

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інженерно-фізичний

(повне найменування факультету)

Інтегровані технології зварювання та моделювання конструкцій

(повне найменування кафедри)

## Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему “Розробка технології відновлення валу рокерів двигуна  
тепловозу ТЕМ – 2”

(назва теми)

Виконав(ла): студент(ка) 2 курсу,  
групи ІФ 412м

Спеціальності 131 Прикладна механіка  
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)  
“Технологія та устаткування відновлення та  
підвищення зносостійкості машин і  
конструкцій”

КУПРІЄНКО С.В.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник САВОНОВ Ю.М.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент КЛИМОВ О.В.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Інженерно-фізичний  
Кафедра Інтегровані технології зварювання та моделювання конструкцій  
Ступінь вищої освіти магістр  
Спеціальність 131 Прикладна механіка  
(код і найменування)  
Освітня програма (спеціалізація) “Технологія та устаткування відновлення та підвищення зносостійкості машин і конструкцій”  
назва освітньої програми (спеціалізації)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

О.Є. Капустян

« 15 » грудня 2023 року

**ЗАВДАННЯ**  
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Купрієнко Станіслав Володимирович

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) “Розробка технології відновлення валу рокерів двигуна тепловозу ТЕМ – 2”

керівник проєкту(роботи) САВОНОВ Юрій  
Миндальович

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 15 » 12 2023 року № 509

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 15 грудня 2023 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи)

Креслення виробу

Технічні дані на виробництво

Річна програма N = 10000 шт.

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

1 – Аналіз умов експлуатації осі рокерів; 2 – Технологічний процес відновлення осі рокерів; 3 – Вибір обладнання; 4 – Контроль якості; 5 – Економічна частина; 6 – Охорона праці; 7 – Цивільна оборона 8 - Конструкторська частина.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість світлих, плакатів)

Креслення деталі; Вибір способу відновлення осі рокерів; Схема технологічного процесу відновлення деталі; Загальний вигляд установки для напилення; Вибір параметрів технологічного процесу напилення;

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1 -7	Савонов Ю.М.		
	Корнієнко О.Б. нормоконтроль		№/ 25.72

7. Дата видачі завдання « 01 » 09 2023 року.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Приміт
1	Аналіз умов експлуатації осі	10.10	
	Лист № 1	14.10	
2	Технологічний процес відновлення	24.10	
	Лист № 2 Лист № 3		
3	Вибір обладнання Лист № 4	30.10	
4	Контроль якості Лист № 5	10.11	
5	Економічна частина	25.11	
	Лист №6	30.11	
6	Охорона праці Лист №7	5.12	
7	Цивільна оборона Лист №8	15.11	

Студент(ка)

(підпис) С. Купрієнко  
(ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проекту (роботи)

(підпис) Ю. Савонов  
(ім'я ПРИЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

ПЗ: 85 с., 19 рис., 23 табл., 12 джерел.

Об'єкт дослідження - вісь рокерів дизель-генераторної установки тепловоза ТЕМ-2

Метод дослідження - розробка технологічного процесу відновлення осі рокерів, вибір режимів напилення, підбір необхідного обладнання.

Проаналізовано умови експлуатації осі рокерів, показані основні чинники, що впливають на зниження працездатності деталі.

Дана характеристика деталі. Запропоновано технологію відновлення осі рокерів. Показано, що найбільш надійним методом відновлення зношених осей рокерів є плазмова металізація. Спосіб відрізняється високими показниками технологічності та міцності напилених покриттів.

**ВІСЬ РОКЕРІВ, ПЛАЗМОВА МЕТАЛІЗАЦІЯ,  
НАПИЛЮВАЛЬНИЙ МЕТАЛ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, ВІДНОВЛЕННЯ,  
МЕХАНІЧНА ОБРОБКА, МІЦНІСТЬ.**

## THE ABSTRACT

PZ: 85 p., 19 fig., 23 Table ., 12 sources.

The object of study - the axis of rockers diesel genset locomotive TEM-2

The method of research - development of the technological process of restoring the axis rockers choice of modes of deposition, and the selection of necessary equipment.

The conditions of operation of the axis of rockers, shows the main factors affecting the decrease in performance parts.

The characteristic details. The technology of restoring the axis of rockers. It is shown that the most reliable method for restoring worn axle rockers is a plasma metallization. The method has a high performance, characterized by good strength and performance characteristics.

The AXIS of ROCKERS, PLASMA METALISATION, DEPOSITED METAL, RESISTANCE, RESTORATION MACHINING, STRENGTH.

## ЗМІСТ

### Вступ

1. Аналіз умов експлуатації осі рокерів двигуна тепловоза.	
1.1. Геометричні і конструктивні характеристики осі рокерів	5
1.2. Встановлення видів зношування і визначення переважного виду зношування	9
2. Технологічний процес відновлення осі рокерів	12
2.1. Технологічний процес відновлення осі рокерів на базовому підприємстві	12
2.2. Альтернативні варіанти відновлення осі рокерів	13
2.3. Розробка технологічного процесу відновлення осі рокерів	26
2.4. Вибір параметрів режиму плазмового напилення осі рокерів	33
2.4.1. Вплив сили струму плазмового струменя на властивості напилених покриттів	34
2.4.2. Дистанція напилення	37
2.4.3. Тиск повітря	39
2.4.4. Витрата плазмообразуючого газу	41
3. Обладнання	43
3.1. Вибір стандартного обладнання	43
3.2. Опис конструкції, принципу роботи й технічних характеристик обладнання	43
4. Контроль якості	52
5. Техніко-економічні розрахунки проектованої ділянки	57
5.1. Організація ділянки	57
5.2. Планування ділянки	61
5.2.1. Матеріальні витрати	62
5.2.2. Вартість основних виробничих фондів	63

5.2.3. Фонд оплати праці	64
5.2.4. Собівартість виробу	67
5.2.5. Економічне обґрунтування запропонованої розробки	70
5.2.6. Розрахунок економічного ефекту	70
5.2.7. Ефективність та результативність	71
6. Охорона праці і захист у надзвичайних ситуаціях	74
6.1. Аналіз потенційних небезпек	74
6.2. Заходи щодо техніки безпеки	75
6.3. Санітарно-гігієнічна характеристика умов праці на ділянці	77
6.3.1. Оздоровлення повітряного середовища	77
6.3.2. Виробниче освітлення	78
6.4. Заходи щодо пожежної безпеки	79
7. Цивільна оборона	81
7.1. Оцінка працездатності проектованої ділянки за умови радіоактивного зараження місцевості	81
Перелік джерел посилань	84
Додаток А - Комплект специфікацій	85

## ВСТУП

У планах розвитку промисловості звертається увага на систематичне підвищення продуктивності праці, всіляке підвищення технічного рівня виробів, поліпшення якості, надійності й довговічності машин і механізмів.

Основою систематичного зростання продуктивності праці є технічний прогрес, що полягає у швидкій розробці й впровадженні нової техніки, удосконалюванні технології організації виробництва, раціональному використанні техніки, поліпшенні якості, надійності й довговічності машин. Інтенсифікація виробництва є найголовнішим напрямком розвитку економіки в усіх її галузях.

Підвищення продуктивності машинного парку досягається за допомогою глибокого знання техніки, уміння використовувати її на повну потужність, за рахунок організації двозмінної роботи, роботи машин на підвищених швидкостях і ін.

Подовження періоду безвідмовної роботи й підвищення довговічності машин і окремих механізмів є найважливішим економічним завданням.

При роботі двигунів внаслідок стирання, теплового й хімічного впливів і інших факторів відбуваються зміни первинних розмірів і форми деталей. У процесі тривалого механічного, теплового й хімічного впливів у поверхневих шарах деталей змінюються структура й фізико-механічні властивості металів, що призводить до більш інтенсивного зношування металу й до порушення працездатності окремих спряжень і механізмів. Зниження інтенсивності зношування окремих деталей, спряжень відображається безпосередньо на підвищенні тривалості безвідмовної роботи й довговічності вузлів і агрегатів.

Проблема підвищення довговічності й надійності стає особливо серйозною й актуальною у зв'язку зі створенням новітніх високопродуктивних машин, що працюють при високих швидкостях і навантаженнях. Підвищення

надійності й довговічності машин здійснюється при конструюванні, виробництві, експлуатації й зберіганні.

Довговічність машин залежить від застосування в ній високоякісних матеріалів, прогресивних комплектуючих вузлів і механізмів, раціональної конструкції, міцності деталей при оптимальній технологічності, якості збирання, розбирання, ремонту, технічного обслуговування й більш широкого використання стандартних і уніфікованих деталей, вузлів і механізмів.

Найбільша довговічність деталей і вузлів досягається при більш широкому застосуванні прогресивної технології (хіміко-термічного, термомеханічного, механічного й електромеханічного зміцнення, поверхневого легування й ін.), за рахунок покриття поверхонь тертя зміцнюючими й захисними матеріалами, випробування механізмів і агрегатів, об'єктивного контролю на всіх стадіях виробництва й інших факторів.

До найважливіших експлуатаційних факторів, що підвищують надійність і довговічність агрегатів і машин, відносяться стабільність експлуатаційного режиму, дотримання правил їх експлуатації, своєчасне і якісне технічне обслуговування із застосуванням діагностичних заходів і проведення своєчасного ремонту.

Якість агрегатів і машин буде тим вищою, чим нижчою будесобівартість одиниці продукції, менші витрати при експлуатації й технічному обслуговуванні й придбанні запасних частин, зручніше й безпечніше обслуговування й економічніші інші показники якості машини [1].

## 1. АНАЛІЗ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОСІ РОКЕРІВ ДВИГУНА ТЕПЛОВОЗА

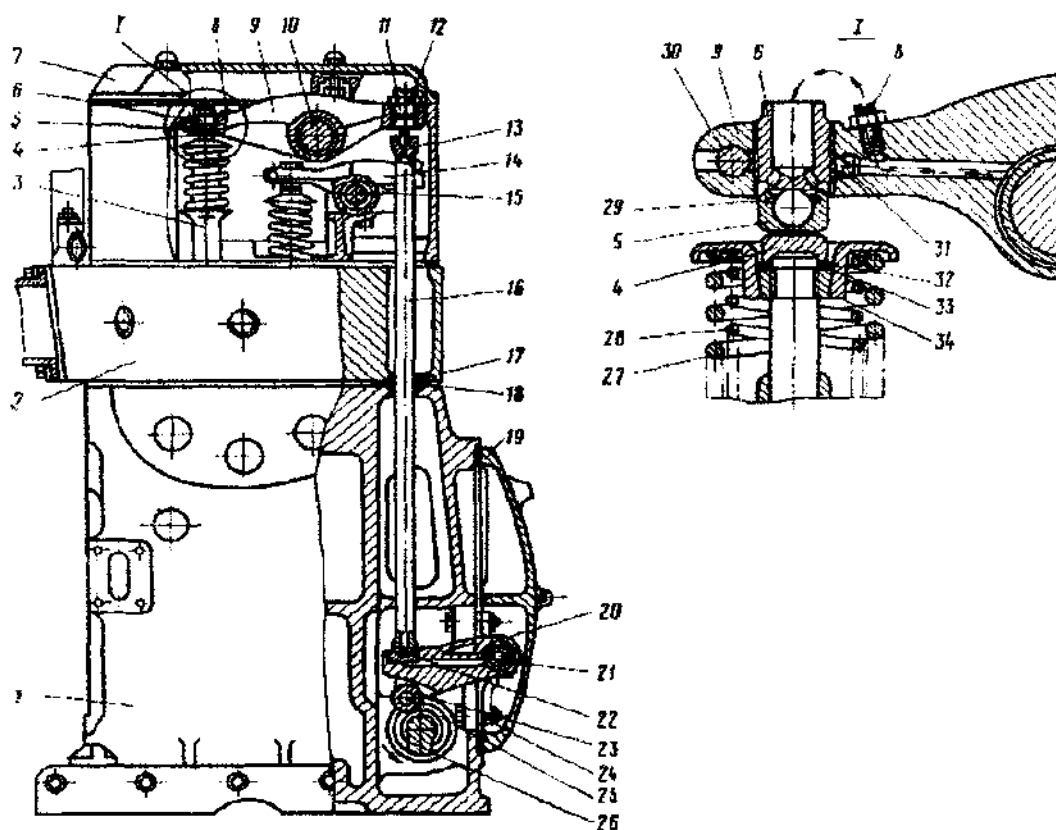
### 1.1. Геометричні конструктивні характеристики осі рокерів

На тепловозі ТЭМ-2 встановлено дизель-генератор на основі дизеля ЗА-6Д49. Технічна характеристика силового агрегату наведена нижче [2].

Дизель

Позначення за ДСТ 4393-82 .	2Д50М
Умовна позначка	ЗА- 6Д49
Тип	чотиритактний з газотурбінним наддувом
Число циліндрів	6
Розташування циліндрів	V - образне під кутом 42°
Діаметр циліндра, мм	260
Хід поршня із шатуном, мм	260
головним	260
причіпним	257,5
Повна потужність дизеля при нормальних атмосферних умовах ( $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ , $p = 760 \text{ мм.рт. ст.}$ , відносна вологість 70%), кВт	883
Частота обертання колінчатого валу, об/хв	
при повній потужності	1000
мінімальна	420
Габарити, мм:	
довжина	3355
ширина	1651

Механізм газорозподілу (рис.1.1) [7] призначений для періодичного впуску свіжого заряду повітря в циліндри дизеля й випуску продуктів згоряння в атмосферу. Він складається із впускних і випускних клапанів, розподільного валу й важільного механізму, що зв'язує клапани з кулачками розподільного вала.



1 - блок циліндрів; 2 - кришка циліндра; 3 - напрямна втулка випускного клапана; 4 - ковпачок клапана; 5 - бойок ударника; 6 - ударник; 7 - кришка корпуса механізму газорозподілу; 8 - жиклер; 9 - важіль випуску; 10 - вісь рокерів; 11 - штовхач; 12 - гайка штовхача; 13 - голівка штанги; 14 - важіль випуску; 15 - вісь важеля випуску; 16 - штанга штовхача; 17 - маслоушільнююча втулка; 18 - маслоушільнюючекільце; 19 - кришка оглядового люку; 20 - важіль штовхача; 21 - вісь важеля штовхача; 22 - п'ята важеля штовхача; 23 - ролик важеля штовхача; 24 - кронштейн важеля штовхача; 25 - вісь ролика; 26 - розподільний вал; 27 - зовнішня пружина; 28 - внутрішня пружина; 29 - кільце пружинне; 30 - болт; 31 - заглушка; 32 - замок пружинний; 33 - кільце фіброве; 34 - тарілка пружини.

Рисунок 1.1 - Механізм газорозподілу вала [7].

Відкриття клапанів здійснюється від кулачків розподільного вала 26. Кулачки підіймають ролики 23 важелів штовхача, які, впливаючи через штанги 16 на важелі впуску 14 і випуску 9, відкривають клапани. Закриття клапанів і зворотний рух важільного механізму відбуваються під дією пружин клапанів.

Важелі штовхачів (рис.1.2) [2] змонтовані на порожніх осях кронштейнів 12, які прикріплені до припливів поперечних перегородок блоку з боку оглядових люків.

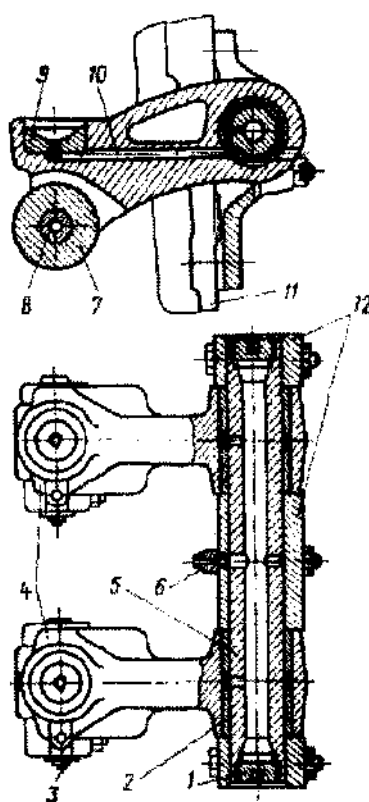


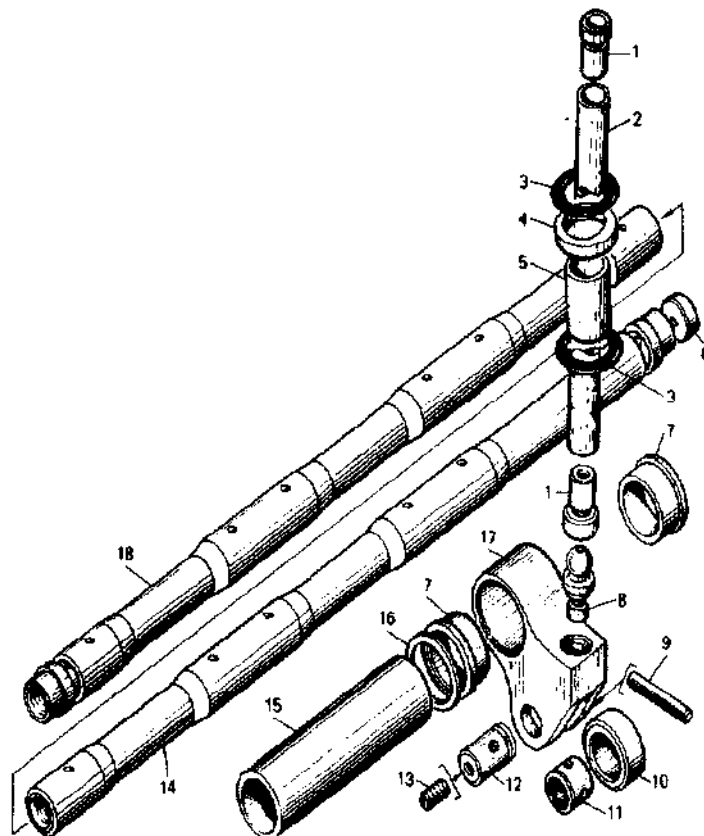
Рисунок 1.2 - Важелі штовхальників [2].

Кожний кронштейн служить опорою для двох важелів, один з яких впливає на два впускні, а інший - на два випускні клапани. Порожнина осі рокерів, заглушена з торців пробками 1, служить масляним каналом, який з'єднується зі штуцером підведення мастила 6.

Важіль рокерів (одноплечий) на одному кінці має голівку з роликом 7, на іншому отвір із запресованою втулкою.

Важелі клапанів розміщені в литих чавунних корпусах на верхніх торцях кришок циліндрів. У кожному корпусі на осях, вставлених в отвір його бічних припливів, монтують два важелі: впускний і випускний.

У механізмі газорозподілу дизеля тепловоза встановлено дві осі рокерів (рис.1.3) [2] 14 і 18 для керування фазами впуску-випуску відповідно 4-6 циліндрів і 1-3 циліндрів.



1,3 - пробки; 2 - бронзова втулка; 4 - важелі; 5 - вісь рокерів; 6 - штуцер підведення мастила; 7 - ролик; 8 - вісь ролика; 9 - п'ята; 10 - поздовжній отвір важеля; 11 - блок циліндрів; 12 - кронштейн; 13 - стяжні болти;

Рисунок 1.3 - Фрагмент газорозподільного механізму дизеля [2].

Вісь рокерів являє собою порожній трубчастий вал довжиною 882 мм із діаметром по робочих шийках 40 мм. Вага однієї деталі становить 5,3 кг. В середині вала під тиском подається масло, яке через систему отворів у робочих шийках подається в підшипники ковзання. Контртілом для шийки осі рокерів служить бронзовий вкладиш рокера газорозподільного механізму.

Рокер наосі робить хитні рухи з кутом  $8^\circ$  в обидва боки щодо вертикальної осі газорозподільного механізму

Осі рокерів виготовляються зі сталі 40Х. Хімічний склад сталі 40Х наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1- Хімічний склад сталі 40Х

Хімічний склад, мас. %							
С	Si	Mn	Cr	S	P	Cu	Ni
				не більше			
0,36-0,44	0,17-0,37	0,50-0,80	0,80-1,10	0,035	0,035	0,30	0,30

Шорсткість поверхні осі рокерів після обробки Ra 0,16 мкм.

Припустима величина зменшення діаметра шийки при зношуванні становить 0,3 мм на сторону [3].

## 1.2 Встановлення видів зношування і визначення переважного виду зношування

Серед складних процесів руйнування поверхневих шарів осі рокерів можна досить чітко розрізнити молекулярне схоплювання, втомні й абразивні пошкодження. Ці види зношування тісно зв'язані між собою й залежно від температурного й силового режимів, якості мастила, властивостей матеріалів деталей і поверхневих шарів, що виникають при терті, мають різну інтенсивність [4].

Під час приробляння вал-підшипник найбільш різке підвищення зношування вала спостерігається в моменти окремих пусків установки.

В період пуску вал опирається на адсорбовану масляну плівку й частковобезпосередньо на виступи нерівностей підшипників, при цьому стійкість масляної плівки може виявитися недостатньою, у результаті чого може виникнути металевий контакт [2].

В умовах граничного змащення опір переміщенню при терті залежить від прояву міжмолекулярних сил у крапках контакту й взаємного впровадження мікронерівностей. Граничне змащення не усуває зношування поверхонь тертя навіть при невеликих навантаженнях, тому що плівка, перебуваючи між двома поверхнями, зазнає високого тиску, нерівномірно розподіленому по поверхні контакту. У крапках найбільших тисків масляна плівка розривається й відбувається молекулярна взаємодія металів. У процесі роботи пари вал-підшипник мікронерівності згладжуються, стабілізуються відповідно умови тертя й у спряженні встановлюється певний температурний режим.

Молекулярно-механічне зношування відбувається за рахунок адгезії. Адгезія полягає в "схопленні" металів вала й втулки при терті в результаті переносу металу з однієї на іншу й вириванні часток з поверхні однієї деталі й налипанні їх на сполучену, піддією високого питомого тиску. В результаті на поверхні осі рокерів можуть виникнути ризки, задири, заїдання осі рокерів у втулці рокера, що супроводжується різким ушкодженням поверхні [4].

Абразивні ушкодження можуть виникнути в результаті несвоєчасної зміни масла у двигуні, при цьому мікрочастинки абразиву й металеві стружки разом з маслом попадають в зону контакту осі рокерів і вкладиша рокера й створюють ризки на поверхні деталі.

Втомлювані явища в деталі можуть виникати в період пуску двигуна в умовах недостатнього змащення, при цьому рокера рухаються в протифазі й прагнуть скрутити вісь рокерів. При тривалому впливі такого навантаження можлива поява втомлюваних мікротріщин.

Переважаючим видом зношування є молекулярно-механічне зношування. Вплив інших видів на зниження працездатності деталі позначається незначно.

Згідно [3] підвищення довговічності деталі може бути досягнуте за рахунок:

- а) поліпшення технології виготовлення, підвищення якості поверхні;
- б) підвищення твердості поверхні, нанесення зміцнюючих шарів (зносостійке хромування, газотермічне напилювання).

Процес хромування деталей забезпечує найбільший результат щодо твердості й зносостійкості, однак внаслідок значної дорожнечі технологічного процесу зносостійкого хромування, а також його малої продуктивності (шар товщиною 0,1 мм осаджується за 8 годин електролізу) даний процес у дипломній роботі не розглядався.

Суттєво підвищити твердість і зносостійкість поверхневих шарів деталі при одночасному забезпеченні в'язко-пластичних властивостей серцевини можливо у разі застосування методів напилювання покриттів.

## 2.ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВІДНОВЛЕННЯ ОСІ РОКЕРІВ

2.1.Технологічний процес відновлення осі рокерів на базовому підприємстві

Відновлення осі рокерів дизель - генераторної установки тепловоза ТЕМ- 2 (рис.2.1) проводиться в наступній послідовності:

1. Мийка (бензин Б-70);
2. Токарська обробка (зниження на 1,0 мм по діаметру);
3. УЗ контроль на наявність тріщин;
4. Підготовка до дробострумінної обробки (укриття гумою необроблюваних поверхонь);
5. Дробострумінна обробка напилюємих поверхонь;
6. Демонтаж захисту (гуми);
7. Укриття поверхонь, що не підлягають напиленню (монтаж металевих екранів-пластин)
8. Напилення (+0,5мм від номінального розміру на діаметр) дротом 65Г (твердість 35-40 НРС);
9. Демонтаж металевого захисту;
10. Шліфування;
11. УЗ контроль.

## 2.2. Альтернативні варіанти відновлення осі рокерів

Автоматичне наплавлення під шаром флюсу. Процес відрізняється високою продуктивністю, можливістю автоматизації, гарною якістю наплавленого покриття, але має ряд недоліків. При відновленні категорично не допускається перегрів поверхні, тому що це неминуче призведе до жолоблення й деформації її по всій довжині поверхні.

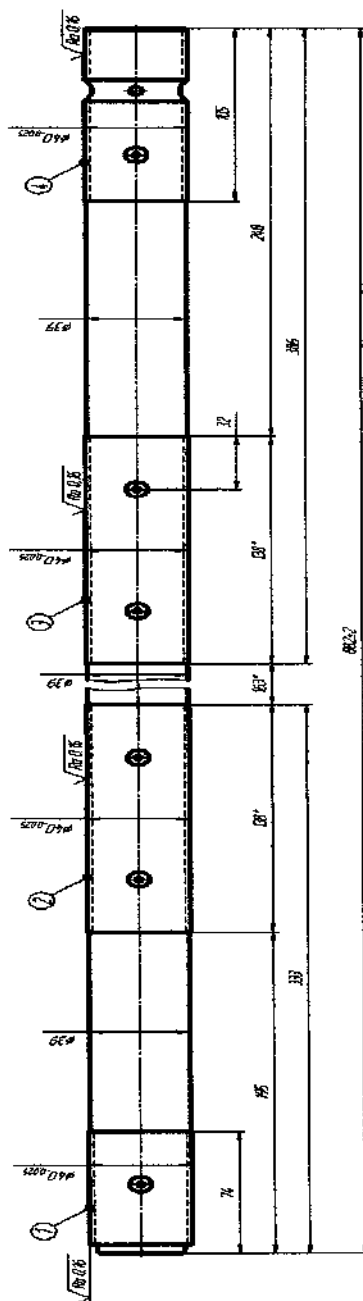


Рисунок 2.1 - Вісь рокерів двигуна тепловоза [7].

Ще один істотний недолік полягає в тому, що діаметр осі занадто малий, і утримати флюс і розплавлений метал на її поверхні досить важко.

Велике значення в рішенні проблеми відновлення осі рокерів приділяється методам термічної металізації й напиленню, що є одним з найбільш прогресивних технологічних процесів, які забезпечують отримання покриттів з високими експлуатаційними властивостями. Основними перевагами процесів газотермічного напилення й металізації, що використовуються для відновлення деталей, є простота процесу, висока продуктивність, незначне нагрівання виробу, практично відсутність його деформації. До деяких недоліків газотермічного напилення й металізації можна віднести слабку адгезію покриття з основою, трохи низькі властивості напиляних шарів у порівнянні з наплавленими, трохи більші витрати матеріалу при нанесенні покриттів на малогабаритні деталі. Для забезпечення кращого зчеплення нанесених шарів з поверхнею, її слід піддати обробці для створення шорсткості [5]. Незважаючи на це, завдяки своїм широким технологічним можливостям, легкості виконання й простоті технологічного процесу, методи термічного напилення щонайкраще підходять для відновлення осі рокерів.

Залежно від виду джерела теплової енергії, що використовується для розплавлення напилюємого матеріалу, розрізняють газовий, плазмовий, електродуговий і інші способи напилення.

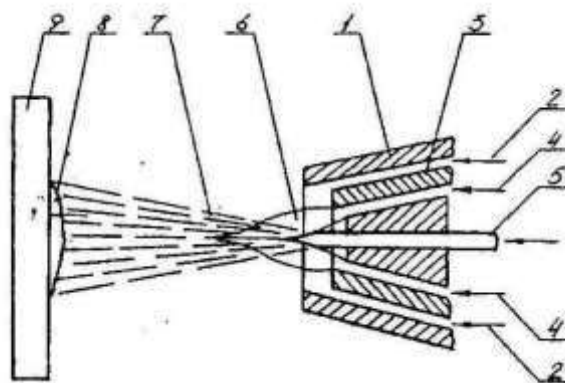
Для відновлення осі рокерів можна використовувати наступні способи: газополуменеве напилення, електродугова металізація, плазмово-дугове напилення.

#### Газополуменеве напилення

Газополуменевий метод напилення покриттів - один із самих доступних, він не вимагає складного дорогого устаткування, відрізняється від інших високим коефіцієнтом використання порошку, простотою обслуговування, невеликими габаритами й низькою вартістю обладнання, низьким рівнем шуму. Він характеризується застосуванням простих і мобільних установок,

можливістю наплення покриттів у польових умовах. Тому цей спосіб ГТНзнаходить широке використання при відновленні зношених деталей, нанесенні антикорозійних покриттів на конструкції і великогабаритні вироби.

У газополумєневих процесах нанесення покриттів використовується тепло, що виділяється при згорянні різних горючих газів у суміші з киснем або стисненим повітрям. Полум'я утворюється в результаті згорання на зрізі сопла горючої суміші, що впливає з великою швидкістю із соплових отворів пальника. Порошок подають, як правило, уздовж осі смолоскипа полум'я, всередину його. В якості горючих газів використовують ацетилен, пропан-бутан, водень, метан, природній газ і ін. Периферійні ділянки струменя, так званий смолоскип, втягують повітря або інший газ із навколишнього середовища під час руху. По мірі збільшення маси, що рухається, і зниження її швидкості перетин струменя безупинно збільшується й увесь струмінь здобуває форму конуса, що розширюється. Кут розкриття струменя приблизно дорівнює 25 градусів. Температура продуктів згорання горючих газів при використанні в якості окиснювача кисню досягає 2000...3000 градусів. Схема процесу газополумєневого наплення наведена на рис. 2.2 [7].



1 - повітряне сопло розпилювальної головки; 2 - подача повітря; 3 - газове сопло; 4 - подача горючої суміші; 5 - матеріал, що розпорошується; 6 - смолоскип полум'я; 7 - потік розплавлених часток матеріалу, що розпорошується; 8 - напленне покриття; 9 - виріб.

Рисунок 2.2 - Схема процесу газополумєневого наплення[7].

Ацетиленокисневе полум'я має найвищий питомий тепловий потік.

Температура полум'я при використанні в якості горючого газу ацетилену досягає 3200 °С, а швидкість витікання 150...160 м/с. Потрапляючи в струмінь, частки порошку розплавляються або стають високопластичними й здобувають швидкість 20...80 м/с.

По типу матеріалів, що розпорошуються, розрізняють дротове й порошкове ГПН. У газополумєневих пальниках для розпилення дроту остання подається по осі устаткування, а горюча суміш і зона горіння формуються навколо вихідного кінця дроту. Дріт безупинно подається і плавиться з поверхні й цим же гарячим газом здувається в напрямку осадження й формування покриття.

У процесах ГПН широко використовуються наступні типи порошоків: чисті метали; сплави на основі алюмінію, заліза, нікелю, кобальту й міді; самофлюсуючі тверді сплави на основі нікелю й кобальту; карбіди і їх суміші; оксидні кераміки й композити; екзотермічно реагуючі композити наприклад, нікель-алюміній, полімери і їх суміші з іншими видами порошоків.

Із дрових матеріалів для ГПН найбільше поширення отримали наступні: алюміній, сплав алюмінію й кремнію, бабіт, латунь, бронза, мідь, нікель, нержавіючі сталі, ніхром, молібден ін. Знаходять поширення гнучкі шнури на основі оксидів і самофлюсуючихся сплавів на основі нікелю або кобальту.

У якості робочих газів використовують ацетилен за ДСТ 5457-75, кисень за ДСТ 5533-79, пропан-бутан за ДСТ 20448-80, азот за ДСТ 9293-74 або стислн повітря, очищене від масла й вологи. Повітря, азот або інший стислий газ застосовують для охолодження соплової частини пальника й обдува смолоскипа полум'я. Обдув смолоскипа полум'я призводить до його "обтиску" і підвищує швидкість польоту часток порошку.

Дистанція напилення звичайно становить 0,1...0,35 м і встановлюється дослідним шляхом залежно від напилюемого матеріалу, режиму напилювання й розмірів виробу (для екзотермічно реагуючих матеріалів дистанція 0,35 м, для деталей малих діаметрів, наприклад, 0,010.,0,015 м - дистанція 0,15 м).

Швидкість відносного переміщення струменя й виробу становить 10...15 м/хв. Подача апарату повинна перебувати в межах 6...16 мм/об. При цьому нерівномірність напилення (хвилястість) не повинна перевищувати 10% від товщини покриття. Товщину шару покриття доцільно обмежувати величиною 0,25 мм. Вісь сопла пальника повинна бути спрямована до напилюємої поверхні під кутом 60-90°, у стиснутих умовах не менш 45°.

Застосування високошвидкісногогазополуменевого устаткування дозволяє знизити пористість покриттів до 0,5...1 % зі збільшенням міцності зчеплення до 70... 100 мПа.

Для газополуменевого напилення й наплавлення покриттів на зношені поверхні відновлюваних деталей застосовують матеріали: порошки ПТ-НА-01, ПТ-19Н-01, ПГ-19М-01 і ПГ-19-01 для газополуменевого напилення; порошки ПГ-10Н-01, ПГ-10Н-03, ПГ-10Н-04 для газополуменевого наплавлення; порошки ПГ-12Н-01, ПГ-12Н-02 і ПГ-12Н-03 для газополуменевого напилення з наступним оплавленням; порошок ПТ-НА-01 для використання як підшару. Для газополуменевого напилення порошків нікелевих самофлюсуючихся сплавів, оксиду алюмінію, ніхрому й інших матеріалів з температурою плавлення до 2000 градусів застосовують серійну установку УПН-8. Для нанесення покриттів з порошків цинку, термопластів і інших матеріалів з температурою плавлення не більш 800 градусів застосовують установку УГПЛ.

Перевагоюгазополуменевого напилення покриттів є можливість одержання покриття з більшості матеріалів, що плавляться при температурі до 3000°C без розкладання; можливість гнучкого регулювання газового режиму роботи пальника дозволяє управляти хімічним складом середовища (відбудовна, окисна, нейтральна) і енергетичними характеристиками полум'я й напиляємих часток; висока продуктивність процесу (до 8-10 кг/год порошків самофлюсуючихся сплавів) і високий коефіцієнт використання матеріалу (більш 95%); відносно низький рівень шуму й випромінювань, що дозволяє працювати оператору без додаткових засобів захисту; можливість нанесення

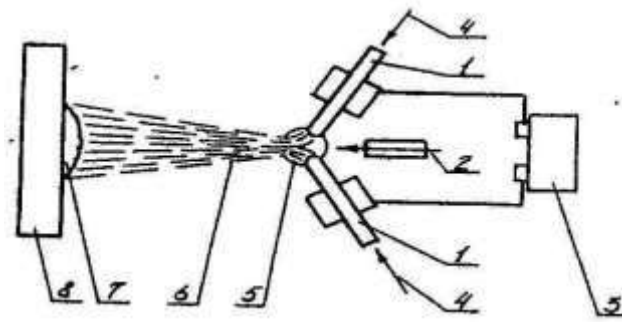
покриттів у будь-якому просторовому положенні; легкість і простота обслуговування, що не вимагає високої кваліфікації оператора; гнучкість і мобільність, що дозволяє робити напилення на місці, без демонтажу виробів; легкість введення в існуючі технологічні лінії, можливість автоматизації й монтування в автоматичну лінію з невеликими витратами; низька вартість устаткування.

Основними недоліками газопламенного способу напилення є: недостатній рівень міцності зчеплення покриттів з основою (5...30 МПа при випробуванні на нормальній відрив); наявність пористості (звичайно в межах 5...25 %), яка перешкоджає застосуванню покриттів у корозійних середовищах без додаткової обробки; невисокий коефіцієнт використання енергії газополуменевого струменя на нагрівання порошкового матеріалу (3...12 %); обмеження напилюємих матеріалів по температурі плавлення (3000°C).

#### Електродугова металізація

При електродуговій металізації (ЕДМ) утворення потоку напилюємих часток відбувається за рахунок плавлення матеріалу, що розпорошується, високоамперною дугою і його диспергування швидкісним потоком газу.

Розпилюємих матеріал у вигляді дроту діаметром 1,0...5,0 мм подається в зону горіння дуги механізмом подачі. Напряга від джерела живлення підводиться до контактної обладнання. Між перехресними електродами розташовується сопло, призначене для створення розпилюємого потоку газу. Газовий струмінь зриває розплавлений метал з торців дроту, диспергуємого й утворює потік напилюємих часток (гетерогенний струмінь). Особливістю електродугової металізації є напилювання тільки металевих матеріалів, що володіють електричною провідністю. Застосовуючи дріт з різних матеріалів, наносять композиційні покриття. Схема електродугового напилення зображена на рис. 2.3 [6].



1 - дроти, що розпоршуюються; 2 - подача повітря; 3 - джерело жвлення дуги; 4 - подача дроту; 5 - дуга; 6 - потік металізованих часток; 7 - покриття; 8 - виріб.

Рисунок 2.3 - Схема електродугового напилення[6].

Перевагами електродугової металізації є висока продуктивність (до 50кг/год), найбільш високий коефіцієнт використання енергії (0,7...0,85), одержання якісних покриттів з достатньою адгезійною і когезійною міцністю й низькою пористістю.

До недоліків відноситься інтенсивна взаємодія напиляємих часток з активною газовою фазою й можливість нанесення покриттів тільки із дротів. Велика кількість теплоти, що виділяється при горінні електричної дуги, призводить до значного вигорання легуючих елементів, що входять у напилюємий сплав. Наприклад, вміст вуглецю в матеріалі покриття знижується на 40...60%, а кремнію й марганцю на 10...15%. Тому для напилення слід застосовувати дріт, що містить підвищену кількість легуючих елементів. Ентальпія часток легко регулюється зміною питомої потужності дуги, звичайно в межах 2000... 10000 кДж/кг. Напругу дуги зазвичай не регулюють. Необхідну величину потужності встановлюють за допомогою зміни струму дуги. Зазвичай використовують потужності 5...20 кВт, силу струму 80...600 А и напругу 18...35 В. Тиск розпилюємого газу (звичайно повітря) дорівнює 0,35...0,55 мПа, а витрата його становить 60...150 м<sup>3</sup>/год. Швидкість подачі дроту 0,05...0,35 м/с. Кут зустрічі потоку з поверхнею виробу становить 65...90, а іноді знижується до 45°. Дистанція напилювання становить 60... 150 мм. Швидкість переміщення плями напилювання

30...50м/хв. Діаметр часток при розпиленні вуглецевих сталей становить 10...100мкм. Швидкість часток досягає 50... 150 м/с.

Електродугова металізація є найбільш економічним і продуктивним способом ГТН, чим і пояснюється підвищений інтерес до її розвитку в останні роки. Коефіцієнт корисного використання енергії при ЕДМ досягає 60...70% (замість 5...8% при газополуменевій дротовій металізації). Питома витрата енергії при використанні стаціонарних дугових металізаторів (сила струму до 1200 А) становить 0,3...1,3 кВт-год/кг. Товщина напилюємих покриттів може досягати 20 мм.

#### Плазмово-дугове напилення

Плазмове напилення є найбільш широко й масштабно застосовуваним способом отримання газотермічних покриттів. Процеси плазмового напилення характеризуються більшою різноманітністю устаткування, областей його використання, різновидів і марок напилюємих матеріалів, умов напилення, дуже великою номенклатурою отриманих покриттів як по складу й структурі, так і по службовому призначенню. Плазмово-дуговий спосіб нанесення покриттів полягає у формуванні на поверхні деталі шару із часток порошку, що володіють певним запасом теплової й кінетичної енергії, отриманої в результаті взаємодії зі струменем дугової плазми. Плазмовий струмінь одержують шляхом вдування в електричну дугу, збуджену між електродами, плазмообразуючого газу і його газодинамічного обтиснення в каналі охолоджуваного сопла. Плазмовий струмінь являє собою потік речовини, що полягає з електронів, іонів і нейтральних атомів плазмоутворюючого газу. По спеціальному каналу в плазмовий струмінь вдується напилюємих порошок, частки якого, нагріваючись, одночасно набувають високої швидкості. Температура плазмового струменя досягає 5000...5500 °С, а швидкість витікання 1000... 1500 м/с. У плазмовому струмені частки порошку розплавляються й набувають швидкості 50...200 м/с. Швидкість польоту часток порошку залежить від їхнього розміру, щільності матеріалу, сили струму дуги, природи й витрат плазмообразуючого газу.

Плазмове напилення в інертних середовищах засноване на використанні інертних газів (аргон, гелій і їх суміші з воднем і азотом) і забезпечує високу якість покриттів [7].

Плазмове напилення з розпиленням дроту проводять нейтральним дротом або дротом-анодом. Звичайно застосовують радіальну подачу дроту на зріз сопла. Нагрівання, плавлення й розпилення нейтрального дроту здійснює плазмовий струмінь. У випадку дроту-аноду на неї подається позитивний потенціал джерела живлення дуги. Нагрівання й плавлення дроту відбувається, в основному, за рахунок тепла, що виділяється в анодній плямі, а розпилення здійснює плазмовий струмінь.

В якості плазмоутворюючих газів можуть бути використані аргон за ДСТ 10157-79, азот високої чистоти за ДСТ 9293-74, водень за ДСТ 3022-80 і гелій по ТУ 51-689-75. Вибір газу залежить від технічної характеристики плазмової установки, що використовується для нанесення покриття, складу й дисперсності порошку, вимог до якості покриття. Процес плазмово-дугового нанесення покриттів здійснюють у такий спосіб. Плазматрон закріплюють в обладнання для напилення й установлюють на заданій відстані від деталі (не ближче 30...50 мм від краю напилюємої поверхні). Дистанція напилення, обумовлена досвідченим шляхом, залежить від порошку, режиму напилення й конструктивних особливостей оброблюваного виробу. Звичайно вона становить 100... 150 мм. Пристосування для напилення повинне забезпечувати плавне переміщення напилюемого матеріалу відносно поверхні виробу для одержання рівномірної товщини покриття. Швидкість переміщення струменя відносно виробу 3...15 м/хв. Окружна швидкість обертання виробу 10...15 м/хв. Вісь сопла плазматрона повинна бути спрямована до напилюваної поверхні під кутом 60...90°, у стислих умовах - не менше 45°.

До складу установки для плазмово-дугового нанесення покриттів входять: плазматрон; джерело живлення постійного струму (випрямляч із регулятором сили струму); пульт керування з контрольно-вимірювальними й регулюючими приладами, устаткуванням для запалювання дуги; порошковий

живильник (або система подачі дроту); система газопостачання й водяного охолодження; система автоматичного блокування у випадку аварійних ситуацій (падіння тиску води, плазмообразуючого газу, коротке замикання і т.п.).

До складу устаткування виробничої ділянки крім установки плазмового напилення входять: стійка з газовими балонами, робоча шафа для напилення, сушильна шафа, мийні машини, шафа для струйно-абразивної обробки з пістолетом, обертачі й інші маніпулятори для установки оброблюваних виробів та ін. Основне завдання при виборі режимів плазмового напилення-розплавлення й доставка часток напилюємого матеріалу на поверхню виробу в розплавленому стані. Режими плазмового напилення оцінюють по ступеню нагрівання часток і їх швидкості. Частки порошку найбільше ефективно нагріваються у водневій і водне - вмістній плазмі. Однак стійкість електродів плазмотрона при роботі на водні низка, тому водень звичайно застосовують у вигляді добавок (5-10%) до основного плазмообразуючого газу - аргону або азоту, що збільшує напругу дуги. При напиленні низько теплопровідних матеріалів ( $Al_2O_3$  і ін.) необхідно збільшувати час перебування часток у високотемпературній зоні струменя. Звичайне нанесення оксидів ведуть при дистанції напилення (відстань між плазмотроном і напилюємою поверхнею) 180...200 мм. При введенні порошку в стовп дугового розряду й практично на одному аргоні дистанція напилення скорочується до 80... 120 мм. Внаслідок низької напруги дуги в аргоні її потужність при роботі на серійних плазмотронах мала й навіть при максимальній силі струму в 1,5...2 рази нижче, ніж при роботі на двоухатомних газах.

Перевагами способу є:

- 1) можливість отримання покриттів з більшості матеріалів, що плавляться без розкладання, без обмеження по температурі плавлення;
- 2) можливість використання для утворення струменя дугової плазми газів різного роду: інертних (аргону, гелію), відбудовних (водню) і окисних (повітря, азоту), а також аміаку, природнього газу, водяної пари, що в

комбінації із застосуванням камер із захисним середовищем (вакуумом) або захисних насадок дозволяє регулювати властивості середовища, у якому нагріваються й рухаються частки порошку;

3) можливість гнучкого регулювання електричного й газового режимів роботи плазматрону, у тому числі в процесі нанесення покриття, що дозволяє управляти енергетичними характеристиками напилюємих часток і умовами формування покриття;

4) досить гарна продуктивність процесу: 3...20 кг/год для плазматронів з електричною потужністю 30...40 кВт і 50...80 кг/год для плазматронів потужністю 150...200 кВт;

5) досить високий коефіцієнт використання порошку (0,5...0,7), що залежить в основному від виду напилюємого матеріалу.

Недоліками плазмово-дугового способу нанесення покриттів у відкритій атмосфері є:

- 1) висока пористість отриманих покриттів (2...15 %);
- 2) невисокий коефіцієнт корисного використання енергії плазмового струменя на нагрівання порошку (2...8 %);
- 3) високий рівень шуму (110... 130 дБ) і випромінювання;
- 4) відносно висока вартість устаткування і його стаціонарність.

Вибір способу відновлення деталей газотермічними методами.

По питомих витратах на обладнання способи напилення можна розташувати в наступній послідовності: газополуменева - електро-дугова металізація - плазмове напилення. По питомих витратах на газу способи нанесення покриттів розташовуються в такий спосіб: електродугова металізація –газополуменеве напилення - плазмове напилення. Витрати на зарплату відбивають їхню продуктивність: електродугова металізація - газополуменеве напилення - плазмове напилення. По сумарних питомих витратах на напилення 1 кг покриття способи напилення розташовуються в такий спосіб: електродугова металізація - газополуменеве напилення - плазмове напилення.

Виходячи з аналізу переваг і недоліків способів напилення покриттів, у даному дипломному проекті обраний спосіб відновлення осі рокерів - плазмова металізація.

Плазмова металізація може здійснюватися із застосуванням в якості матеріалів порошків або дротів.

При розпиленні порошку важко добитися повного й рівномірного плавлення всього матеріалу, незважаючи на високу температуру плазмового струменя. Порошки, навідміну від дротів, впитують вологу. При тривалому зберіганні вони втрачають свою сипкість. Це ускладнює їх подачу в зону розігріву й плавлення, викликає порушення процесу напилення й неякісне формування покриття.

Застосування дрових матеріалів більш технологічно, дозволяє одержувати якісні металізаційні шари за рахунок підвищення стабільності подачі й повного розплавлення вихідного матеріалу. Спосіб досить легко піддається механізації й автоматизації, що дає можливість знизити частку ручної праці й підвищити продуктивність процесу. Крім того, при розпиленні дроту температура часток на відстані 100-150 мм від напилюємої поверхні близька до температури її плавлення. Це підвищує контактну температуру й, відповідно, міцність зчеплення.

У промисловості застосовують, зазвичай, два способи плазмового напилення: плазмово-струминний і плазмово-дуговий. При плазмово-струминному використовують плазмові пальники, в яких плазмовий струмінь утворюється шляхом продування плазмообразуючого газу через стовп дугового розряду між вольфрамовим стрижнем-катодом і стінкою каналу мідного водоохолоджуючого аноду, що формує плазмовий струмінь (рис. 2.4. а,б) [17].

Основною відмінністю плазмово-дугового способу металізації (рис. 2.4.в) [7] є те, що анодом служить дріт, що розпорошується, або пруток, а плазмовий струмінь збігається зі стовпом електричної дуги, що горить між катодом і дротом, що розпорошується.

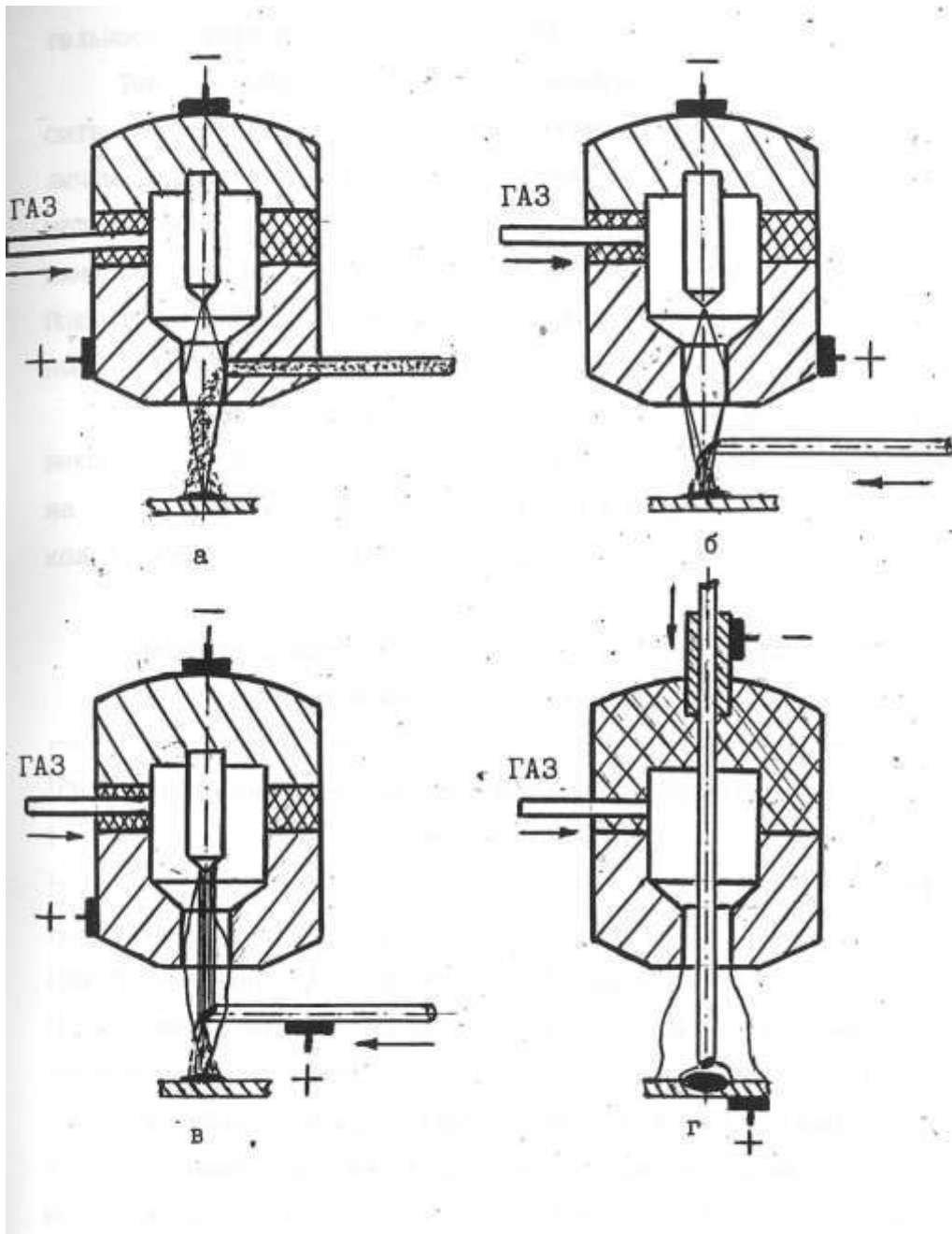


Рисунок 2.4. Схеми деяких способів плазмового наплення (а,б,в) і наплення (г) [7].

Ефективний ККД процесу в цьому випадку підвищується з 2-3% до 10%, що дозволяє значно підвищити продуктивність процесу металізації.

Враховуючи переваги й недоліки розглянутих способів термічної металізації, мабуть, що для нанесення покриттів високої якості, призначених для відновлення циліндричних деталей, доцільно застосовувати метод плазмово-дугового наплення струмоведучим дротом.

### 2.3.Розробка технологічного процесу відновлення осі рокерів

Технологічний процес відновлення осі рокерів складається з наступних послідовних операцій (рис.2.5)[7].

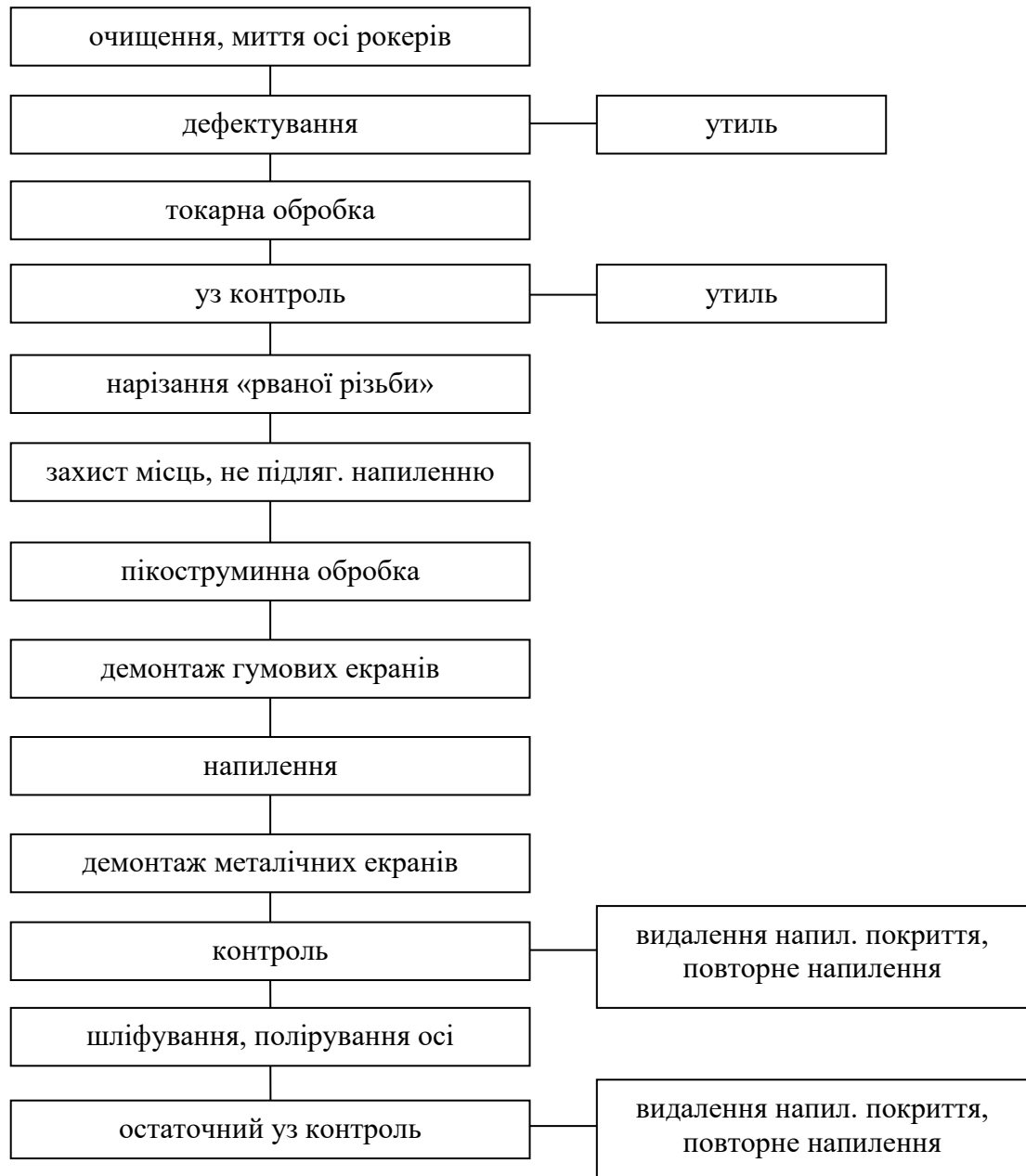


Рисунок 2.5 - Схема технологічного процесу відновлення осі рокерів[7].

- а) підготовка поверхні під металізацію;
- б) промивання, видалення масла, бруду й інших забруднень;

в) попередній контроль здійснюється на предмет виявлення тріщин, сколів поверхні, підгорілості матеріалу осі рокерів. При виявленні зазначених дефектів вісь вибраковується й відновленню не підлягає;

г) проточка на токарському верстаті; знімається шар металу завтовшки 0,8 мм на діаметр для додання правильної геометричної форми напилюємим поверхням;

г) УЗ контроль проточеної деталі дозволяє виявити можливі тріщини, розповсюджені вглиб осі рокерів;

д) оскільки товщина напиляного шару невелика, то дуже важливе значення набуває попередня механічна обробка напилюємої поверхні. Найкращим способом підготовки деталей, що забезпечують найбільші показники адгезії покриття й основи є нарізання «рваного різьблення». При нарізанні рваного різьблення використовують звичайний різьбовий різець із кутом при вершині 55-60°. Вершина кута повинна мати радіус закруглення 0,3-0,5мм. Кут різання 80°. Передній кут різця дорівнює нулю або негативний (2-5°). Різець встановлюють у різцетримачі з вильотом 100-150 мм. Для одержання необхідної шорсткості ріжучу крайку різця зміщають нижче осі деталі. Вібрація різця викликає дроблення металу на оброблюваній поверхні, що призводить до шорсткості. При нарізанні рваного різьблення діаметр деталі трохи збільшується через видавлювання металу: при глибині рваного різьблення 0,3 мм і кроці 0,6-0,7 - на 0,2-0,3 мм.

е) захист місць, що не підлягають напиленню, гумовими екранами;

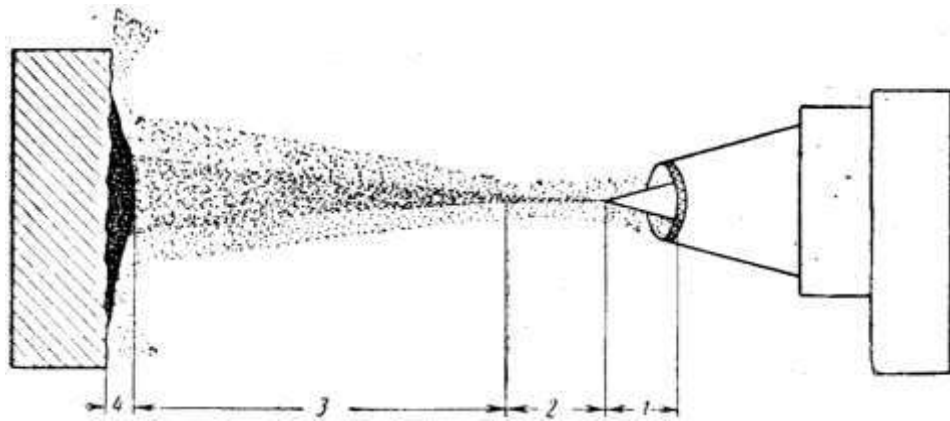
е) піскоструминна обробка. Оскільки нарізання "рваного різьблення" значно знижує втомлюючу міцність деталі, наступна піскоструминна обробка за рахунок часткового згладжування нерівностей рельєфу поверхні деталі усуває цей недолік. Обробка ведеться з використанням кварцового піску при часі експозиції 1 хв на 1 см<sup>2</sup> оброблюваної поверхні;

ж) демонтаж гумових екранів і постановка металевих екранів. Напилювати покриття треба одразу після дробеструменної обробки, тому що

вже через 2 год її активність зменшується через збільшення на обробленій поверхні оксидної плівки;

з) нанесення покриття. Після пуску води, включення джерела струму з балона через пульт керування в плазмотрон подається плазмообразуючий газ. Потім кнопкою "Пуск" пульта керування в роботу включається осцилятор або блок поджига, і між вольфрамовим стрижнем- катодом і мідним анодом плазмотрона виникає плазмовий струмінь, у який подається порошковий дріт. Дріт нагрівається в плазмовому струмені до оплавлення або розплавлення й направляється з певною швидкістю на поверхню деталі, ударяючись об яку деформуються, розтікаються, кристалізуються, утворюючи шаруваті покриття.

Процес металізації протікає в чотири фази (рис. 2.6)[8]:



1 - розплавлення часток; 2 - відрив і розплавлення часток; 3 - поле часток; 4- удар часток об напилюєму поверхню й з'єднання з нею

Рисунок 2.6 - Схема процесу напилення [8].

- 1) розплавлювання металу, що розпорошується;
- 2) відрив і розпилення розплавленого металу;
- 3) політ часток металу, що розпорошується;
- 4) удар часток об напилюєму поверхню, з'єднання з нею й з'єднання часток між собою.

В якості матеріалу, що розпорошується, використовується порошковий дріт ПП-100X15M2Г2Р діаметром 2,2 мм, що дозволяє одержати напилений шар твердістю 57-64 HRC без тріщин. Згідно [4], одним з методів підвищення

зносостійкості пари тертя вал-підшипник є максимально можливе збільшення твердості поверхні вала. Цей матеріал при оптимальній комбінації твердості напиленої поверхні й оброблюваності значно перевершує дріт 65Г, що застосовується на базовому підприємстві.

Критерієм, що визначає практичну можливість застосування того або іншого напиленого шару, є міцність його зчеплення з основним металом [8].

Залежно від властивостей напилених металевих часток, нагрівання основи, а також способу й режиму напилення частки можуть досягати підложки в рідкому, пластичному або твердому стані, тобто міцність зчеплення визначається станом частки й напилюємої поверхні в кожному конкретний момент. Істотно впливає на формування й міцність зчеплення покриттів температура поверхні деталі, що обробляється. Крім підготовки поверхні, на якість формування покриття й продуктивність процесу напилення впливають також хімічний склад дроту, витрати, умови доставки до підложки, склад газового середовища, кількість теплоти, яке передається дроту і деталі.

Міцність зчеплення часток з підложкою залежить від температури, що встановилася між ними, і часу кристалізації. Хоча теплота розплавлених часток, що транспортуються на підложку, відіграє важливу роль у змочуванні й активації останньої, але тільки їх теплоти недостатньо для хімічної взаємодії. Підвищення температури за рахунок підігріву підложки- важливий фактор, що підсилює взаємодію між контактуючими фазами.

Зчеплення металевих часток з основою відбувається за рахунок механічного зчеплення, можливої адгезії, сил усадки й часткового приварювання. З'єднання напиленого шару з основою відбувається за рахунок механічного зчеплення часток, що розпорошуються, з нерівностями шорсткуватої й збільшеної поверхні оброблюваного виробу. Якщо мова йде про свіжеприготовлену поверхню, яка ще не покрилася пилом і окислами, то вступають у дію також і сили адгезії. На зчеплення впливають і усадочні напруги. Під дією стискаючих напруг  $\sigma_s$  у шарі можуть виникнути напруги  $\sigma_A$  (рисунок 2.7) [7], спрямовані до основного металу, причому

результуюча сила стиску буде діяти, наприклад, на бокові сторони профілю нарізки й цим викликати напружений стан напилюємого виробу.

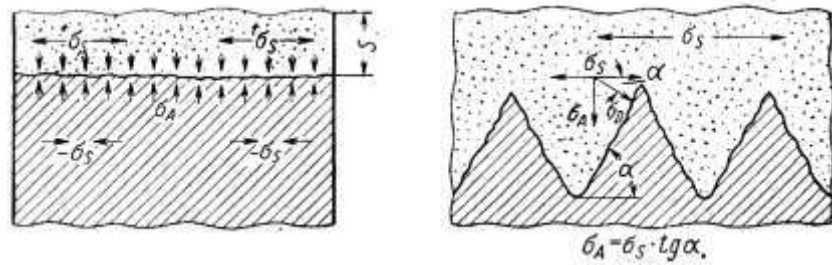
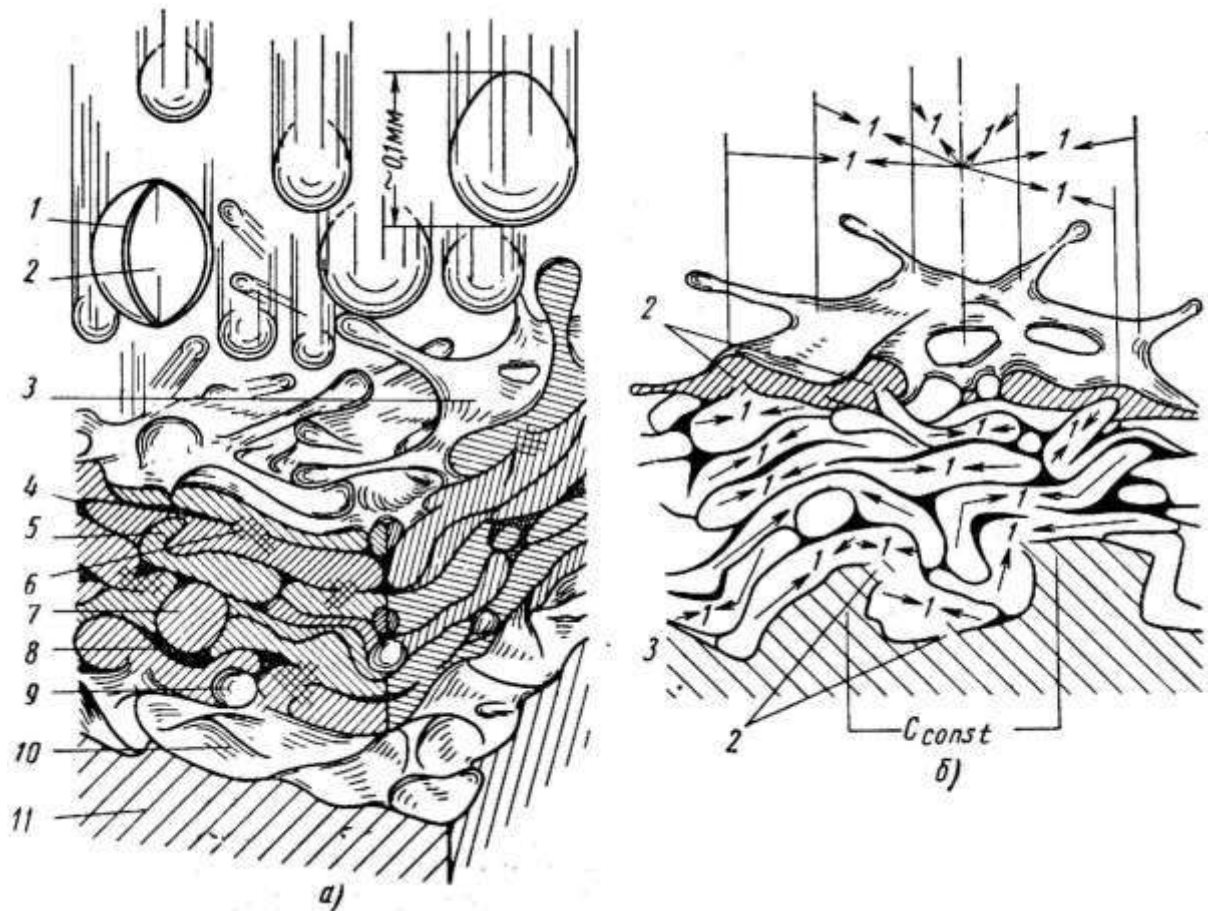


Рисунок 2.7 - Виникнення напруг зчеплення [7].

При нанесенні товстих шарів, особливо на площині або на внутрішній поверхні виробів, виникає небезпека, що напруги усадки будуть більше, ніж сили зчеплення, і це може викликати відрив напиленого шару.

Нарисунку 2.8[7] схематично показаний момент удару металевої краплі й вже напиленого шару. На схемі цього малюнка видно з'єднання шару з основою й усадка часток.



а - удар крапель металу об поверхню й вже утворений напиляний шар (перетин у двох площинах): 1 - розріз шару оксидів на краплі металу; 2 - рідка внутрішня частина металевої краплі; 3 - удар краплі металу, часткове розбризкування; 4 - шар окислів, що утворювався між двома краплями, що розташувалися поруч; 5 - заклинювання часток; 6 - часткове зварювання часток, що одночасно й поруч зіштовхнулися з поверхнею; 7 - часткове зварювання вже остиглих перед ударом часток металу; 8 - мікропорожнечі, що утворювалися через неповне заповнення поглиблень на поверхні; 9 - мікропори, що виникли через газові включення; 10 - поверхня основного металу з нанесеною шорсткістю; 11 - основний метал; б - зв'язок напилюємого шару з основним металом - виникаючі сили стиску: 1 - напруга стиску; 2 - часткове внутрішнє з'єднання напилюємого шару з основним металом і приварювання часток друг до друга; 3 - основний метал - практично без напруг стиску, тому що є тільки незначний підігрів.

Рисунок 2.8 - Схема утвору металізаційного шару [7].

З'єднання часток між собою засноване головним чином на частковій приварці або спіканні (когезії), механічному зчепленні, зв'язку за допомогою тонкого шару окислів (подібно пайці) і на силах усадки.

Як видно з рисунка 2.8, відбувається часткове зварювання часток, що вдаряються об поверхню одночасно. Навіть якщо частки першого шару вже остудилися, може відбутися їх щільне з'єднання із частками наступного шару за рахунок тепловіддачі й кінетичної енергії часток, що вдаряються.

На рисунку 2.8 ясно видно механічне зчеплення окремих часток. Через шорсткість напилюємої поверхні частки розташовуються на ній трохи хвилеподібно відносно одна одної, що дозволяє їм зчіплюватися між собою.

Шари оксидів, що перебувають між металевими частками, є як би припоєм, коли їх крапка плавлення нижче крапки плавлення металу, що розпорошується. Так відбувається, наприклад, у сталі, що містить менш 0,5% вуглецю. У результаті усадки окремих часток, які з'єднані з іншими частками,

під дією описаних вище факторів підвищується міцність шару. Нанесене покриття складається із металізаційного шару із супутніми шарами окислів і окисних включень, що утворювалися в результаті окиснення металу при розплавленні, розпиленні й польоті. Подальшою відмітною рисою напиленого шару є мікропористість. Вона може бути викликана незаповненими порожнечами (раковинами), що утворювалися при формуванні шару з окремих часток, особливо коли останні вже охололи.

Наступна причина - швидке охолодження часток зовні (явище кристалізації), причому в центрі окремої частки може утворюватися раковина. Виникаюча в такий спосіб пористість становить тільки дуже невеликий відсоток від загальної пористості. Значно більший відсоток пористості покриття становлять пори, що виникли в оксидах. Така пористість в оксидах, цілком ймовірно, призводить до газових включень. Зазвичай мікропористість становить 4 - 20 %.

У результаті металізації вісь здобуває свої номінальні розміри. Працездатність нанесених покриттів є достатньою, щоб покриття без руйнування витримували звичайні для деталі статичні навантаження на розтягнення, вигин, крутіння, а також знакозмінні циклічні навантаження. Під дією циклічних навантажень руйнування покриттів відбувається, як правило, лише після того, як буде перевищена межа пружних деформацій основи. Важливим фактором, що впливає на якість покриттів, є їх товщина. Зі збільшенням товщини покриттів міцність їх зчеплення з основою зменшується внаслідок збільшення внутрішніх напружень. Тому, при напиленні слід призначати мінімальну товщину, що допускається умовами роботи виробу, у нашому випадку вибирається товщина нанесеного шару дорівнена 1,5мм, з урахуванням припуску на наступну механічну обробку.

а) демонтаж металевих екранів і наступний контроль напиленого покриття. У випадку виявлення таких дефектів, як: відшаровування покриття, спучування, підгорілий шар покриття, розтріскування покриття вісь

відправляється на видалення напиленого шару й наступне повторне напилення;

- б) механічна обробка покриття;
- в) шліфування поверхні;
- г) полірування осі до одержання чистоти поверхні Ra 0,16. Шорсткість поверхні контролюється з використанням зразків-еталонів.

#### 2.4. Вибір параметрів режиму плазмового напилення осі рокерів

До основних параметрів режиму плазменно-дугової металізації рекомендують відносити [ 6]:

- а) струм плазмової дуги;
- б) витрата плазмообразуючого газу;
- в) витрата транспортуючого газу;
- г) відстань донапилюємої поверхні.

Відомо [6], що струм дуги впливає на формування металізаційного покриття й міцність його зчеплення з основою. Зі збільшенням струму плазмової дуги до певних меж якість покриття поліпшується. Це пояснюється тим, що при збільшенні струму росте потужність плазмової дуги матеріал, що підлягає розплавленню, перегрівається, при цьому збільшується кількість металізаційних часток, які досягають оброблюваної поверхні в розплавленому стані. Це сприяє інтенсифікації фізико-хімічних процесів у зоні контакту й відповідно, збільшенню міцності зчеплення. Крім цього, висока рідкотекучість крапель металу сприяє утворенню покриттів з меншою пористістю. При подальшому збільшенні струму відбувається значний випар матеріалу, який розпорошується, і зменшення кількості металу, що осаджується.

Витрата плазмоутворюючого газу, як і струм дуги значно впливає на якість металізаційного шару. Відомо [7], що від цього параметру суттєво залежить ентальпія плазмового потоку. Теплопередача від дуги до потоку газу відбувається в період їх спільного знаходження в каналі сопла плазмотрона. Зі збільшенням витрати газу зменшується площа поверхні розряду, внаслідок зменшення діаметра провідного стовпа, що, у свою чергу, знижує інтенсивність теплопередачі до потоку газу.

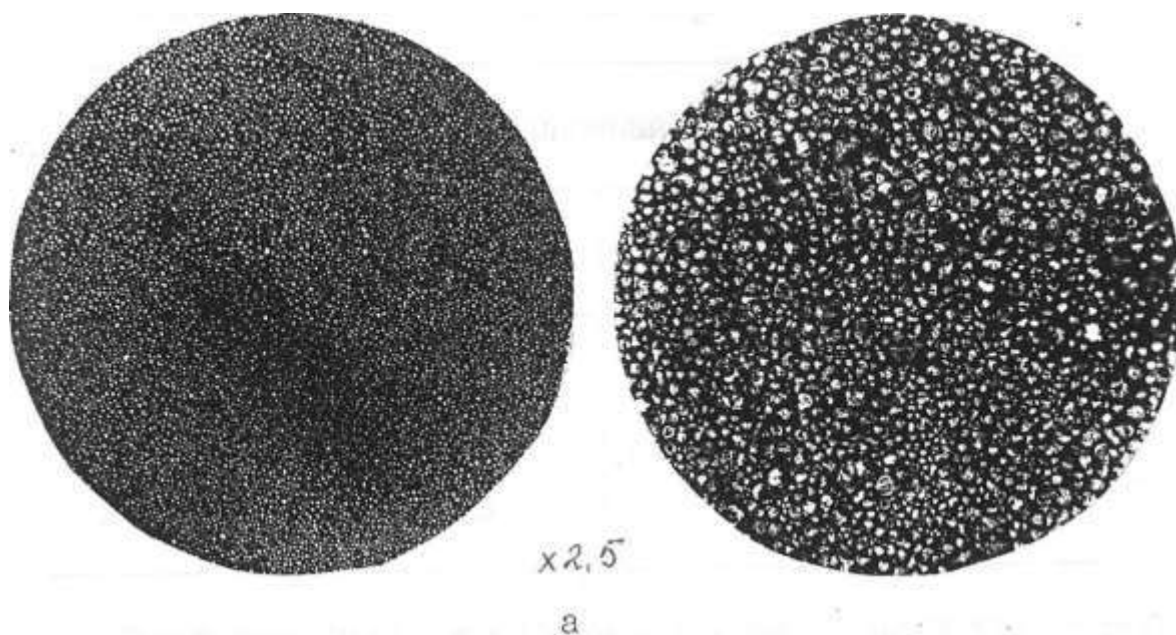
Авторами роботи [8] встановлено, що дистанція напилення є важливим параметром технологічного процесу напилення. Відзначається, що вона впливає на продуктивність процесу, температуру напиляємих часток, їх швидкість, окисленість, адгезійний і когезійний зв'язок. Зазначені фактори, в остаточному підсумку, впливають на якість і будову металізаційних покриттів. Відзначається, що при малих дистанціях напилення 50-80 мм виникає небезпека перегріву деталі, появи температурних деформацій і відшарування покриття. Авторами роботи [8] встановлено, що зі збільшенням відстані від зрізу сопла зменшується температура плазми. Показано, що при збільшенні дистанції напилення інтенсифікується процес охолодження й затвердіння часток, збільшення довжини польоту краплі призводить до зниження їх швидкості, невідповідності міцності зчеплення. Це викликає збільшення пористості в покриттях і зниження когезійної міцності.

#### 2.4.1. Вплив сили струму плазмового струменя на властивості напилених покриттів

Сила струму, а відповідно й потужність плазмового струменя, суттєво впливають на якість покриттів і коефіцієнт використання матеріалу. Так, при збільшенні сили струму від 120 до 180 А міцність зчеплення зростає від 5 мПа до 14 мПа, що можна пояснити поліпшенням термодинамічних характеристик

плазмового струменя й підвищенням середньомасової температури й пластичних властивостей напиляємих часток. При цьому збільшується деформація напиляємих часток у момент удару їх об оброблювану поверхню і, як наслідок, зростає міцність зчеплення між напиляємим матеріалом і підложкою. Разом із цим, трохи знижується коефіцієнт використання матеріалу за рахунок збільшення розбризкування. Підвищення сили струму плазмової дуги до меж (180-200)А призводить до зменшення розміру напиляємих часток (табл.2.1.), формуванню щільного покриття з мелкодисперсної фракції (пористість становить 6%).

Дослідження мікроструктури (рис. 2.9.)[7], показує, що між окремими частками й металізаційними шарами спостерігається невелика кількість оксидів. При подальшому збільшенні сили струму (від 180А до 220А) міцність зчеплення зростає незначно (на 2 мПа).



а) крапля

I=180A



б) структура покриття

I=240A

Рисунок- 2.9. Зовнішній вигляд крапля і структура покриття (x100)напиленого дротом діаметром 2,2 мм при різних значеннях сили струму плазмової дуги ( $V_{п. пр.} = 0,093$  м/с,  $Q_{ар} = 0,5$  мПа,  $L = 150$  мм.) [7].

Таблиця 2.1 - Вплив сили струму плазмової дуги на властивості  
напиляних покриттів

Сила струму, А	Міцність зчеплення, мПа	Пористість покриття, %	Коефіцієнт використання матеріалу, %
120	5	14	75
140	8	13	69
160	12	10	67
180	14	8	67
200	16	6	65
220	16	6	62
240	14	8	60

Це, імовірно, можна пояснити тим, що зміна досліджуваного параметру в зазначених межах істотного впливу на характер нагрівання, плавлення, переносу розпиляємих часток і формування покриття не впливає.

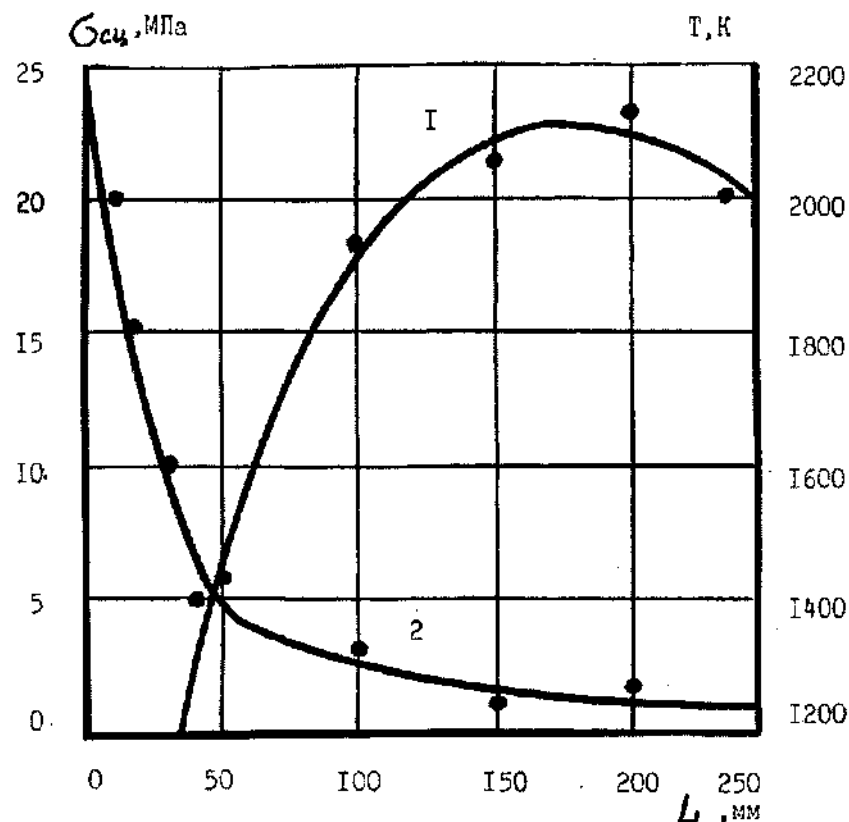
Підвищення сили струму до 240А и вище сприяє інтенсивному розбризуванню дроту, що розпорошується, і зменшенню коефіцієнта використання матеріалу, що призводить до зниження продуктивності процесу. Покриття при цьому формується із часток більшої фракції і має "пухку" будова з підвищеним вмістом оксидів. Дослідження показали, що напилення дротом діаметром 2,2 мм при силі струму плазмової дуги 220А и вище при зазначених значеннях інших параметрів робити недоцільно.

#### 2.4.2. Дистанція напилення

У роботі [7] дистанцію напилення змінювали від 50 до 250 мм. Сила струму, витрата плазмообразуючого газу, тиск повітря, швидкість подачі дроту залишалися постійними й становили відповідно:  $I_{ст}=180А$ ,  $Q_{ар}=0,5л/хв$ ,  $P_v=0,5мПа$ ,  $V_{п.др.}=0,099 м/с$ . Залежність міцності зчеплення від дистанції напилення представлена на рис.2.11. Низька міцність зчеплення (5-15) мПа на відстані <100 мм пояснюється тим, що внаслідок великої подачі тепла від

плазмового струменя й металізаційного потоку в покритті накопичуються значні температурні напруги, що викликають адгезійної міцності, деформацію й відшарування покриття.

При збільшенні відстані від 100 мм до 200 мм частки встигають розігнатися до більш високої швидкості, при цьому їх температура знижується незначно (40-60°C), окиснення підложки і її перегрів плазмовим струменем зменшується, що сприяє росту (до 23 МПа) міцності зчеплення (рис.2.10.)[7]. При досягненні раціонального співвідношення між швидкістю і температурою напиляємих часток (для розглянутого випадку це спостерігається при дистанціях напилення близько 150 мм) міцність зчеплення напиляємого матеріалу з підложкою є максимальною, відбувається щільне й компактне формування покриття.



1- міцність зчеплення;

2- температура часток.

Рисунок 2.10 - Залежність міцності зчеплення і температури металізаційних часток від дистанції напилення[7].

При подальшому збільшенні дистанції напилення ( $L > 200\text{мм}$ ) адгезія покриття до підложки зменшується до 20 мПа і нижче. Це пояснюється збільшенням часу польоту й зміною середньомасової кінетичної й теплової енергії часток. Уповільнені частки досягають напилюємої поверхні в застиглому стані, а покриття формується, в основному, за рахунок механічного зачеплення їх між собою й у мікронерівностях підложки. Це призводить до зниження адгезійної міцності напилюемого матеріалу з підвищеним вмістом пор і оксидів.

Таким чином, напилення покриттів при дистанціях напилення  $L < 100\text{мм}$  і  $L > 200\text{ мм}$  недоцільно.

#### 2.4.3. Тиск повітря

Як видно з рисунка 2.11.[7], зі збільшенням тиску повітря (до 0,6 мПа) міцність зчеплення зростає до 18 мПа, а потім зменшується до 15 мПа при  $P_v = 0,8\text{мПа}$ .

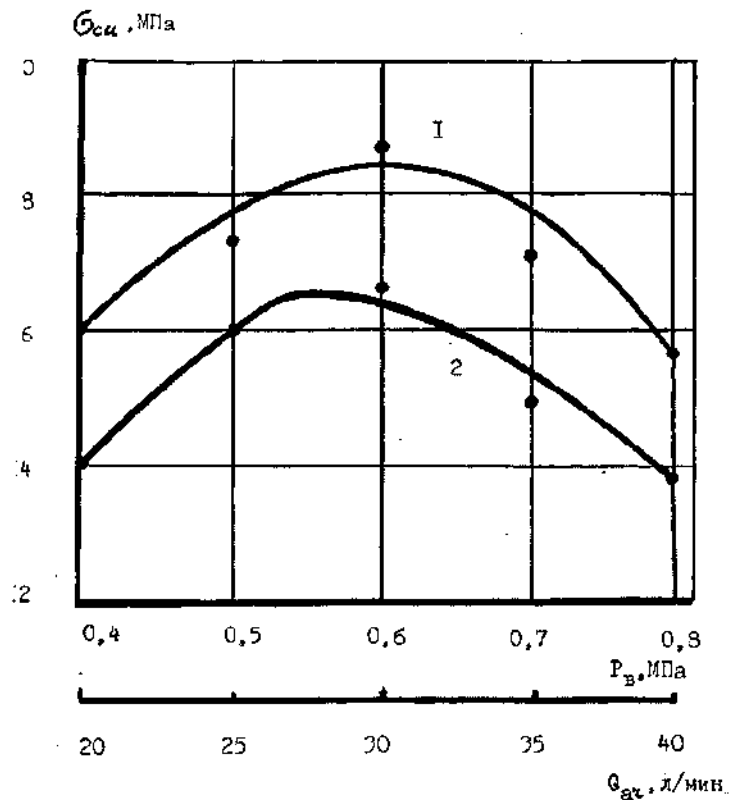


Рисунок 2.12 - Залежність міцності зчеплення від тиску повітря (1) і витрати плазмообразуючого газу (2) [7].

Рост міцності зчеплення покриттів з напиляємою поверхнею до зазначеного межі (при збільшенні тиску повітря з 0,4 мПа до 0,8 мПа) пояснюється збільшенням швидкості польоту часток і, отже, їх середньомасової кінетичної енергії при відносній стабільності теплового балансу й аеродинамічних характеристик струменя. Це призводить до інтенсифікації фізико-хімічної взаємодії в зоні контакту металізаційного потоку з підложкою і до збільшення міцності зчеплення.

При подальшому збільшенні тиску повітря (від 0,6 до 0,8 мПа) відбувається зниження міцності зчеплення. Це пояснюється тим, що зі збільшенням тиску збільшується витрата повітря. Це призводить до того, що трохи знижується температура плазмового струменя й відповідно температура металізаційних часток, які розпоршуються на більш дрібні фракції й швидко охолоджуються.

Крім цього, збільшення тиску повітря (0,8 мПа) призводить до підвищеної турбулізації повітряно-плазмового потоку й підсилює окислення напилюємого металу.

Зниження температури і збільшення окиснення часток, які досягають підложки, погіршує міцність зчеплення.

Встановлене, що для плазмового способу напилення, тиск транспортуючого повітря повинне перебувати в межах 0,5-0,6 мПа. Це забезпечує гарну якість металізаційного шару й задовільну (до 18-20 мПа) міцність зчеплення з підложкою

#### 2.4.4. Витрата плазмообразуючого газу

Збільшення витрат плазмообразуючого газу від 0,35 л/с до 0,5 л/с призводить до підвищення міцності зчеплення напиляемого металу з підложкою (рис.2.12.). Це пояснюється збільшенням швидкості витікання й ентальпії плазмового струменя. Крім цього, зі збільшенням витрат плазмообразуючого газу зростає обсяг плазми і, до деякої міри, її енергетичних характеристик. Це сприяє нагріванню часток, що розпорошуються, до більш високої температури й підвищенню їх середньомасової кінетичної й теплової енергії, що відповідно підвищує міцність зчеплення.

При подальшому збільшенні витрат плазмообразуючого газу відбувається зниження міцності зчеплення. Це пов'язане з тим, що збільшення енергетичних характеристик плазмового струменя призводить до ефекту, який спостерігається при збільшенні сили струму - крупнокапельному розпиленню дроту, підвищеному розбризкуванню й зменшенню коефіцієнта використання матеріалу. При цьому збільшується пористість покриттів і вміст у ньому

окислів, що негативно позначається на адгезійній і когезійній міцності. Оптимальною витратою плазмообразуючого газу слід вважати  $Q_{ar} = 0,4-0,5$  л/с.

Таким чином, для напилення дротом за умови одержання задовільної (20-25 мПа міцності зчеплення й щільного ( $P < 6\%$ ) формування напиляемого покриття з мінімальним (1,5-1,6) % вмістом кисню, рекомендуються наступні режими напилення:

Сила струму плазмової дуги, А	180-200
Відстань до напиляємої поверхні, мм	150-160
Витрата, плазмообразуючого газу, л/с.	0,4-0,5
Тиск повітря, мПа	0,5-0,6

### 3. ОБЛАДНАННЯ

#### 3.1. Вибір стандартного обладнання

Ділянка по відновленню осі рокерів комплектується наступнимобладнанням.

Для попереднього контролю якості необхідно зробити візуальний контроль якості осі на предмет тріщин, сколів і т.п. дефектів неозброєним оком, а при необхідності за допомогою лупи (4 - 6) кратного збільшення, потім зробити контроль за допомогою магнітографічного дефектоскопа МДУ - 2У зі стрічкою МК-2 на предметвтомних мікротріщин.

Для проточки осі рокерів перед піскоструминною обробкою використовується токарський верстат ТШЗ - 01.

Піскоструминна установка КСО-110ИФВ використовується для створення шорсткості на поверхні перед напиленням.

Для шліфування осі після металізації використовують верстат ТШЗ - 01. Заключна стадія відновлення полягає в поліруванні осі рокерів на верстаті ТШЗ - 01.

Заключний контроль якості здійснюється за допомогою лупи(4-6) кратного збільшення.

#### 3.2. Опис конструкції, принципу роботи й технічних характеристик обладнання

Для оцінки працездатності осі рокерів, її необхідно перевірити не тільки візуальним контролем на наявність поверхневих дефектів, але й на наявність втомнихтріщин за допомогою магнітографічного дефектоскопу. При магнітографічному способі контролю, для одержання гарних результатів,

особливе значення має рівномірний і щільний притиск магнітної стрічки до поверхні. Основа стрічки повинна бути досить міцної і еластичної, щоб вона могла щільно облягати поверхню.

Для магнітографічного контролю використовується дефектоскоп марки МДУ-2У:

- а) з магнітною стрічкою МК;
- б) разом з устаткуванням НВУ, що намагнічує стрічку.

Перед створенням шорсткості за допомогою пікоструминної обробки, вісь необхідно проточити. Для проточки осі рокерів використовується універсальний верстат, який може бути налагоджений на різні види механічної обробки, і використовуватися як:

- а) токарський верстат;
- б) шліфувальний верстат;
- в) верстат для полірування.

У якості токарського верстату використовується універсальний верстат ТШЗ - 01.

Зовнішній вигляд токарського верстата ТШЗ - 01 зображений на рис. 3.1



Рисунок 3.1 - Зовнішній вигляд токарського верстата ТШЗ – 01

Технічні характеристики токарського верстата ТШЗ - 01 наведені в табл.3.1

Таблиця 3.1 - Технічні характеристики токарського верстата ТШЗ - 01

Найбільший діаметр оброблюваного виробу, мм -над станиною -над поперечними напрямними	150 90
Найбільша довжина оброблюваного виробу, мм	550
Частота обертання шпинделя, об/хв	100 - 3200
Кількість щаблів обертання шпинделя	9
Крокметричних різьблень, що нарізаються, мм	0,2 - 2,5
Найбільший діаметр свердління по сталі, мм	10
Габаритні розміри, мм	1250x430x400
Маса, кг	135

Піскострумінна установка КСО-110ИФВ використовується для створення шорсткості на поверхні перед напиленням. Основною перевагою даної камери є невелике споживання стислого повітря (від 0,2 до 3,0 м<sup>3</sup>/хв), тому що вона відноситься до камер інжекторного типу. Даний тип установок дозволяє робити більш м'яке очищення виробу по відношенню до камер напірного типу, і тому, такі установки спеціально використовують для обробки поверхонь перед металізацією.

Зовнішній вигляд піскострумінної камери КСО-110ИФВ наведений на рис. 3.2[17].



Рисунок 3.2 - Зовнішній вигляд піскоструминної камери КСО - 110ИФВ.

Технічні характеристики установки для піскоструминної обробки КСО - 110 ИФВ наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Технічні характеристики установки для піскоструминної обробки КСО -110 ИФВ

Показник	Характеристика
Продуктивність, м <sup>2</sup> /год	1 - 4
Витрата повітря, м <sup>3</sup> /хв	0,2 - 3
Тиск, мПа	35 - 70
Тип	інжекторного типу
Фракція, мм	0,2 - 2,0
Габарити, мм	1620x940x1120
Вага, кг	305
Габарити завантажувального прорізу, мм	980x775
Проріз для довгомірних деталей, мм	250x250
Габарити оглядового вікна, мм	530x205

Піскоструминна обробка здійснюється електрокорундом. Для створення шорсткості інші матеріали не підходять, тому що вони не забезпечать м'якого процесу піскоструминної обробки.

Для механічної обробки осі рокерів після напилення застосовується шліфування. В якості шліфувального верстата використовується верстат ТШЗ-01. Він же може застосовуватися й для полірування осі після шліфування. Переналагодження на інший вид роботи не вимагає особливих зусиль. Потрібно просто встановити шліфувальне коло для шліфування, або повстяне, для полірування.

Зовнішній вигляд і технічні характеристики верстата ТШЗ-01 наведені на рис. 3.1 і в табл. 3.

Для напилювання покриттів застосована установка УПУ-3, призначена для нанесення тугоплавких покриттів за допомогою дугової плазми матеріалами у вигляді дроту (вольфрам, молібден, оксид алюмінію, діоксид цирконію та ін.).

Нанесення покриттів може здійснюватися при нерухомо закріпленій пальнику й переміщенні виробів відносно її, при переміщенні пальника при нерухливому виробі, або при спільному обертанні виробу й переміщенні пальника уздовж напыляемой поверхні.

Комплектність установки.

В установку УПУ-3 входить комплект апаратів: Голівка для механізованого нанесення покриттів з тугоплавких матеріалів, які застосовуються у вигляді дроту; шафа керування з електроапаратурою й панеллю для регулювання й контролю витрат газів; шланги для підведення живлення від шафи керування до пальників; джерело живлення типу ИПН-160/600, має підвищену напруга холостого ходу (до 160В).

Технічні характеристики апаратів універсальної плазмової установки УПУ-3

Технічні дані універсальної установки УПУ-3:

Споживана потужність пальника, кВт

20

Максимальний струм (при роботі на аргоні), А	500
Плазмообразуючі гази	аргон
Витрата води на охолодження, л /хв	10
Необхідний тиск води на вході в пальники, мПа	не менш 0,5
Температура води на виході з пальника, °С	45-50
Діаметр дроту, що розпорошується, мм	0,8 - 1,2
Швидкість подачі дроту, м/година	25 - 450
Кількість дроту на катушці, кг	5
Продуктивність процесу нанесення покриттів, кг/год	0.5 - 10
Принцип роботи установки УПУ -3:	

Розплавлення й розпилення тугоплавких металів здійснюється за допомогою високотемпературного плазмового струменя в плазмових пальниках. Упальнику збуджується дуга між вольфрамовим електродом і мідним соплом. Через дугу продувається плазмообразуючий газ, частково іонізується і при високій температурі впливає із сопла з великою швидкістю.

Струмінь плазми, отриманий таким чином, може мати температуру (10000 -15000) °С і швидкість, що перевищує швидкість звуку.

У якості джерела плазми застосовують аргон, гелій, азот, а також суміш аргону або азоту з воднем.

У якості джерел живлення рекомендується застосовувати випрямляч ПН - 160/600, що забезпечує силу струму до 600А і напругу холостого ходу 80В при використанні аргону і 160В при використанні азоту.

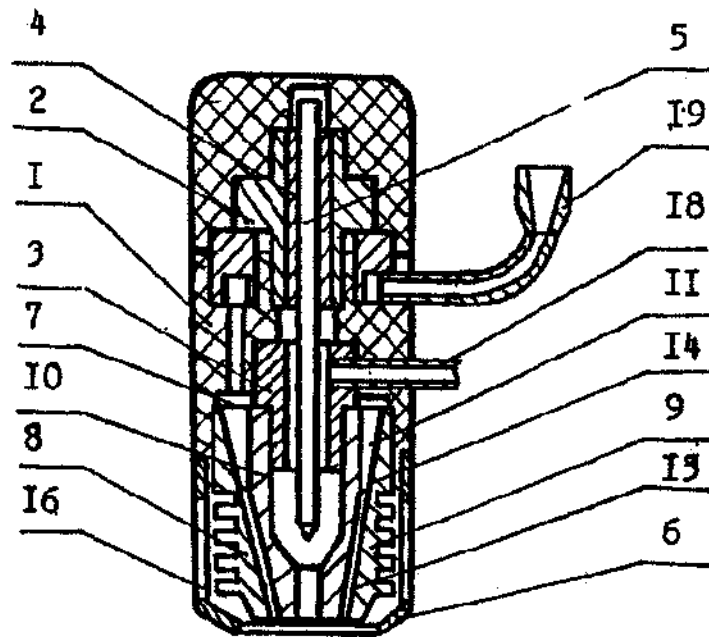


Рис. 3.3. Плазмово-дуговий пальник[20].

Для розпилення витратного матеріалу застосовується плазмотрон ПЛГ- [20], що має вихрову стабілізацію аргонної плазмової дуги, що горить між вольфрамовим катодом і дротом, що розпорошується, - анодом. Плазмотрон (рис.3.3.) містить корпус 1, катодний вузол; 2, анодний вузол 3, електротримач - 4 з електродом 5 розпилюючу систему, яка складається із решітчатого ковпака 6 і вузла формування плазмового й газового потоку 7, що має корпус 8 з радіальними ребрами 9 на зовнішній поверхні й вставку 10 з поздовжніми пазами 11, перетин яких зменшується до робочого торця 12. Вставка 10 і корпус 8 встановлено із круговим зазором 13 і сполучаються по конусній поверхні 14. Площа поперечного перерізу пазів 11 і кругового зазору 13 зменшується при наближенні до робочого торця вставки 10, викликає збільшення швидкості транспортування металізаційних часток. Це дозволяє скоротити їм час руху і остигання і сприяє збільшенню середньомасової кінетичної й теплової енергії напіляємих часток і, відповідно, поліпшенню якості покриттів.

Корпус 8 вузла формування газового й плазмового потоку 7 за рахунок з'єднання з корпусом пальника 1 і щільного контакту із зовнішньою поверхнею внутрішньої вставки 10 міцно закріплює її в анодному вузлі.

Корпус 8 і вставка 10 виконані з високотеплопроводного матеріалу. Вони сполучаються по поверхні ребер 15, утворених поздовжніми пазами 11. Це дозволяє зняти й більш рівномірно розподілити теплове навантаження між найбільше теплонавантаженим елементом внутрішньою вставкою 10 і корпусом вузла 8. При цьому, за рахунок підвищених швидкостей витікання охолоджуваного агента і наявних ребер досягається збільшення площі контакту охолоджуваного агента з нагріваючими елементами й інтенсифікуються процеси теплообміну й охолодження.

Решітчаста будова захисного ковпака 6, дозволяє поліпшити конвективний теплообмін між вузлом формування газоплазмового потоку 7 і навколишнім середовищем. Це дає можливість підвищити стійкість плазмообразуючого каналу 17 і вузла 7 у цілому до 50 і більш годин при використанні в якості охолодженого агента сухого повітря. Пальник працює в такий спосіб. До штуцера 18 підводиться плазмоутворюючий газ і через баластний опір і плюс джерела живлення. До штуцера 19 – охолоджувальний агент і мінус джерела живлення. Після цього між електродом 5 і внутрішньою вставкою 10 у робочому каналі 17 збуджується чергова плазмова дуга. При введенні струмоведучого дроту в її область збуджується основна плазмова дуга.

Охолоджувальний агент, проходячи через вузол формування газоплазмового потоку 7, інтенсивно прохолоджує внутрішню вставку 10 і весь вузол 7, обжимає плазмовий струмінь, що збігається пв напрямкуз плазмовою дугою. При напиленні плазмових покриттів струмоведучим дротом охолоджувальний агент обжимає, фокусує і прискорює потік часток, що розпорошуються, це сприяє поліпшенню якості напилюємих покриттів.

Технічна характеристика плазмотрона:

Потужність плазмотрона, кВт

30

Продуктивність, кг/год	6-12
Плазмоутворюючий газ	аргон
Система охолодження розімкнута, повітряна, примусова	
Витрата аргону, м <sup>3</sup> /год.	1,5-2,5
Витрата повітря, м <sup>3</sup> /год.	30-30
Система запалювання плазмотрона.	іскрова

## 4. КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ

Дефекти поверхні виробу зменшують міцність деталі, і часто призводять до її руйнування. Зовнішні дефекти небезпечні, тому що зменшують працездатність виробу, але їх легко виявити і легко усунути.

Внутрішні, приховані дефекти деталі, становлять найбільшу небезпеку для виробу. Виявити приховані дефекти за допомогою методів контролю без руйнування, і визначити ступінь впливу їх на міцність швів, є головним завданням.

Встановити наявність дефектів у деталі, зберігаючи її цілісність, можна тільки застосовуючи методи контролю без руйнування. Загальна оцінка придатності виробу надається залежно від характеру й кількості дефектів, виявлених методами контролю без руйнування [9].

Перед піскоструминною обробкою вісь рокерів підлягає візуальному методу контролю якості на наявність поверхневих дефектів, і магнітографічному контролю на наявність внутрішніх дефектів і втомних тріщин. Якщо у виробі є області, що мають магнітну проникність, що відрізняється від магнітної проникності основної маси металу (дефекти), то магнітні силові лінії будуть розподілятися нерівномірно по перетину деталі. І чим більше буде дефект у деталі, тем сильніше будуть спотворюватися магнітні лінії.

Таким чином, виявлення дефектів у виробках магнітним способом засноване на виникненні над дефектами місцевих магнітних потоків розсіювання, і виявленні цих потоків.

Для отримання гарної якості відновленої деталі необхідно дотримуватися всіх режимів процесу на кожній стадії технологічного процесу.

а) деталі, що підлягають напиленню, необхідно перевірити на відповідність їх кресленням, ескізам. Контроль розмірів деталей проводиться за допомогою універсального інструменту для вимірювання;

б) якість знежирення поверхні деталей, призначених для напилення, контролювати візуально на відсутність бруду, масла;

в) перед піскоструминною обробкою вісь зазнає візуальному методу контролю якості на наявність поверхневих дефектів і магнітографічного контролю на наявність внутрішніх дефектів і втомних тріщин. При виявленні останніх, вісь відновленню не підлягає;

г) якість піскоструминної обробки поверхні контролюється візуально, шляхом порівняння з еталоном. Оброблена поверхня повинна мати висоту мікронерівностей не менш 70 мкм. Шорсткість повинна бути однаковою по всій довжині;

д) контроль якості покриттів на відсутність спучування, тріщин, сколовши й відшарувань проводиться на кожній деталі зовнішнім оглядом неозброєним оком, порівнюючи покриття з еталоном. Для перевірки наявності тріщин застосовується лупа зі збільшенням (4 - 6)X.;

е) товщина покриттів контролюється безпосереднім виміром кожної деталі згідно з картою обмірювання до й послугу напилювання. Товщина покриттів замірюється універсальним мір'яльним інструментом.

Для заключного контролю якості відновленої поверхні використовується візуальний метод контролю із застосуванням лупи (4 - 6) кратного збільшення. Відшарування, відколи, спучування, тріщини на відновленій поверхні категорично не допускаються. Ризки, задири на полірованій поверхні не допускаються. Наявність незначної кількості пор є припустимою, виходячи з вимог самого технологічного процесу відновлення, і не призводить до вибракування осі рокерів. Загальні вимоги до напиленого покриття наведені в табл.4.1.

Таблиця 4.1 - Загальні вимоги до покриття (ДЕРЖСТАНДАРТ 9.304-87)

Найменування показника	Вимоги до покриття
Зовнішній вигляд	Покриття повинно бути суцільним, однорідного кольору, без часток нерозплавленого металу, безтріщин, відшарувань (здуттів), слідів місцевої корозії. Колірні відтінки не нормуються
Шорсткість	Шорсткість покриття Rz повинна бути не більше 80-100 мкм (Ra 20- 25мкм )згідно ДСТ 2789-73. Допускаються окремі включення часток розміром до 0,5 мм (не більше одного на 100 см <sup>2</sup> )
Мінімальна товщина	Мінімальна товщина покриття встановлюється залежно від призначення покриття, умов експлуатації й необхідного строку захисту
Міцність зчеплення	Покриття повинно бути міцно зчеплене з основним металом і не відшаровуватися при випробуванні методом нанесення сітки подряпин
Пористість	Значення пористості встановлюється відповідно до вимог технологічної документації. Для покриттів 1-го класу пористість повинна бути не більш 20 %
Зносостійкість	Покриття повинно бути зносостійким в умовах експлуатації, для яких вонопризначено

Рівномірність товщини визначається по різниці максимальної й мінімальної товщини у вимірювальних крапках, яка повинна укладатися у встановлений допуск. Для виміру товщин покриттів рекомендується застосовувати магнітні прилади, що вимірюють товщину, відносна погрішність виміру не більш 10%. Для виміру твердості можна використовувати прилад ЕЛІТ-2Д (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 - Твердомір Еліт-2Д.

Якісну оцінку міцності зчеплення покриття з основним металом визначають методом нанесення сітки подряпин. Для цього на поверхню контрольованого покриття вістрем різального інструменту (твердість матеріалу вістря повинна бути вище твердості покриття не менш ніж на 30%) наносять сітку подряпин, що полягає із квадратів з розмірами, зазначеними в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 - Розміри сітки подряпин (ДСТ9.304-87)

Площа, на яку наносять сітку подряпин	Відстань між подряпинами, мм	Товщина контрольованого покриття, мкм
15x15 мм	3	До 200
25x25 мм	5	Більш 200

Подряпини прорізають до основного металу. На контрольованій поверхні не повинно бути відшаровування покриття. Після проведення контролю покриття повинно бути відновлене. Допускається відхилення від заданої товщини напиленого шару в межах 20% [7].

Відкриту пористість можна проконтролювати й виміряти гідростатичним методом. Метод заснований на вимірі маси в повітрі й у воді.

Відкриту пористість визначають на покриттях товщиною не менш 100 мкм. Вимір можна робити на зразках будь-якої форми й розмірів; обмеженням служить гранична маса зразків при зважуванні з аналітичною точністю до 0,1мг. Для визначення відкритої пористості зразки зважують в повітрі, потім вакуумують до розрідження  $10^{-1}$ — $10^{-2}$ мм рт. ст. і просочують водою протягом 30 хв. Просочені зразки зважують у воді і в повітрі. При зважуванні в воді зразки підвішують на тонкій нитці або дроті діаметром 0,05-0,1 мм, маса якої враховується при проведенні розрахунків. Із просочених зразків безпосередньо перед зважуванням в повітрі фільтрувальним папером видаляють надлишки вологи. Відкриту пористість зразка, згідно, ДСТ 9.304-87, визначають по формулі:

$$P_{\text{откр.}} = \frac{(m_2 - m)\gamma_0}{(m_2 - m_1)\gamma_0 - m_0\gamma_{\text{H}_2\text{O}}} \cdot 100 \quad (4.1)$$

де:  $m_0$ - маса зразка без покриття, г;

$m$  - маса сухого зразка з покриттям на повітрі, г;

$m_1$ - маса просоченого зразка з покриттям у воді, г;

$m_2$  - маса просоченого зразка з покриттям на повітрі. г;

$\gamma_0$  - щільність матеріалу основи, г/см<sup>3</sup>;

$\gamma_{\text{H}_2\text{O}}$  - щільність води, г/см<sup>3</sup>.

Зовнішній вигляд покриттів контролюють візуально.

Деталі, які не пройшли контроль якості після процесу відновлення (напилення) слід відправити на повторне напилення.

Повторне відновлення містить у собі повний технологічний процес відновлення зношеної деталі, починаючи із проточки й закінчуючи поліруванням на верстаті.

## 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ ПРОЕКТОВАНОЇ ДІЛЬНИЦІ

### 5.1. Організація ділянки

Для техніко-економічного обґрунтування проекрованої ділянки по відновленню валу рокерів плазмовим напиленням необхідно встановити норму штучного часу на кожну технологічну операцію. Дані по нормуванню операцій зведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1–Технологічний процес напилення валу рокерів

Найменування операцій	Норма часу, хв.
1. Мийка	5,0
2. Токарна обробка	20,0
3. Магнітографічний	10,0
4. Підготовка до піскоструйки(укриття гуммою поверхні, що не підлягає обробці)	15,0
5. Піскоструминна операція	20,0
6. Демонтаж гуми	5,0
7. Укриття поверхонь, що не підлягають напиленню металевими екранами	15,0
8. Напилення	20,0
9. Демонтаж металевих захистів	5,0
10. Магнітографічний контроль	20,0
11. Шліфування,	60,0
12. Вимір твердості	10,0

### 5.1.1. Виробнича програма

На основі розрахованих норм часу встановлено річну виробничу програму відновлення осей рокерів плазмовим напиленням у розмірі N= 10 000 шт. Розрахунок виробничої програми дільниці наведено у табл. 5.2.

Таблиця 5.2 - Виробнича програма

Найменування виробу	Норма часу відновлення валу рокерів, н/год	Виробнича програма	
		Одиниць, шт	Нормо - год
Вал рокерів	3,42	10 000	34 200

### 5.1.2. Розрахунок кількості устаткування, площі дільниці

Розрахунок необхідної кількості обладнання за кожним типом ведеться за такою формулою:

$$C_p = \sum_{i=1}^m \frac{t_i \cdot N_i}{F_{g.o}}, \text{ од.} \quad (5.1)$$

де:  $C_p$  - розрахункова кількість обладнання, од

$m$  - кількість видів робіт;

$t_i$  - норма штучного часу на  $i$ - ту операцію;

$N$  - річна виробнича програма  $i$ - того виробу, шт;

$F_{g.o}$  - дійсний річний фонд часу роботи обладнання, год

Ухвалена кількість обладнання встановлюється шляхом округлення до цілої величини  $C_{np}$ . Коефіцієнт завантаження обладнання

$$K_3 = \frac{C_p}{C_{np}}; \quad (5.2)$$

На машинобудівних підприємствах найпоширенішим є 2-х змінний режим роботи за п'ятиденним робочим тижнем – 40 годин; тривалість зміни – 8 год. Номінальний річний фонд часу роботи обладнання за 2-х змінного режиму – 4160 год.

Дійсний річний фонд роботи устаткування визначається за такою формулою:

$$F_{g.o.} = F(1 - \eta), \text{ час}; \quad (5.3)$$

де:  $\eta$  - коефіцієнт втрат часу на ремонт та обслуговування (0,07 ÷ 0,1).

Усі розрахунки з обладнання наведено у табл. 5.3

Таблиця 5.3 - Розрахунок обладнання

Найменування обладнання	Модель	Кількість устаткування		Коефіцієнт завантаження
		розрахункове	прийняте	
1.Токарный верстат	1К62А	3,6	4	0,9
2. Магнітографічний пристрій	МДУ-2У	1,3	2	0,65
3.Піскоструминна установка	КСО-110 ИФВ	10,9	1	0,9
4.Установка для напилення	УПУ-3	0,9	1	0,9
Разом		6,7	8	0,84

Для розміщення розрахованої кількості обладнання необхідно ділянку шириною 18 м, довжиною 12 м і висотою 6 м. Площа, яку займає ділянка 18x12 = 216 м<sup>2</sup>.

### 5.1.3. Розрахунок чисельності персоналу дільниці

Чисельність основних виробничих робочих дільниці на нормованих роботах розраховується за операціями відповідно до розділів та професій за формулою:

$$R_o = \frac{\sum_{i=1}^m t_i N_i}{F_{д.р.Кв.н}}, \text{ чел;} \quad (5.4)$$

де:  $R_o$  - чисельність основних виробничих робітників;

$m$  - кількість видів робіт;

$t_i$  - норма часу  $i$ -тої операції, н/год;

$N_i$  - річна виробнича програма  $i$ -того виробу, од

$K_{в.н}$  - коефіцієнт виконання норм виробітку ( $K_{в.н} - 1,05$ );

$F^{г.р.}$  - дійсний річний фонд часу роботи одного робітника, год;

(5.5)

$$F_{г.р.} = F_{ном} (1 - \eta), \text{ час;}$$

де:  $F_{ном}$  - береться для однозмінного режиму 2080 год;

$\eta$  - плановий коефіцієнт невиходів робітників працювати (0,12-0,15),

$$F_{г.р.} = 2080 (1 - 0,2) = 1830 \text{ год;}$$

Чисельність допоміжних робітників за професіями розраховується за нормами обслуговування.

Чисельність керівників та фахівців (майстер та технолог) на дільниці розраховується згідно зі штатним розкладом.

Загальна чисельність персоналу дільниці наведена у табл. 5.4.

Таблиця 5.4 - Загальна чисельність персоналу

Персонал	чисельність чол.	В том числі по розрядах						В т.ч. по змінам	
		I	II	III	IV	V	VI	I	II
Основні робочі									
1. слюсар	4			4				2	2
2. токар	8				8			4	4
3. контролер	4				4			2	2
4. піскоструйщик	2			2				1	1
5. зварювальник	2				2			1	1
Загалом	20			6	14			10	10
Допоміжні робочі									
1. Слюсар-ремонтник	2							1	1
2. Слюсар-електрик	2				2			1	1
3. Транспортний робочий	2			2				1	1
Всього	6			2	4			3	3
Керівники та спеціалісти									
1. Майстер	1							1	-
2. Технолог	1							1	-
Всього	2							2	
Загалом	28			8	18			15	13

Примітка. У зміну функції майстра з управління дільницею виконує бригадир.

## 5.2. Планування дільниці

У цьому розділі необхідно запланувати матеріальні витрати, витрати на основі виробничих фондів, розрахувати фонд оплати праці персоналу, скласти калькуляцію собівартості продукції [10].

### 5.2.1. Матеріальні витрати

Вартість основних та допоміжних матеріалів розраховується на основі норм витрати та цін. Крім того, необхідно врахувати транспортно-заготівельні витрати (5-7% від вартості матеріалів).

До матеріалів віднесемо: порошковий дріт марки ПП Ø 1,6 мм 100X15 M2Г2Р, газ аргон, бензин Б-70.

На ділянку надходять зношені вали рокерів.

Розрахунок вартості матеріальних витрат, наведено у табл. 5.5 та 5.6.

Таблиця 5.5 - Розрахунок вартості напівфабрикатів

Найменування напівфабрикатів	Кількість деталей у виробі, шт	Вартість за одиницю, грн.	Річна кількість напівфабрикатів, шт.	Річна вартість напівфабрикатів, тис. грн.
Вал рокерів	1	200	10 000	2000

З урахуванням транспортно-заготівельних витрат 2000 тис. грн. \* 1,07 = 2140 тис.грн.

Таблиця 5.6 - Розрахунок вартості допоміжних матеріалів

Назва матеріалу	Норма витрат		Ціна за одиницю, кг, м <sup>3</sup> , л	Вартість матеріалів на річну програму, тис. грн.	Вартість матеріалів з урахуванням трансп. заготіввират., тис.грн.
	на вирібкг, г, л	на програму, т, м <sup>3</sup>			
1. Порошковий дріт ПП Ø 1,6	0,86	8,6	136,0	1169,6	1251,47
2. Аргон	160,0	1600	720 грн/бал	183,0	195,8
3. Бензин Б-70	20,0	200	36 грн/л	7,2	7,7
4. Разом					1454,97

### 5.2.2.Вартість основних виробничих фондів

Вартість основних виробничих фондів передбачає такі розрахунки:

- а) вартість будівель визначається на основі розрахованої загальної площі ділянки та вартість 1 м будівель (1500-3000 грн. за 1 м<sup>2</sup>);
- б) вартість споруд приймається рівною 5% вартості будівель;
- в) вартість обладнання (наведена у табл. 5.7. з урахуванням транспортно-заготівельних витрат та монтажу 10- 15%);
- г) вартість цінних інструментів, пристроїв, інвентарю (3-5% балансової вартості обладнання);
- д) вартість транспортних засобів 3% балансової вартості обладнання.

Таблиця 5.7 - Розрахунок вартості обладнання

Назва обладнання	Ціна за одиницю, грн.	Кількість одиниць обладн шт.	Балансова вартість обладнання, тис.грн.
1. Токарний верстат 1К62А	407400	4	1792,56
2. Магнітографічна установка	67620	2	148,76
3. Піскоструминна установка КСО-110	78900	1	86,79
4. Установка для напилення УПУ-3	35620	1	391,88
5. Твердомір	11580	1	12,74
Всього		9	2432,76

Розрахунок вартості основних виробничих фондів, амортизаційних нарахувань, структури основних фондів наведено в табл. 5.8.

Таблиця 5.8 - Розрахунок вартості основних виробничих фондів

1. Виробничі будинки	648,0	20,0	8	51,84
2. Споруди	32,4	1,0	8	2,59
3. Обладнання	2432,76	73,6	24	583,86
4. Цінні інструменти, пристрої	121,65	3,7	40	48,66
5. Транспортні засоби	72,99	2,7	40	29,2
Всього	3307,8	100		716,15
Найменування основних виробничих фондів	Балансова вартість, тис.грн.	Структура, %	Норма амортизації, %	Амортизаційні відрахування, тис.грн.

### 5.2.3. Фонд оплати праці

Сума заробітної плати, яка виплачується працівникам підприємства, утворює фонд оплати праці. Фонд заробітної плати розраховується за прийнятими формами та системами оплати праці. Оплата праці основних робочих здійснюється за відрядно-преміальною оплатою праці; допоміжних робочих – по-годинно-преміальній, керівників та спеціалістів – за штатно-окладною формою оплати праці.

Заплановані доплати та премії для робочих становить 50-60% від основної заробітної плати. Премії з прибутку становлять 15% до основної заробітної плати для робочих та 40% - для керівників та фахівців.

Основний фонд заробітної плати основних робочих –здільників розраховується за формулою:

$$Зсд. = N \sum_{i=1}^b p_i \quad (5.6)$$

де:  $b$  - кількість операцій технологічного процесу;  
 $p_i$  - розцінка на  $i$ -ту операцію, грн;  
 $N$  - річна виробнича програма виробів, шт;  
 Розцінка на операцію розраховується:

$$P_i = C_i t_i \quad (5.7)$$

де:  $C_i$  - годинна тарифна ставка першого розряду;  
 $t_i$  - норма штучного часу на  $i$  операцію, н-год;  
 Розрахунок розцінки наведено у таблиці 5.9.

Таблиця 5.9 - Розрахунок розцінки за операціями

Найменування операції	Розряд робіт	Норма часу, н/год	Часова тарифна ставка, грн.	Розцінка, грн.
1. Слюсарна	III	0,75	45,0	33,75
2. Токарна	IV	1,33	49,75	66,35
3. Контрольна	IV	0,67	49,75	33,33
4. Піскоструминна	III	0,33	45	14,85
5. Напилення	IV	0,33	49,75	16,42
Разом		3,42		164,70

Тарифний (основний) фонд заробітної плати допоміжних робітників, які перебували на погодинній оплаті, розраховується за формулою:

$$C_{\text{повр.}} = C_i \cdot K_{\text{тар.сп.}} \cdot F_{\text{д.р.}} \cdot R_{\text{всп}} \quad (5.8)$$

де:  $C_i$  - годинна тарифна ставка I розряду, грн;  
 $R_{\text{всп}}$  - чисельність допоміжних робітників, чол;  
 $F_{\text{д.р.}}$  - дійсний річний фонд часу робітника, год.;

$K_{тар.ср.}$  - середній тарифний коефіцієнт,

$$K_{тар.ср.} = \frac{\sum_{i=1}^m K_i \cdot R_i}{R_{срн}} \quad (5.9)$$

де:  $m$  – кількість розрядів допоміжних робітників;

$K_i$  - тарифний коефіцієнт першого розряду;

$R_{срн}$  - чисельність допоміжних робочих  $i$ -того розряду

$$K_{тар.ср.} = \frac{1,2 \cdot 2 + 1,35 \cdot 4}{6} = 1,3$$

Відрахування на соціальне страхування розраховуються з відповідним законодавством (37% - нині);

Фонд оплати праці розрахований та приведений у табл. 5.10.

Таблиця 5.10 - Фонд оплати праці

Категорія персоналу	Чисельність персоналу, чол.	Фонд зарплати, тис.грн.			Премія із прибутку, тис.грн.	Фонд оплати праці, тис.грн.	Середня зарплатня працюючих у м-ц, грн.
		Тариф на з/пл	Доп. з/пл	Всього			
1. Основні виробничі робітники	20	1647,0	823,5	2470,5	370,58	2841,08	11838
2. Допоміжні робітники	6	442,67	221,33	664	99,6	763,6	10606
3. Керівники	1	110,57	-	110,57	44,23	154,8	12900
4. Фахівці	1	107,25	-	107,25	42,9	150,15	12513
Всього	28	2307,5	1044,8	3352,3	557,3	3909,6	11636

#### 5.2.4. Собівартість виробу

Собівартість виробу визначається всіма витратами ділянки за такими статтями прямих та непрямих витрат.

Прямі витрати:

1. Основні та допоміжні матеріали-1454,97 тис.грн. (Табл. 5.6).
2. Напівфабрикати – 2140 тис.грн. (Табл. 5.5).
3. Тарифна (основна) заробітна плата основних виробничих робітників – 1647,0 тис.грн. (Табл. 5.10).
4. Додаткова заробітна плата основних виробничих робітників –823,5 тис.грн. (Табл. 5.10).
5. Відрахування на соціальне страхування (від фонду оплати праці основних виробничих робітників) - 543,51 тис. грн..

Непрямі витрати:

Стаття «Витрати на утримання та експлуатацію обладнання» є комплексною, прийmemo укрупнено за даними базового підприємства, що дорівнює 320 % від основної заробітної плати основних робітників ( $\alpha$ ).

Розмір витрат на утримання та експлуатацію обладнання, що припадають на одиницю виробу розраховується:

$$\frac{\alpha}{100} \cdot Z_{oi} = \frac{320}{100} \cdot 164,7 = 527,04 \text{ грн.}$$

$Z_{oi}$  - основна заробітня плата на одиницю виробу, грн.

Стаття «Загальновиробничі витрати» - це витрати на управління в межах цеху. Стаття є комплексною, приймаемо укрупнено рівною 170% від основної заробітної плати основних виробничих робітників ( $\beta$ ).

Загальновиробничі витрати, які стосуються собівартість одиниці виробленої продукції розраховуються за такою формулою:

$$\text{ОПР}_i = \frac{\beta}{100} \cdot Z_{\text{опри}}, \text{ грн.} \quad (5.10)$$

$$\text{ОПР}_i = \frac{170}{100} \cdot 164,7 = 280 \text{ грн.}$$

Загальногосподарські чи адміністративні витрати - це витрати на управління, виробниче та господарське обслуговування на рівні підприємства як єдиної системи.

Сума загальногосподарських чи адміністративних витрат визначається укрупнено 150% до основної заробітної плати основних виробничих робітників.

Витрати на збут - це витрати, пов'язані із вмістом складів готової продукції, витрати на упаковку, транспортування готової продукції та інше (1% виробничої собівартості).

Собівартість одиниці виробленої продукції розраховується з урахуванням складання калькуляції собівартості продукції (табл. 5.11)

Таблиця 5.11 - Калькуляція собівартості продукції

Стаття витрат	Витрати	
	всього витрат, тис.грн.	на одиницю, грн.
1. Основні та допоміжні матеріали	1454,97	145,50
2. Напівфабрикати	2140	214,0
3. Основна зарплатня основних виробничих робочих	1647	164,7
4. Додаткова зарплатня основних виробничих робітників	823,5	82,35
5. Відрахування на соціальне страхування	543,51	54,35
6 Витрати на утримання та експлуатацію обладнання	5270,4	527,04
7. Загальновиробничі витрати	2800,0	280,0
8. Собівартість виробнича	14679,4	1467,94
9. Адміністративні витрати	2470,5	247,1
10. Витрати на збут	146,76	14,68
11. Собівартість повна	17296,7	1729,67

### 5.2.5. Економічне обґрунтування запропонованої розробки

У цьому розділі розрахуємо річний економічний ефект, який можна отримати від відновлення валу рокерів на спеціалізованій дільниці запропонованого технологічного процесу в порівнянні з відновленням виробу на діючому підприємстві з іншого технологічного процесу. Крім того, необхідно оцінити ефективність та результативність діяльності виробничої дільниці.

### 5.2.6. Розрахунок економічного ефекту

Порівняльна економічна ефективність полягає у визначенні найбільш економічного варіанта вирішення господарського завдання. Показниками порівняльної економічної ефективності є сума наведених витрат, економічний ефект за розрахунковий рік.

Показник наведених витрат:

$$Z_i = C_i + \varepsilon_n \cdot K_i, \text{ грн} \rightarrow \min \quad (5.11)$$

де:  $C_i$  - поточні витрати ( повна собівартість) за  $i$ -тим варіантом, грн.;

$\varepsilon_n$  - нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних витрат (0,15);

$K_i$  - капітальні вкладення за  $i$ -тим варіантом, грн.

Економічний ефект за розрахунковий рік:

$$\mathcal{E} = Z_1 - Z_2, \text{ грн.} \quad (5.12)$$

$$Z_1 = 1762 + 0,15 \frac{33078000}{10000} = 1762 + 496,17 = 2258,17 \text{ грн}$$

$$Z_2 = 1729,67 + 0,15 \frac{33078000}{10000} = 1729,67 + 496,17 = 2225,84 \text{ грн}$$

$$\Delta = 2258,17 - 2225,84 = 32,33 \text{ грн.}$$

При застосуванні розробленої технології плазмового напилення валіврокерів збільшується термін служби виробу в 1,5 рази, отриманий ефект становитиме 323 300 грн.

### 5.2.7.Ефективність та результативність

Оцінку ефективності та результативності діяльності ділянки можна здійснити за показниками:

#### 1.Річний випуск виробів:

- а) у натуральному вираженні-10000 шт.;
- б) за трудомісткістю – 34200 нормо-годину;
- в) у грошовому вимірі – 17296,7 тис.грн;

#### 2. Виробнича площа ділянки, м<sup>2</sup> – 216;

#### 3. Вартість основних виробничих фондів -3307,8 тис.грн;

#### 4. Облікова кількість персоналу, чол. -28, у т.ч.:

- а) основні робітники - 20;
- б) допоміжні - 6;
- в) керівники - 4;
- г) фахівці - 2.

#### 5. Фонд оплати праці –3909,6 тис.грн;

#### 6.Середня весті працюючих протягом місяця, грн. – 11636;

#### 7. Продуктивність праці одного працівника, грн/чол.

$$\text{ПТ} = \frac{C_n - M - n/\phi}{R}, \text{ грн/чол.}; \quad (5.13)$$

де:  $C_n$  - повна собівартість виробу за рік;

$M$  - вартість основних та допоміжних матеріалів;

$n/\phi$  - вартість напівфабрикатів

$$\text{ПТ} = \frac{17296700 - 1454970 - 2140000}{28} = 489347 \text{ грн/чол.};$$

8. Фондовіддача

$$f = \frac{C_n - M - n/\phi}{\Phi_{\text{осн.}}} = \frac{17296700 - 1454970 - 2140000}{3307800} = 4,14 \text{ грн/грн};$$

9. Фондоємність

$$f' = \frac{\Phi_{\text{осн.}}}{C_n - M - n/\phi} = 0,24 \text{ грн/грн};$$

10. Коефіцієнт завантаження обладнання - 0,84;

11. Собівартість одиниці виробленої продукції - 1729,67 грн;

12. Економічний ефект за розрахунковий рік - 323300 грн.

Таблиця 5.12 - Показники ефективності та результативності

Найменування показників	Значення показника
1.Річний випуск виробів	10 000
- у натуральному вираженні, шт	34200
- за трудомісткістю, нормо/година	17296,7
- у грошах, тис.грн	
2. Вартість основних фондів, тис.грн	3307,8
3.Облікова кількість персоналу, чол. в т.ч.	20
- основні робітники	6
- допоміжні	2
- керівники та фахівці	
4. Фонд оплати праці, тис.грн	3909,6
5. Середня заробітна плата працюючих на місяць, грн	11636
6. Продуктивність праці одного працюючого на рік, тис. грн	139,629
7. Фондовіддача, грн/грн.	4,14
8. Коефіцієнт завантаження обладнання	0,84
9. Собівартість відновлення одиниці виробу, грн.	1729,7
10. Економічний ефект розрахунковий рік, тис. грн.	323,3

## 6. ОХОРОНА ПРАЦІ І ЗАХИСТ У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 6.1. Аналіз потенційних небезпек

Заходи щодо охорони праці призводять до зниження небезпеки, що зберігає здоров'я робітників і одночасно призводить до зменшення витрат на оплату пільг і компенсацій за роботу в несприятливих умовах. Поліпшення умов праці, підвищення їх безпеки й нешкідливості має велике економічне значення. Вони впливають на економічні результати виробництва, на продуктивність праці, якість і собівартість продукції, що випускається.

На основі аналізу роботи ділянки й розробленого технологічного процесу був виявлений ряд факторів, що виявляють шкідливий вплив на здоров'я працівників:

а) відділення дрібних часток і пил. Як при попередній обробці осі рокерів перед напиленням, так і при шліфуванні деталі після відновлення можливі відділення дрібних часток матеріалу й пилу;

б) шум. При роботі на верстаті й установці для металізації шкідливий вплив на здоров'я працівників виявляє шум;

в) викиди розплавленого напиляемого металу й іскри. При роботі на установці електродугової металізації й при механічній обробці штока можливі виділення розплавлених часток напиляемого матеріалу й іскор.

г) інтенсивне випромінювання зварювальної дуги, що виникає при металізації;

д) електричний струм. Корпуса обладнання повинні бути надійно захищені (ізоляція, заземлення).

## 6.2. Заходи щодо техніки безпеки

При розробці проектів технологічних процесів, їх впровадженні й проведенні передбачена нормативно-технічна документація по охороні праці.

Виробниче встаткування, розташоване на наплавочній ділянці, відповідає ДСТУ 12.2.003-74 ССБТ "Обладнання виробниче". Ця документація вимагає при розробці й організації технологічних процесів, конструюванні виробничого обладнання забезпечити відсутність, або мінімальне виділення в повітря приміщень, в атмосферу й стічні води шкідливих речовин, відсутність або мінімальний рівень шуму, вібрацій, ультразвуку, електромагнітних хвиль й іонізуючих випромінювань, зменшення фізичних зусиль і попередження стомлення працюючих[11].

Для забезпечення електробезпечності для обладнання напругою до 1000В, передбачено застосовувати захисне заземлення опором до 4Ом ДСТУ12.1.019-79 "Електробезпечність. Загальні вимоги й номенклатура видів захисту".

Усе обладнання передбачає наявність захисних блокувань і захисних огорожень.

Всі види відбудовних робіт на проєктованій ділянці, пов'язані із застосуванням обладнання, мають виконувати тільки робітники, що знають як працює обладнання, правила технічної експлуатації й безпечні приймання робіт, ознайомлені з інструкціями з техніки безпеки при виконанні цих робіт, які пройшли інструктаж у майстра з оцінкою в журналі.

До роботи допускаються робітники, які пройшли атестацію, і навчені безпечним проведенням робіт.

Важливим елементом навчання працюючих безпечним прийманням і методам праці є система інструктажів. Відповідно до ДСТУ 12.0.004-79 обов'язковими інструктажами з безпеки праці є: вступний, первинний на робочому місці, повторний, позаплановий і поточний. Вступний інструктаж

проводить інженер з охорони праці; первинний, повторний, позаплановий - керівник робіт.

Для швидкої зупинки всіх механізмів обладнанн, як для напилення, так і для верстатів з механічної обробки, кнопки керування ними повинні перебувати в легкодоступні для оператора місцях.

Корпуса обладнання повинні бути надійно захищені. Для захисту від небезпечних і шкідливих факторів при виконанні відбудовних робіт застосовуються наступні індивідуальні засоби захисту:

- а) костюм типу А - ДСТУ 12.4.084 - 80;
- б) черевики шкіряні - ДСТУ12.4.072 - 79;
- в) рукавиці типу Тр - ДСТУ12.4.010 - 75;
- г) рукавички діелектричні - ДСТУ105947 - 76;
- д) щиток-маска - ДСТУ1361-54 або щиток захисний типу УН - ДСТУ12.4.023-76 (для працівників, що працюють на шліфувальних верстатах).

Спецодяг працівника, який працює на обладнанні електродугового напилення (куртка, штани, рукавиці) зшита із щільної важкозаймистої тканини.

Для індивідуального захисту від шумів при роботі на цій установці застосовуються навушники ДСТУ 12.4.051 - 78.

Для захисту органів зору при роботі на обладнанні для металізації необхідно використовувати спеціальні захисні пристосування (на обертачодягається темний спеціальний захисний екран).

Ефективним методом запобігання гострих і професійних хронічних захворювань є застосування місцевої примусової вентиляції.

### 6.3. Санітарно-гігієнічна характеристика умов праці на ділянці

#### 6.3.1. Оздоровлення повітряного середовища

Основними шкідливими факторами, що супроводжують процес наплення, є: пил, гази, шум, вібрації ін.

При виконанні робіт всередині приміщення, системи опалення, вентиляції й кондиціонування повітря повинні забезпечувати певні метеорологічні умови, тобто припустиму температуру, відносну вологість, швидкість руху повітря і його чистоту.

Метеорологічні умови в робочому приміщенні цеху (ДСТУ 12.1.005 -88) наведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 - Метеорологічні умови в робочому приміщенні цеху

Сезон року	Категорія робіт	Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Швидкість повітря, м/с
Холодний період	Середньоїважкості	18 – 20	60 – 40	0,2
Теплий період	Середньоїважкості	21 – 23	60 – 40	0,2

Припустимі норми температури, вологості й швидкості руху повітря на робочому місці наведені в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 - Припустимі норми температури, вологості й швидкості руху повітря на робочому місці

Категорія робіт	Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Швидкість повітря, м/с	Температура повітря на робочому місці, °С
Середньоїважкості	17 – 23	75	0,1 – 0,3	13 – 23

Гранично припустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони у виробничих приміщеннях наведені в табл. 6.3.

Таблиця 6.3 - Гранично припустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони у виробничих приміщеннях, мг/м<sup>3</sup>

Молибден	Окис вуглецю	Окис заліза	Хромовий ангідрид
2	20	4	0,01

### 6.3.2. Виробниче освітлення

На проєктованій ділянці передбачене комбіноване виробничеосвітлення. Природнє освітлення є основним при роботах у виробничих приміщеннях з віконними отворами й світловими ліхтарями. Згідно СНіП II-4-79 "Природнє й штучне освітлення. Норми проєктування", коефіцієнт природнього освітлення при комбінованому освітленні дорівнює 5 %.

Штучне освітлення передбачається в приміщеннях, у яких природнього світла недостатньо, і для освітлення приміщення в нічний час. Показники освітленості робочих місць наведені в табл. 6.4.

Таблиця 6.4 - Освітленість робочих місць на проєктованій ділянці

Характеристика робіт	Розмір об'єкта відмінності, мм	Розряд зорових робіт	Освітлення	
			Комбінова не	загальне
			Освітленість, Лк	
Середня точність (контроль якості)	0,5 – 1,0	III	3000	350
Малої точності	1 – 5	IV	350	150
Груба	більше5	V	-	150

На проєктованій ділянці застосовується система загального освітлення.

Застосування люмінесцентного освітлення повинно забезпечити освітленість на підлозі приміщення не менш 150 Лк. Крім того, в місцях, небезпечних для проходу, на сходах і виробничих приміщеннях передбачається аварійне освітлення, що забезпечує освітленість на підлозі не менш 5 % освітленості, але не менш 2 Лк, на підлозі основних проходів для виходу людей і 10 Лк на робочих місцях.

Для освітлення наплавочної ділянки використовуємо люмінесцентні лампи, які, незважаючи на свої недоліки, мають ряд переваг:

- а) значна світловіддача (в (5 - 7) раз більше ламп розжарювання);
- б) більший термін служби (6 - 14) тис.год.);
- в) можливість одержання світлового потоку практично в будь-якій частині спектру.

#### 6.4. Заходи щодо пожежної безпеки

За ступенем пожаростійкості проєктована ділянка належить до категорії Г - не небезпечна (відповідно до класифікації СНіП 2.09.02-85 "Норми проєктування. Виробничі будинки промислових підприємств". До цієї

категорії відносяться підприємства, у яких використовуються негорючі засоби, речовини й матеріали в горючому, розплавленому або розжареному стані.

За ступенем вогнестійкості, яка характеризується групою загоряння й межею вогнестійкості, будівля проектованої ділянки відноситься до II категорії.

Згідно СНіПухвалюємо:

- а) ширина проходу - 1 м;
- б) ширина дверей - 1 м;
- в) ширина коридору - 1,5 м.

Згідно СНіП12.1.004 - 91 "Пожежна безпека. Загальні вимоги", для організації виробництва в одноповерховому будинку потрібно забезпечити мінімальний ступінь вогнестійкості конструкції. Ступінь вогнестійкості основних будівельних конструкцій наведені в табл. 6.5.

Таблиця 6.5 - Ступінь вогнестійкості будівель і споруд

Основні будівельні конструкції	Ступінь вогнетривкості II	
	Група займистості	Межа стійкості, год
Несучі стіни й колони	Вогнетривкі	2,0
Плити, перегородки і інші несучі конструкції	Вогнетривкі	0,75
Внутрішні перегородки, сходові клітини	Важко спалювані	0,25
Протипожежні стіни	Вогнетривкі	2,5

Для забезпечення гасіння пожежі на ділянці передбачається:

- а) протипожежне водопостачання;
- б) на цех прийняте:
  - вогнегасник ОХП-10 - 1 шт;
  - вогнегасник ОУ - 5 - 1 шт;
  - ящик з піском - 1 шт;

-лопати залізні - 1 шт.

Вуглекислотні вогнегасники призначені длягасіння тільки електроустаткування. В електроустаткуваннях передбачені такі заходи пожежної безпеки:

- а) силове розведення виконано схованим трубах;
- б) силова апаратура захищена від коротких замикань.

У складських приміщеннях передбачені наступні заходи щодо пожежної безпеки:

- а) чітка організація зберігання матеріальних цінностей, що забезпечує вільний доступ до всіх стелажів;
- б) суворе дотримання правил спільного зберігання матеріалів, хімікатів;
- в) оснащення складів пожежною сигналізацією й засобами пожежогасіння;
- г) поділ складів на відсіки протипожежними стінками за ознаками однорідності засобів пожежогасіння й можливості спільного зберігання матеріалів.

Для захисту від блискавок передбачене обладнання магнітопроводів.

З метою захисту від статичної електрики передбачається заземлення неструмоведучих частин обладнання[11].

## **7. ЦИВІЛЬНА ОБОРОНА**

7.1. Оцінка працездатності проектованої ділянки за умови радіоактивного зараження місцевості

Радіоактивне зараження й проникаюча радіація можуть вплинути на виробничу діяльність об'єкта переважно через вплив на людей [12].

Загроза захворювання променевою хворобою може викликати необхідність зупинки або обмеження функціонування підприємства на певний

час, доки рівні радіації в результаті природного розпаду радіоактивних речовин зменшаться до значень, що не представляють небезпеки для людей.

Тому, головна мета оцінки вразливості об'єкта від впливу іонізуючих випромінювань полягає в тому, щоб виявити ступінь небезпеки радіаційної поразки людей у конкретних умовах роботи (перебування) на зараженій місцевості.

Умови роботи можна характеризувати очікуваною радіаційною обстановкою на території об'єкта, тобто початком зараження після ядерного вибуху, рівнем радіації й місцем роботи.

Оцінка вразливості об'єкту від проникаючої радіації й радіоактивного зараження починається з визначення максимальних очікуваних значень дози проникаючої радіації й рівня радіоактивного зараження.

Під час війни із застосуванням ядерної зброї практично всякий об'єкт народного господарства може виявитися в зоні радіоактивного зараження. Однак визначити очікувану радіаційну обстановку, і ступінь радіоактивного зараження об'єкта з великим ступенем вірогідності неможливо, оскільки вони будуть залежати не тільки від точності прогнозування дій супротивника, але й від швидкості й напрямку середнього вітру, характеру ґрунту в центрі ядерного вибуху і т.д.

Тому, доцільніше визначати орієнтовно очікуваний рівень радіації на об'єкті для самих несприятливих умов: відстань до центру вибуху мінімальне, вибух наземний, середній вітер спрямований вбік об'єкту, об'єкт перебуває на осі сліду.

При цих умовах на об'єкті слід очікувати максимальний рівень радіації, хоча ймовірність того, що об'єкт потрапить у зону з такими рівнями радіації, може бути в багато разів менше, ніж ймовірність його потрапляння до зони з іншими (меншими) рівнями радіації.

Послідовність оцінки стійкості роботи об'єкта при впливі проникаючої радіації й радіоактивного зараження.

За критерій стійкості роботи об'єкта в цьому випадку ухвалюється припустима доза випромінювання, яку можуть одержати люди за час роботи зміни в конкретних умовах.

Наприклад, шибка практично не послабляє випромінювання, у той час як стіна товщиною 0,4 м ослаблює його діюприблизнодо 40 разів.

При розрахунках будемо виходити з того, що в момент ядерного вибуху (у період дії проникаючої радіації) виробничий персонал об'єкту перебуває в притулках, а при радіоактивному зараженні - на робочих місцях протягом максимальної тривалості робочої зміни.

Оцінка стійкості об'єкта до впливу проникаючої радіації й радіоактивного зараження проводиться в такій послідовності:

- а) визначається ступінь захищеності робітників та службовців;
- б) визначаються дози випромінювання, які може одержати виробничий персонал при впливі проникаючої радіації й радіоактивного зараження;
- в) визначається межа стійкості цеху в умовах радіоактивного зараження;
- г) визначається наявність на об'єкті матеріалів, приладів, апаратури, чутливих до впливу радіації, і ступінь їх можливого пошкодження при очікуваній дозі випромінювання;
- д) визначається ступінь і можливість герметизації виробничих приміщень[12].

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Сідашенко О. І., Науменко О. А., Скобло Т. С. та ін. Ремонт машин і обладнання: підручник : Аграр Медіа Груп 2014. 632 с.
2. Долгов В.А. Тепловози ТЭМ -1 і ТЭМ : Транспорт, 1972.-256 с.
3. Тертычко Н.А., Т.Ф. Кузнецов Тепловоз ТЭМ - 2. Обладнання, догляд і ремонт. М.: Залізничне видавництво, 1976. 246 с.
4. Восстановление и повышение износостойкости и срока службы деталей машин /Под редакцией В.С.Попова. Запорожье: Издательство ОАО «Мотор Січ», 2000. 394 с.
5. Харламов Ю.О., Будагьянц Н.А. Основы технологии восстановления и упрочнения деталей машин : уч. пособие: в 2-х т. Луганск: издательство Восточнoукраинского национального университета имени В.Даля, 2003. 496 с.
6. Борисов Ю.С. Газотермичні покриття з порошкових матеріалів Довідник. Київ :Наукова думка, 1987. 544 с.
7. В.М. Корж, В.Д. Кузнецов, Ю.С. Борисов, К.А. Ющенко. Нанесення покриття. Навчальний посібник. К.: Видавництво Арістей, 2005. 204 с.
8. Корж В.М. Технологія і обладнання для напилення: Навчальний посібник. К.: НМЦ ВО, 2000. 152 с.
9. Неразрушающий контроль качества сварных конструкций. В.А. Троицкий, В.П. Радько, В.Г. Демидко, В.Т. Бобров. К.: Техніка, 1986. 159 с.
10. Чигарев В.В., Щетинина В.И. Проектирование цехов для сварки и пайки: Учеб. пособие. Мариуполь: ММИ, 1993. 119 с.
11. Дементій Л.В. Охорона праці в механічних та складальних цехах / Л.В. Дементій, С.А. Гончарова. Краматорськ : ДДМА, 2005. 312 с.
16. Депутат О.П., Коваленко І.В. Мужик І.С. Цивільна оборона. Львів: Афіша, 2001. 330 с.

Числоти	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				Документація		
1			НУЗП. 442923.0043В	Креслення виду загального		
				Складальні одиниці		
54	1		НУЗП. 442923.001	Станина	1	
54	2		НУЗП. 442923.002	Подаючий механізм	1	
54	3		НУЗП. 442923.003	Плазмоторон	1	
54	4		НУЗП. 442923.004	Ось рокерів	1	
54	5		НУЗП. 442923.005	Задня бідка	1	
54	6		НУЗП. 442923.006	Джерело живлення	1	

НУЗП. 442923.004 3В

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разрад.		Купрієнко С.В.		
Пров.		Савонов Ю.М.		
Н.контр.		Корнієнко О.Б.		
Утв.				

Установка для напилення  
осі рокерів

Лит.	Лист	Листов
Д П	1	1

НУ "Запорізька політехніка"  
кафедра ІТЗ та МК  
Група ІФ - 412М  
Формат А4