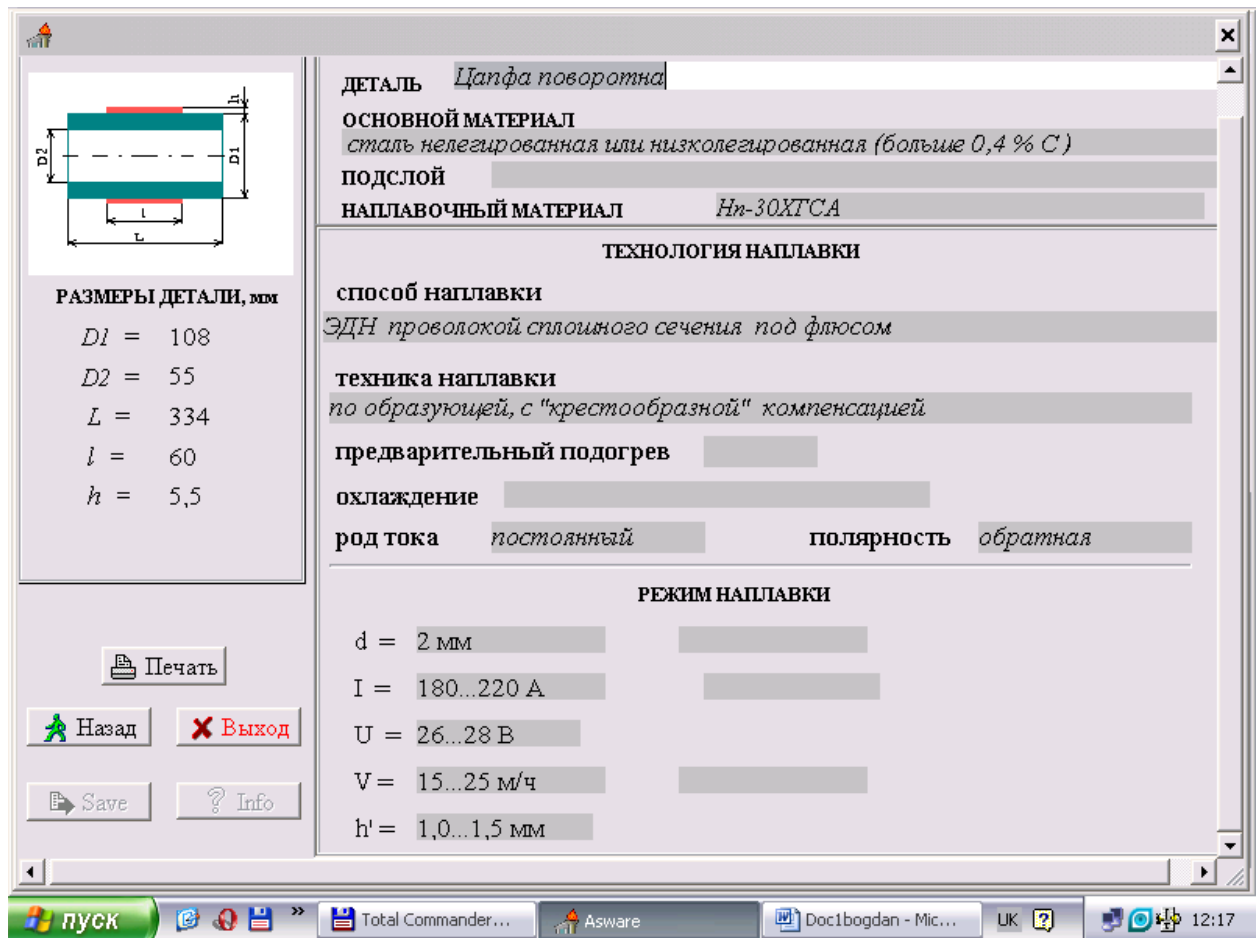


Рисунок 3.17 – Документ оптимальных режимів наплавки.

Визначивши оптимальні режими наплавлення деталі цапфи поворотної за допомогою експертної системи проектування технології електродугової механізованої наплавки розробленої інститутом електрозварювання ім. Е.О. Патона. бачимо, що програма пропонує для наплавки використати наплавочний дріт Нп-30ХГСА, що значно дешевший за дріт ПП-Нп-18Х1Г1М, тому дані режими для відновлення шліців цапфи поворотної також можуть бути використані в даному технологічному процесі.

### 3.15 Використання САПР для побудови 3D-моделі цапфи поворотної

Для побудови 3D - моделі цапфи поворотної використовуємо програму «компас». Включивши «компас» вибираємо пункт: “Создать сборку”, після чого вибираємо площину на якій будемо створювати деталь: “плоскость XY”. Вибираємо пункт “Ескиз”, і у вікні що появиться створюємо ескіз деталі, після чого вибираємо вісь, навколо якої буде обертатись деталь, і команду “Ескиз” закриваємо. В меню операцій вибираємо пункт: “Обернуть на 360°”, в робочому вікні програми з’являється заготовка деталі.

Вибираємо площину на якій мають бути отвори, повторюючи аналогічні кроки(Пункт “Ескиз” у вікні створюємо отвори, копіруємо і наносимо їх на площину, яку обрали, заклавши при цьому пункт “Ескиз”). В меню операцій обираємо пункт: “Вырезать выдавливанием” на довжину стінки даної поверхні. В результаті чого на моделі деталі з’являються отвори. Аналогічний порядок дій виконуємо для побудови шліців.

Для побудови різьби в меню операцій вибираємо пункт: “Условное обозначение резьбы” вказуємо базовий об’єкт, на якому повинна бути різьба, напрямлення різьби та шаг після чого змемо кнопку “Применить”. На моделі деталі у вказаному місці з’являється схематичне позначення різьби.

В результаті всіх вище зроблених операцій на робочому столі програми компас відображається 3D – модель цапфи поворотної, що зображена на рисунку 3.18. Також як додаток до 3D – моделі компас додає МЦХ(міжцентрові характеристики), які приведені нижче.

МЦХ

Деталь	Цапфа поворотна
Площа	$S = 266032.706661 \text{ мм}^2$
Об’єм	$V = 2384032.423010 \text{ мм}^3$
Матеріал	Сталь 45 ГОСТ 1050-88
Густина	$R_0 = 0.007820 \text{ г/мм}^3$
Маса	$M = 18643.133548 \text{ г}$

Центр мас

$$X_c = -99.630311 \text{ мм}$$

$$Y_c = -47.999636 \text{ мм}$$

$$Z_c = 0.000000 \text{ мм}$$

В глобальній системі координат:

Осьові моменти інерції

$$J_x = 101650292.535920 \text{ г*мм}^2$$

$$J_y = 363914341.058029 \text{ г*мм}^2$$

$$J_z = 406867658.025482 \text{ г*мм}^2$$

Центробіжні моменти інерції

$$J_{xy} = -89156533.637865 \text{ г*мм}^2$$

$$J_{xz} = 0.000000 \text{ г*мм}^2$$

$$J_{yz} = 0.000000 \text{ г*мм}^2$$

В центральній системі координат:

Осьові моменти інерції

$$J_x = 58697163.723963 \text{ г*мм}^2$$

$$J_y = 178858891.120975 \text{ г*мм}^2$$

$$J_z = 178859079.276470 \text{ г*мм}^2$$

Центробіжні моменти інерції

$$J_{xy} = -992.147159 \text{ г*мм}^2$$

$$J_{xz} = 0.000000 \text{ г*мм}^2$$

$$J_{yz} = 0.000000 \text{ г*мм}^2$$

В головній центральній системі координат:

Осьові моменти інерції

$$J_x = 178858985.202855 \text{ г*мм}^2$$

$$J_y = 178858985.202855 \text{ г*мм}^2$$

$$J_z = 58697163.715697 \text{ г*мм}^2$$

Направлення головних осей інерції:

Вісь 1 і вісь 2 ортогональні осі 3

Вісь Z

$$X = 1.000000$$

$$Y = 0.000000$$

$$Z = 0.000000$$

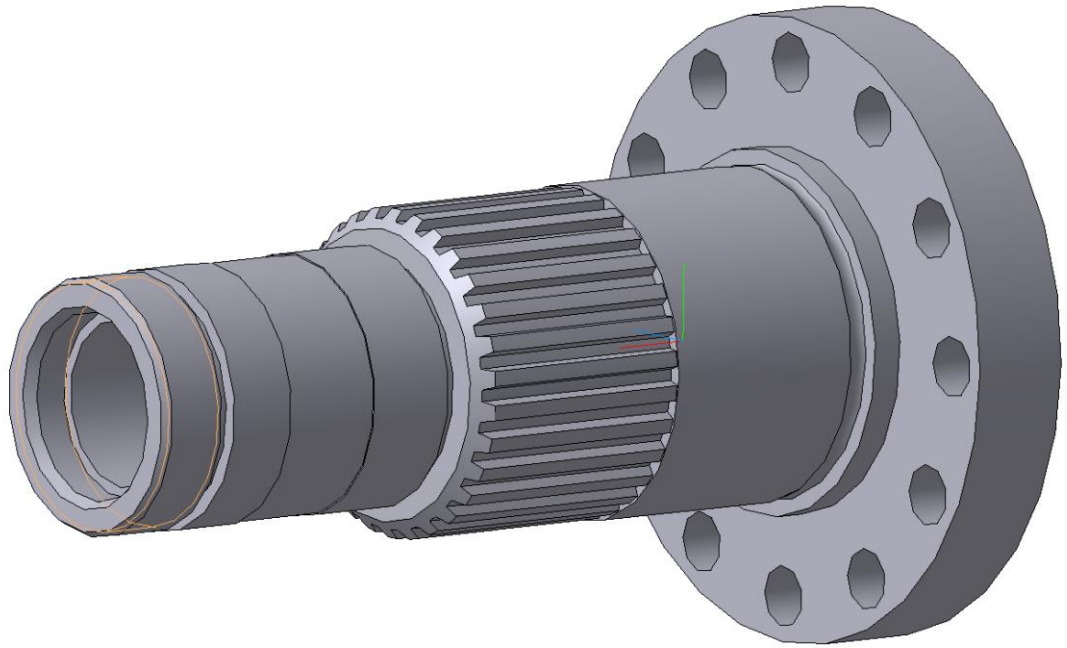


Рисунок 3.18 – цапфа поворотна (3Д модель)

## 4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 4.1 Вибір установки для електродугового напилення

Комплект обладнання для електродугового напилення складається з наступних вузлів:

- металізатор;
- джерело живлення дуги;
- джерело і приймач води для охолодження;
- балон з аргоном;
- механізм подачі електродного дроту;
- пульт керування електродуговою установкою,
- механізм переміщення металізатора;
- механізм обертання деталі;
- пульт керування механізмами переміщення металізатора і обертання деталі.
- комплекс комунікацій, що з'єднують окремі вузли установки і забезпечують підведення енергії, води і газів до плазмотрона.

Металізатор.

На основі патентного пошуку було обрано конструкцію металізатора з наступними характеристиками:

- Тиск повітря, МПа	0,5
- Тиск пального газу, МПа	0,5
- Сумарні витрати газів, м/год	30
- Напруга дуги, В	36
- Струм дуги, А	250
- Дистанція нанесення покриття, мм	300

В результаті вдосконалення конструкції металізатора, а саме надання струменя повітря надзвукової швидкості за рахунок зміни конструкції

вихідного сопла, та підбору кута геометричної вісі соплового каналу, який повинен бути в межах 20- 80°

Металізатор (рисунок 4.1.) складається з надзвукового газополум'яного пальника, в корпусі якого, що містить плоску задню стінку 1, циліндричну обичайку 2, конусоподібна звужена кришка 3, і центральний сопловий отвір (канал) 4, формується надзвуковий газополум'яний потік продуктів згоряння вуглеводнів з повітрям. В задній стінці 1, співвісно з вказаним сопловим каналом, розташований водоохолоджуванний струмопідвідний наконечник 5, з осьовим каналом для подання одного з витратних електродів 12, (центрального) в зону розпилювання. На кришці 3 встановлений другий (бічний) струмопідвідний наконечник 6, з осьовим каналом для подавання другого (бічного) витратного електрода 12 в зону плавлення. Геометрична вісь каналу наконечника 6 нахилена до геометричної вісі соплового каналу і каналу в наконечнику 5 під кутом 60°. Пальник і струмопідвідний наконечник охолоджується водою, що надходить та виходить крізь канили 7 та 7а. Пальна газова суміш надходить крізь канал 8 і перфоровану стінку 9, яка виготовлена з кераміки, в порожнину газополум'яного пальника, утворену задньою стінкою 1, циліндричною обичайкою 2 і конусоподібна звужуючоюся кришкою 3, де підпалюється за допомогою свічки 10. Одержана, розширена високотемпературна суміш продуктів згоряння з повітрям надходить а центральний сопловий канал 4, геометричні розміри якого забезпечують формування надзвукового витоку цього потоку в оточуюче середовище.

При подаванні обох дротів, між кінцями яких збуджується дуга, відбувається розплавлення матеріалу дротів. Розплавлений матеріал підхоплюється струменем надзвукового високотемпературного газополум'яного потоку, що витікає з центрального сопла пальника, диспергується із високою швидкістю переноситься в захисному середовищі надзвукового потоку продуктів згоряння вуглеводнів з повітрям на поверхню основного металу у вигляді

покриття. Оскільки транспортування розплавлених частинок матеріалу здійснюється з великою швидкістю у високо температурному надзвуковому потоці полум'я продуктів згоряння, що володіє захисними властивостями, то покриття одержується з мінімально окислених часток з підвищеними когезійними та адгезійними властивостями.

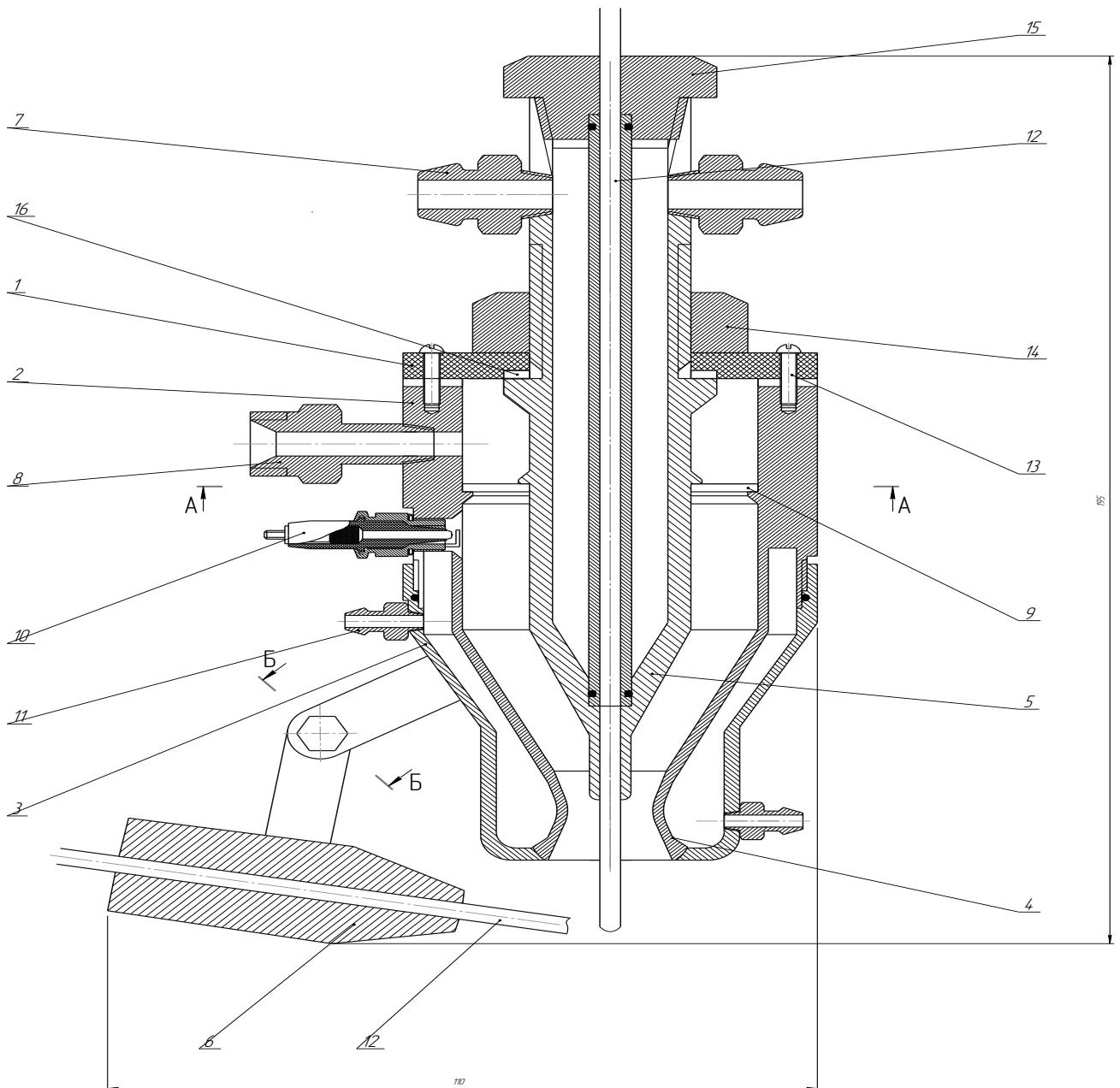


Рисунок 4.1. - Схема металізатора.

### Джерело живлення дуги

В якості джерела живлення дуги використовуємо апарат живлення металізатора ПУРМ-400В

Апарат ПУРМ-400В призначений для напівавтоматичного напилення матеріалів з використанням металізатора водяного охолодження. Процес заснований на використанні дуги постійного струму прямої дії.

Апарат виготовляється в кліматичному виконанні У категорії розміщення 2 по ГОСТ 15150-69, для роботи при температурі навколишнього середовища від +5 до +25°С і відносної вологості до 80%.

Апарат відповідно до ГОСТ 12221-85 відноситься до типу ПЛР-2-200.

Технічні характеристики джерела живлення ПУРМ-400В

Напруга трифазної живлячої мережі при частоті 50Гц – 380V, при напрузі холостого ходу-300V.

Максимальний робочий стум – режим 1- 180А, Режим 2 -360А,

Номінальний робочий струм - режим 1- 160А, Режим 2 -320А,

Споживча потужність - режим 1- 30кВт, Режим 2 – 60кВт

Режим роботи при номінальному струмі, ПВ – 100%;

Принцип роботи.

У джерело живлення входять два знижувальні трансформатори, панельний блок випрямлячів змінного струму, системи захисту і забезпечення роботи апарату в заданих технічних умовах. На передній панелі джерела живлення знаходяться автомати подачі електроживлення по режимах роботи, контрольні лампи, блок запобіжників, вимикачі насоса водяного охолодження і вентилятора радіатора. Для зручності роботи джерело живлення встановлене на колесах, які забезпечують можливість його переміщення.

Струм і газ, які підводять до установки, а також охолоджуюча вода взаємозв'язані. Їх взаємозв'язок полягає в тому, що електрична схема включення напруги, підведеної до металізатора від джерела струму,



заблокована контактами реле тиску, які встановлені в системі охолодження водою, а також контактами реле тиску, які встановлені в системі живлення робочим газом.

У випадку недостатніх витрат та тиску газу чи води спрацьовує відповідне реле і автоматично відключає джерело струму, запобігаючи від розплавлення металізатора.

Радіус обслуговування визначається довжиною гнучкого кабелю, який забезпечує підведення струму і охолоджуючої води до металізатора.

Джерело і приймач води для охолодження;

Апарат живлення металізатора ПУРМ-400В оснащений гідронасосом для створення тиску води в металізаторі і укомплектований водовідвідними і відвідними рукавами довжиною по 10м. Тиск газу забезпечується компресором у випадку використання повітря, або тиску з балона, який підключається через редуктор апарату ПУРМ-400В до металізатора через газопідвідний шланг.

Механізм подачі електродного дроту, генератор ультразвукових коливань.

В якості механізму подачі електродного дроту використовуємо роликівий механізм 4, яким комплектується універсальна установка для наплавлення. Через напрямні втулки підводиться струм до дроту, який при напilenні є анодом. В якості приводу використовуємо кроковий електродвигун MTR-ST-42-48S-AA, який має слiдуючі характеристики. Генератор ультразвукових коливань установлюється в корпусі механізму подачі електродного дроту і коливання дроту здійснюється за рахунок коливання передньої направляючої втулки. Модель генератора ультразвукових коливань – ГЗ-33.

Механізм подачі електродного дроту 2 разом з котушкою 5 і металізатор 1 монтуються на одному кронштейні 6, який закріплюється на лінійному приводі

Механізм переміщення напилюємої головки.

Для переміщення напилюємої головки (поз. 1) використовуємо приводи Фесто. Горизонтальне переміщення металізатора забезпечує шпindelний лінійний привод DGE-40- -SP (поз. 2), який приводиться в дію серводвигуном MTR-AC-100-3S-AA (поз. 3), для вертикального переміщення застосовуємо електромеханічні циліндри DNCE-40-600-BS-"12,7"Р-Q з приводом шпинделя шарикогвинтовою передачею і захистом від повороту штока (поз. 7 та 8), які контролюються контролером SEC-AC-305-PB-P01 (поз. 9). Управління серводвигуном 3 здійснюється контролером електродвигуна 6. Таким чином напилюєма головка здатна здійснювати двомірний рух вліво-вправо та вгору вниз, що достатньо для напилювання циліндричних та конічних поверхонь, адже напилювання здійснюється по центру заготовки і не потребує зміщення від zenіту. Рух вгору вниз забезпечує універсальність заготовки – можливість напилювати циліндричні поверхні в діапазоні 10–600мм та довжиною 50-600мм, це обумовлено використанням циліндрів з довжиною штока 600мм.

Механізм обертання деталі.

Для закріплення цапфи поворотної використовується спеціальне пристосування, яке закріплюється в трикулачковий патрон 4 і з іншого боку піджимається задньою бабкою, яка приводиться в рух електромеханічним циліндром 11, який живиться від контролера 10. Приводну функцію обертання трьохкулачкового патрона виконує сервомотор 5, який контролюється контролером 6.

Контролери з'єднані з персональним комп'ютером, з якого і відбувається керування процесом напилення в автоматичному чи напівавтоматичному режимі

Комунікації та захисне обладнання.

Для забезпечення чистоти та безпечності процесу напилення в установці передбачена вентиляція 13 всисного типу, яка розміщена внизу установки для забезпечення мінімізації впливу на процес напилювання.

Усі вузли та пристосування монтуються на зварній рамі, яку виготовляють з швелера №10 та листа товщиною 10мм. Ця конструкція забезпечує необхідну міцність та стійкість станини установки.

Для шумового та світлового захисту в установці передбачено захисну кабінку 1, яка встановлюється на раму і повністю ізолює напилюєму установку від навколишнього середовища. Для доступу до напилюємої деталі та зварювальної головки в конструкції кабінки передбачені відсувні двері 2, які рухаються на роликах вздовж напрямних, в якості яких виступають бокові швелери зварної рами. Для візуального контролю процесу напилення в дверях кабінки встановлене зорове вікно.

## 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Для успішного впровадження науково-технічної розробки критично важливо, щоб вона відповідала сучасним вимогам науково-технічного прогресу та враховувала економічні аспекти. Надання оцінки економічної ефективності результатів науково-дослідної роботи є важливою частиною цього процесу. Дослідження, яке представлено у магістерській роботі і присвячене розробці та вивченню "Підвищення якості відновлення робочих поверхонь шліців цапфи поворотної вузла приводу заднього колеса тролейбуса ЗИУ-9", віднесено до науково-технічних робіт, спрямованих на виведення на ринок. Рішення про комерціалізацію розробки може бути прийняте протягом проведення самої роботи, відкриваючи можливості для подальшого виведення на ринок. Цей напрямок визначається як пріоритетний, оскільки розроблені результати можуть бути корисними для різних зацікавлених сторін і приносити економічні вигоди. Однак для успішної реалізації цього процесу ключовим є залучення зацікавленого інвестора, який виявить інтерес до втілення даного проекту, і переконання його у доцільності інвестування у цю розробку. З метою досягнення цього завдання були визначені такі етапи виконання робіт:

1. Проведення комерційного аудиту науково-технічної розробки, включаючи визначення науково-технічного рівня та комерційного потенціалу.
2. Розрахунок витрат на реалізацію науково-технічної розробки.
3. Проведення розрахунку економічної ефективності впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки для потенційного інвестора, а також обґрунтування економічної доцільності комерціалізації з точки зору інвестора.

## 5.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки

Метою проведення комерційного і технологічного аудиту дослідження за темою " Підвищення якості відновлення робочих поверхонь шліців цапфи поворотної вузла приводу заднього колеса тролейбуса ЗИУ-9" є дослідження технологічних засад підвищення якості процесів відновлення шліців цапфи поворотної тролейбуса і вирішення проблеми відновлення даної деталі, так як раніше застосовуємі методи показали негативні результати.

Оцінювання науково-технічного рівня розробки та її комерційного потенціалу рекомендується здійснювати із застосуванням 5-ти бальної системи оцінювання за 12-ма критеріями, наведеними в табл. 5.1 [1].

Таблиця 5.1 – Рекомендовані критерії оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки та бальна оцінка

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено працездатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки)					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші,	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в

5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної	Ринок малий, але має позитивну	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкуренція немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років

12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту
----	--	--	---	--	---

Результати оцінювання науково-технічного рівня та комерційного потенціалу науково-технічної розробки потрібно звести до таблиці. Для оцінки науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки експертами було запрошено трьох незалежних експертів Вінницького національного технічного університету кафедри «Галузевого машинобудування»: професор Савуляк Валерій Іванович, доцент Шиліна Олена Павлівна, доцент Бакалець Дмитро Віталійович.

Таблиця 5.2 – Результати оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки експертами

Критерії	Експерт (ПІБ, посада)		
	Савуляк В. І.	Шиліна О. П.	Бакалець Д. В.
	Бали, виставлені експертами:		
1. Технічна здійсненність концепції	2	2	2
2. Ринкові переваги (наявність аналогів)	4	3	3
3. Ринкові переваги (ціна продукту)	1	2	1
4. Ринкові переваги (технічні властивості)	4	4	4
5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	2	1	2
6. Ринкові перспективи (розмір ринку)	3	3	4
7. Ринкові перспективи (конкуренція)	1	0	1
8. Практична здійсненність (наявність фахівців)	3	3	4
9. Практична здійсненність (наявність фінансів)	3	3	3

10. Практична здійсненність (необхідність нових матеріалів)	4	4	3
11. Практична здійсненність (термін реалізації)	4	4	4
12. Практична здійсненність (розробка документів)	2	3	3
Сума балів	СБ <sub>1</sub> =31	СБ <sub>2</sub> =34	СБ <sub>3</sub> =34
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_1^3 СБ_i}{3} = \frac{33 + 32 + 34}{3} = 33$		

За результатами розрахунків, наведених в таблиці 5.2, зробимо висновок щодо науково-технічного рівня і рівня комерційного потенціалу розробки. При цьому використаємо рекомендації, наведені в табл. 5.3 [1].

Таблиця 5.3 – Науково-технічні рівні та комерційні потенціали розробки

Середньоарифметична сума балів СБ, розрахована на основі висновків експертів	Науково-технічний рівень та комерційний потенціал розробки
41...48	Високий
31...40	Вище середнього
21...30	Середній
11...20	Нижче середнього
0...10	Низький

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою " Підвищення якості відновлення робочих поверхонь шліців цапфи поворотної вузла приводу заднього колеса тролейбуса ЗИУ-9" становить 33 бали, що, відповідно до таблиці 4.3 рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього, що свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень.

Магістерська кваліфікаційна робота " Підвищення якості відновлення робочих поверхонь шліців цапфи поворотної вузла приводу заднього колеса тролейбуса ЗИУ-9" відноситься до науково-технічних робіт, які орієнтовані на виведення на ринок, тобто при цьому відбувається комерціалізація науково-технічної розробки. Цей напрямок є для нас пріоритетним, оскільки



результатами розробки можуть користуватися не тільки самі розробники, а й інші споживачі, отримуючи при цьому суттєвий економічний ефект.

## 5.2 Визначення рівня конкурентоспроможності розробки

В процесі визначення економічної ефективності науково-технічної розробки також доцільно провести прогноз рівня її конкурентоспроможності за сукупністю параметрів, що підлягають оцінюванню.

В якості аналога для розробки було обрано базовий технологічний процес відновлення деталі. Основними недоліками аналога є те, що виникають труднощі з утворенням і утриманням розплавленого металу на поверхні деталі (при достатньому охолодженні шва утруднення виділення шлакової кірки), а також непридатність наплавки дрібних виробів складної форми.

У розробці дана проблема вирішується шляхом заміни метода відновлення зношених поверхонь. Також система випереджає аналог за такими параметрами як зносостійкість відновлених поверхонь збільшується у 2,5 рази.

Одиничний параметричний індекс розраховуємо за формулою [1]:

$$q_i = \frac{P_i}{P_{базі}} . \quad (5.1)$$

де  $q_i$  – одиничний параметричний індекс, розрахований за  $i$ -м параметром;

$P_i$  – значення  $i$ -го параметра виробу;

$P_{базі}$  – аналогічний параметр базового виробу-аналога, з яким проводиться порівняння.

Загальні технічні та економічні характеристики розробки представлено

в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Основні техніко-економічні показники аналога та розробки, що проектується

Показник	Варіанти		Відносний показник якості	Коефіцієнт вагомості параметра
	Базовий (товар-конкурент)	Новий (інноваційне рішення)		
1	2	3	4	5
Продуктивність методу кг/год	6	2	3	50%
Міцність щеплення, МПа	150	50	3	50%
Деформація після нарощування	Значна	Не значна		

Нормативні параметри оцінюємо показником, який отримує одне з двох значень: 1 – пристрій відповідає нормам і стандартам; 0 – не відповідає.

Груповий показник конкурентоспроможності за нормативними параметрами розраховуємо як добуток частинних показників за кожним параметром за формулою [1]:

$$I_{\text{ГП}} = \prod_{i=1}^n q_i, \quad (5.2)$$

де  $I_{\text{ГП}}$  – загальний показник конкурентоспроможності за нормативними параметрами;

$q_i$  – одиничний (частинний) показник за  $i$ -м нормативним параметром;

$n$  – кількість нормативних параметрів, які підлягають оцінюванню.

За нормативними параметрами розроблюваний пристрій відповідає вимогам ДСТУ, тому  $I_{\text{ГП}} = 1$ .

Значення групового параметричного індексу за технічними параметрами визначаємо з урахуванням вагомості (частки) кожного параметра [1]:

$$I_{ТП} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \alpha_i, \quad (5.3)$$

$I_{ТП}$  – груповий параметричний індекс за технічними показниками (порівняно з виробом-аналогом);

$q_i$  – одиничний параметричний показник  $i$ -го параметра;

$\alpha_i$  – вагомість  $i$ -го параметричного показника,  $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$ ;

$n$  – кількість технічних параметрів, за якими оцінюється конкурентоспроможність.

Проведемо аналіз параметрів згідно даних таблиці 5.4.

$$I_{mn} = 3 \cdot 0,5 + 3 \cdot 0,5 = 3.$$

Груповий параметричний індекс за економічними параметрами розраховуємо за формулою [1]:

$$I_{ЕП} = \sum_{i=1}^m q_i \cdot \beta_i, \quad (5.4)$$

де  $I_{ЕП}$  – груповий параметричний індекс за економічними показниками;

$q_i$  – економічний параметр  $i$ -го виду;

$\beta_i$  – частка  $i$ -го економічного параметра,  $\sum_{i=1}^m \beta_i = 1$ ;

$m$  – кількість економічних параметрів, за якими здійснюється оцінювання.

Проведемо аналіз параметрів згідно даних таблиці .

$$I_{EP}=0,65 \cdot 0,5 + 0,76 \cdot 0,5 = 0,70.$$

На основі групових параметричних індексів за нормативними, технічними та економічними показниками розрахуємо інтегральний показник конкурентоспроможності за формулою [1]:

$$K_{INT} = I_{HP} \cdot \frac{I_{TP}}{I_{EP}}, \quad (5.5)$$

$$K_{INT} = 1 \cdot 3 / 0,70 = 4,3.$$

Інтегральний показник конкурентоспроможності  $K_{INT} > 1$ , отже розробка переважає відомі аналоги за своїми техніко-економічними показниками.

### 5.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему " Підвищення якості відновлення робочих поверхонь шліців цапфи поворотної вузла приводу заднього колеса тролейбуса ЗИУ-9", під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

#### 5.3.1 Витрати на оплату праці

До статті «Витрати на оплату праці» належать витрати на виплату основної та додаткової заробітної плати керівникам відділів, лабораторій, секторів і груп, науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам, технологам, креслярам, копіювальникам, лаборантам, робітникам, студентам, аспірантам та іншим працівникам, безпосередньо зайнятим виконанням

конкретної теми, обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками, тарифними ставками згідно з чинними в організаціях системами оплати праці.

Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників ( $Z_o$ ) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [1]:

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (5.6)$$

де  $k$  – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

$M_{ni}$  – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, грн;

$t_i$  – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

$T_p$  – середнє число робочих днів в місяці,  $T_p=21$  дні.

$$Z_o = 15000 \cdot 5 / 21 = 3409 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.5 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
Керівник проекту	15000	681,8	5	3409
Інженер	10000	454,5	31	14091
Всього				17500

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників ( $Z_p$ ) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему " Підвищення якості відновлення робочих поверхонь шліців цапфи поворотної вузла приводу заднього колеса тролейбуса ЗИУ-9" розраховуємо за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (5.7)$$

де  $C_i$  – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн/год;

$t_i$  – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду  $C_i$  можна визначити за формулою:

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (5.8)$$

де  $M_M$  – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), прийmemo  $M_M=6500$  грн;

$K_i$  – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Б.2, додаток Б) [1];

$K_c$  – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

$T_p$  – середнє число робочих днів в місяці, приблизно  $T_p = 21$  дн;

$t_{зм}$  – тривалість зміни, год.

$$C_1 = 6700,00 \cdot 1,1 \cdot 1,65 / (21 \cdot 8) = 72,4 \text{ грн.}$$

$$Z_{p1} = 72,4 \cdot 5 = 361,9 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.6 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника грн
1. Мийна	5	2	72,4	361,9
2. Токарна	7	4	98,7	690,9
3. Наплавлювальна	6	5	111,9	671,2
4. Токарна	2	2	72,4	144,8
5. Шліфувальна	6	5	111,9	144,8
6. Контрольна	1	3	53,8	53,8
Всього				2067,4

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$Z_{\text{дод}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{дод}}}{100\%}, \quad (5.9)$$

де  $H_{\text{дод}}$  – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 11%.

$$Z_{\text{дод}} = (17500 + 2067,4) \cdot 11 / 100\% = 2152,42 \text{ грн.}$$

### 5.3.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою:

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{дод}}) \cdot \frac{H_{\text{зн}}}{100\%} \quad (4.10)$$

де  $H_{\text{зн}}$  – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Z_n = (17500 + 2067,4 + 2152,42) \cdot 22 / 100\% = 4778,37 \text{ грн.}$$

### 5.3.3 Сировина та матеріали

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби і предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень за темою " Підвищення якості відновлення робочих поверхонь шліців цапфи поворотної вузла приводу заднього колеса тролейбуса ЗИУ-9" .

Витрати на матеріали ( $M$ ), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{\text{в}j}, \quad (5.11)$$

де  $H_j$  – норма витрат матеріалу  $j$ -го найменування, кг;

$n$  – кількість видів матеріалів;

$C_j$  – вартість матеріалу  $j$ -го найменування, грн/кг;

$K_j$  – коефіцієнт транспортних витрат, ( $K_j = 1,1 \dots 1,15$ );

$B_j$  – маса відходів  $j$ -го найменування, кг;

$C_{\text{в}j}$  – вартість відходів  $j$ -го найменування, грн/кг.

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.7 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
Електродний дріт Нп-30ХГСА	100	3	300
Порошок ПГ-10Н-01	170	2	340
Вуглекислий газ	9	10	90
Газ Аргон	25	18	450
Всього			1180
З врахуванням коефіцієнта транспортування			1298



### 5.3.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі ( $K_e$ ), які використовують при проведенні НДР на тему "Підвищення якості відновлення робочих поверхонь шліців цапфи поворотної вузла приводу заднього колеса тролейбуса ЗИУ-9".

Витрати на комплектуючі  $K$ , що були використані під час виконання даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

$$K = \sum_1^n N_i \cdot C_i \cdot K_i \quad \text{грн.}, \quad (5.12)$$

де  $N_i$  – кількість комплектуючих  $i$ -го виду, шт.;

$C_i$  – ціна комплектуючих  $i$ -го виду, грн.;

$K_i$  – коефіцієнт транспортних витрат,  $K_i = (1, 1 \dots 1, 15)$ ;

$n$  – кількість видів комплектуючих.

Зроблені розрахунки бажано звести до таблиці:

Таблиця 5.8 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектувальних	Кількість	Ціна за штуку, грн.	Сума, грн.
Напилювальна установка з ЧПК	1	75000	75000
Обертач	1	20000	20000
Плазматрон	1	10000	10000
Всього з врахування коефіцієнт транспортних витрат			115500,00

### 5.3.5 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A_{обл} = \frac{C_{об}}{T_e} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (5.13)$$

де  $C_б$  – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн;

$t_{вик}$  – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

$T_е$  – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (38000 \cdot 2) / (2 \cdot 12) = 3166,67 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.9 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
1. Комп'ютер	38000	2	2	3166,67
2. Приміщення	216000	20	2	1800,00
Всього				4966,67

### 5.3.6 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію ( $B_e$ ) розраховуємо за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{ени}}{\eta_i}, \quad (5.14)$$

де  $W_{yi}$  – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

$t_i$  – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

$C_e$  – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), прийmemo  $C_e = 7,5$  грн;

$K_{ени}$  – коефіцієнт, що враховує використання потужності,  $K_{ени} < 1$ ;

$\eta_i$  – коефіцієнт корисної дії обладнання,  $\eta_i < 1$ .

$$B_e = 0,25 \cdot 275,0 \cdot 7,5 \cdot 0,5 / 0,8 = 322,27 \text{ грн.}$$

### 5.3.7 Службові відрядження

До статті " Підвищення якості відновлення робочих поверхонь шліців цапфи поворотної вузла приводу заднього колеса тролейбуса ЗИУ-9" належать витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням досліджень, відрядження, пов'язані з проведенням випробувань машин та приладів, а також витрати на відрядження на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуємо як 20...25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{cb} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cb}}{100\%}, \quad (5.15)$$

де  $H_{cb}$  – норма нарахування за статтею «Службові відрядження», приймемо  $H_{cb} = 20\%$ .

$$B_{cb} = (17500 + 2067,4) \cdot 20 / 100\% = 3913,49 \text{ грн.}$$

### 5.3.8 Інші витрати

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$I_{\text{в}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{в}}}{100\%}, \quad (5.16)$$

де  $H_{\text{в}}$  – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo  $H_{\text{в}} = 50\%$ .

$$I_{\text{в}} = (17500+2067,4) \cdot 50 / 100\% = 9783,71 \text{ грн.}$$

### 5.3.9 Накладні (загальновиробничі) витрати

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{\text{нзв}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{нзв}}}{100\%}, \quad (5.17)$$

де  $H_{\text{нзв}}$  – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», прийmemo  $H_{\text{нзв}} = 100\%$ .

$$B_{\text{нзв}} = (17500+2067,4) \cdot 100 / 100\% = 19567,43 \text{ грн.}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему "Підвищення якості відновлення робочих поверхонь шліців цапфи поворотної вузла приводу заднього колеса тролейбуса ЗИУ-9" розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою:

$$B_{\text{заг}} = Z_o + Z_p + Z_{\text{доо}} + Z_n + M + K_6 + B_{\text{спец}} + B_{\text{прз}} + A_{\text{обл}} + B_e + B_{\text{св}} + B_{\text{сп}} + I_6 + B_{\text{нзв}}. \quad (5.18)$$

$$B_{\text{заг}} = 17500 + 2067,4 + 2152,42 + 4778,37 + 1298 + 115500,00 + 4966,67 + 322,27 + 3913,49 + 9783,71 + 19567,43 = 181849,77 \text{ грн.}$$

Загальні витрати  $ZB$  на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою:

$$ZB = \frac{B_{\text{заг}}}{\eta}, \quad (5.19)$$

де  $\eta$  - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, прийmemo  $\eta = 0,5$ .

$$ZB = 181849,77 / 0,5 = 363699,55 \text{ грн.}$$

5.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором

В ринкових умовах узагальнюючим позитивним результатом, що його може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження результатів цієї чи іншої науково-технічної розробки, є збільшення у потенційного інвестора величини чистого прибутку.

Результати дослідження проведені за темою "Підвищення якості відновлення робочих поверхонь шліців цапфи поворотної вузла приводу заднього колеса тролейбуса ЗИУ-9" передбачають комерціалізацію протягом 3-х років реалізації на ринку.

В цьому випадку основу майбутнього економічного ефекту будуть формувати:

$\Delta N$  – збільшення кількості споживачів яким надається відповідна інформаційна послуга у періоди часу, що аналізуються;

$N$  – кількість споживачів яким надавалась відповідна інформаційна послуга у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки, прийmemo 1 особа

$C_o$  – вартість послуги у році до впровадження інформаційної системи, прийmemo 90000,00 грн;

$\pm \Delta C_o$  – зміна вартості послуги від впровадження результатів, прийmemo зростання на 800,00 грн.

Можливе збільшення чистого прибутку у потенційного інвестора  $\Delta \Pi_i$  для кожного із 3-х років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, розраховуємо за формулою [1]:

$$\Delta \Pi_i = (\pm \Delta C_o \cdot N + C_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\mathcal{G}}{100}\right), \quad (5.20)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт, який враховує сплату потенційним інвестором податку на додану вартість. У 2023 році ставка податку на додану вартість складає 20%, а коефіцієнт  $\lambda = 0,8333$ ;

$\rho$  – коефіцієнт, який враховує рентабельність інноваційного продукту).  
Прийmemo  $\rho = 40\%$ ;

$\mathcal{G}$  – ставка податку на прибуток, який має сплачувати потенційний інвестор, у 2023 році  $\mathcal{G} = 18\%$ ;

Збільшення чистого прибутку 1-го року:

$$\Delta \Pi_1 = (1 \cdot 800 + 90000 \cdot 35) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 543023,28 \text{ грн.}$$

Збільшення чистого прибутку 2-го року:

$$\Delta \Pi_2 = (1 \cdot 800 + 90000 \cdot (35 + 17)) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 807374,4 \text{ грн.}$$

Збільшення чистого прибутку 3-го року:

$$\Delta\Pi_3 = (1 \cdot 800 + 90000 \cdot (35 + 17 + 12)) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 993506,96 \text{ грн.}$$

Приведена вартість збільшення всіх чистих прибутків  $\Pi\Pi$ , що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки:

$$\Pi\Pi = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t}, \quad (5.21)$$

де  $\Delta\Pi_i$  – збільшення чистого прибутку у кожному з років, протягом яких виявляються результати впровадження науково-технічної розробки, грн;

$T$  – період часу, протягом якого очікується отримання позитивних результатів від впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, роки;

$\tau$  – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні,  $\tau = 18\%$ ;

$t$  – період часу (в роках) від моменту початку впровадження науково-технічної розробки до моменту отримання потенційним інвестором додаткових чистих прибутків у цьому році.

$$\begin{aligned} \Pi\Pi &= 543023,28 / (1 + 0,18)^1 + 807374,4 / (1 + 0,18)^2 + 993506,96 / (1 + 0,18)^3 = \\ &= 1590816,39 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Величина початкових інвестицій  $PV$ , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки:

$$PV = k_{инв} \cdot ЗВ, \quad (5.22)$$

де  $k_{инв}$  – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію, приймаємо  $k_{инв} = 2$ ;

$3B$  – загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, приймаємо 363699,55 грн.

$$PV = k_{инв} \cdot 3B = 2 \cdot 363699,55 = 727399,09 \text{ грн.}$$

Абсолютний економічний ефект  $E_{абс}$  для потенційного інвестора від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки становитиме:

$$E_{абс} = ПП - PV \quad (5.23)$$

де  $ПП$  – приведена вартість зростання всіх чистих прибутків від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, 1590816,39 грн;

$PV$  – теперішня вартість початкових інвестицій, 727399,09 грн.

$$E_{абс} = ПП - PV = 1590816,39 - 727399,09 = 863417,3 \text{ грн.}$$

Внутрішня економічна дохідність інвестицій  $E_e$ , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки:

$$E_e = \sqrt[T_{ж}]{\left(1 + \frac{E_{абс}}{PV}\right)} - 1, \quad (5.24)$$

де  $E_{абс}$  – абсолютний економічний ефект вкладених інвестицій, грн;

$PV$  – теперішня вартість початкових інвестицій, грн;

$T_{ж}$  – життєвий цикл науково-технічної розробки, тобто час від початку її розробки до закінчення отримання позитивних результатів від її впровадження, 3 роки.

$$E_e = \sqrt[3]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1 = (1 + 863417,3 / 727399,09)^{1/3} - 1 = 0,50.$$



Мінімальна внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій  $\tau_{\min}$ :

$$\tau_{\min} = d + f, \quad (5.25)$$

де  $d$  – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2023 році в Україні  $d = 0,1$ ;

$f$  – показник, що характеризує ризикованість вкладення інвестицій, прийmemo 0,25.

$\tau_{\min} = 0,1 + 0,25 = 0,35 < 0,50$  свідчить про те, що внутрішня економічна дохідність інвестицій  $E_g$ , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки вища мінімальної внутрішньої дохідності. Тобто інвестувати в науково-дослідну роботу за темою «Інформаційна технологія онтологічного моделювання бази знань з організації бібліотеки» доцільно.

Період окупності інвестицій  $T_{ок}$  які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_g}, \quad (5.26)$$

де  $E_g$  – внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій.

$$T_{ок} = 1 / 0,5 = 2 \text{ р.}$$

$T_{ок} < 3$ -х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

## 5.5 Висновки до розділу

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою "Підвищення якості відновлення робочих поверхонь шліців цапфи поворотної вузла приводу заднього колеса тролейбуса ЗИУ-9" становить 33 бали, що, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень оскільки рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього.

При оцінюванні рівня конкурентоспроможності, згідно узагальненого коефіцієнту конкурентоспроможності розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 4,3 рази.

Також термін окупності становить 2 роки, що менше 3-х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

Отже можна зробити висновок про доцільність проведення науково-дослідної роботи за темою "Підвищення якості відновлення робочих поверхонь шліців цапфи поворотної вузла приводу заднього колеса тролейбуса ЗИУ-9".

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Одним із пріоритетних напрямів державної політики України є забезпечення умов роботи, які відповідають вимогам норм безпеки. Сучасний етап економічного розвитку нашої країни характеризується активізацією процесів реформування соціально-економічних і суспільно-політичних відносин. На сьогодні в Україні відбувається реформування командно-планових централізованих методів управління та перехід до економічних форм господарювання, які притаманні державам з соціально-ринковою моделлю управління. Суттєву увагу в цьому питанні приділено саме реформуванню та забезпеченню інституту охорони праці.

У магістерській кваліфікаційній роботі досліджується підвищення якості відновлення робочих поверхонь шліців цапфи поворотного вузла привода заднього колеса тролейбуса ЗиУ-9. Всі дослідження і експериментальні процеси відбуваються з участю ПК.

Всі трудові процеси потребують заходів з охорони праці, для забезпечення безпеки дослідника на робочому місці і для виключення або зменшення впливу шкідливих факторів, що можуть впливати на нього в процесі трудової діяльності.

На працівників, що проводять дослідження на ПК можуть впливати такі небезпечні та шкідливі фактори, у відповідності з Постановою «Про затвердження порядку розслідування та обліку нещасних випадків, професійних захворювань та аварій на виробництві» [21].:

Фізичні: підвищена та понижена температура повітря робочої зони; підвищена та понижена рухливість повітря робочої зони; недостатня освітленість робочої зони; недостатність природного освітлення; небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може відбутися через тіло людини; підвищена та понижена вологість повітря; підвищений рівень електромагнітного опромінення.

## 6.1 Технічні рішення з безпечного виконання робіт

6.1.1 Технічні рішення з організації робочого місця під час проектування.

### 6.1.1.1. Обладнання приміщення та робочого місця

Під час аналізу умов праці на робочому місці необхідно оцінити відповідність параметрів приміщення НПАОП 0.00-7.15-18 [24] та відповідність параметрів мікроклімату ДСН 3.3.6.042-99 [23].

Згідно із НПАОП 0.00-7.15-18 [24] площу приміщень, в яких розташовують ПК, визначають згідно з чинними нормативними документами з розрахунку на одне робоче місце, обладнане ПК: площа – не менше 6,0 кв. м, обсяг – не менше 20,0 куб. м, з урахуванням максимальної кількості осіб, які одночасно працюють у зміні.

Згідно з ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги. [9] конструкція робочого місця і взаємне розташування всіх його елементів повинне відповідати гігієнічним, антропометричним, фізіологічним і психологічним вимогам.

Гігієнічні вимоги визначають умови життєдіяльності і працездатності людини у процесі взаємодії з технікою і середовищем; показниками є рівень освітлення, температура, вологість, шум, вібрація, токсичність, загазованість тощо.

Антропометричні вимоги визначають відповідність конструкцій техніки антропометричним характеристикам людини (зріст, розміри тіла та окремі рухові ланки). Показниками є раціональна робоча поза, оптимальні зони досягнення, раціональні трудові рухи.

Фізіологічні та психофізіологічні вимоги визначають відповідність техніки і середовища можливостям працівника щодо сприйняття, переробки інформації, прийняття і реалізації рішень.

Велике значення має також характер роботи. Зокрема, при організації робочого місця дослідника повинні бути дотримані наступні основні умови:

- оптимальне розміщення обладнання, що входить до складу робочого місця;
- достатній робочий простір, що дозволяє здійснювати всі необхідні рухи і переміщення;
- необхідно природне і штучне освітлення для виконання поставлених завдань;
- рівень акустичного шуму не повинен перевищувати допустимого значення;
- достатня вентиляція робочого місця.

Характеристики робочого місця під час написання роботи на тему «Підвищення якості відновлення робочих поверхонь шліців цапфи поворотного вузла привода заднього колеса тролейбуса ЗиУ-9» наступні:

- висота робочої поверхні столу 750 мм;
- висота простору для ніг 650 мм;
- висота сидіння над рівнем підлоги 450 мм;
- поверхня сидіння м'яка з закругленим переднім краєм;
- передбачена можливість розміщення документів праворуч і ліворуч;
- відстань від ока до екрана 700 мм;
- відстань від ока до клавіатури 400 мм;
- відстань від ока до документів 500 мм;
- можливе регулювання екрана по висоті, по нахилу, у лівому і в правому напрямках.

#### 6.1.2. Електробезпека

Класифікація приміщень за рівнем електробезпеки Відповідно до ПУЕ, усі промислові приміщення (цехи, майстерні, склади) за ступенем ймовірності ураження електричним струмом можна розділити на три категорії: Будівлі з підвищеною небезпекою До цього типу будівель належать

споруди, в яких наявний принаймні один із таких факторів: сирі приміщення, відносна вологість в яких протягом тривалого часу перевищує 75%; приміщення, в яких пил покриває провідники, забивається всередину машин та обладнання; приміщення зі струмопровідними підлогами (металевими, земляними, цегляними, залізобетонними); приміщення, в яких середня температура повітря зазвичай перевищує +30 °С; приміщення, в яких існує ймовірність одночасного торкання співробітника до зовнішніх елементів електричного устаткування і заземлених металевих конструкцій будівель, технологічного обладнання тощо.

Будівлі з особливо небезпечними умовами Ці будівлі характеризуються як дуже сирі приміщення зі стовідсотковою відотною вологістю. Стеля, стіни, підлога, устаткування у таких приміщеннях постійно вкриті тонким шаром крапель чи пліснявою. Слід бути вкрай обережними, оскільки при виконанні робіт з використанням електричної напруги на відкритому повітрі, всередині посудин, всередині непросохлих приміщень ймовірність ураження співробітників чи сторонніх осіб електричним струмом дуже висока. До будівель з особливо небезпечними умовами належать також споруди з хімічно активним середовищем, яке завдяки своїм властивостям завдає шкоду ізоляції та електричним матеріалам. Окрім того, будівлі, які мають одночасно дві або більше ознаки приміщень з підвищеною небезпекою так само належать до будівель із особливо небезпечними умовами.

Будівлі без факторів збільшеної небезпеки До цієї категорії належать будівлі, в яких немає жодної з ознак, властивих приміщенням з підвищеною або особливою небезпекою[28].

Для створення оптимальних умов електробезпеки в виробничому приміщенні потрібно підтримувати режим вологості повітря на рівні 60%, для того щоб приміщення було сухим, та температуру повітря не вище 35°С. Постійний моніторинг середовища, на предмет пилу та хімічно агресивних речовин у складі повітря, для забезпечення електробезпеки приміщення.

## 6.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

### 6.2.1 Мікроклімат

За ступенем впливу на тепловий стан людини мікрокліматичної умови поділяють на оптимальні та допустимі. Оптимальні мікрокліматичні умови – поєднання параметрів мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливі на людину забезпечують зберігання нормального теплового стану організму без активізації механізмів терморегуляції. Вони забезпечують відчуття теплового комфорту та створюють передумови для високого рівня працездатності [27]. Допустимі мікрокліматичні умови – поєднання параметрів мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливі на людину можуть викликати зміни теплового стану організму, що швидко минають і нормалізуються та супроводжуються напруженням механізмів терморегуляції в межах фізіологічної адаптації. При цьому не виникає ушкоджень або порушень стану здоров'я, але можуть спостерігатися дискомфортні тепловідчуття, погіршення самопочуття та зниження працездатності[31].

Категорія робіт – розмежування робіт за важкістю на основі загальних енерговитрат організму[31]. Легкі фізичні роботи (категорія I) охоплюють види діяльності, при яких витрата енергії дорівнює 105–140 Вт (90–120 ккал/год.) – категорія Ia та 141–175 Вт (121–150 ккал/год.) – категорія Ib. До категорії Ia належать роботи, що виконуються сидячи і не потребують фізичного напруження. До категорії Ib належать роботи, що виконуються сидячи, стоячи або пов'язані з ходінням та супроводжуються деяким фізичним напруженням.

Визначаємо наявну категорію робіт, як Ia.

Отже повинні забезпечуватися такі оптимальні величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря, що зазначені в нормативному

акті НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями.[25]

Оптимальні параметри мікроклімату наведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Оптимальні параметри мікроклімату при виконанні робіт операторського типу на ЕОМ для робіт категорії Ia

Період року	Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху, м\с
Холодний	22-24	60-40	0,1
Теплий	23-25	60-40	0,1

При плануванні умов робочого місця потрібно дотримуватись вище наведених параметрів мікроклімату для досягнення оптимальних умов праці, що виконує важливу роль в якості виконаної роботи працівником та в безпеці його трудової діяльності.

#### 6.2.2. Склад повітря робочої зони

Робоче місце, за складом повітря робочої зони відповідає нормам. Перевищення ГДК шкідливих речовин не виявлено.

Для профілактики та підтримки оптимального складу повітря потрібно дотримуватись гігієни приміщення: проводити вологе прибирання, регулярно провітрювати приміщення.

#### 6.2.3 Виробниче освітлення

Відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 [6] Система природного освітлення відноситься до бокової. Характеристика зорових робіт – середньої точності.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні зазначені у таблиці 6.2:



Таблиця 6.2 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, Лк		КПО, %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє-бокове	Бокове	Верхнє або верхнє-бокове	Бокове
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0	IV	б	середній	середній	200	500	4	1,5	2,4	0,9

При експлуатації штучного освітлення здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота приміщення. Забезпечити освітлення робочого місця таким чином, щоб не утворювались відблиски від клавіатури та екрану відео монітора в напрямку очей працюючого.

#### 6.2.4 Виробничий шум та вібрації

Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є ДСН 3.3.6.037-99 [29].

Таблиця 6.3 – Допустимі рівні звукового тиску в октанових смугах частот, рівні шуму та еквівалентні рівні шуму

Робоче місце	Рівні звукового тиску (дБ) в октанових смугах з середньо-герметичними частотами, Гц										Рівні шуму та еквівалентні рівні шуму, (дБ)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Для програмістів операторів ЕОМ (ПЕОМ)	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50	

При виникненні ситуації коли рівень шуму вище допустимої норми рекомендовано користуватись засобами індивідуального захисту (навушники або протишумові вкладки).

Під час проведення досліджень виробничі вібрації не спостерігаються.

#### 6.2.5. Електромагнітні випромінювання

Під час проведення роботи із використанням ПК на дослідника діє підвищений рівень електромагнітного поля.

Допустимі рівні випромінювань моніторів ПК (за вимогами MPR II 1990:10 Шведського національного комітету з вимірювань та досліджень та нормами ТСО 9295) наведені в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 - Допустимі рівні випромінювань моніторів ПК

Вид поля	ТСО	MPR II
Змінне електричне поле		
5 Гц – 2 кГц	10 В/м	2,5 В/м
2 кГц – 400 кГц	1 В/м на відстані 0,3 м від центра екрана і 0,5 м навколо монітора	2,5 В/м на відстані 0,5 м навколо монітора
Змінне магнітне поле		
5 Гц – 2 кГц	250 нТл 200 мА/м	250 нТл 200 мА/м
2 кГц – 400 кГц	25 нТл 20 мА/м на відстані 0,3 м від центра екрана і 0,5 м навколо монітора	25 нТл 20 мА/м на відстані 0,3 м від центра екрана і 0,5 м навколо монітора

Для зменшення впливу електромагнітного випромінювання на працівника слід дотримуватися раціонального режиму роботи та відпочинку.

### 6.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи РЕС тролейбуса ЗиУ-9 в умовах дії загрозливих факторів НС

#### 6.3.1 Дія іонізуючих випромінювань на радіоелектронні системи

В залежності від виду випромінювання, дози радіації, природи опромінюваної речовини та умов навколишнього середовища в значній мірі залежить дія радіації на матеріали та деталі апаратури [31].

До матеріалів, з яких виготовляють елементи радіоелектронних систем (РЕС) відносять: метали, неорганічні матеріали, напівпровідники та різні органічні сполуки (діелектрики, смоли тощо). При цьому метали найбільш чутливі до радіації, оскільки їм властива висока концентрація вільних носіїв.

Робота РЕС в умовах дії радіоактивних випромінювань має такі особливості: РЕС може раптово втратити працездатність при певних рівнях радіації (критичних); в елементах схем РЕС можуть початись зворотні і незворотні процеси.

Для запобігання цього проводяться розрахунки з безпеки роботи в умовах дії радіації та приймаються рішення щодо захисту елементів РЕС.

Критерієм стійкості роботи об'єкта в умовах дії радіації може бути допустима доза радіації, яку можуть отримати робітники і службовці за час роботи зміни в конкретних умовах.

Оскільки умови роботи в різних цехах можуть відрізнятись, то при оцінці стійкості розраховуються дози опромінення для кожної групи робітників і службовців, які знаходяться в однакових умовах.

Якщо при цьому з'ясується, що люди можуть отримати дозу опромінення більше допустимої (встановленої), об'єкт вважається нестійким до радіації.

Для зниження рівня забруднення радіоактивними речовинами використовують дезактивацію.

6.3.2 Оцінка стійкості роботи РЕС тролейбуса в умовах дії іонізуючих випромінювань

Вихідні дані:  $p_5 = 30$  Р/год;  $K_{носл} = 3$ ;  $t_n = 2$  год.

Проводимо аналіз приладу і визначаємо радіоелектронні елементи, від яких залежить її функціонування: діоди, резистори, конденсатори, напівпровідники, мікросхеми, інтегральні схеми, діелектрики.

Визначаємо максимально допустимі експозиційні дози, при яких в елементах можуть виникнути незворотні зміни. Дані заносимо в таблицю 6.5.

Таблиця 6.5 – Максимально допустимі експозиційні дози елементів РЕС

№	Елементи РЕС	$D_{гр}, P$
1	Діоди	$10^5$
2	Резистори	$10^6$
3	Конденсатори	$10^6$
4	Напівпровідники	$10^5$
5	Мікросхеми	$10^5$
6	Інтегральні схеми	$5 \cdot 10^5$
7	Діелектрики	$10^4$

Проаналізувавши дані визначаємо межу стійкості  $D_{гр}$ , роботи РЕС:

$$D_{гр} = 10^4 (P).$$

Визначаємо рівень радіації через 1 год після аварії

$$p_1 = p_t \sqrt[4]{t} [P]; \quad (6.1)$$

$$p_1 = 30 \sqrt[4]{5} = 44,86 (P).$$

Визначаємо час стійкої роботи РЕС у заданих умовах

$$t_D = \left( \frac{D_{ГР} K_{посл} + 2p_{1\max} \sqrt{t_{II}}}{2p_{1\max}} \right)^2 \text{ [год];} \quad (6.2)$$

$$t_D = \left( \frac{10^4 \cdot 3 + 2 \cdot 44,86 \sqrt{2}}{2 \cdot 44,86} \right)^2 = 112753 \text{ (год)} \approx 13 \text{ (р)}.$$

Оскільки допустимий час роботи РЕС в умовах дії на них іонізуючих випромінювань більший за можливий час роботи приладу, то стійкість її забезпечується.

#### Висновки

Було досліджено стійкість роботи РЕС тролейбуса ЗиУ-9 в умовах впливу загрозливих факторів надзвичайних ситуацій. З дослідження впливу іонізуючих випромінювань на стійкість роботи РЕС тролейбуса ЗиУ-9 можна сказати, що РЕС виявилася стійкою в роботі.

## ВИСНОВКИ

В даній магістерській кваліфікаційній роботі досліджено технологічні засади підвищення якості процесів відновлення шліців цапфи поворотної, також викладено основні положення технологічного процесу відновлення цапфи поворотної тролейбуса. Було розглянуто можливі варіанти її відновлення і проаналізовано технічну доцільність вибору методу відновлення. Наплавлення під шаром флюсу – один з найбільш ефективних та недорогих методів відновлення, який дозволяє наплавляти деталі подібної конфігурації та розміру.

На основі проведення дефекації деталі розроблено технологічний процес відновлення зношених поверхонь цапфи поворотної, визначено кількість переходів, припуски на механічну обробку та проведено розрахунок режимів токарної обробки, режимів наплавлення та фрезерування шліців цапфи поворотної. Наведена мікроструктура наплавленого шару. Застосування цієї технології має цілий ряд позитивних моментів, які розглянуто в даній роботі. Технологія, що пропонується, має значну перевагу перед технологією, що застосовувалась раніше на підприємстві. Це дозволяє підвищити, продуктивність, та знизити собівартість продукції.

В науковій частині магістерської дипломної роботи наведені результати проведених експериментів наплавлення зношеної поверхні цапфи. Наплавлення проводили двома методами: наплавлення по гвинтовій лінії з попереднім зрізанням шліцевої поверхні, і другий метод – наплавлення шліців поздовжніми валиками, заплавляючи канавки шліців. В результаті експеримента дійшли висновку, що метод другий метод наплавлення шліців є більш економічно та технологічно доцільнішим. Мікроструктурний аналіз показав, що наплавлений шар має структуру бейніту, який надає поверхневому шару високих механічних властивостей.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й., Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с
2. Savulyak V.I. Melted steel reaction with carbon fibers / V.I. Savulyak O.V. Postupailo // The Eighth International Congress in Materials Science and Engineering – ISSIM - Iasi – Romania 2013. – p. 65-70.
3. Проектування технологічних процесів відновлення поверхонь : лабораторний практикум / [Савуляк В. І. Шенфельд В. Й., Дусанюк Ж. П.] – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 51 с.
4. Савуляк В.І. Економічні технології високоміцних графітізованих сплавів заліза. Монографія/ В.І. Савуляк, О.Б. Янченко// Вінниця: ВНТУ, 2014. – 160с.
5. Савуляк В.І. Вплив швидкості наплавлення на зносостійкість високовуглецевих шарів, нанесених методом електродугового наплавлення з використанням вуглецевих волокнистих матеріалів// В.І. Савуляк, В.Й. Шенфельд, О.Б. Янченко/«Наукові нотатки» / випуск 41 частина 1 – Луцьк, 2013. – с.224-229.
4. Savulyak V.I. Molten metal phase duration effect on the structure and hardness of high-carbon fused coating// V.I. Savulyak O.V. Postupailo, V.J.Shenfeld, O.B. Janchenco/ TENNOMUS journal / Romania, 2013 – P.29-33.
5. Савуляк В.І. Техніко-економічне обґрунтування способу відновлення деталей// В.І. Савуляк, О.П. Шиліна, Ж.П. Дусанюк, Ю.О. Слободянюк/ Збірник наукових праць ВНАУ. – 2012 . –С. 327-330.
6. Савуляк В.І. Витрати на електроенергію як критерій вибору способу нанесення покриття для відновлення деталей // В.І. Савуляк, О.П. Шиліна, Ж.П. Дусанюк, Ю.О. Слободянюк/ Вісник Вінницького політехнічного інституту – 2012. – №3 – с153-157.

7. Гайдамак О.Л. Розробка газодинамічного напилювального пристрою та дослідження швидкості руху напилюваних порошкових частинок//О.Л. Гайдамак, В.І. Савуляк. Вісник Вінницького політехнічного інституту. №6 (117), 2014. с 138-142.

8. Савуляк В.І. Порівняльний аналіз собівартості виготовлення та відновлення деталей типу "вал"//Збірник наукових праць Вінницького національного аг-рарного університету. Серія: Техні-чні науки. Ви-пуск:1(89) Том 2. 2015 р. - С. 21...25.

9. Савуляк В. І. Діагностика матеріалів, конструкцій та якості покриттів : лабораторний практикум / [Савуляк В. І., Бакалець Д. В, Поступайло О. В.] – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 78 с.

10. Дослідження властивостей покриттів, створених холодним газодинамічним напиленням порошку ПА-4// О.Л. Гайдамак, В.І. Савуляк. Вісник Донбаської державної машинобудвної акаде-мії: збірник науко-вих праць. №2 (38). 2016: Краматорськ: ДДМА. 2016. - С. 70-74.

11. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 1/О.В. Дерібо. – Вінниця: ВНТУ. – 2013. 93 с.

12. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 2/О.В. Дерібо. - Вінниця : ВНТУ, 2014. — 114 с.

13. Основи технології машинобудування [Текст]. Частина 1: *практикум* / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 106 с.

10. ДСТУ 7806:2015 Прокат з легованої конструкційної сталі. Технічні умови.

11. Дмитриченко М.Ф. Триботехніка та основи надійності машин /М.Ф. Дмитриченко, Р.Г. Мнацаканов, О.О. Мікосянчик // К.: Інформавтодор, 2006 – 216с.

12. Мікрометр гладкий МК ДСТУ 6507 – 90.

13. Зразки шорсткості поверхні. ДЕРЖСТАНДАРТ 9378-93.



14. ДСТУ ISO 6508-1:2013 Металеві матеріали. Визначення твердості за Роквеллом. Частина 1. Метод випробування (шкали А, В, С, D, Е, F, G, Н, К, N, Т) (ISO 6508-1:2005, IDT)
15. ГОСТ 6637-80. Фрези черв'ячні для шліцевих валів з евольвентним профілем. Технічні умови, 22с.
16. ДСТУ 2651:2006. Сталь вуглецева звичайної якості. Марки. Міждержавний стандарт, 8с.
17. ДСТУ 2444-94. Розрахунки та випробування на міцність. Опір втомі. Терміни та визначення, 61с.
18. [http://www.s-metall.com.ua/stal\\_40h.html](http://www.s-metall.com.ua/stal_40h.html)
19. <http://www.sdelaysam.info/metal/center.shtml>
20. ДСТУ OHSAS 18002:2015. Системи управління гігієною та безпекою праці. Основні принципи виконання вимог OHSAS 18001:2007 (OHSAS 18002:2008, IDT). К. : ГП «УкрНИУЦ», 2016. 21 с.
21. ДСНіПЗ.3.6.096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03>
22. НПАОП 40.1-1.32-01 Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок (Правила устройства электроустановок. Электр рооборудование специальных установок). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>
23. ДСТУ EN 62305:2012 Блискавкозахист (європейський стандарт IEC 62305:2010). URL: <https://tdsb.com.ua/ru/dstu-en-62305/>
24. ДСТУБ В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.
25. Наказ Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>.

26. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: [http://www.poliplast.ua/doc/dbn\\_v.1.1-7-2002.pdf](http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf)
27. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. URL: [http://sop.zp.ua/norm\\_праор\\_0\\_00-7\\_15-18\\_01\\_ua.php](http://sop.zp.ua/norm_праор_0_00-7_15-18_01_ua.php)
28. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>
29. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>
30. Правила улаштування електроустановок - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>
31. СН N 4557-88 Санитарные нормы ультрафиолетового излучения в производственных помещениях - [Електронний ресурс] - Режим доступу: [http://www.znaytovar.ru/gost/2/455788\\_Sanitarnye\\_normy\\_ultraf.html](http://www.znaytovar.ru/gost/2/455788_Sanitarnye_normy_ultraf.html).
32. Методичні вказівки до самостійної та індивідуальної роботи з дисципліни "Цивільний захист та охорона праці в галузі. Частина 1. Цивільний захист" / Уклад. О. В. Поліщук, О. В. Березюк, М. С. Лемешев. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 32 с.

Додаток А  
(Обов'язковий)

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ШЛІЦІВ  
ЦАПФИ ПОВОРОТНОЇ ВУЗЛА ПРИВОДУ ЗАДНЬОГО КОЛЕСА  
ТРОЛЕЙБУСА ЗИУ-9

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри ГМ  
д.т.н., проф. \_\_\_\_\_ Л.К. Поліщук  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ  
на магістерську кваліфікаційну роботу  
ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ  
ШЛІЦІВ ЦАПФИ ПОВОРОТНОЇ ВУЗЛА ПРИВОДУ ЗАДНЬОГО КОЛЕСА  
ТРОЛЕЙБУСА ЗИУ-9  
08 – 62. МКР.002.00.000 ТЗ

Керівник: к.т.н., доцент каф. ГМ  
\_\_\_\_\_ В.Й. Шенфельд  
Виконав: ст.гр. 13В-22м  
\_\_\_\_\_ В.О.Вербіцький

Вінниця 2023

Розробка технічного завдання на магістерську кваліфікаційну роботу складається з основних етапів, які відповідають стандарту та ГОСТ 2.103-2013.

**Підстава для розробки** наказ ректора ВНТУ № 247 “18” вересня 2023 року.

### **1 Назва та об’єкт проектування**

Назва: Підвищення якості відновлення робочих поверхонь шліців цапфи поворотної вузла приводу заднього колеса тролейбуса ЗиУ-9.

Умовне позначення: 08-62.МКР.002.00.000 ТЗ.

Деталь „Цапфа” служить для передачі обертового руху. Креслення деталі «Цапфа» містить всі необхідні відомості про деталь. Розглянемо робочі поверхні цапфи і їх призначення.

Поворотна цапфа є складальною одиницею ступиці колеса колісного редуктора виробництва Угорщини.

Якість напиленої поверхні найбільше підходить умовам експлуатації поверхні деталі валка: коефіцієнт продуктивності,  $KП \approx 1,5$  ; зниження опору втомленості – 5% КП ; деформація деталі після нарощування незначна; міцність зчеплення 550 МПа ; доля основного металу в наплавленому – 20 %.

Цей метод дозволяє не тільки економити матеріал, збільшувати довговічність валка, економити енергоресурси, але й дає можливість значно прискорити виробничий процес та за короткий час відновити валок для подальшої експлуатації.

Можливе суміщення технологічних і вимірювальних баз при виконанні розмірів, що мають вказані допустимі відхилення.

Вказані на кресленні допустимі відхилення розмірів, шорсткості та відхилень геометричної форми та відносного розташування поверхонь з геометричними похибками верстатів є відповідними.

В якості чистових технологічних баз використовується центрові гнізда. Вказані на кресленні допустимі відхилення розмірів, шорсткості та відхилень геометричної форми та відносного розташування поверхонь з геометричними похибками верстатів є відповідними.

На кресленні деталі немає специфічних вимог і тому немає необхідності змінювати вимоги.

Квалітети точності та шорсткість оброблюваних поверхонь можуть бути забезпечені при застосуванні відповідних методів обробки та кількості переходів. Відносно розташування поверхонь може бути забезпечене за рахунок застосування відповідних схем базування при механічній обробці та правильної організації змісту операцій.

## **2 Мета, завдання, призначення та джерела розробки**

Розробка технологічного процесу проводиться на основі завдання на магістерську кваліфікаційну роботу згідно наказу ректора ВНТУ “18” вересня 2023 року № 247, складеного у відповідності до вимог навчального плану підготовки спеціалістів у ВНТУ і затвердженого кафедрою ГМ.

Призначенням даної магістерської кваліфікаційної роботи є виконання технологічних та конструкторських розробок для вдосконалення технологічного процесу аналога. Це можливо досягнути шляхом введення необхідних операцій для кращих експлуатаційних властивостей вал-шестерні, проведення необхідних розрахунків оптимальних режимів обробки та модернізації, або проектуванням нової конструкції окремого технологічного обладнання.

### **Мета і завдання роботи.**

**Мета роботи** є закріплення і розширення теоретичних та практичних навиків до проектування технологічних процесів відновлення деталей.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити наступні задачі дослідження:

1. Техніко-економічне обґрунтування доцільності проектування;
2. Дослідження макро та мікроструктурного аналізу наплавленого шару;
3. Формування маршруту технологічного процесу відновлення деталі;
4. Розрахунок та призначення режимів механічної обробки до та після нанесення покриття;
5. Проектування розпилюючого пристрою для нанесення зносостійких покриттів;
6. Проектування устаткування з числовим програмним керуванням;

**Джерелами розробки є:**

- методика проектування технологічного процесу відновлення деталей типу цапфа;
  - методика модернізації та проектування конструкції технологічного обладнання;
  - вимоги до комплексу документів “Єдина система конструкторської та технічної документації”;
  - загальні правила класифікації, розробки технологічних процесів і вибір засобів технологічного оснащення та процесів Р 50-54-93-88;
  - ДЕСТ 14.305-93 – Правила вибору технологічної оснастки;
  - технічна література, довідникові видання.
1. Савуляк В.І., Ремонт та відновлення деталей машин та апаратів. Методичні вказівки до виконання курсових проектів / В.І. Савуляк. - Вінниця: ВНТУ [Електронний ресурс], 2009.
  2. Шиліна О.П. Газотермічні методи напилювання покриттів. Навчальний посібник./ О.П. Шиліна, А.Ю. Осадчук/ ВНТУ, 2006. – 103 с

3. Гругурко І.О. Технологія машинобудування (дипломне проектування. Навчальний посібник./І.О. Григурко, М.Ф. Брендюля, С.М. Доценко – 2007р. –768 с.
4. Восстановление и повышение износостойкости и срока службы деталей машин / Под ред. д.т.н., проф. В.С. Попова. – Мотор Сич, 2004. – 394 с.
5. Нанесення покриття : [навчальний посібник] / [ В. М. Корж, В. Д. Кузнецов, Ю. С. Борисов, К. А. Ющенко] ; за редакцією академіка НАН України К. А. Ющенка – К. : Аристей, 2005. – 204 с.
6. Наплавлення: навч. посібник // Власов А.Ф., Кузнецов В.Д., Макаренко Н.О., Богущкий О.А. – Краматорськ, ДДМА, 2010. – 336с.
7. Козловський, В. О. Основи підприємництва : навчальний посібник. Видання 3-ге, переробл. та доповн. / В. О. Козловський. Вінниця : 2023. 132 с.
8. Оснач О. Ф. Промисловий маркетинг: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / О. Ф. Оснач, В. П. Пилипчук, Л. П. Коваленко – К.: Центр учбової літератури, 2009. – 364 с.
9. Савуляк В.І. Відновлення деталей автомобілів. Навчальний посібник / В.І. Савуляк, В.Т. Івацько. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – 104 с.
10. Савуляк В. І. Магістерська кваліфікаційна робота. Загальні вимоги та рекомендації до її виконання : навчальний посібник. / В. І. Савуляк, О. П. Шиліна – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 64 с.

### **3 Технічні вимоги та економічні показники**

#### **3.1 Вимоги до загальної структури і послідовності проектування**

Зміст розділів магістерської кваліфікаційної роботи та строки їх виконання визначаються завданням на магістерську кваліфікаційну роботу та положенням кафедри за модульно-рейтинговою оцінкою рівня та термінів виконання роботи.

Стадії розробки та етапи робіт встановлені за ГОСТ 2.103-2013.



Поетапні строки, що вказуються в ТЗ, є орієнтовними. Основними строками виконання робіт вважають строки, які встановлені в плані дослідно-конструкторських робіт.

Зміст стадій проектування та строки їх виконання визначаються завданням на магістерську кваліфікаційну роботу.

### 3.2 Вихідні дані для технологічного проектування

Приймаємо наступні вихідні дані для технологічного проектування:

- річний обсяг ремонту валу коробки відбору потужності 1000 шт,
- знос поверхонь, що відновлюються менше 0,3 мм, від робочого креслення.

### 3.3 Вимоги до рівня уніфікації та стандартизації

З метою підвищення надійності, ремонтпридатності та економічності експлуатації технологічного обладнання, що розробляється, слід максимально застосувати стандартні вироби.

Рівень стандартизації та уніфікації конструкції повинен складати не менше 80%.

### 3.4 Вимоги до охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

Конструктивні рішення повинні відповідати вимогам безпеки згідно встановлених параметрів відповідних стандартів по охороні праці та безпеці у надзвичайних ситуаціях.

Викиди в навколишнє середовище не повинні перевищувати параметри, встановлені екологічним паспортом підприємства.

## **4 Стадії та етапи розробки**

Проектування технологічного процесу повинно проводитись з використанням варіантного пошуку раціонального рішення, включати такі основні етапи:

- розробка основної проектної задачі;

- технологічне проектування технологічного процесу;
- розробка обладнання та пристосування для технологічного процесу;
- охорона праці, навколишнього середовища та ЦЗ;
- економічна ефективність розробок.

## **5 Порядок контролю та приймання**

Контроль та приймання розробок виконується у відповідності до „Положення про дипломне проектування” на кафедрі ГМ.

Технічне завдання оформлюється у відповідності з загальними вимогами до текстових конструкторських документів по ГОСТ 2.705-2013, на листах формату А4 по ГОСТ 9327-90.

Додаток Б  
(Обов'язковий)

**КОМПЛЕКТ ДОКУМЕНТІВ**

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ШЛІЦІВ  
ЦАПФИ ПОВОРОТНОЇ ВУЗЛА ПРИВОДУ ЗАДНЬОГО КОЛЕСА  
ТРОЛЕЙБУСА ЗИУ-9

Дубл.			
Взам.			
Подп.			


08-62.01102-5.00008

ВНТУ

08-62.01102-5.00008

Цапфа поворотна

М

К

Р

Вінницький національний технічний університет  
Кафедра ГМ

Керівник  
Шенфельд В.Й.

КОМПЛЕКТ ДОКУМЕНТІВ  
на технологічні процеси відновлення  
цапфи поворотної

Студент гр. 13В-22м  
Вербіцький В.О.

Дубл.																			
Взам.																			
Подп.																			
																	08-62.01102-5.00008		
Розроб.	Вербіцький В.О.									<b>ВНТУ</b>						08-62.40102-5.00008			
Перев.	Шенфельд В.Й.																		
М.контр.																			
Н.контр.	Шенфельд В.Й.												<b>Цапфа поворотна</b>						
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции				Обозначение документа										
Б	Код, наименование оборудования				СМ	Проф	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тпз	Тшт				
Р	Название документа				Код				Условное обозначение				Лист		Листов				
К/М																			
02	Маршрутна карта ремонту				08-6210102-5.00001				МК				1						
03	Операційна карта мийки				08-6260102-5.00002				ОК				1						
04	Операційна карта дефектації				08-6260102- 4.00003				ОК				1						
05	Операційна карта точіння				08-6260102.00004				ОК				1						
06	Операційна карта фрезерування				08-6260102.00005				ОК				1						
07	Операційна карта наплавлення				08-6260103.00006				ОК				1						
08	Операційна карта термічної обробки				08-6242102-5.00007				ОК				1						
09	Операційна карта точіння				08-6260102.00008				ОК				1						
10	Операційна карта фрезерування				08-6260102.00009				ОК				1						
11	Операційна карта напилення				08-6260102.00010				ОК				1						
12	Операційна карта шліфування				08-6260102.00011				ОК				1						
13	Операційна карта технічного контролю				08-6260102.00012				ОК				1						
14	Відомість оснастки				08-6260102.00013				ВО				1						
15																			
МК	Відомість технологічної документації																		

Дубл.																			
Взам.																			
Подп.																			
										08-62.01102-5.00008									
Розроб.	Вербіцький В.О.					ВНТУ							08-62.10102-5.00001						
Перев.	Шенфельд В.Й.																		
М.контр.						Цапфа поворотна													
Н.контр.	Шенфельд В.Й.																		
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции				Обозначение документа										
Б	Код, наименование оборудования				СМ	Проф	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тпз	Тшт				
А 01	<b>005 Очисна</b>																		
Б 02	Мийна машина АКТЬ-116					Токар	3		1	1									
Т 03																			
А 04	<b>010 Дефектувальна</b>																		
Б 05	Магнітний спосіб, час дефектації 3-5 хв					Звар.	4		1	1									
Т 06	Встановити деталь на стіл дефектоскопа																		
А 07	<b>015 Токарна</b>																		
Б 08	Токарно-гвинторізний верстат 16К20					Терм.	4		1	1									
А 09	Центр 1-5-Н, прохідний різець, штангенциркуль																		
Б 10	<b>020 Фрезерування</b>																		
Т 11	Горизонтально-фрезерний верстат 5К310					Токар	3		1	1									
А 12	Центр 1-5-Н, червячна фреза, мікрометр																		
Б 13	<b>025 Наплавлення</b>																		
Т 14	Універсальна установка УД-209М					Контр	5		1	1									
15	Наплавлювальна головка А-580М																		
МК	Маршрутна карта ремонту																		



Дубл.																				
Взам.																				
Подп.																				
											08-62.01102-5.00008									
Розроб.	Вербіцький В.О.					<b>ВНТУ</b>								08-62.10102-5.00001						
Перев.	Шенфельд В.Й.																			
М.контр.						<b>Цапфа поворотна</b>														
Н.контр.	Шенфельд В.Й.																			
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции						Обозначение документа									
Б	Код, наименование оборудования						СМ	Проф	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тпз	Тшт			
А 01	<b>055 Контроль</b>																			
Б 02	Стіл контрольний							Кон тр	5		1	1								
Т 03	Мікрометр, кутомір																			
А 04																				
Б 05																				
Т 06																				
А 07																				
Б 08																				
А 09																				
Б 10																				
Т 11																				
А 12																				
Б 13																				
Т 14																				
15																				
МК	Маршрутна карта ремонту																			



Дубл.															
Взам.															
Подп.															
										08-62.01102-5.00008					
Розроб.	Вербіцький В.О.			ВНТУ								08-62.60102-4.00002			
Перев.	Шенфельд В.Й.														
										Цапфа поворотна					
Н.контр.	Шенфельд В.Й.														
01	Код, наименование операции				Обозначение документа							МИ			
	005 Очисна				НОТ №1875-82										
02					Код, наименование оборудования					Тв	То				
					Мийна машина АКТБ-116										
К/М					Код, обозначение		ОП П	ЕВ	ЕН	КИ	Нрасх.				
Р	1. Занутити деталь в розчин Лобомыт-101														
Б 03	2. Температура 65-80°														
М 04	3. Концентрація 10-15 г/л														
05	4. Час очистки 12-15 хв														
О 06															
07															
Р 08															
О09															
Р 10															
11															
12															
13															
14															
15															
ОК	Операційна карта очистки														

Дубл.															
Взам.															
Подп.															
										08-62.01102-5.00008					
Розроб.	Вербіцький В.О.			ВНТУ								08-62.60102-4.00002			
Перев.	Шенфельд В.Й.														
										Цапфа поворотна					
Н.контр.	Шенфельд В.Й.														
01	Код, наименование операции				Обозначение документа							МИ			
	010 Дефектування				НОТ №1875-82										
02	Код, наименование оборудования							Тв	То						
	Магнітний дефектоскоп														
К/М	Код, обозначение				ОП	П	ЕВ	ЕН	КИ	Нрасх.					
Р	1. Встановити деталь на стіл дефектоскопа														
Б 03	2. Намагнітити двох-трьох кратним														
М 04	Намагнічуванням струму на 1.5-2 с														
05	4. Полити магнітною суспензією														
О 06	5. Час дефектації 3-5хв														
07															
Р 08															
О09															
Р 10															
11															
12															
13															
14															
15															
ОК	Операційна карта дефектування														

Дубл.																				
Взам.																				
Подп.																				
										08-62.01102-5.00008										
Розроб.	Вербіцький В.О.			ВНТУ					08-62.60142.00004											
Перев.	Шенфельд В.Й..																			
										Цапфа поворотна										
Н.контр.	Шенфельд В.Й..																			
01	Код, наименование операции						Обозначение документа										МИ			
	015 Токарна						НОТ №1875-82													
02							Код, наименование оборудования						ТВ		То					
							16К20								0,58					
К/М	Наименование детали, сб. единицы или материала						Код, обозначение				ОП П	ЕВ	ЕН		КИ	Нрасх.				
Р											L,мм	t,мм	S,мм/об		п,об/хв	V,м/хв				
О 03	1. Установити деталь, закріпити, зняти																			
Т 04	Центр I-5-Н ГОСТ 8742-75																			
О 05	2. Точити поверхню 1 до розміру Ø109,98 мм.										76	0,85	1,2		352	122				
Т 06	Різець Т15К10 ГОСТ 18869-73, ШЦ-1-125-0.1																			
Р 07	3. Точити поверхню 3 до Ø85,96 мм.										51	0,73	1,2		457	143				
08	Різець Т15К10 ГОСТ 18869-73, ШЦ-1-125-0.1																			
09	4. Точити поверхню 4 до Ø84,95 мм.										30	0,73	1,2		457	143				
10	Різець Т15К10 ГОСТ 18869-73, ШЦ-1-125-0.1																			
11																				
12																				
13																				
14																				
15																				
ОК	Операційна карта точіння																			

Дубл.																			
Взам.																			
Подп.																			
										08-62.01102-5.00008									
Розроб.	Вербіцький В.О.			ВНТУ					08-62.60142.00004										
Перев.	Шенфельд В.Й.																		
										Цапфа поворотна									
Н.контр.	Шенфельд В.Й.																		
01	Код, наименование операции					Обозначение документа										МИ			
	020 Фрезерна					НОТ №1875-82													
02						Код, наименование оборудования										Тв		То	
						5К310												0,028	
К/М	Наименование детали, сб. единицы или материала					Код, обозначение					ОП П	ЕВ	ЕН		КИ	Нрасх.			
Р											L,мм	t,мм	S,мм/об		n,об/хв	V,м/хв			
О 03	1. Установити деталь, закріпити, зняти																		
Т 04	Центр І-5-Н ГОСТ 8742-75																		
О 05	2. Фрезерувати шліци на поверхні 2.										60	1,25	0,6		142	11,4			
Т 06	Спеціальна фреза Т15К6 ГОСТ 2679-73																		
Т 07	ШЦ-1-125-0.1																		
Р 08																			
09																			
10																			
11																			
12																			
13																			
14																			
15																			
ОК	Операційна карта фрезерування																		

Дубл.																	
Взам.																	
Подп.																	
										08-62.01102-5.00008							
Розроб.	Вербіцький В.О.			ВНТУ								08-62.60102-4.00002					
Перев.	Шенфельд В.Й.																
										Цапфа поворотна							
Н.контр.	Шенфельд В.Й.																
01	Код, наименование операции				Обозначение документа							МИ					
	025 Наплавлення				НОТ №1875-82												
02											Код, наименование оборудования		Тв	То			
											Універсальна установка УД-209М			8,5			
К/М	Наименование детали, сб. единицы или материала				Код, обозначение			ОП П	ЕВ	ЕН	КИ	Нрасх.					
Р	I, A	U, B	Vнапл.	Sm	dэ				L,мм	t,мм	S,мм/о б	n,об/хв	V,м/хв				
Б 03	Наплавлювальна головка А-580М																
М 04	ПП-Нп -18Х1Г1М																
05	Флюс марки АН-28																
О 06	1. Установити деталь, закріпити, зняти																
07	2. Наплавити поверхню деф. 2							60	2,25	6	2,3	25					
Р 08	3. Наплавити поверхню деф. 3							51	2,25	6	2,3	35					
О09	4. Наплавити поверхню деф. 4							30	2,25	6	2,5	38					
Р 10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
ОК	Операційна карта наплавки																

Дубл.																	
Взам.																	
Подп.																	
										08-62.01102-5.00008							
Розроб.	Вербіцький В.О.			ВНТУ								08-62.60102-4.00002					
Перев.	Шенфельд В.Й.																
										Цапфа поворотна							
Н.контр.	Шенфельд В.Й.																
01	Код, наименование операции				Обозначение документа							МИ					
	030 Термічна				НОТ №1875-82												
02					Код, наименование оборудования					Тв		То					
					Електронна піч СН06.12.4/10												
К/М					Код, обозначение			ОП	П	ЕВ	ЕН	КИ	Нрасх.				
Р	1. Встановити деталь в електронну піч																
Б 03	2. Гартування при T=850°C																
М 04	3. Відпуск при T=600°C																
05	4. Відпуск проводиться на повітрі																
О 06																	
07																	
Р 08																	
О09																	
Р 10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
ОК	Операційна карта термічної обробки																

Дубл.																			
Взам.																			
Подп.																			
										08-62.01102-5.00008									
Розроб.	Вербіцький В.О.			ВНТУ										08-62.60142.00004					
Перев.	Шенфельд В.Й.																		
										Цапфа поворотна									
Н.контр.	Шенфельд В.Й.																		
01	Код, наименование операции					Обозначение документа										МИ			
	035 Токарна					НОТ №1875-82													
02						Код, наименование оборудования					ТВ	То							
						16K20						0,58							
К/М	Наименование детали, сб. единицы или материала					Код, обозначение			ОП П	ЕВ	ЕН	КИ	Нрасх.						
Р									L,мм	t,мм	S,мм/об	n,об/хв	V,м/хв						
О 03	1. Установити деталь, закріпити, зняти																		
Т 04	Центр І-5-Н ГОСТ 8742-75																		
О 05	2. Точити поверхню 3 до Ø86,08 мм.								51	0,73	1,2	457	143						
Т 06	Різець Т15К10 ГОСТ 18869-73, ШЦ-1-125-0.1																		
Р 07	3. Точити поверхню 4 до Ø85,03 мм.								30	0,73	1,2	457	143						
08	Різець Т15К10 ГОСТ 18869-73, ШЦ-1-125-0.1																		
09																			
10																			
11																			
12																			
13																			
14																			
15																			
ОК	Операційна карта точіння																		













Додаток В  
(Обов'язковий)

**ГРАФІЧНА ЧАСТИНА**

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ШЛІЦІВ  
ЦАПФИ ПОВОРОТНОЇ ВУЗЛА ПРИВОДУ ЗАДНЬОГО КОЛЕСА  
ТРОЛЕЙБУСА ЗИУ-9





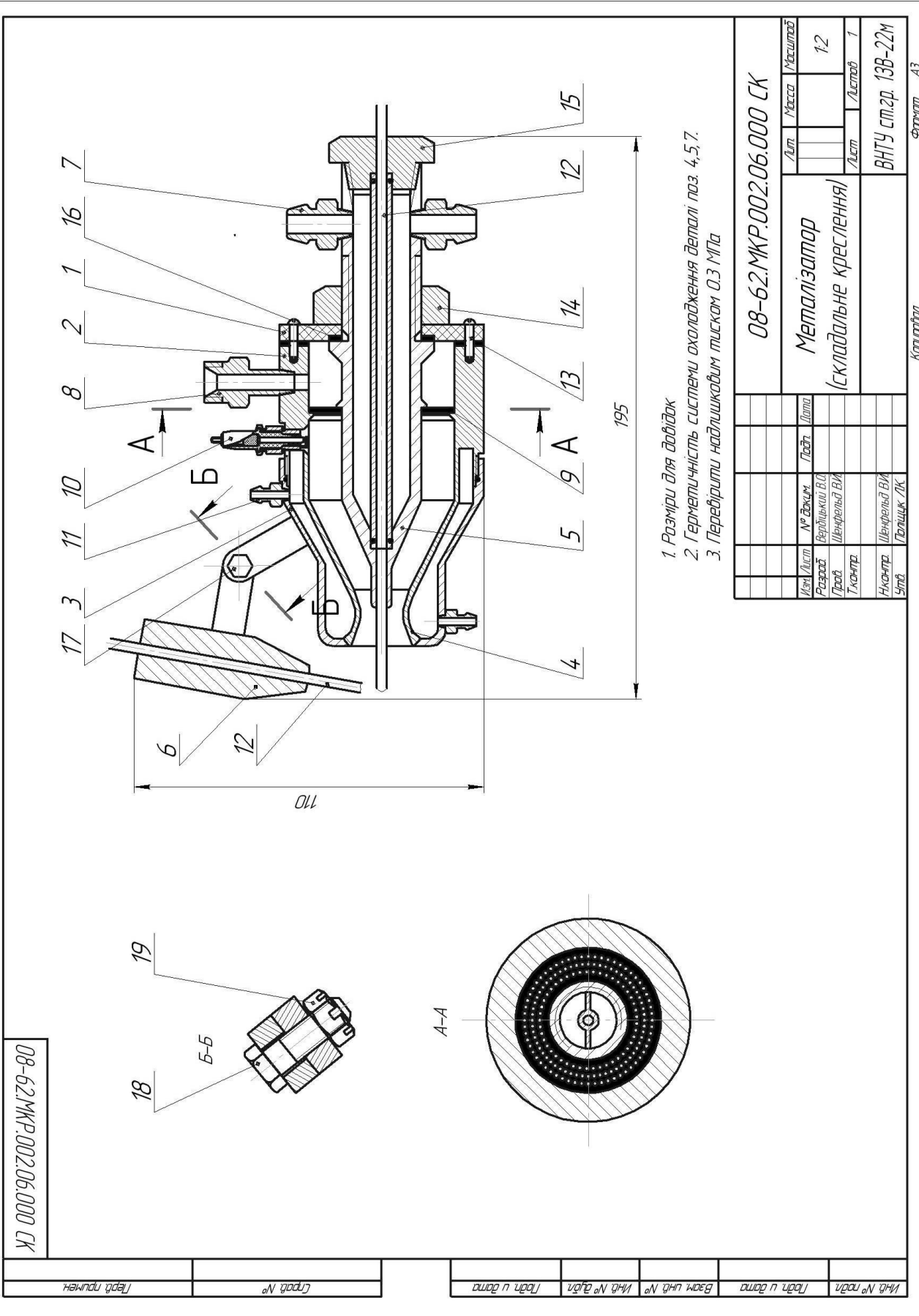






Технологічний процес (схеми установки)		Моделі верстатів
№ опер 045	Напilenня 1. Встановити, закріпити, зняти заготовку. 2. Напилити поверхню 1 забезпечивши відповідний допуск.	Модернізована наплавачна установка УД-209, з електро-дуговим металізатаром
№ опер 050	Шліфування 1. Встановити, закріпити, зняти заготовку. 2. Шліфувати поверхню 1 до розміру на ескізі.	Шліцеліфу- вальний верстат ЗП4.1
№ опер 055	Контрольна	Мікрометр М350-1 ГОСТ 166-90

№1 №231	№2 №231	№3 №231	№4 №231	№5 №231	№6 №231	№7 №231	№8 №231	№9 №231	№10 №231	№11 №231	№12 №231	№13 №231	№14 №231	№15 №231	№16 №231	№17 №231	№18 №231	№19 №231	№20 №231
---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

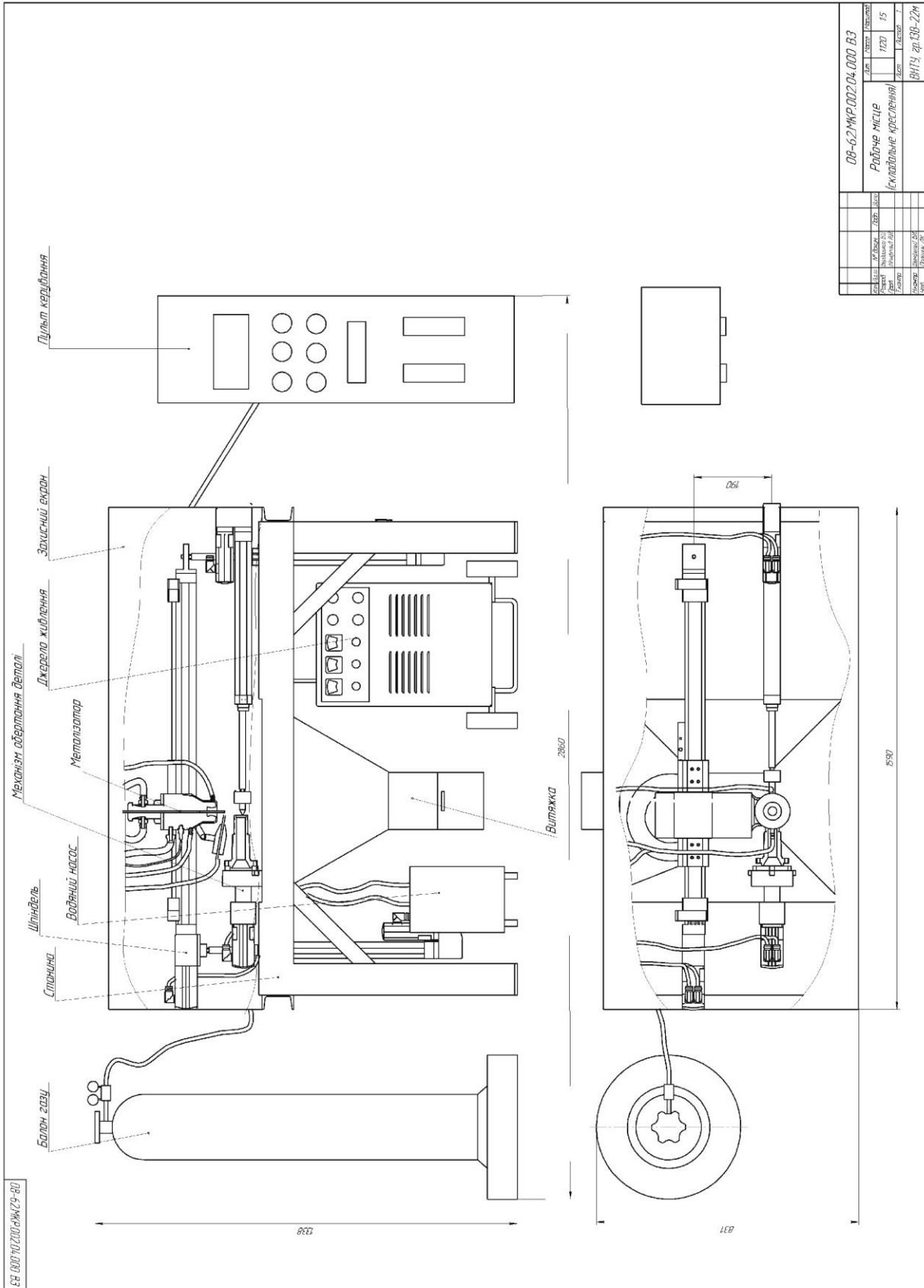


1. Розміри для довідок
2. Герметичність системи охолодження деталі поз. 4, 5, 7.
3. Перевернути надлишковим тиском 0,3 МПа

08-62.МКР.002.06.000 СК		Лист	Масса	Масштаб
Металізатор		Лист		12
(складальне креслення)		Лист		1
		ВНТУ ст.кр. 19В-22М		
		Формат А3		
Мат. Лист	№ докум.	Лист	Листа	
Розроб.	Віривийка В.В.			
Проб.	Шендель В.В.			
Т.контр.				
Н.контр.	Шендель В.В.			
Утв.	Гельщик Л.К.			

08-62.МКР.002.06.000 СК

Лист № докум.	Лист	Листа	Взам. уніф. №	Уніф. № дріт.	Лист у дано
---------------	------	-------	---------------	---------------	-------------



08-62МР.002.04.000 ВЗ		Лист 1	Знак	Контур
Робоче місце		1/20	15	
(складові креслення)				
Деталь	У.В.Б.	Д.В.Б.	В.В.Б.	В.В.Б.
Рис.	Рис.	Рис.	Рис.	Рис.
Узорець	Узорець	Узорець	Узорець	Узорець
В.В.Б.	В.В.Б.	В.В.Б.	В.В.Б.	В.В.Б.
В.В.Б.	В.В.Б.	В.В.Б.	В.В.Б.	В.В.Б.

08-62МР.002.04.000 ВЗ

Лист 1

Знак

Контур

Рис.

Узорець

В.В.Б.

Додаток Г  
(Обов'язковий)

## **СПЕЦИФІКАЦІЇ**

**ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ШЛІЦІВ  
ЦАПФИ ПОВОРОТНОЇ ВУЗЛА ПРИВОДУ ЗАДНЬОГО КОЛЕСА  
ТРОЛЕЙБУСА ЗИУ-9**

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Перв. примен.						
				<u>Документація</u>		
Справ. №			08-62.МКР.002.01.000 СК	Привід заднього колеса		
				<u>Деталі</u>		
		1	08-62.МКР.002.00.001	Ступиця колеса	1	
		2	08-62.МКР.002.00.002	Барабан	1	
		3	08-62.МКР.002.00.003	Картер заднього мосту	1	
		4	08-62.МКР.002.00.004	Ступиця вінця	1	
		5	08-62.МКР.002.00.005	Водило	1	
		6	08-62.МКР.002.00.006	Цапфа	1	
		7	08-62.МКР.002.00.007	Кришка	1	
		8	08-62.МКР.002.00.008	Піввісь	1	
		9	08-62.МКР.002.00.009	Колесо сонячне	1	
		10	08-62.МКР.002.00.010	Сателіт	1	
		11	08-62.МКР.002.00.011	Втулка розпірна	1	
		12	08-62.МКР.002.00.012	Кільце бортове	1	
		13	08-62.МКР.002.00.013	Розпорка	1	
		14	08-62.МКР.002.00.014	Гайка піввісі	1	
		15	08-62.МКР.002.00.015	Палець опорний з головкою	1	
		16	08-62.МКР.002.00.016	Палець опорний	1	
		17	08-62.МКР.002.00.017	Шип сателіта	1	
		18	08-62.МКР.002.00.018	Стакан	1	
		19	08-62.МКР.002.00.019	Вінець	1	
		20	08-62.МКР.002.00.020	Пробка	1	
	21	08-62.МКР.002.00.021	Пробка маслоспускного отвору	1		
	22	08-62.МКР.002.00.022	Кільце ущільнююче	2		
			<b>08-62.МКР.002.01.000</b>			
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
	Разраб.	Вердицький В.О.				Лист
	Пров.	Шенфельд В.Й.				Лист
	Н.контр.	Шенфельд В.Й.				Листов
Утв.	Поліщук Л.К.					1
				<b>Привід заднього колеса</b>		2
				<b>ВНТУ, 13В-22М</b>		

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		23	08-62.МКР.002.00.023	Прокладка регулююча	1	
		24	08-62.МКР.002.00.024	Кільце розподільче	1	
		25	08-62.МКР.002.00.025	Регулюючі пластини	3	
				<i>Стандартні вироби</i>		
		26		Болт М5 - 6д x 12.58 ГОСТ 7798-70	10	
		27		Болт М6 - 6д x 20.58 ГОСТ 7798-70	6	
		28		Болт М8 - 6д x 30.58 ГОСТ 7798-70	20	
		29		Болт М16 - 6д x 45.58 ГОСТ 7798-70	2	
		30		Болт 5М16-6дx38.109 ГОСТ 7811-70	1	
		31		Гайка М16- 6Н.5 ГОСТ 5915-70	3	
		32		Гвинт М8- 8д x 20.48.016 ГОСТ 1491-80	1	
		33		Кільце 185-092-46-2-1 ГОСТ 18829-73	2	
		34		Кільце 225-240-85-2-5 ГОСТ 18829-73	4	
		35		Кільце 230-235-36-1-0 ГОСТ 18829-73	4	
		36		Підшипник 1627321А ГОСТ 27365-87	2	
		37		Підшипник 67224А ГОСТ 27365-87	2	
		38		Шайба 6.01.08 КП. 016 ГОСТ 11371-78	4	
		39		Штифт 16x40 ГОСТ 3128-70	3	

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инд. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>08-62.МКР.002.01.000</b>	Лист
						2

Формат	Зона	Лист	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
<i>Документація</i>							
А3			08-62.МКР.002.03.000 СК	Металізатор			
<i>Деталі</i>							
Справ. №		1	08-62.МКР.002.03.001	Плоска задня стінка	1		
		2	08-62.МКР.002.03.002	Циліндрична обичайка	1		
		3	08-62.МКР.002.03.003	Конусоподібна кришка	1		
		4	08-62.МКР.002.03.004	Сопловий отвір	1		
		5	08-62.МКР.002.03.005	Наконечник(центральный)	1		
		6	08-62.МКР.002.03.006	Наконечник(бічний)	1		
		7	08-62.МКР.002.03.007	Штуцер	2		
		8	08-62.МКР.002.03.008	Штуцер подачі газу	1		
		9	08-62.МКР.002.03.009	Перфорована стінка	1		
		11	08-62.МКР.002.03.011	Штуцер для подачі води	2		
		12	08-62.МКР.002.03.012	Електрод	2		
		14	08-62.МКР.002.03.014	Гайка наконечника	1		
		15	08-62.МКР.002.03.015	Гайка електрода	1		
				<i>Стандартні вироби</i>			
		13		Гвинт установчий			
			М6x12 ГОСТ 14 78-79	2			
	18		Болт М8x10 ГОСТ 7696-70	1			
	19		Гайка М8 ГОСТ 7696-70	1			
			<b>08-62.МКР.002.06.000</b>				
Ізм. / лист		№ док.м.	Підп.	Дата			
Розроб.		Вердицький В.О.			Лист	Лист	
Проб.		Шенфельд В.И.				Листов	
Н.контр.		Шенфельд В.И.			ВНТУ ст. зр. 13В-22М		
Утв.		Поліщук Л.К.					
<b>Металізатор</b>							



Додаток Д  
(Обов'язковий)

**ПРОТОКОЛ  
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ**

**ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ШЛІЦІВ  
ЦАПФИ ПОВОРОТНОЇ ВУЗЛА ПРИВОДУ ЗАДНЬОГО КОЛЕСА  
ТРОЛЕЙБУСА ЗИУ-9**

ПРОТОКОЛ  
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Підвищення якості відновлення робочих поверхонь шліців цапфи поворотної вузла привода заднього колеса тролейбуса ЗиУ-9»

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота  
(БДР, МКР)

Підрозділ Кафедра «Галузевого машинобудування», ФМТ.  
(кафедра, факультет)


**Показники звіту подібності Unicheck**

Оригінальність 89,1% Схожість 10,9%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- ✓ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
3. Виявлені у роботі запозичення с недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку

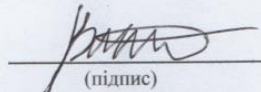
  
(підпис)

Шенфельд В. Й.

(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи

  
(підпис)

Вербіцький В.О.

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи

  
(підпис)

Шенфельд В. Й.

(прізвище, ініціали)