

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ  
АГРАРНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**РОМАНЮК ОЛЕКСАНДР ОЛЕКСАНДРОВИЧ**

**Допускається до захисту:**  
завідувач кафедри Механізації  
сільського господарства  
канд.техн. наук, доцент  
\_\_\_\_\_ Анатолій Поляков  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

**ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ КЛАСУ  
«ВАЛИ» ГАЗОПОЛУМ'ЯНИМ НАПИЛЕННЯМ ПОРОШКІВ**

Спеціальність 208 Агроінженерія

Кваліфікаційна робота  
на отримання ступеня вищої освіти магістра

Керівник: канд.техн.наук, доцент  
Анатолій Поляков

Оцінка: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
бали/за шкалою ЄКТС/за націон. шкалою

Київ - 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет Аграрний  
Кафедра «Механізації сільського господарства»  
Рівень вищої освіти Другий - магістр  
Спеціальність 208 «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**  
**Завідувач кафедри**

\_\_\_\_\_Анатолій Поляков  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 року

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**  
**РОМАНЮКА ОЛЕКСАНДРА ОЛЕКСАНДРОВИЧА**

1. Тема роботи: «Підвищення якості відновлення деталей класу «вали» газополум'яним напиленням порошків»  
керівник роботи Поляков А.М. канд.техн.наук, доцент  
затверджено наказом СНУ ім. В. Даля від « \_\_\_\_ » \_\_\_\_ 2023 р. № \_\_\_\_\_
2. Строк подання здобувачем роботи 27.11.2023р. \_\_\_\_\_
3. Вихідні дані до роботи
  - 1) завдання кафедри;
  - 2) матеріали огляду літературних джерел; нормативно - технічна документація.
4. Зміст основної частини роботи:
  - Аналіз початкових даних.
  - Підвищення міцності зчеплення покриття з основою при газополум'яному напиленні порошком.
  - Методика проведення досліджень.
  - Розробка технології відновлення валу газополум'яним напиленням порошком з використанням воднево-кисневої суміші.
  - Безпека і екологічність об'єкту
5. Перелік графічного матеріалу:
  - Актуальність робіт по відновленню деталей напиленням.
  - Класифікація способів газотермічного напилення
  - Способи газотермічного напилення
  - Дефекти .ступінчатих валів.
  - Схема технологічного процесу газополум'яного напилення.
  - Принципова схема процесу газополум'яного напилення.

- Обладнання для поста напilenня.
- Загальні висновки
- Ескіз пропонованої установки для антикорозійної обробки
- Техніко – економічні показники

#### 6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 15.09.2023 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Залишкова напруга при дорнуванні	30.09.2023	
2	Методика проведення експериментальних досліджень	15.10.2023	
3	Результати досліджень	10.11.2023	
4	Охорона праці	30.11.2023	

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_ Олександр Романюк

Керівник \_\_\_\_\_ Анатолій Поляков

## АНОТАЦІЯ

Романюк О.О.. «Підвищення якості відновлення деталей класу «вали» газополум'яним напиленням порошків»: кваліфікаційна робота на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»: 208 «Агроінженерія»/

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля.

Київ, 2023, 74 с.

У кваліфікаційній роботі розглянуто методи підвищення якісних характеристик відновлених поверхонь зношених деталей класу «вали». Розроблена технологія відновлення валів газополум'яним напиленням порошків з використанням воднево-кисневої суміші.

Ключові слова: технологія, газополум'яне напилення, воднево-киснева суміш.

Кваліфікаційна робота: 74 сторінки, 14 таблиць, 19 рисунків, 32 літературні джерела.

## ABSTRACT

O.O. Romanyuk. "Increasing the quality of restoration of parts of the "shaft" class by gas flame spraying of powders": qualification work for obtaining the degree of higher education "master": 208 "Agroengineering"/

Eastern Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl.

Kyiv, 2023, 74 p.

Methods of improving the quality characteristics of restored surfaces of worn parts of the "shaft" class are considered in the qualification work. The technology of restoration of shafts by gas-flame spraying of powders using a hydrogen-oxygen mixture has been developed.

Key words: technology, gas flame spraying, hydrogen-oxygen mixture.

Qualification work: 74 pages, 14 tables, 19 figures, 30 literary sources.

## ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 Аналіз початкових даних	8
1.1 Аналіз початкових даних	8
1.2 Властивості матеріалу валу	11
1.3 Аналіз способів відновлення зношеного вал	15
1.3.1 Аналіз способів відновлення зношеного валу	17
1.3.2 Відновлення валу газополум'яним напиленням	19
1.3.3 Відновлення плазмовим напиленням або напаленням	21
2 Підвищення міцності зчеплення покриття з основою при газополум'яному напиленні порошком	24
2.1 Підвищення міцності зчеплення покриття з основою за рахунок збільшення площі поверхні підкладки	24
2.2 Вплив складу полум'я на мікротвердість покриттів	26
2.3 Вплив режимів газополум'яного напилення на міцність відновленої поверхні валу	29
3 Методика проведення дослідження	35
3.1 Організація поста для механічної підготовки поверхні валу	35
3.2 Розробка поста газополум'яного напилення порошком	41
3.3 Виготовлення шліфів і визначення $\sigma_B$	45
4 Розробка технології газополум'яного напилення валу з використанням воднево-кисневої суміші	49
4.1 Розробка технології механічної обробки поверхні валу (підкладки)	49
4.2 Розробка технології відновлення валу газополум'яним напиленням	56
5 Безпека і екологічність об'єкту	59
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	70

## Вступ

З появою нових потреб людини, які сприяють розвитку науки і техніки, з'являються нові способи виробництва і відновлення. Виробництво технологічних установок, зборка агрегатів, вузлів, ремонт деталей займають важливу частину виробничого циклу виробу. Технологія ремонту і відновлення деталей дозволяє продовжити термін служби виробів і економити витрати на виготовлення нової деталі.

У сучасному машинобудуванні найбільш широке застосування знайшли деталі з обертальним рухом, менш широко поширено поступальне і комбіноване - поступальна і обертальна хода або інакше гвинтовий рух.

Для передачі моменту, що крутить, застосовуються спеціальні деталі, такі як вали, осі, на яких розташовуються на спеціальних виготовлених для цього ділянках, а саме цапфи або п'яти, які призначені для закріплення валу в опорних пристроях - підшипниках або підп'ятниках.

Деталлю типу «вал» називають, як правило, деталь, призначення якої служити підтримкою встановлених на ній зірочок, зубчастих коліс, шківів, катків для передачі моменту, що обертає, такі деталі зазвичай мають ступінчасту або гладку циліндричну форму. В ході експлуатації вали схильні до навантажень вигину і кручення, також в деяких випадках окрім вигину і кручення вали випробовують деформацію розтягування-стискування. У разі валів, таких як кардные вали автомобілів, валяння прокатних верстатів та ін., які не призначені для закріплення на них деталей, що обертаються, працюють тільки на кручення.

Ступінчасті вали найбільш зручні для зборки вузлів, уступи таких валів призначені для запобігання осьовому зміщенню деталей і фіксації положення деталі в ході зборки, забезпечуючи вільне просування деталей по валу до місця під посадку.

Саме такий ступінчастий вал і розглянутий в якості об'єкту дослідження в магістерській роботі.

Оскільки вали і осі в результаті тривалої експлуатації підтримані до зносу і появи дефектів, таких як: задираки і знос посадочних шийок під підшипники; зім'яло і знос робочих поверхонь, шліців, різьблення, канавок шпон і т. д.; вигин і скручування валу; злами і тріщини. Існує множина способів відновлення деталей залежно від конструкції, матеріалу виробу, його експлуатаційних властивостей.

З безлічі способів відновлення валів найбільш широке застосування мають наплавлення і напилення, за рахунок нарощування шару металу на зношені поверхні з подальшою механічною обробкою. Процес відновлення напиленням або наплавленням здатний відновити деталь придатну для роботи в її звичних умовах експлуатації.

Вибір між наплавленням і напиленням залежить від: типу дефекту, його геометричних параметрів, таких як товщина покриття, що наноситься; умов роботи поверхонь деталей, що сполучаються.

Таким чином, сформулюємо мету магістерської кваліфікаційної роботи: підвищення якості відновлюваних валів шляхом розробки технологічного процесу способу нарощення зношеної поверхні вала .

## **1 Аналіз початкових даних**

Перша глава випускної роботи присвячена аналізу початкових даних відновлюваної деталі. В главі розглянуті аналіз конструкції об'єкту досліджень, хімічний склад марки матеріалу і його механічні властивості, надалі для вибору матеріалів процесу відновлення. Також в якості початкових ми маємо перелік дефектів поверхонь ступінчастого валу, отриманих в ході тривало експлуатації.

### **1.1 Аналіз конструкції зношеного валу**

У випускній кваліфікаційній роботі в якості об'єкту дослідження був вибраний ступінчастий вал коробки подань токарного устаткування.

Токарні верстати найчастіше мають однакову конструкцію і розрізняються лише габаритами і розташуванням основних вузлів устаткування. Основні вузли токарного устаткування, наступні :

- передня бабка або шпиндельна;
- задня бабка;
- коробка подань;
- станина;
- фартух;
- супорт.

Коробка подань є одним з основних вузлів металорізального устаткування і призначена для регулювання швидкості обертання ходового валу і ходового гвинта, тобто, вибір швидкості подання різця уздовж осі шпинделя безпосередньо залежить від роботи коробки подань. Як приклад, при виконанні операції точіння поверхні валу механізм



коробки подань забезпечує переміщення різця уздовж заготівлі - подання, на задане значення за один оборот шпинделя.

У коробку подань входить редуктор, що складається з перемиканих зубчастих передач. Через змінні зубчасті колеса на вхідний вал коробки подань поступає момент, що крутить, від шпинделя. Момент, що крутить, на виході з коробки подань передається на ходовий вал і ходовий гвинт, від яких поступає зусилля на фартух супорта.

Вибір цієї деталі в якості об'єкту дослідження обумовлений тим, що габарити валів коробки передач металорізального устаткування залежать від конкретного верстата і параметрів оброблюваної деталі, при роботі вали коробки передач випробовують навантаження на вигин, кручення і випробовують деформацію розтягування-стискування [27]. Такі вали схильні до сильного зносу в місцях закріплення деталей, що обертаються, із-за тривалої експлуатації. За таких умов роботи вали виготовляються з конструкційних вуглецевих якісних сталей, які можуть піддаватися додатковій поверхневій термічній обробці. Заміна валів коробки передач на нову деталь не завжди доцільна, найчастіше до зносу схильні лише деякі поверхні деталі, які можливо відновити.

Ступінчастий вал відноситься до типу деталі - тіла обертання. Ступінчастий вал призначений для передачі моменту, що обертає, і розташування на нім деталей. У аналіз конструкції деталі входить описі розмірів деталі, її елементів, ескізи і креслення об'єкту [21].

На рис. 1 приведено ескіз ступінчастого валу з розмірами та позначеннями поверхонь під посадку <sup>14</sup>відшипників і втулок, <sup>77</sup>пази шпон. Вказані поверхні зносу. <sup>8</sup>

Виходячи з рис. 1 видно, що ступінчастий вал містить паз шпони, дві поверхні під посадку підшипників  $\varnothing 75$  мм, також поверхню  $\varnothing 72$  мм для фіксації втулки.

Загальна довжина валу складає 360 мм. Габаритні розміри

ступінчастого валу і його конструкція приведені нижче. Знаючи конструкцію валу та його розміри можемо заздалегідь призначити необхідне устаткування для попередньої обробки і на операцію

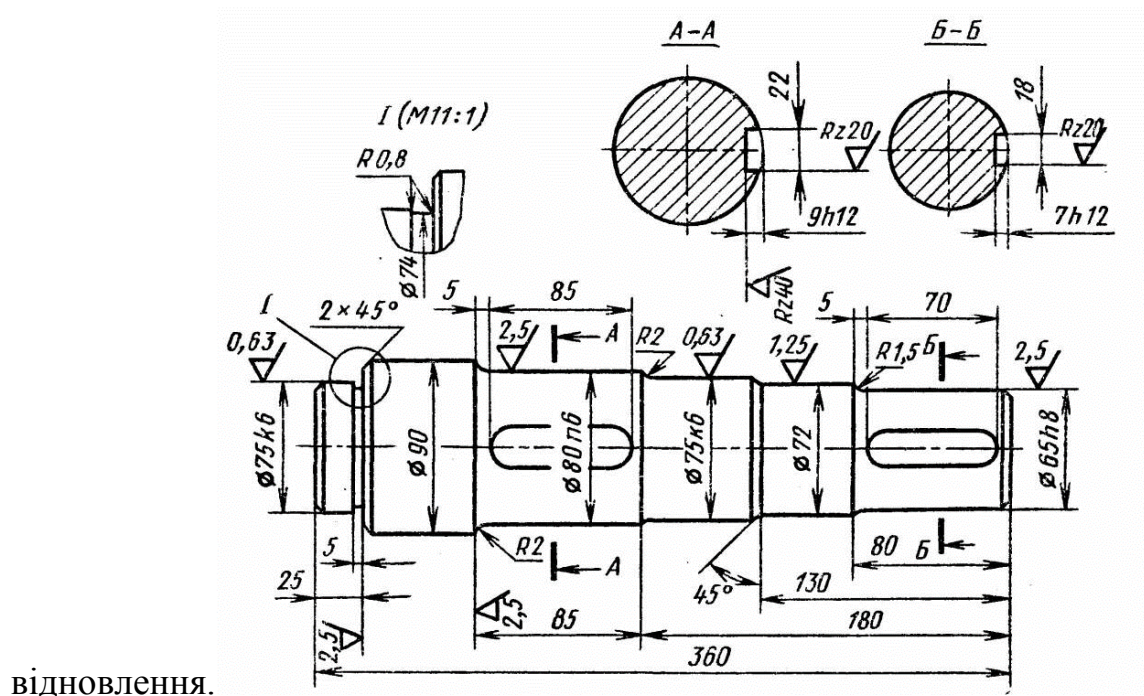


Рисунок 1 - Ескіз конструкції валу

## 1.2 Властивості матеріалу валу

Визначення хімічного складу і механічних властивостей деталі допоможе підібрати необхідні матеріали для ремонту і для вибору різального інструменту в ході механічної обробки [1].

Як говорилося раніше, для роботи при таких навантаженнях вали виготовляються з конструкційних вуглецевих якісних сталей, які можуть піддаватися додатковій поверхневій термічній обробці. Вали цього типу виготовляють із сталі 40, сталі 45, сталі 40Х і сталі 45Х і так далі

Матеріал ступінчастого валу - сталь 45. З цієї марки сталі виготовляються деталі типу валів, шестерень, осей, болтів, шатунів та ін. Сталь 45 призначена для деталей, у вимоги яких входить підвищена твердість, зносостійкість, і деталі, працюючі в умовах незначних ударних навантаженнях. Твердість сталі по Бринеллю складає 156 - 197 НВ. В

якості заміників сталі 45 застосовуються сталь 40Х, сталь 50, 50Г2.

Хімічний склад сталі 45 по ДСТУ 7809-2015, показники приведені нижче в таблиці 1.

Таблиця 1 - Хімічний склад сталі 45 в % ДСТУ 7809-2015

C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	S	P	As	Fe
			Не більш						
0,42-0,49	0,17-0,37	0,5-0,8	0,25	0,25	0,25	0,04	0,035	0,08	~ 97

Механічні властивості сталі 45 згідно з дестом представлені в таблиці 2.

Таблиця 2 - Механічні властивості сталі 45 ДСТУ 7809-2015

Стан постачання, режим термообробки	$\sigma_u$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %
Сталь кована, що гарячекатана, така, що калібрується і сріблянка другій категорії після нормалізації	600	16	40

Де,  $\sigma_B$  - тимчасовий опір розриву (межа міцності при розтягуванні), МПа;  $\delta$  - відносне подовження після розриву %;  $\psi$  - відносне звуження, %.

Сталь 45 відноситься до важко зварюваним сталям. Методи зварювання для цієї сталі - РДС (ручне дугове зварювання) з підігріванням і подальшою термообробкою, також КТС - (контактне точкове зварювання), також з подальшою термообробкою. Сталь не схильна до відпускнуї крихкості.

#### *Опис дефектів валу*

До зносу і виникнення дефектів схильні абсолютно усі деталі, внаслідок експлуатації, неякісного виготовлення, із-за внутрішньої напруги, структура деталі починає руйнуватися. У разі зносу деталь відправляють на ремонт так, як це економічно вигідніше, ніж виготовлення нового виробу. Виходячи з умов експлуатації деталі і її фізичного стану вибирають технологію

відновлення.

Найчастіше, у деталей типу вал, до зносу найбільш схильні посадочні поверхні, такі як шийки валів під підшипники і різьбові поверхні, місця під маточини коліс з пазами шпон і самі пази шпон, поверхні зубів [21]. Знос відбувається через силу тертя поверхні об поверхню. На вал деталі напресовуються з натягом, в якості додаткової фіксації і передачі деталі моменту, що крутить, на валу виготовляються пази шпон. Внаслідок тривалої експлуатації ці поверхні зношуються, що призводить до порушення роботи механізмів.

Ступінчастий вал став не придатним до експлуатації із-за появи дефектів на поверхнях валу. Після проведення візуальної оцінки ступінчастого валу були виявлені поверхні з видимим зносом. Розглянемо усі види дефектів присутні на деталі.

«Деталі даного типу піддаються таким процесам зношення, як: механічне зношування, абразивне зношення, гідро абразивне і газо абразивне зношення, кавітаційне зношування, втомне зношування, адгезійне зношування, механічно-хімічне зношування, окислювальне зношування, зношування при фретинг корозії, електроерозійне зношування»[25].

«Найбільший знос валів та осей припадає на абразивне зношування це характеризується тим, що абразивне зношування виникає внаслідок різальної або дряпальної дії твердих тіл або частин, яке є найпоширенішим видом зношування техніки. Абразивне зношування відбувається за рахунок тертя спряжених деталей і має місце під час руху тіла в абразивному середовищі.»[25]

«Абразивні частинки можуть потрапляти на поверхні тертя ззовні (наприклад, з пилом ґрунтового походження, із забрудненим мастилом), знаходитися у металі тертьових деталей (тверді структурні складові) або утворюватися у процесі тертя (металеві продукти зношування).»[25]

В абразивному середовищі процес зношування характеризується мікрорізнанням і багаторазовим пластичним деформуванням одних і тих

жемікрооб'ємів металу, в результаті якого виникає втомлюване руйнування поверхневого шару.

«При абразивному зношуванні лінійний знос пропорційний питомому навантаженню і шляху тертя і значно залежить від твердості матеріалу, а також твердості та розміру зерен абразиву.

Вали й осі мають гладкі циліндричні або конічні поверхні (шийки), шліци, шпонкові пази, бурти, лиски і різьбові поверхні.»[24]

У процесі експлуатації машин і механізмів на цих поверхнях можуть з'являтися різні дефекти: вигин і скручування, знос і зминання опорних і посадочних шийок і буртів; знос шпонкових пазів і шліців; знос і ушкодження різьби і центрових отворів; тріщини і поломки в різних місцях.

«При ремонті валів і осей спочатку виконують зварювальні та слюсарні роботи, так як при їх здійсненні можливі деформації деталі і можуть бути пошкоджені чисто оброблені поверхні. Після зварювальних та наплавлювальних робіт вали і осі піддають правці і попередньої механічної обробці. Чистова обробка робочих поверхонь вала повинна проводитися в останню чергу» [21]

При незначному зносі шийок вала, як приклад, risks подряпини і овальності, дефект усувається шляхом механічної обробки на операції шліфування, поверхню обробляють під новий робочий розмір.

Крім циліндричних поверхонь до зношування схильний паз шпону, за рахунок якого виконується фіксація деталі на валу. Ремонт зношеного паза шпони може бути наступним. У разі, якщо є можливість паз фрезою розточують під новий розмір разом з пазом з деталлю, що сполучається. У випадку якщо немає такої можливості, то існуючий паз заварюється і відносно нього, під кутом  $90^\circ - 180^\circ$  фрезерується новий.

Різьбові поверхні піддаються тому, що зім'яло, сколам різблення в ході роботи, для відновлення різблення слід прибрати різблення точінням, потім

наплавити необхідний шар металу на поверхню, після чого нарізувати нове

різьблення.

Зведемо усі отримані параметри зносу на поверхнях валу в таблицю 3.

Таблиця 3 - Параметри зносу циліндричних поверхонь ступінчастого валу

№ пов.	d, мм	d <sub>изн</sub> , мм	Δd, мм	S, мм	Эскиз
Пов. 2	65	64,0	1,0	0,5	
Пов. 3	72	71,2	0,8	0,4	
Пов. 6	75	74,4	0,6	0,3	
Пов. 7	80	78,8	1,2	0,6	

У разі зносу деталь відправляють на ремонт так, як це частенько економічно вигідніше, ніж виготовлення нового виробу. Визначивши міру зносу валу, за візуальною оцінкою, і зняттям вимірів з дефектів, вивчивши властивості сталі 45 і конструктивні особливості ступінчастого валу, робимо укладення, що ступінчастий вал підлягає ремонту.

### 1.3 Аналіз способів відновлення зношеного валу

Для розробки технологічного процесу необхідно визначити спосіб відновлення виходячи з виду дефектів і конструкції деталі [20].

Нарощення зношеного шару металу може бути виконане одним з відомих способів ремонту :

- зварювання;
- наплавлення;

- напилення;
- металізація;

Вибір способу відновлення залежить від: виду дефекту, типу відновлюваної поверхні, матеріалу виробу і тип навантажень, що випробовуються деталлю.

Такі дефекти як тріщини, пробоїни, подряпини, вифарбовування і значні задираки, що виникають в результаті дії внутрішньої напруги, механічних ушкоджень або великих зусиль прибирають за рахунок слюсарно-механічною обробкою. Дефекти запаюють, заливають, заварюють, ставлять латки і так далі

Зварювальні роботи при ремонті устаткування застосовуються для створення не роз'ємних з'єднань пошкоджених або зруйнованих деталей. При ремонті поширені такі види зварювання, як автоматичне і напівавтоматичне дугове зварювання, менш досконалі, але мають місце ручні способи зварювання, такі способи незамінні при ремонті із-за універсальності, маневреності і простоті процесу.

Також одним з основних методів відновлення є наплавлення і напилення шару металу. Такі способи застосовуються, коли виникає знос поверхонь, що труться, і необхідно відновити зношений шар металу і надати йому зносостійкість. Якість після процесу відновлення на пряму залежить від стану ремонтної поверхні.

Відновлення з допомогою металізації називається нанесення на поверхню розплавленого шару металу, який у свою чергу має не монолітну, а пористу масу, що складається з окислених часток. У спеціальному приладі - металізаторі розпрямлений метал розпилюється на найдрібніші частки струменем повітря або газу.

Гальванічне нарощування шару металу - це один з методів сучасного ремонту. У відмінності від хромування залізнення дозволяє наносити шар металу більшої товщини 2 - 3 мм і більше. Цей спосіб доцільно застосовувати у разі відновлення деталей з невисокою

поверхневою твердістю або з нерухомими посадками, також має місце відновлення деталей з величиною зносу більше 0,5 мм, працюючі на тертя і удари.

Відновлення і зміцнення деталей тиском - ще один спосіб ремонту поверхневого шару. Таким методом відновлюються деталі, що мають пластичність в холодному і нагрітому стані. Метод заснований на пластичності металів і їх здатності змінювати свою геометрію під дією зовнішніх сил. Відновлення до номінальних значень проводять з допомога спеціальних пристосувань, шар металу з не робочих поверхонь переносять на зношені ділянки деталі.

Згідно з проведенням аналізом маємо, що в основному ремонту потребують циліндричні поверхні зі зносом діаметру від 0,4 до 1 мм (марка матеріалу деталі Ст. 45). З причини цього найдоцільніше ремонт поверхонь деталі проводити способами наплавлення і напиленням.

### **1.3.1 Відновлення валу газополум'яним наплавленням**

Метод наплавлення полягає в нанесенні шару металу на поверхню виробу за допомогою зварювання плавленням.

Наплавлення в процесі ремонту включає відновлення номінальних розмірів пошкоджених деталей. У такому разі метав для наплавлення підбирають близьким за складом і властивостями до основного матеріалу для відновлення розмірів і може відрізнятися для нанесення зносостійкого покриття.

Також як і способи зварювання, способи наплавлення класифікуються на фізичні, технічні і технологічні.

За фізичною ознакою або по використовуваному джерелу нагріву способи наплавлення розділяються на наступні:

— термічні, такі як електрошлакова, дугова, плазмова, світлова, електроннопроменева, індукційна, газова, пічна;



- термомеханічні - плющенням, контактна, екструдированням;
- механічні - тертям і вибухом.

У свою чергу ці способи можуть відрізнятися за технічною ознакою - безперервність міри наплавлення, міра механізації наплавлення, способи захисту метали в зоні наплавлення, також мають відмінність за технологічною ознакою - кількість електродів, рід струму, наявність зовнішнього дія і так далі. У таблиці 4 представлені способи наплавлення і її характеристики.

Таблиця 4 - Способи наплавлення

Способи наплавлення	Продукт. кг/г	Доля основ. металу, %	Товщ. напл. шару, мм
Газова з присадкою дроту або прутков	0,5-1,5	1,0	0,8-5,0
Газопорошкова	0,5-3,0	1,0	0,3-3,0
Аргонодуговая неплавким електродом	1,0-7,0	10-30	2,5-5,0
Плавким електродом в захисному газі	1,5-9,0	30-60	3,0-5,0
Ручна дугова покритими електродами	0,8-3,0	20-50	2,0-5,0
Під флюсом одним дротом	2-12	30-60	3,5-5,0
Під флюсом багатоелектродна	5,0-40	15-30	5,0-8,0
Під флюсом стрічкою	5,0-40	10-20	2,5-10
Дугова садовозахисним дротом	2,0-9,0	25-50	2,5-5,0
Дугова садовозахисною стрічкою	10-20	15-40	2,5-5,0
Електрошлакова двома електродними стрічками	10-60	5,0-15	1,5-5,0
Електрошлакова електродними дротами	20-60	10-20	6,0-50
Електрошлакова зернистим присадним матеріалом	20-200	5,0-50	15-50
Плазмовим порошком	0,8-6,0	5,0-15	0,3-6,0
Індукційна	2,0-15	5,0-15	0,4-3,0

З представлених способів наплавлення найбільш відповідним способом відновлення для ступінчастого валу є наплавлення плазмовим

порошком і газопорошкове наплавлення.

Газополум'яне наплавлення (ГН) виглядає таким чином, нагрітий розплавлений полум'ям газу метал, спалюваний в суміші з киснем в спеціальних пальниках. Ацетилен або його замінники такі як пропан-бутанова суміш, природний газ, водень і інші гази при газополум'яному напавленні застосовуються в якості горючого газу. Існує газополум'яне наплавлення з присадкою прутков або із застосуванням порошку.

Газополум'яне наплавлення має наступні достоїнства:

- мале проплавлення основного металу;
- універсальність і гнучкість технології;
- можливість наплавлення шарів малої товщини.

Недоліки, які має ГН наступні :

- низька продуктивність процесу;
- нестабільність якості наплавленого шару.
- 

### **1.3.2 Відновлення валу газополум'яним напиленням**

Як ще один спосіб відновлення ступінчастого валу розглянемо процес напилення. При відновленні деталей напиленням застосовується порошок, завдяки якому є можливість регулювати склад покриття, що наноситься, порівняно з дротом, використання порошоків у відмінності від дроту сприяє підвищенню міцності зчеплення покриття з основою.

Застосування процесу напилення для відновлення деталей дозволяє заощадити за рахунок виготовлення нових деталей і скоротити простим устаткуванням.

Газополум'яне напилення (рис.2) це один з методів напилення, який полягає в тому, що на металеву поверхню наноситься шар дрібнозернистого середовища зі зносостійких, антикорозійних і вогнетривких матеріалів, що призводить до поліпшення функціональних характеристик деталей.

*Напилюваний  
порошок*

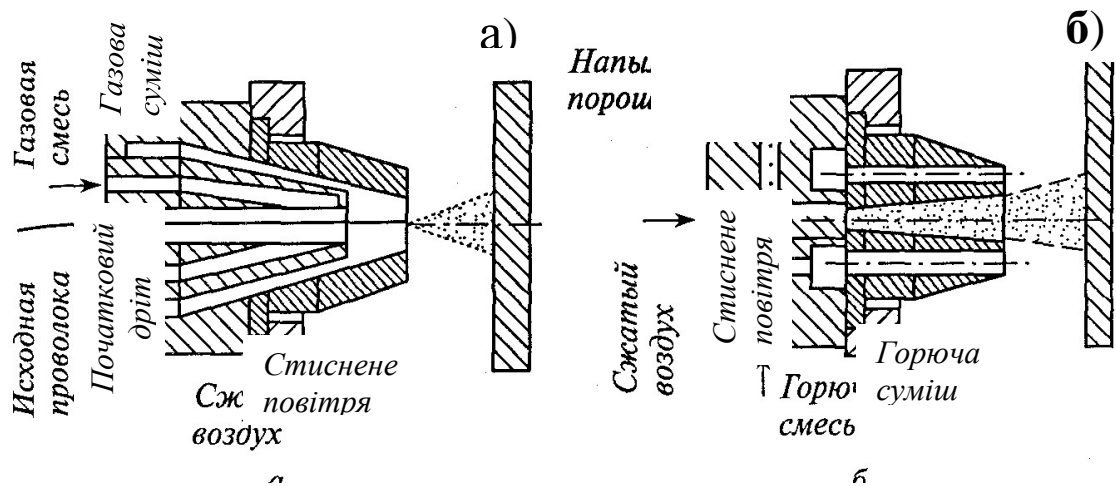


Рисунок 2 Схема процесів газополум'яного напилення із застосуванням початкового матеріалу: а - в вигляді дроту ; б - в вигляді порошків

При відновленні напиленням найважливішими показниками якості захисного покриття є:

- пористість покриття;
- твердість шару металу, що наноситься;
- адгезія;
- мікроструктура покриття.

Покриття при газополум'яному напилення характеризується наступними параметрами:

- шар напилення завтовшки від 0,4 до 10 мм;
- пористість покриття складає 5 - 12 %;
- міцність зчеплення покриття з основою (адгезія) складає 2,5 – 5,0 кг/мм<sup>2</sup>

Переваги при виборі газополум'яного напилення в якості процесу відновлення :

- можливість нанесення низько пластичних матеріалів;
- отримання матеріалів з унікальними властивостями;
- доступність технології проведення процесу відновлення при частковому зносі деталі з мінімальними витратами;

- поверхня деталей устаткування захищається від корозії, газоабразивного зносу, гідроабразивного зносу;
- мобільність комплексів нанесення покриття на виробництві для будь-якої площі поверхні;
- здатність нанесення покриття на деталі складної конфігурації поверхонь;
- після нанесення покриття відсутня внутрішня напруга дефекти на поверхні і мікроструктури через відсутність тиску і високих температур в процес ремонтних робіт.

Таким чином, газополум'яне напилення з усіма своїми характеристиками у випадку з нашим об'єктом дослідження і темою дисертаційної роботи порівняно з газополум'яним наплавленням пріоритетнее в якості процесу відновлення.

### **1.3.3 Відновлення плазмовим напиленням або наплавленням**

Плазмове наплавлення (ПН) полягає у використанні як джерело зварювального нагріву плазмову дугу. При ПН використовується постійний струм прямої або зворотної полярності.

Плазмове наплавлення має наступні достоїнства:

- висока якість наплавленого металу
- мала глибина проплавлення основного металу при високій міцності зчеплення;
- можливість наплавлення тонких шарів;
- висока культура виробництва.

З недоліків плазмове наплавлення має:

- відносно невисока продуктивність.
- необхідність в складному устаткуванні.

На рис. 3 показані схеми плазмового наплавлення із застосуванням порошкових матеріалів [7, 8].

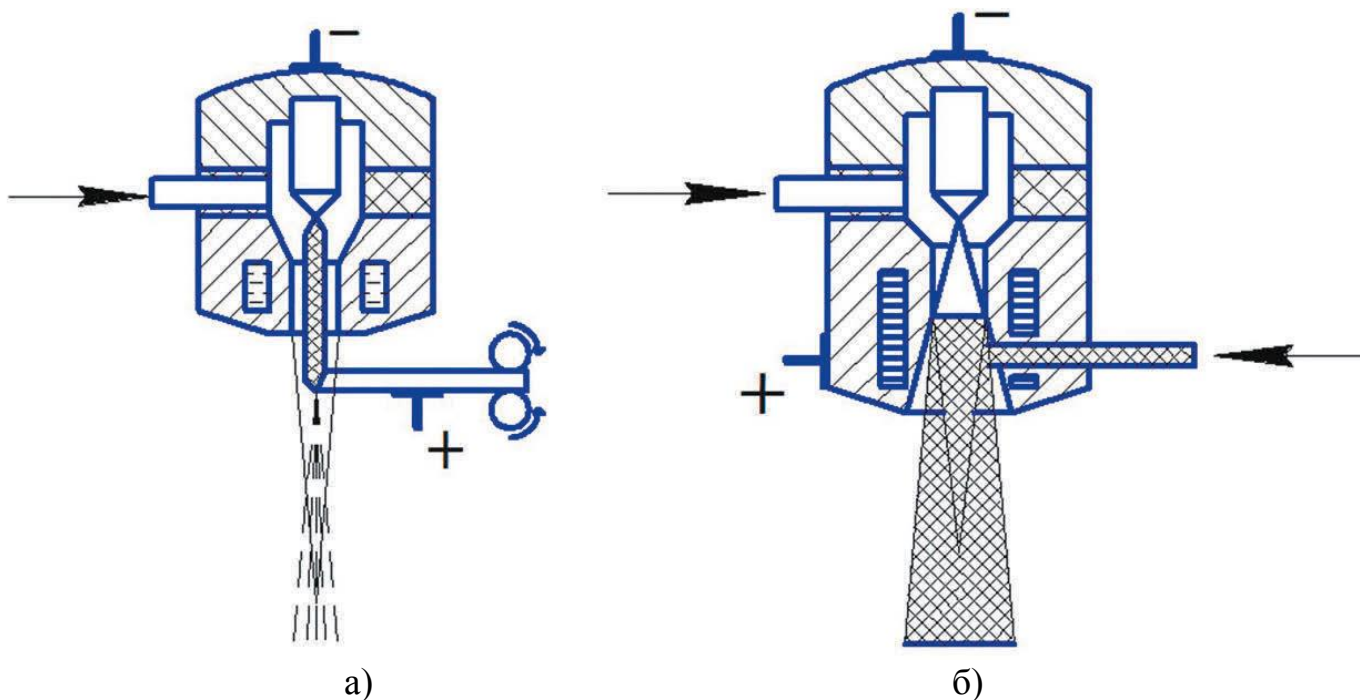


Рисунок 3 - Схема розпилення дуговою плазмою струмоведучого дроту (а), порошку (б)

Найбільше поширення отримало плазмово-порошкове наплавлення, через те, що порошки можуть бути отримані з практично будь-якого відповідного для наплавлення сплаву.

Таким чином, з урахуванням вищевикладеного аналізу всіх методів відновлення та врахування переваг та недоліків кожного методу робимо висновок, що проблема з відновленням ступінчастого валу, у нашій роботі, вирішується за рахунок газополум'яного напилення. З різних методів відновлення найкращу якість покриття ми досягаємо саме газополум'яним напиленням. Однак, матеріал ступінчастого валу та його геометричні параметри викликають деякі труднощі під час ремонту. Провівши дослідження можливих способів покращення якості покриття, на основі результатів аналізу знайдених робіт [1, 28] було розроблено технологічний процес напилення зношеного валу порошком ПР-65Х25Г12НЗ.

Для досягнення поставленої мети в роботі поставлені і вирішені

наступні завдання.

- Провести аналіз конструкції валу, виникаючих дефектів і способів відновлення валу.
- Вибрати матеріал для газополум'яного напилення, що забезпечує якість покриття, що має необхідні характеристики для механічної обробки.
- Визначити вплив глибини проплавлення на якість шару, що наплавляється.
- Розробити технологічний процес відновлення валу газополум'яним напиленням.

Таким чином, завдання, поставлені в роботі, формують структуру пояснювальної записки, яка включає : введення; чотири глави; висновок.

В якості теоретичної, інформаційної баз для дослідження використовувалися:

- державні стандарти і нормативна документація;
- публікації учених, інженерів зварювання, наплавлення, напилення і контролю;
- інформація з проблеми дослідження отримана з пошуків в інтернет-джерелах.

При проведенні дослідження застосовувалися загальнонаукові і спеціальні методи дослідження. Застосовувалися аналітичні і логічні

- спеціальні методи. По темі дослідження проводився аналіз джерел літератури. Для отримання висновків застосовувалися логічні методи дослідження.

## **2 Підвищення міцності зчеплення покриття з основою при газополум'яному напиленні порошком**

Спираючись на аналіз першої глави, вибираємо метод відновлення зношеного покриття ступінчастого валу напиленням.

Аналіз відомих способів відновлення показав, що при ремонті малих партій виробів доцільне застосування газополум'яного напилення. Цей метод дозволить відновити поверхню і підвищити зносостійкість шийок валу під посадку підшипників.

Процес напилення має свої недоліки і одним з них є адгезія - зчеплення покриття і основи. При неякісному виконанні ремонту після впровадження валу в роботу або на етапі контролю спостерігається відрив і викришування напиленого шару від основного металу. Підвищення міцності зчеплення покриття з підкладкою, ставати можливим при застосуванні воднево-кисневої суміші з використанням порошку, що дозволить підвищити міцність зчеплення покриття з підкладкою [1].

Також ця проблема може бути розв'язана декількома способами, які будуть розглянуті в другій главі.

### **2.1 Підвищення міцності зчеплення покриття з основою за рахунок збільшення площі поверхні підкладки**

Одним із способів розв'язати проблему, пов'язану з якістю зчеплення підкладки і покриття, - це збільшення площі поверхні підкладки. Залежно від методу попередньої підготовки ми можемо впливати на міцність зчеплення підкладки і покриття.

Значення міцності зчеплення залежно від способу підготовки поверхні приведені в таблиці 5.

Таблиця 5 - Способи підготовки поверхні

Спосіб підготовки поверхні	Міцність зчеплення, МН/м <sup>2</sup>
Накатка (пряма, коса, перехресна)	98
Нарізка «рваної» з накоченням вершин	152
Нарізка кільцевих канавок	137

З таблиці 5 видно, що найбільша міцність зчеплення виходить за рахунок нарізки «рваного» різьблення.

Для розрахунку і дослідження підвищення міцності зчеплення покриття з основою за рахунок збільшення площі поверхні підкладки розглянемо поверхні 6 і 7 на рис. 1. Ці поверхні є шийками валу під посадку підшипників діаметр, яких для поверхні 6 дорівнює 30 мм для поверхні. 7 - 36 мм. Параметри зносу валу для позицій 6 і 7 приведені в таблиці 3. Величина зносу складає 0,6 мм для пов. 7 і 0,8 мм для поз. 6.

Для збільшення зв'язку між матеріалом покриття і ділянки валу, що відновлюється, пропонується при підготовці його поверхні накочувати різьблення з замковим профілем (рис. 8), який називають «рваним». Накочування «рваного» профілю проводять за попередньо нарізаним різьбленням. Для поверхні 7 (таблиця 3), вибираємо метричне різьблення М34×3 згідно з номінальними діаметрами поверхонь під підшипники, і кроком різьблення рівному  $P = 3$  (рис. 8). Для отримання «рваного» різьблення застосовуються профільні ролики. В результаті поверхня для нанесення покриття збільшиться в 2,6 рази. Площа посадочного місця під підшипник  $3,14 \cdot 36 \cdot 14 = 1582,6 \text{ мм}^2$ . З урахуванням замкового різьблення площа збільшується до  $4114,7 \text{ мм}^2$  при вибраному різьбленні з кроком 3мм. За рахунок збільшення площі зчеплення порошку з підкладкою збільшується зв'язок між матеріалом покриття і матеріалом валу. Завдяки такій технології підготовки поверхні вдається підвищити міцність зчеплення газополум'яних покриттів з основою



на 25%.

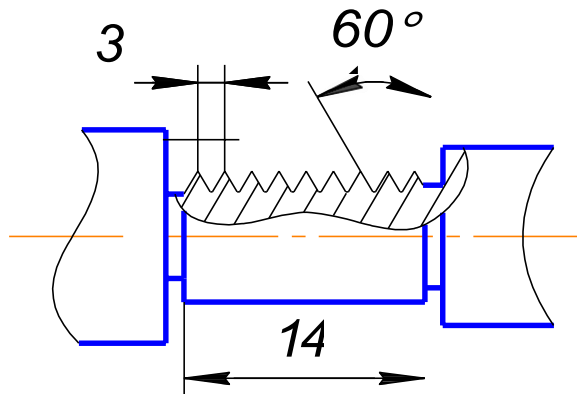


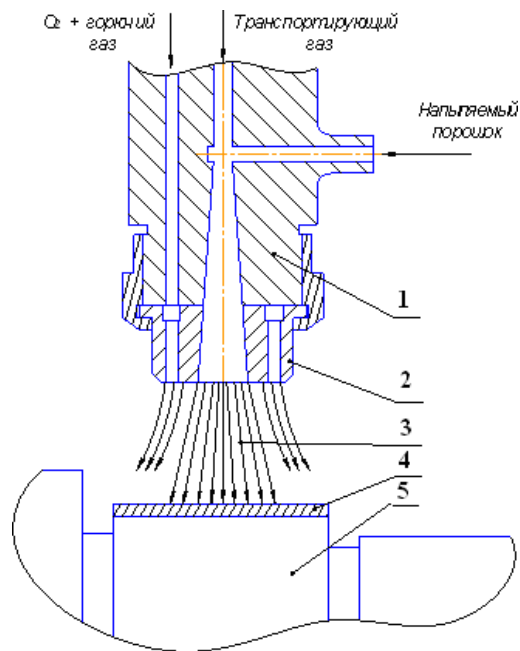
Рисунок 4 - Профіль рваного різьблення

З урахуванням чистової токарної обробки визначається товщина шару напилення. Напилюваний шар в даному випадку складе 3,248 мм. Приймаємо товщину шару рівну 3,5мм.

## 2.2 Вплив складу полум'я на мікротвердість покриттів

Газополум'яне порошкове напилення здійснюється таким чином: напилюваний порошок потрапляє в пальник згори з бункера через отвір, потоком транспортуючого газу (суміш кисень – горючий газ) розгониться і на виході з сопла потрапляє в полум'я, де відбувається його нагрівання. Схема газополум'яного напилення порошком представлена на рис. 9.

Разом із струменем гарячого газу частки порошку потрапляють на заздалегідь підготовлену напилювану поверхню. У порошкових пальниках, також як і в дротяних, подання напилюваного матеріалу в полум'я і розгін розплавлених часток, що утворюються, може робитися за допомогою струменя стислого повітря.



1 — голівка; 2 - сопло; 3 - газове полум'я; 4 - шар, що наноситься; 5 - вал

Рисунок 5 - Схема газополум'яного напилення валу порошком

У суміші кисень ( $O_2$ ) — горючий газ, у більшості випадків як паливний газ використовують ацетилен ( $C_2H_2$ ). Також може бути застосований пропан ( $C_3H_8$ ), водень ( $H_2$ ) або метилацетилен-пропан, який попередньо піддають стабілізації. При відновленні деталі газополум'яним напиленням в якості транспортуючого газу застосовується воднево-киснева суміш.

Одним з основних недоліків газополум'яного напилення є виділення продуктів згорання органічного палива [10]. При використанні киснево-водневої суміші для газополум'яного напилення виникає можливість позбавитися від істотного недоліку при напиленні за рахунок виділення продуктів згорання органічного палива.

У момент горіння воднево-кисневої суміші активно протікають процеси окислення металів, які у свою чергу призводять до утворення оксидів відповідних металів.

При газополум'яному напиленні вплив на якість покриття робить особливий вплив склад горючого газу [28].

В ході дослідження вивчений вплив складу воднево-кисневого полум'я на мікротвердість покриттів. Для цього вивчені поперечні шліфи, площина яких перпендикулярна подовжній осі валу. Як шліфи використовувалися спеціальні зразки з нанесеним газополум'яним напиленням покриттями із застосуванням різних пальних газів по складу [28].

В якості горючих газів для порівняння впливу складу на мікротвердість покриття, вивчені наступні по складу газу:

- воднево-киснева ( $H_2+O_2$ ) суміш з добавкою пропан-бутана 5% ( $C_3H_8+C_4H_{10}$ );
- воднево-киснева ( $H_2+O_2$ ) суміш;
- ацетилено-киснева суміш ( $C_2H_2+O_2$ ).

Результати дослідження мікротвердості покриття залежно від складу горючого газу представлені на рис. 6.

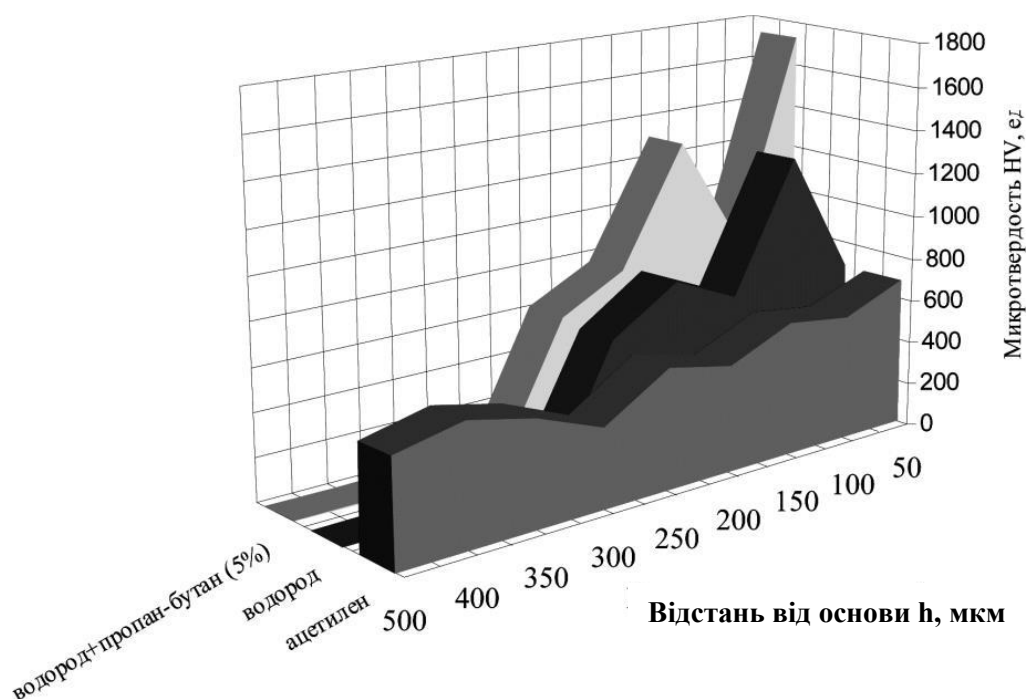


Рисунок 6 - Розподіл мікротвердості в поверхневому шарі газополум'яних покриттів порошком при використанні полум'я різних горючих газів

Згідно з результатами досліджень, пов'язаних з підвищенням мікротвердості покриттів при газополум'яному напilenні воднево-кисневим полум'ям [25], очевидно, що середні значення мікротвердості по Виккерсу у покриттів отриманих воднево-кисневим полум'ям з 5 процентною добавкою пропан бутанової суміші складає HV 1043; проти HV 796 - на чистій воднево-кисневій суміші; HV 534 - на ацетилен - кисневому полум'ї (рис. 6).

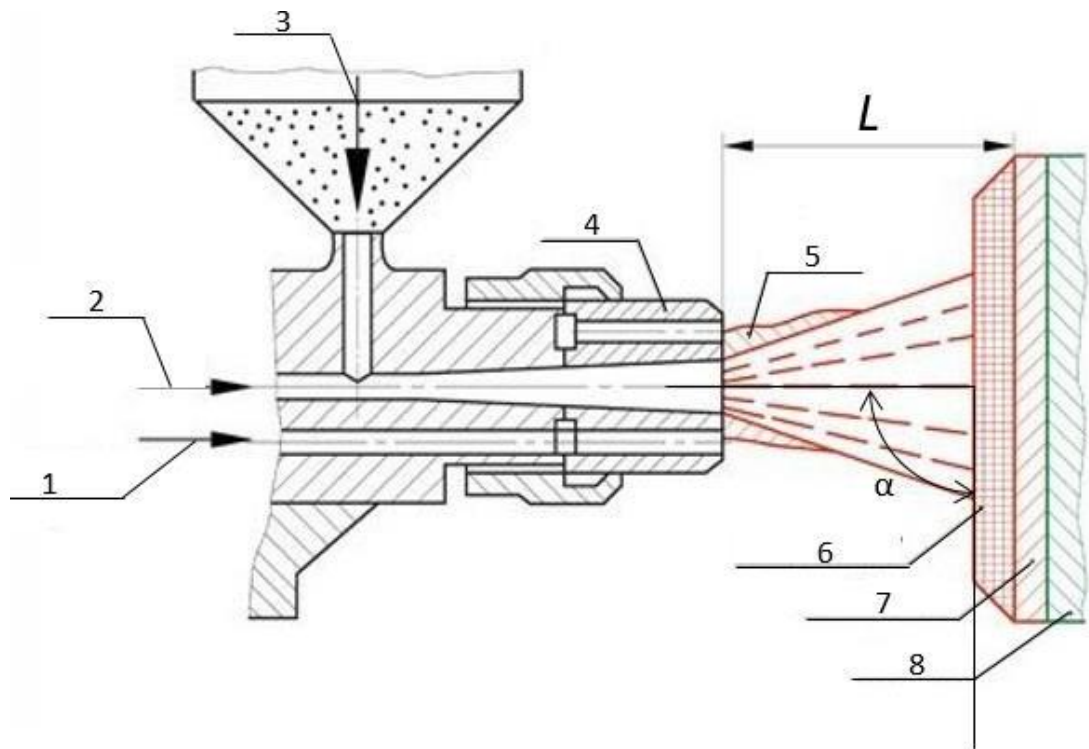
Таким чином, застосування добавки в якості пропан-бутана до воднево-кисневої суміші для газополум'яного напilenня дозволяє підвищити мікротвердість покриття на 24% порівняно з чисто водородно-кисневим полум'ям, а порівняно з ацетиленокисневій суміші мікротвердість отриманого покриття підвищується на 49%.

### **2.3 Вплив режимів газополум'яного напilenня на міцність відновленої поверхні валу**

Збільшення площі зчеплення поверхні за рахунок зміни геометричних параметрів відновлюваної поверхні попередньою механічною обробкою нарізуванням «рваного» різьблення дозволяє поліпшити якість зчеплення підкладки з основою.

Перш ніж переступити до процесу відновлення слід провести попередню механічну обробку поверхні. При цьому слід зазначити, що чим менше розривши в часі між підготовкою поверхні і процесом відновлення, тим вище міцність зчеплення основи і покриття.

Вплив на якість покриття та міцність зчеплення надають параметри обробки газополум'яним напilenням. Можна помітити, що такі параметри, як дистанція  $L$  та кут напilenня  $\alpha$ , контролюються за рахунок положення газополум'яного пальника (рис. 7).



1 – кисень і горючий газ; 2 - транспортуєчий газ; 3 - напилюваний порошок; 4 - сопло; 5 - факел; 6 - покриття; 7 - підложка; 8 - деталь; L - дистанція напилення;  $\alpha$  - кут напилення

Рисунок 7 - Схема газополум'яного напилення

Визначимо режими газополум'яного напилення при відновленні деталей і їх вплив на процес відновлення.

При дослідженні способів відновлення валів за допомогою газополум'яного напилення було виявлено, що при зміні параметрів газополум'яного напилення також можна контролювати якість покриття, що наноситься, і міцність зчеплення основи і покриття.

Згідно з початковими даними, ми маємо на операції відновлення зразкові параметри газополум'яного напилення.

Режими газополум'яного напилення :

- кисень ( $O_2$ ) - тиск ( $P = 0,1,0,4$  МПа), витрата (55.135 л/год);
- ацетилен ( $C_2H_2$ ) - тиск ( $P = 0,1,0,4$  МПа), витрата (50...135 л/год);
- воднево-киснева суміш ( $H_2 + O_2$ ) - тиск ( $P = 0,1,0,4$  МПа), витрата (16...24 л/хв);
- Пропан-Бутан ( $C_3H_8 + C_4H_{10}$ ) - тиск ( $P = 0,03$  МПа), витрата

(0,8...1,2 л/хв);

—  $L = 170...200$  мм - дистанція напilenня;

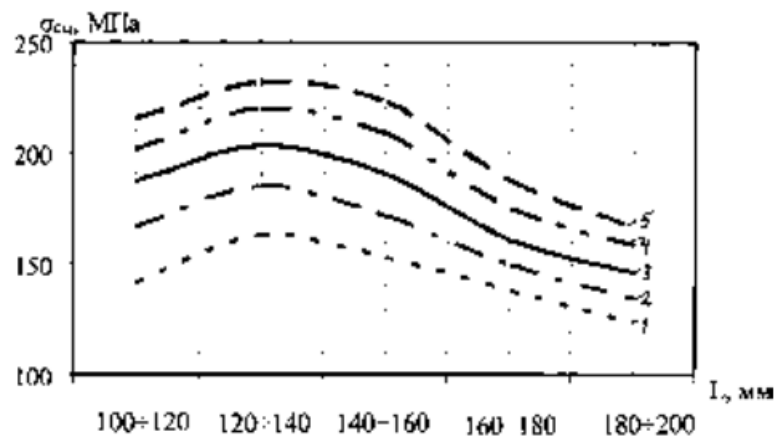
—  $\alpha = 90^\circ$  - кут атаки;

—  $n = 100 \text{ хв}^{-1}$  - частота обертання деталі;

—  $d_p = 60...70$  мкм - фракція порошку.

Посилаючись на отримані результати про вплив зміни параметрів газополум'яного напilenня, отримуємо міцність зчеплення  $\sigma_{\text{сц}}$  при зрушенні, яка оцінюється напругою зрушення. Також маємо залежність режимів напilenня і їх вплив на процес (рис. 12 - 14)[28].

Відстань між деталлю і розпилювачем є одним з важливих параметрів при газополум'яному напilenні. На рис. 8 показаний вплив дистанції напilenня  $L$  на площу зчеплення.

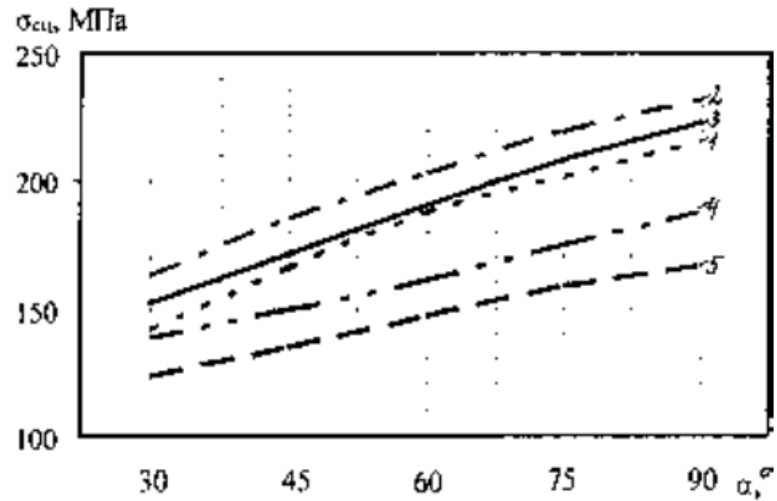


1 –  $\alpha = 30^\circ$ ; 2 –  $\alpha = 45^\circ$ ; 3 –  $\alpha = 60^\circ$ ; 4 –  $\alpha = 75^\circ$ ; 5 –  $\alpha = 90^\circ$

Рисунок 8 - Вплив дистанції напilenня  $L$  на міцність зчеплення  $\sigma_{\text{сц}}$  (фракція порошку 60...70 мкм)

Виходячи з графіку впливу дистанції на площу зчеплення, ми бачимо, що оптимальна відстань  $L$  складає 115...120 мм.

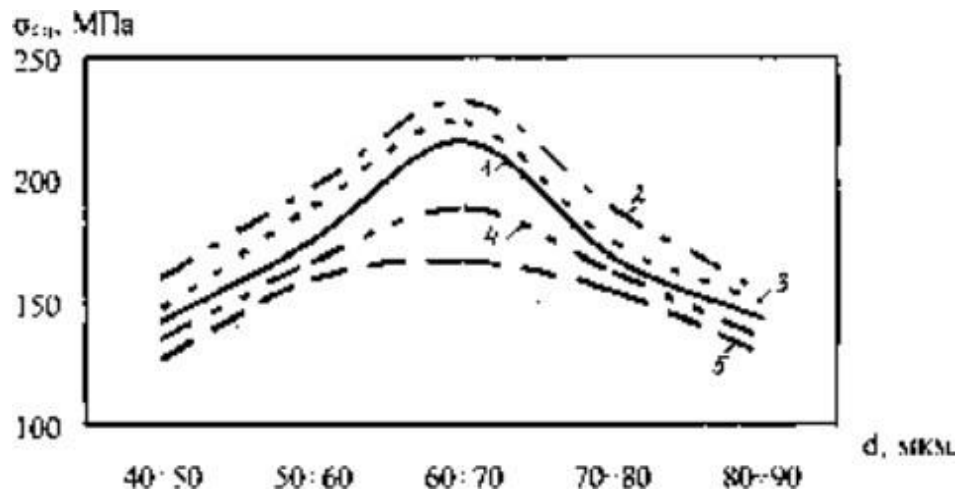
Далі розглянемо результати впливу кута атаки і діаметр порошку на міцність зчеплення (рис. 9, 10).



1 – L = 100.120; 2 - L = 120.140; 3 - L = 140.160; 4 - L = 160.180

Рисунок 9 - Вплив кута атаки  $\alpha$  на міцність зчеплення  $\sigma_{сш}$   
(фракція порошку 60...70 мкм)

Аналіз результатів дослідження показав, що найкраще зчеплення забезпечується у тому випадку, коли кут напilenня  $\alpha$  дорівнює  $90^\circ \pm 5$ .



1 – L = 100.120; 2 - L = 120.140; 3 - L = 140.160; 4 - L = 160.180; 5 - L = 180.200

Рисунок 10 – Вплив фракції порошку d на міцність зчеплення  $\sigma_{сш}$   
(кут атаки  $\alpha = 90^\circ$ )

Таким чином, до основних чинників, що впливають на міцність зчеплення, відносяться:

X1 - дистанція напилення  $L$ , мм;

X2 - кут напилення  $\alpha$  ;

X3 - фракція порошку  $d$ , мкм.

Виходячи з отриманих результатів сформовано рівняння регресії, з якого виходить, що на міцність зчеплення впливає кількісна зміна досліджуваних чинників. Спільна взаємодія чинників робить незначний вплив.

Окрім збільшення поверхні зчеплення з покриттям, установки кута нахилу пальника і застосування різних горючих газів по складу на якість покриття робить вплив розмірність порошку (рис. 10).

Для отримання порошків різного діаметру використовуються різноманітні механічні способи. Один з таких способів описується в роботі «Спосіб диспергування металевого розплаву» [12].

У цій технології виготовлення використовується процес диспергування посередством обдування за допомогою газових форсунок. Цей спосіб заснований на механічному подрібненні. Після виготовлення частки мають правильну форму, чистий хімічний склад і визначуваний гранульований склад.

Застосування цього способу дозволяє отримувати частки порошку діаметром 30...54 мкм. Параметри, що отримуються при диспергуванні приведені в таблиці 6.

Таблиця 6 - Параметри порошку при диспергуванні

Параметри	Значення
Матеріал розплаву	Сталь
Газ	Аргон
Давление газа в тигле, Мпа	
Параметри форсунки	
Тип	Коаксіальна
Діаметр стоку, мм	4,0
Проміжок щілинного сопла, мм	0,2



Продовження таблиці 6

Параметри	Значення
Угол наклона сопла к продольной оси стока, град	45,0
Температура розплаву, °С	1420,0
Температура газу, °С	1420,2
Тиск газу у форсунці, МПа	36,2
Швидкість газу на виході сопла, м/с	125,0
Нормальна складова швидкості газу на виході сопла %	20,0
Тангенціальна складова швидкості газу на виході сопла %	80,0
Діапазон розміру часток, мкм	30,0 – 54,0
Мода, нормального закону розподілу розміру часток, мкм	40,0

Таким чином, маючи в розпорядженні спосіб отримання часток дрібнішого діаметру і застосовуючи порошок розмірністю 30...54 мкм, дозволить підвищити якість відновленої поверхні.

#### Висновки по розділу

Досліджуючи вплив параметрів газополум'яного напилення порошком при відновленні зношеного валу для підвищення міцності зчеплення з основою, були подобрані оптимальні режими газополум'яного напилення, які будуть вказані нижче в ході розробки процесу відновлення. Також досліджені способи підготовки поверхні під напилення і вибраний спосіб попередньої механічної обробки валу, що приведе до підвищення міцності зчеплення основного металу з напиленим шаром.

Таким чином, в другій главі були розглянуті можливі способи підвищення якості покриття при газополум'яному напиленні шару металу на ступінчастий вал.

### **3      Методика проведення дослідження**

У випускній кваліфікаційній роботі в другій главі були розглянуті способи виконання попередньої підготовки і вибір параметрів проведення відновного процесу. Методом порівняння були отримані дані для подальшого проектування технологічного процесу. У цій главі розроблені пости для механічної і ремонтної операцій і підібране необхідне устаткування і засоби оснащення на операції.

#### **3.1 Організація поста для механічної підготовки поверхні валу**

У типовий процес відновлення валів входить попередня обробка точінням або шліфуванням під ремонтний розмір, для вирівнювання поверхні.

Перш ніж приступити до процесу відновлення, нам слід підготувати поверхню, після чого приступити до механічної обробки.

Підготовка поверхонь перед газополум'яним напиленням проводиться загальноприйнятими методами, а саме машинним і ручним промиванням, очищенням шкрябаннями, обдуванням стислим повітрям. Особлива увага приділяється зношеним місцям під посадку і прилеглим до них поверхням.

Механічна обробка полягає в наступних операціях: вирівнювання поверхонь за рахунок зняття шару метала на токарному устаткуванні; нарізування «рваного» різьблення.

Попередня механічна обробка, проводиться в один прохід з метою усунення дефектів зносу, нерівностей, видалення металу схильного корозії.

Технологічний процес відновлення валу виглядає наступним чином:

000 – Підготовча; 005 -

Вхідний контроль; 010 -

Токарна:

— точіння чорнове поверхонь 6,7

— нарізка «рваного» різьблення на поверхні 6, 7

015 – Відновна: напилення

020 – Токарна:

— точіння чорнове поверхонь ;

— точіння чистове поверхонь ;

025 – Шліфувальна: шліфування поверхонь ;

030 – Мийна;

035 – Контроль.

Приступимо до вибору устаткування і засобів оснащення [5, 6] для попередньої підготовки валу до процесу газополум'яного напилення.

Виходячи з параметрів і габаритів деталі вибираємо токарно-гвинторізний верстат РАМО модель Т37, який представлений на рис. 11.



Рисунок 11 - Токарний верстат РАМО модель Т37

Технічні характеристики цього устаткування відповідно до паспорта верстата приведені нижче:

- висота центру - 170 мм
- допустимий діаметр над лавкою - 370 мм
- допустимий діаметр над поперечним супортом - 179 мм
- відстань між центрами - 700 мм
- ширина лави - 285 мм
- отвір шпинделя - 25 мм
- швидкість шпинделя - від 40 до 2000 об / хв
- кількість передач - 18

Також підбираємо необхідний різальний інструмент на операції 010:

- Для зняття шару металу на токарній операції 010 різець прямий прохідний 10x10 2136-0706 ГОСТ 18875-73.
- Для нарізування рванного різьблення застосовуємо різець з кутом при вершині 60°. Різець 16x16 2102-1155 ГОСТ 24996-81, різальна пластина 01114-160304 по ГОСТ 19046-80.

- Профільні ролики для накочення замкового профілю - спеціальні.

Рване різьблення нарізую в один прохід без СОЖ. Після нарізування «рванной» різьблення для збільшення зчеплення з покриттям рекомендується застосовувати накочення вершин за допомогою накатного ролика [5, 6].

Оскільки ми маємо справу з деталлю типу вал, необхідно зафіксувати її так, щоб відновлювана поверхня була вільна і доступна для подальшого нанесення покриття. Деталь необхідно зафіксувати в патроні токарного верстата «Т37» як показано на схемі (рис. 16). У роботі для фіксації деталі спроектований спеціальний трьох-кулачковий самоцентруючий патрон, геометричні параметри токарного патрона визначаються згідно з методикою розрахунку токарного пристосування [24, 26].

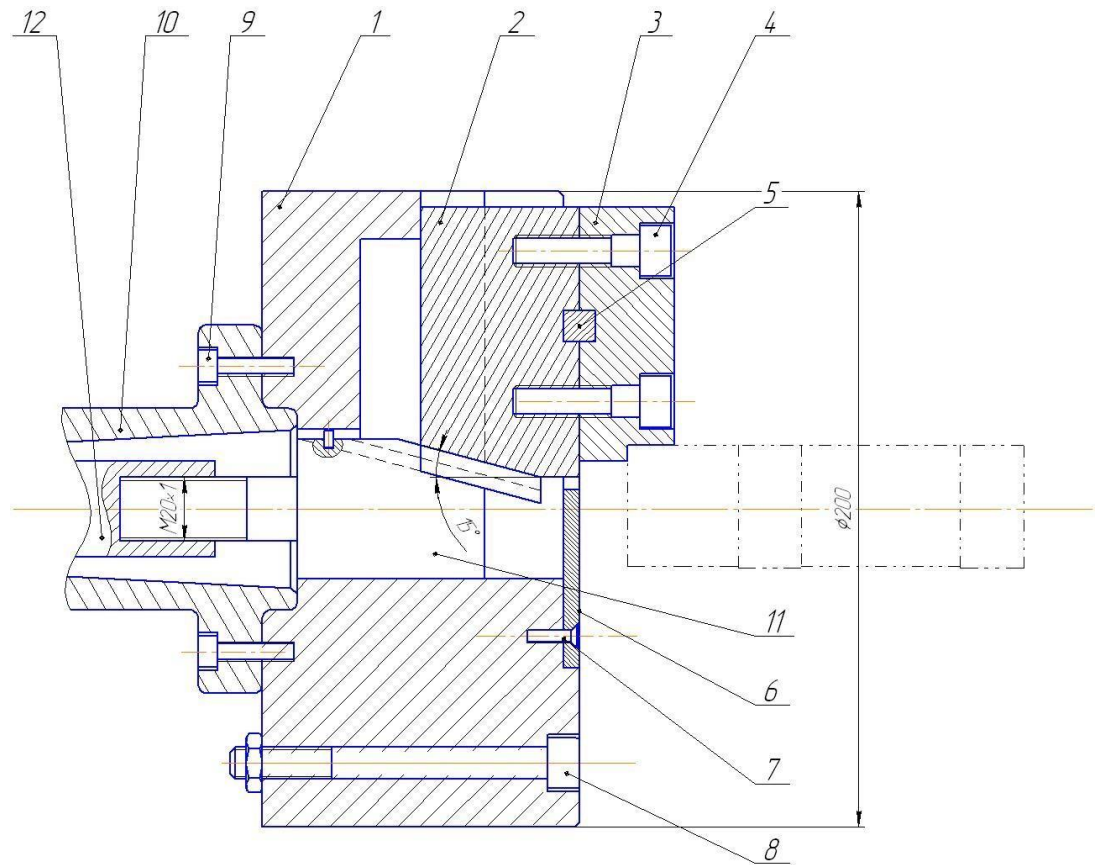


Рисунок 12 - Схема фіксації деталі типу «вал» в токарному патроні

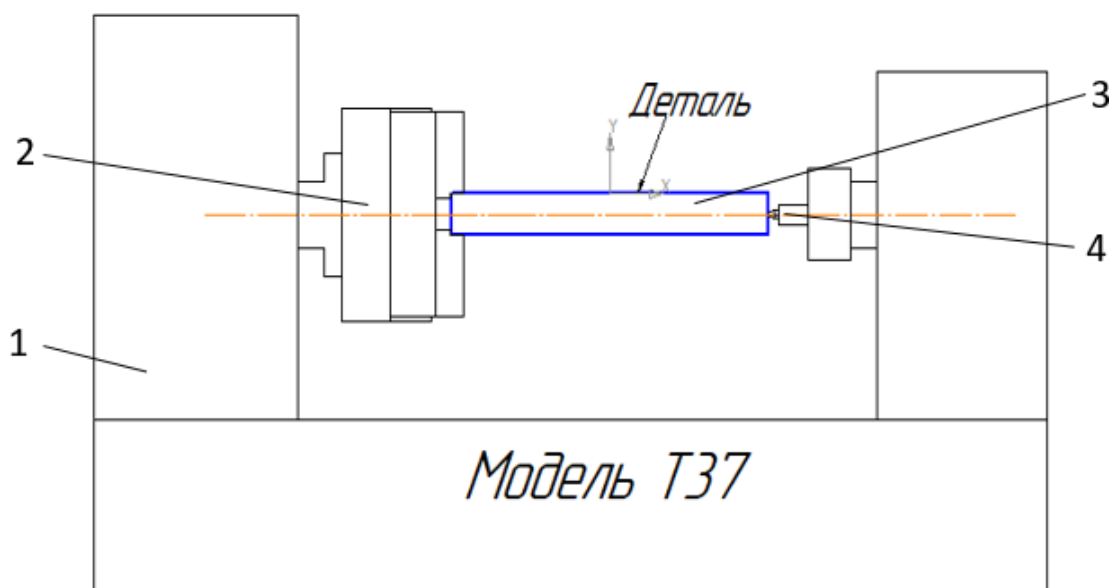
«Патрон 1 (рис.12) включає конструкцію з трьох кулачків: змінного 3 і постійного 2, які з'єднуються за допомогою шпонки 5 і двох гвинтів 4. Постійні кулачки мають кут клину, який з'єднуються по тих, що направляють з центральною втулкою 11. Центральна втулка 11 у свою чергу кріпиться до штоку 12 в передній частині шпинделя верстата 10, який кріпитися до патрона на гвинти 9. Шток 12 від зусилля гідравлічного приводу приводить в рух центральну втулку 11, внаслідок чого кулачки затискають заготовлю» [16 стор. 33-35].



Таке пристосування дозволяє виконувати обробку при високих швидкостях обертання заготівлі з мінімальним биттям. Центри застосовуються як в токарних, так і в шліфувальних верстатах з ручним, напівавтоматичному управлінні і з ЧПУ.

Наступним кроком, після визначення оснастки та обладнання, є розробка поста під механічну обробку [25].

Пост механічної обробки складається з токарного верстата, різального інструмента спеціальних пристосувань та оброблюваної деталі (рис. 18).



1 – токарно-гвинторізний верстат модель РАМО ТЗ7; 2 - трьохкулочковий сам-центруючий патрон; 3 - ступінчастий вал; 4 - центр нерухомий

Рисунок 14 - Схема поста механічної обробки

Після того, як були вибрані засоби оснащення і устаткування на операції можемо приступати до розрахунку режимів різання, який представлений в наступній главі.

### **3.2 Розробка поста газополум'яного напилення порошком**

Також як і для токарної операції, при газополум'яному напиленні деталь кріпиться в патроні токарного верстата, що значно скорочує витрати на додаткове устаткування і точність подальшої обробки завдяки постійності положення деталі і єдності баз.

Таким чином, для закріплення положення деталі використовуємо наступне устаткування і оснащення :

- токарно-гвинторізний верстат модель РАМО Т37;
- трикулочковий сам-центруючий патрон;
- центр нерухомий ГОСТ 8742-75

У нашому випадку при напиленні порошком використовується пальник для газопорошкового напилення. Пальник кріпиться на супорті токарного верстата. По конструкції пальника аналогічна зварювальні пальнику, відмінність в наявності бункера для порошкового металу і в принципі роботи.

Важливу роль процесі напилення грає напрям руху головки, що може бути нерухомим, у разі деталь переміщається рахунок металорізального верстата, або задається позовжне переміщення газополум'яного пальника. У випадку з нашим обладнанням, в якому закріплена деталь, доцільно переміщати пальник у частину деталі. Виберемо напрямок руху головки щодо деталі, на рис.15 представлені можливі варіанти напрямку руху деталі газополум'яного пальника.



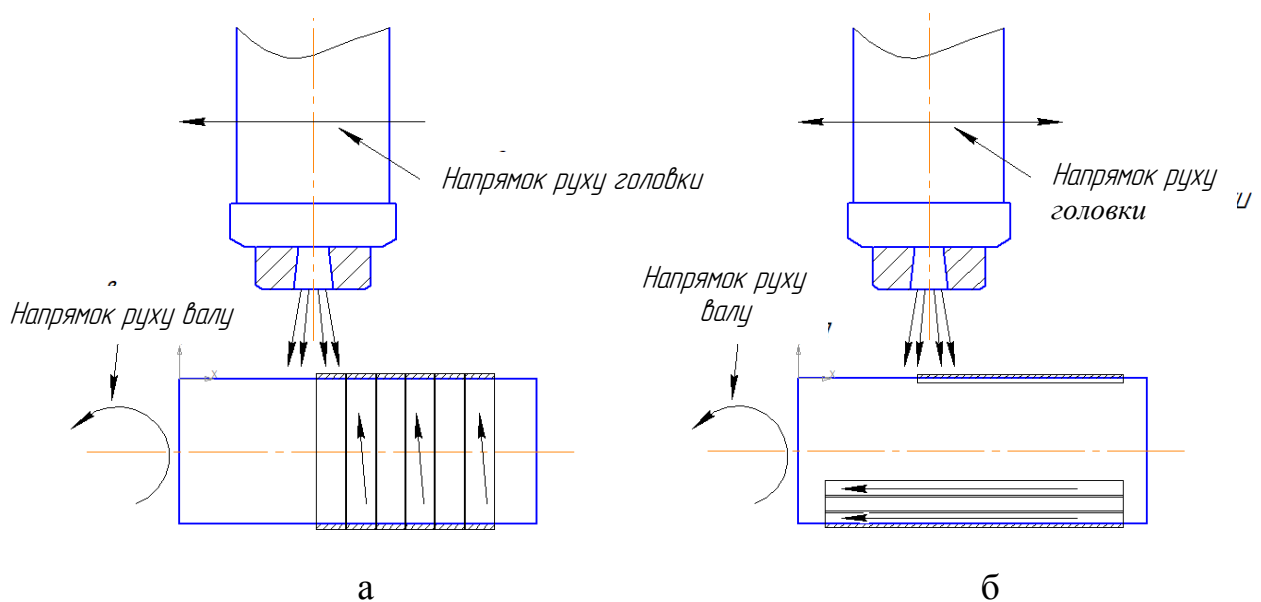


Рисунок 15 - Схеми руху деталі відносно напилюваної голівки

Одним з розглянутих варіантів, являється той випадок, коли установка для напилення рухається уздовж осі деталі, а вал, закріплений в патроні, обертається на малих оборотах, забезпечуючи рівномірне нанесення покриття (рис. 15 а). Отримуємо кільцеве нанесення покриття на зношену поверхню. Також має місце той випадок, коли газовий пальник здійснює назад-поступальний рух уздовж осі валу при цьому деталь обертається з певним кроком після проходу пальника (рис. 15 б). Найбільш ефективним, простим і швидким при ремонті валу в нашому випадку буде напрям руху голівки згідно з схемою (а) (рис. 15). Для проектування поста газополум'яного напилення необхідно підібрати пальник, який відповідатиме заданим параметрам відновної операції і забезпечуватиме належне нанесення покриття на основу. В якості пальника, що відповідає вимогам, використовуємо порошковий газополум'яний пальник фірми ТЕРМІКА «Іскра - 1» (рис. 16), конструкція і її опис вказаного в [Пат. 2211096].

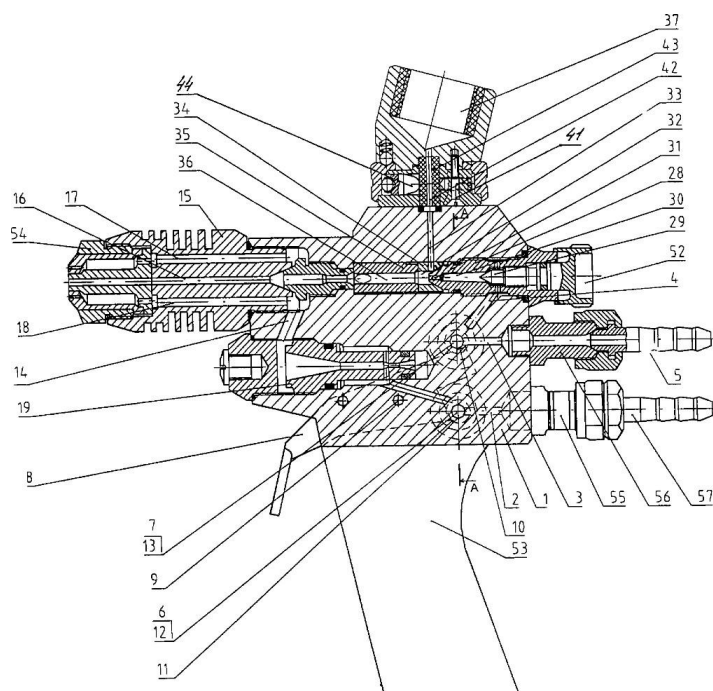


Рисунок 16 - Схема газополум'яного пальника для порошкового наплення «Іскра - 1» (пат. 2211096)

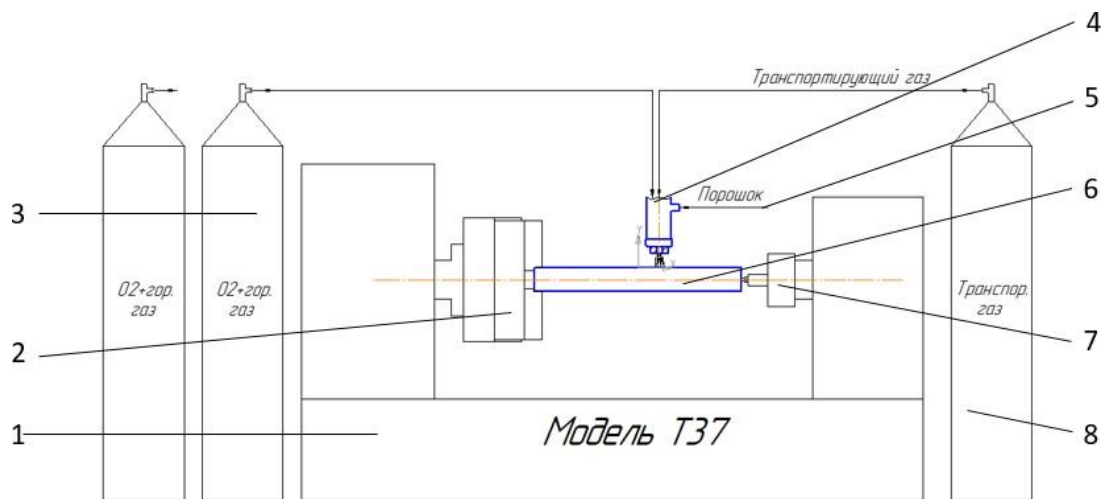
Також слід підібрати матеріал для наплення виходячи з даних деталі : марки сталі і умов навантажень в процесі експлуатації.

Для наплення порошкової суміші у воднево-кисневому полум'ї порошкову суміш вибираємо близьку за складом до сталі 45, а саме ПР-65Х25Г12Н3 (таблиця. 7). Ця марка порошку застосовна для покриттів низько- і середньовуглецевих сталей. Нанесене покриття забезпечить підвищену в'язкість і зносостійкість при терті з тиском і ударами.

Таблиця 7 - Хімічний склад ст. 45 і порошку ПР-65Х25Г12Н3

	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	S	P
Вал	0,41-0,49	0,17-0,37	0,5-0,8	до 0,25	0,25	0,3	0,035	0,035
					не більше			
Порошок	0,5	0,5	13	25	3	0,3	0,035	0,035
					основа Fe			

Пост для напilenня обладнаний наступними об'єктами: установка для напilenня; токарним верстатом модель Т37; болонами з транспортуєчим газом і суміш горючого газу + O<sub>2</sub>. В якості горючого газу, з вищевикладеного, застосовується воднево-киснева суміш з додавання пропан-бутана 5%. На малюнку 17 зображена схема необхідного устаткування для ремонту валу шляхом газополум'яного напilenня.

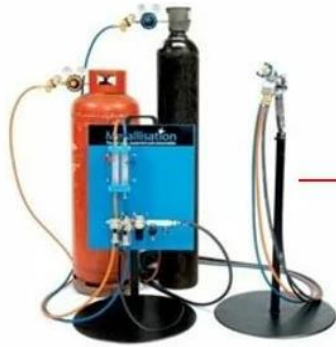


1 – токарно-гвинторізний верстат модель РАМО Т37; 2 - трьохкулковий; само- центруючий патрон; 3 - воднево-киснева суміш + Пропан-Бутан 5%; 4 - газовий пальник; 5 - порошок ПР-65Х25Г12Н3; 6 - ступінчастий вал; 7 - центр нерухомий ГОСТ 8742-75; 8 - транспортуєчий газ

Рисунок17 - Схема поста газополум'яного напilenня

Також на рис. 18 зображено устаткування і засоби оснащення, задіянів процесі відновлення.

*Система газополум'яного  
напилення*



*Газополуменевий  
пальник*



*Самоцентрируючий  
патрон*



*Токарно – винторізний  
станок*



*Нерухомий центр*

Рисунок 18 - Устаткування і засоби оснащення газополум'яного напилення

Таким чином, підібравши устаткування і матеріали можна приступати до розрахунку режимів напилення.

### 3.3 Виготовлення шліфів і визначення $\sigma_b$

Після проведення процесу відновлення і подальшої механічної обробки переходимо до дослідження отриманих результатів за рахунок виготовлення шліфів.

Методика виготовлення шліфів складається з:

- попереднього огляду та розпилювання зразка;
- наступним кроком є шліфівка області призначеної під поліровку;
- поліровка.

За допомогою абразивних матеріалів ведеться підготовка, шліфування і полірування поверхні. Абразивні матеріали бувають природними, такі як корунд, алмаз, граніт, наждак, крокус -  $Fe_2O_3$ , кремій, кварц і так далі

і представляють з себе подрібнену структуру, також бувають і штучні абразивні матеріали (електрокорунд, синтетичний алмаз, нітрид бору - ельбор, карбід, бору, карбід кремнію, оксид алюмінію).

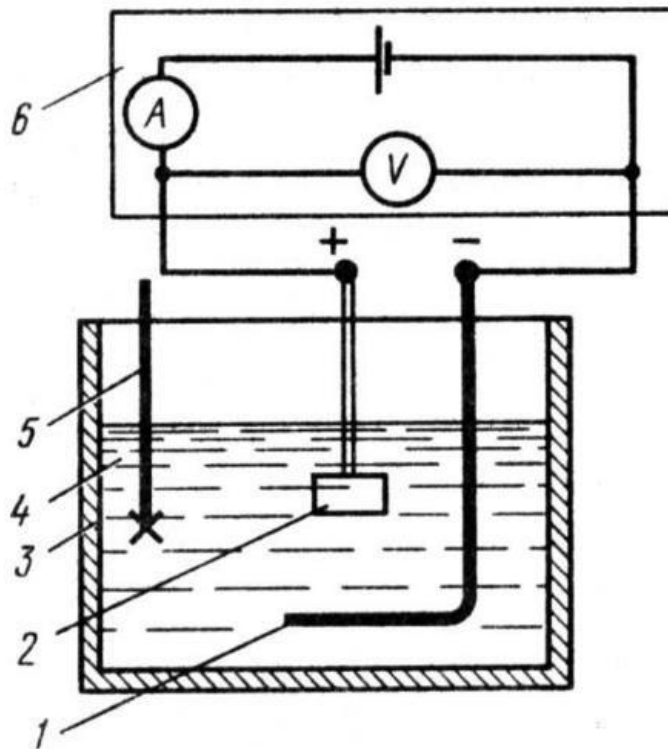
В деяких випадках застосовується метод електролітичного полірування. В цьому випадку на металевому зразку виходить гладка і блискуча поверхня, такий результат отримуємо завдяки анодного розчинення виступів мікрорельєфу.

При електрополіруванні шліфів застосовують спеціальну установку, схема якої представлена на рис. 19.

Процес проведення елеку

трополірування зразків наступний: відшліфований зразок підключають до ланцюга постійного струму, який створює випрямляч і опускають в електролізну ванну, що містить електроліт. Катодом в даному випадку служить металева пластина, розташована внизу ванни. При цьому в ході процесу полірування вміст ванни перемішують (електроліт) механічною або електричною мішалкою для рівномірного протікання процесу.

Самі ж електролізні ванни, в яких протікає процес полірування, виготовляють з кислототривких матеріалів. Ванни, що не підлягають нагріву в процесі полірування, виготовляють з фарфору, скла, а ванни, що підлягають підігріванню, виготовляють нержавіючій сталі. У разі катодів їх прийнято виготовляти з листового металу міді, нержавіючої сталі, вольфраму і так далі



1 – катодом (металева пластина); 2 - анод (відшліфований зразок); 3 - електролізна ванна; 4 - електроліт; 5 - електрична мішалка; 6 - випрямляч

Рисунок 19 - Схема для електрополірування шліфів

Особливості підготовки мікрошліфів різних сплавів, наступні: при поліруванні та промиванні, слід застосовувати пасивуючий розчин і ретельно виконують промивання шліфів спиртом, після чого просушують для запобігання поверхні шліфу від можливого окислення.

При необхідності у збереженні шліфа на тривалий період часу, тоді слід покривати поверхню тонким шаром розчину кедрової олії в сірчаному ефірі. Така плівка не перешкоджає вивченню шліфа, у разі потреби видалення цієї плівки з поверхні, шліф слід протерти спиртом або бензином.

Також в якості результату досліджень, що проводяться, буде визначення міцності зчеплення покриття з основою. Найбільш широко відомим способом визначення міцності зчеплення - міцність зчеплення при зрушенні, яка оцінюється напругою зрушення.

Один із способів випробування на зрушення являється продавлювання зразка з нанесеним покриттям через матрицю. Як матриця використовується загартоване сталеве кільце. Отримані зразки, охолоджені до кімнатної температури, встановлюю в матрицю так щоб на торцеву поверхню матриці спиралося напилене покриття. Далі зразки продавлюють на пресі через сталеве кільце.

Отримане значення напруги зрушення розраховується по формулі 1:

$$r = \frac{F}{S} = \frac{F}{\pi \cdot b \cdot d}. \quad (1)$$

Параметри розрахунку, наступні :  $F$  - зусилля зрушення, Н;  $S$  - площа контакту основи з покриттям, м<sup>2</sup>;  $d$ ,  $b$  - діаметр зразка і ширина покриття, м.

Отримані дані і будуть результатом міцності зчеплення покриття з основою.

## **4 Розробка технології газополум'яного напилення валу з використанням воднево-кисневої суміші**

Технологічний процес відновлення валу газополум'яним напиленням порошком з використанням воднево-кисневої суміші включає розробку процесу механічної обробки валу перед самим процесом напилення і подальшою для отримання розмірів в межах допусків на задані поверхні.

У четвертій главі розроблена технологія відновлення валу напиленням і розраховані режими різання і параметри обробки на операціях для виконання ремонтно-відновних робіт.

### **4.1 Розробка технології механічної обробки поверхні валу (підкладки)**

Технологія механічної обробки включає попередню обробку, а саме операція токарна 010, яка складається з чорного точіння поверхні в один прохід і нарізуванню «рванной» різьблення, і подальшу обробку після операції відновлення, що складається з токарної операції 020 і кругло-шліфувальній операції.

Спершу, розглянемо попередню механічну обробку і проведемо розрахунок режимів різання на операції 010.

Токарна операція 010 складається з двох переходів: чорнове точіння; і нарізування різьблення режими різання для кожного переходу підбираються і розраховуються окремо.

Оскільки необхідне устаткування і оснащення для операції були подобрані в попередній главі, то наступним кроком є визначення параметрів обробки на операціях передуванням операції відновлення - 010 точіння і нарізування «рівного» різьблення.



Параметри обробки на операції 010 (точіння чорнове Ø 34) розраховуються по формулах, приведених нижче. Розрахунок робиться на одну з відновлюваних поверхонь, а саме на поверхню 7, первинний діаметр до зносу складає 36 мм, а довга ділянки дорівнює 14 мм.

Перехід 1 - чорнове точіння - гострити Ø 33,5 мм на  $l = 14$  мм.

Швидкість різання токарної обробки розраховується по формулі 2:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v, \text{ м/с} . \quad (2)$$

Початкові ці операції 010 для чорнового точіння:  $t = 0,65$  мм - глибинна різання;  $S = 0,5$  мм/про - подання;  $T = 60$  мін - період стійкості матеріалу;  $C_v = 290$ ;  $m = 0,20$ ;  $x = 0,15$ ;  $y = 0,35$ ;

$K_v$  - коефіцієнт розраховується по формулі 3:

$$K_v = K_{MV} \cdot K_{IV} \cdot K_{PV} , \quad (3)$$

де  $K_{MV}$  - поправочний коефіцієнт впливу физикомеханических властивостей оброблюваного матеріалу на швидкість різання (формула 4) :

$$K_{MV} = K_r \cdot \left( \frac{750}{\sigma_B} \right)^{nv} \quad (4)$$

$K_{PV}$  – поправочный коэффициент, учитывающий влияние состояния поверхности заготовки на скорость резания;

$K_{IV}$  – поправочный коэффициент, учитывающий влияние инструментального материала на скорость резания.

Згідно з формулою 4 підставляємо дані коефіцієнтів з довідника технолога-машинобудівника Дальского А. М. [13], вибір значень коефіцієнтів залежить від властивостей оброблюваного матеріалу і розміру діаметру поверхні (формула 5).

$$K_{MV} = 1 \cdot \left( \frac{750}{640} \right)^{1,75} = 1,32 \quad (5)$$

Далі отримане значення підставляємо у формулу 3 (формула 6) :

$$K_v = 1,32 \cdot 0,9 \cdot 0,65 = 0,77 \quad (6)$$

Таким чином, розрахункова швидкість обертання при чорновому точінні на операції 010 рівна :

$$V = \frac{290}{60^{0,2} \cdot 0,65^{0,15} \cdot 0,5^{0,35}} \cdot 0,77 = 133,87, \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (7)$$

Тепер слід розрахувати частоту обертання шпинделя, яка визначається по формулі 8:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \text{об/хв} \quad (8)$$

Получаем следующий результат (формула 9):

$$n = \frac{1000 \cdot 133,87}{\pi \cdot 33,5} = 1272, \text{об/хв.} \quad (9)$$

По паспорту верстата вибираємо частоту обертання шпинделя, яка буде рівна  $n = 1200$  об/хв.

Тепер розраховуємо фактичне значення швидкості виходячи з вибраної частоти (формула 10) :

$$V = \frac{1200 \cdot \pi \cdot 33,5}{1000} = 126,3, \text{м/с} \quad (10)$$

Розрахункові дані для токарної операції для обох поверхонь зведемо в таблицю 8.

Таблиця 8 - Режими різання на токарній операції 010 - точіння

№ Пов.	Діаметр, мм	Швидкість різання V, м/с	Частота обертання шпинделя, об/хв	Глибина різання, мм	Подання, мм
010 Токарна					
6	30	128	1500	0,7	0,5
7	36	126	1200	0,65	0,5

Тепер підберемо режими різання для нарізування різьблення. Нарізання «рваного» різьблення здійснюється з параметрами обробки, які приведені в таблиці 9.

Таблиця 9 - Параметри обробки валу при нарізуванні різьблення

Позиція	Діаметр валу	Зміщення різця	Частота обертання шпинделя, $c^{-1}$
6	30	3,0	10
7	36	3,0	7,8

На цьому підготовка поверхні закінчена після чого приступаємо безпосередньо до процесу відновлення, підбір параметрів обробки для газополум'яного напилення з урахуванням проведених теоретичних досліджень, вказані нижче.

Тепер розглянемо, які режими і параметри обробки слід проводити безпосередньо після відновної операції. Для отримання поверхонь, що відповідають заданим характеристикам і умовам експлуатації після напилення шару, слід провести ряд механічних обробок для отримання точних поверхонь.

Подальша механічна обробка здійснюється на токарному і на шліфувальному устаткуванні. Технологічний маршрут обробки поверхонь вказаний в таблиці 10.

Таблиця 10 - Технологічний маршрут обробки відновлених поверхонь

№ Пов.	Вид поверхні	Квалитет точності	Шорсткість Ra	Послідовність обробки
6	Ц	6	1,25	Точіння чорнове - Шліфування Точіння чистове -
7	Ц	6	1,25	Точіння - Точіння чистове - Шліфування

Обробку поверхонь розпочинаємо з чорнового точіння на операції 20. Розрахунок чорнового точіння проводиться аналогічно розрахунку обробки на операції 010. Спираючись на формули 2 - 5 маємо наступні розрахунки.

Перехід 1 - чорнове точіння - гострити Ø 37 мм на  $l = 14$  мм.

Початкові ці операції 020 для чорнового точіння:  $t = 0,65$  мм - глибинна різання;  $S = 0,5$  мм/об - подання;  $T = 60$  хв - період стійкості матеріалу;  $C_v = 290$ ;  $m = 0,20$ ;  $x = 0,15$ ;  $y = 0,35$ ;

Розрахункова швидкість різання рівна (формула 11) :

$$V = \frac{290}{60^{0,2} \cdot 0,5^{0,15} \cdot 0,5^{0,35}} \cdot 0,77 = 140, \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (11)$$

Розрахункова частота обертання шпинделя рівна (формула 12) :

$$n = \frac{1000 \cdot 140}{\pi \cdot 37} = 1204,5 \text{ об/хв.} \quad (12)$$

По паспорту верстата визначаємо частоту обертання рівну  $n = 1200$  об/хв.

Фактичне значення швидкості рівне  $V = 139,5$  об/хв. Отримані дані зведемо в таблицю 13.

Наступна механічна обробка - це чистове точіння на операції 020 [14].

Перехід 2 - чистове точіння - гострити Ø 36 мм на  $l = 14$  мм.

Також вказуємо початкові дані для чистового точіння:  $t = 0,3$  мм - глибинна різання;  $S = 0,165$  мм/об - подання;  $T = 60$  хв - період стійкості матеріалу;  $C_v = 290$ ;  $m = 0,20$ ;  $x = 0,15$ ;  $y = 0,35$ ;

Розрахункова швидкість різання рівна (формула 13) :

$$V = \frac{290}{60^{0,2} \cdot 0,3^{0,15} \cdot 0,165^{0,35}} \cdot 0,77 = 221,6, \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (13)$$

Розрахункова частота обертання шпинделя рівна (формула 14) :

$$n = \frac{1000 \cdot 221,6}{\pi \cdot 36} = 1937,84 \text{ об/хв.} \quad (14)$$

По паспорту верстата визначаємо частоту обертання рівну  $n = 1600$  об/хв.

Фактичне значення швидкості рівне  $V = 183$  об/хв. Отримані дані занесені в таблицю 11.

Таблиця 11 - Режими різання на токарній операції 020 - точіння

№ Пов.	Діаметр, мм	Швидкість різання V, м/с	Частота обертання шпинделя, об/хв	Глибина різання, мм	Подання мм
020 Токарна:					
Точіння чорнове					
6	30	143,25	1500	0,5	0,5
7	36	140	1200	0,5	0,5
Точіння чистове					
6	30	152,8	1600	0,3	0,21
7	36	183	1600	0,3	0,165

Після розрахунку режимів різання на токарній операції приступаємо до операції шліфування поверхонь [15].

На операції шліфування застосовуються наступне устаткування, різальний інструмент і оснащення :

- Кругло-шліфувальний верстат модель 3Т160;
- Круг шліфувальний К6 30х100х35 24А25СМ26К5 ГОСТ 2877-80;
- Центр нерухомий А-1-4-Н ГОСТ 8742-75, патрон повідковий ГОСТ 2571-71.

Усі підібрані засоби технічного оснащення технологічного процесу відновлення валу газополум'яним напиленням представлені в таблиці 16.

Проведемо розрахунок режимів різання при шліфуванні (операція 025).  
Режими різання при традиційному шліфуванні розраховуються по наступних формулах.

Швидкість різання шліфувального круга розраховується по формулі 15:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000 \cdot 60}, \text{ м/с} \quad (15)$$

де: D - діаметр шліфувального круга (згідно з параметрами інструменту)мм;

n - частота обертання шпинделя (приймаємо згідно паспорта верстата)[про/мін];

Проводимо розрахунок подання для врізного шліфування по формулі 16:

$$S = \frac{Q \cdot d}{60 \cdot \pi}, \quad (16)$$

де Q - об'ємна продуктивність, яка при традиційному шліфуванні легованої сталі дорівнює  $Q = 0,6 \text{ мм}^3/\text{мм} \cdot \text{з}$ ;

d - діаметр обробки,мм.

Параметри обробки зведені в таблицю 12.

Таблиця 12 - Режими різання на кругло-шліфувальній операції 025 - шліфування

№ Пов.	Діаметр, мм	Швидкість Заготівлі, Vз м/с	Швидкість різання круга Vк, м/с	Частота обертання шпинделя, об/хв	Подовжнє подання, S мм	Глибина шліфування t, мм
Шліфувальна						
6	30	30	35	4300	0,1	0,015
7	36	30	35	4300	0,114	0,015

Таким чином, провівши розрахунок попередньої і остаточної механічної обробки валу були отримані значення режимів обробки на усіх металорізальних операціях.

#### 4.2 Розробка технології відновлення валу газополум'яним напиленням

В ході роботи для процесу відновлення газополум'яним напиленням виходячи з дослідження впливу режимів напилення і вплив складу горючого газу (глава 2) слід визначити режими і параметри газополум'яного напилення (таблиця 13).

Орієнтовні режими воднево-кисневого полум'я при напиленні порошком на підготовлений профіль приведені в таблицю. 1. Можлива заміна C2 H2 пропаном, температура полум'я якого складає (2200-2500)°C.

Таблиця 13 - Параметри режиму газополум'яного напилення валу

Товщина напыл.	(0,5-1,5) мм			(1,0-2,5) мм		
Газ	O2	H2	C2 H2 *	O2	H2	C2 H2 *
Витрата, л/год	55-135		50-125	130-260		120-240
Р на вході пальника, МПа	0,1-0,4			0,15-0,4		
V витікання суміші, м/с	50-130			65-135		
T полум'я при згоранні в O2, З		2000-2100	3050-3150		2000-2100	3050-3150

\*коефіцієнт заміни C2 H2 пропаном - 0,6

З урахуванням впливу на міцність зчеплення параметрів напилення маємо наступні зміни режимів на операції відновлення :

- кисень (O<sub>2</sub>) - тиск (P = 0,1.0,4 МПа), витрата (55.135 л/ч);
- ацетилен (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) - тиск (P = 0,1.0,4 МПа), витрата (50.135 л/ч);
- воднево-киснева суміш (H<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>) - тиск (P = 0,1.0,4 МПа), витрата (16.24 л/хв);
- Пропан-Бутан (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> + C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) - тиск (P = 0,03 МПа), витрата (0,8.1,2 л/хв);
- L = 115.120 мм - дистанція напилення (відстань від голівки пальника до деталі);
- $\alpha = 90 \pm 5$  - кут атаки (кут напилення);
- n = 100 хв- 1 - частота обертання деталі;
- dп = 40.60 мкм - фракція порошку.

Напилення порошку слід проводити в два шари:

- Товщина напилення першого шару складає 2,5 мм;
- Товщина напилення другого шару порошку дорівнює 1 мм.

Таким чином, для поверхні 7 початковий діаметр якої складає 36 мм, після газополум'яного напилення складе 37,5 мм.

Устаткування і засоби оснащення необхідні для проведення відновного процесу представлені в 3 главі і зведені в таблицю 14. У додатку А на малюнку А.1 показаний розроблений технологічний процес відновлення ступінчастого валу газополум'яним напиленням порошком.



Таблиця 14 - Засоби технічного оснащення технологічного процесу

№ Операції	Оборудовани е	Пристосування	Різальний інструмент	Засоби контролю
1	2	3	4	5
000 Мийна	Ванна ММА	Миючий розчин МЛ- 51	-	Візуальний контроль
005 Дефектувальна	-	Мікрометр ГОСТ 6507-90, Штангенциркуль ШЦ- II, ГОСТ 160-80	-	-
010 Токарна	Токарно- гвинторізний верстат модель РАМО Т37	Токарний само- кулачковий патрон, що центрує трьох-, - спеціальний; Центр нерухомий А-1-4-Н ГОСТ 8742-75,	Різець 10x10 2136 - 0706 ГОСТ 18875 - 73, Різець 16x16 2102 - 1155 ГОСТ 24996 - 81, Різальна пластина 01114 - 160304 по ГОСТ 19046-80 Профільні ролики для накоплення замкового профілю – спеціальні.	Штангенциркуль ШЦ- II, ГОСТ 160-80
015 Газополум'яне напилення	Токарно- гвинторізний верстат модель РАМО Т37 Установка для напилення	Газовий пальник, водородно- киснева (H <sub>2</sub> +O <sub>2</sub> ) суміш з добавкою пропан-бутана 5% (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> +C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> ); транспортує газ; напилюваний порошок ПР- 65Х25Г12Н3	-	-
020 Токарна	Токарно- гвинторізний верстат модель РАМО Т37	Токарний само- кулачковий патрон, що центрує трьох-, - спеціальний; Центр нерухомий А-1-4-Н ГОСТ 8742-75,	Різець 10x10 2136 - 0706 ГОСТ 18875 - 73,	Штангенциркуль ШЦ- II, ГОСТ 160-80
025 Круглошли- фовальна	Кругло- шлифовальны й 3Т160	Центр нерухомий А-1-4-Н ГОСТ 8742-75, патрон повідковий ГОСТ 2571-71	Круг шліфувальний К6 30x100x35 24А25СМ26К5 ГОСТ 2877-80	Прилад активного контролю БВ- 153
030 Мийна	Ванна ММА	Миючий розчин МЛ- 51	-	Візуальний контроль
035 Контрольна	-	Мікрометр ГОСТ 6507-90 Твердомер, індикатор годинного типу ИЧ2	-	-

## 5 Безпека і екологічність об'єкту

Розділ безпека і екологічність проекту включає умови роботи в умовах виробництва вимоги до безпеки і екологічності об'єкту. Для газополум'яного напилення вимоги безпеки представлені в ГОСТ 12.3.036-84 «Система стандартів безпеки праці. Газополум'яна обробка металів. Вимоги безпеки» [17].

Цей стандарт відноситься до газополум'яної обробки металів у всіх галузях промисловості та народного господарства. У гості вказані загальні вимоги безпеки, які поширюються на виконання робіт газовим зварюванням, газовим різанням, газополум'яним наплавленням, газополум'яним поверхневим загартуванням, зачисткою та нагріванням, газополум'яним (полум'яним та детонаційним) напиленням покриттів (далі — зварюванням, різанням).«У стандарті вказані загальні стани що відноситься до безпеки об'єкту :

- Газополум'яна обробка металів на об'єктах народного господарства повинна виконуватися відповідно до вимог справжнього стандарту;

- При газополум'яній обробці металів можлива дія на працюючого небезпечних і шкідливих виробничих чинників;

- Рівні шкідливих і небезпечних виробничих чинників на робочому місці не повинні перевищувати значень, встановлених ГОСТ 12.1.003

- для рівня шуму, ГОСТ 12.1.005 -для гранично допустимій концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони і для температури зовнішніх поверхонь технологічного устаткування або пристроїв, що захищають його.

- Газополум'яну обробку в замкнутих просторах і важкодоступних місцях (резервуарах, котлах, цистернах, тунелях, підвалах та ін.) виконують по наряду-допуску на особливо небезпечні роботи.

Також в ГОСТ вказані вимоги до технологічного процесу, які представлені нижче.

При розробці технологічних процесів газополум'яної обробки металів слід передбачати:

- механізацію і автоматизацію процесів;
- заходи по запобіганню вступу в повітря робочої зони шкідливих речовин;
- заходи по очищенню викидів;
- зниження рівнів шуму;
- раціональну організацію робочих місць. Технологічне устаткування повинне відповідати ГОСТ.

Якщо газополум'яне напилення покриттів і наплавлення з порошкових матеріалів на великогабаритні вироби проводять в приміщеннях вручну, слід застосовувати портативні місцеві відсмоктування, що забезпечують концентрації шкідливих речовин в повітрі не вище гранично допустимих.

Операції по засипці і прибиранню порошків у бункери установок для газополум'яного напилення покриттів і наплавлення порошків слід проводити з використанням місцевих відсмоктувань або в спеціальних камерах і кабінах, забезпечених витяжною вентиляцією.

При проведенні зварювання, різання, наплавлення, загартування, зачистки і нагріву великогабаритних виробів повинні застосовуватися технологічні режими, що виключають викривлення виробів, що призводить до травматизму працюючих.

При автоматизації процесів газополум'яної обробки металів має бути передбачене дистанційне керування.

При роботі з балонами, що містять зріджені і стислі гази, необхідно використати редуктори по ГОСТ 13861.

При зниженні тиску у балонах із зрідженими і стислими газами до межі, нижче якого неможливо підтримувати необхідний робочий тиск, відбір газу має бути припинений.

Вимоги до виробничих приміщень таже містяться в нормативній документації на проведення газополум'яного наплавлення.

Природне і штучне освітлення повинне відповідати вимогам будівельних норм і правил. Технологія газополум'яної обробки відноситься по точності до другого розряду зорових робіт.

Колірне оформлення приміщень і устаткування повинне забезпечувати найменший коефіцієнт відображення (не більше 0,4) відповідно до правил по проектуванню колірної обробки інтер'єрів виробничих будівель промислових підприємств.

Пола виробничих приміщень повинна відповідати санітарно-гігієнічним вимогам, бути такими, що не згорають і неслизькими, мати малу теплопровідність.

Обробка виробничих приміщень повинна унеможливлювати накопичення пилу, сорбції пари і газів матеріалами покриттів, допускати систематичне прибирання поверхонь вологим способом.

Стіни, стелі і внутрішні конструкції приміщень для газополум'яного наплення повинні мати звукопоглинальне облицювання із захисною обробкою.

Звукоізоляція приміщень, в яких проводять детонаційне наплення, повинна забезпечувати захист працюючих від рівнів звуку 100— 140 дБ А.

Газополум'яна обробка в замкнутих просторах і важкодоступних місцях повинна виконуватися при дотриманні наступних умов :

— наявність не менше двох отворів (вікон, дверей, люків);

— ретельного очищення і перевірки на вміст шкідливих речовин в повітрі робочої зони перед початком робіт;

— перевірки значень показників пожежної небезпеки по ГОСТ 12.1.004;

— концентрації вибухонебезпечних речовин не вище 20 % від нижньої межі вживаємості;

— наявність безперервно працюючої припливно-витяжної вентиляції, що забезпечує приплив свіжого і відсмоктування забрудненого повітря з нижньої і верхньої частин замкнутого простору і важкодоступних місць;

— здійсненні спеціальної вентиляції за допомогою місцевих відсмоктувань від стаціонарних або пересувних установок, якщо загальнообмінна вентиляція не забезпечує нормальних умов роботи;

— установки контрольного поста для спостереження за працюючими і наявності зв'язку між працюючими і що спостерігає.

Під час проведення робіт в замкнутих просторах і важкодоступних місцях газові балони, газорозбірні пости, пересувні ацетиленові генератори мають бути розташовані зовні і закріплені відповідно до правил пристрою і безпечної експлуатації посудин, працюючих під тиском.

Не допускається залишати рукави, різакі, пальники, апарати металізації під час перерви і після закінчення робіт в замкнутих і важкодоступних місцях.

Приміщення для проведення детонаційного напилення покриттів мають бути звукоізовані.

Показники мікроклімату у виробничих приміщеннях повинні відповідати ГОСТ 12.1.005.

До початкових матеріалів пред'являються наступні вимоги.

Поверхні зварюваних заготівель і деталей мають бути сухими, очищеними від окалини, мастила і інших забруднень. Кромки заготівель і деталей не повинні мати задирок.

Знежирення поверхонь виробів перед газополум'яною обробкою металів повинне проводитися розчинами і розчинниками.

Зберігання і транспортування газів, вживаних при газополум'яній обробці металів, слід здійснювати відповідно до ГОСТ 12.2.060.

Способи зберігання і транспортування початкових матеріалів, готової продукції і відходів виробництва не повинні створювати додатковій небезпеці при проведенні робіт і забезпечувати можливість механізації вантажних операцій.

При проведенні газополум'яного напилення покриттів і наплавлення слід використати порошки, прутки або дріт, які в процесі напилення і наплавлення виділяють шкідливі речовини в кількостях, що не перевищують гранично допустимі концентрації, передбачені санітарними нормами, затвердженими в установленому порядку.

Розміщення виробничого устаткування і організація робітників місць:

Просторове планування робочого місця при механізованих і автоматизованих процесах газополум'яної обробки металів з урахуванням угруповання, розташування органів управління (важелі, вимикачі і перемикачі) і засобів відображення інформації повинна відповідати ГОСТ 12.2.032, ГОСТ 12.2.033. Загальні вимоги безпеки до робочих місць по ГОСТ 12.2.061.

Місця проведення газополум'яної обробки металів можуть бути постійними, організовуваними в спеціально обладнаних для цих цілей

ділянках або на відкритих майданчиках, і тимчасовими, організовуваними на території підприємств в цілях ремонту устаткування, а також монтажу будівельних і інших конструкцій.

При газополум'яній обробці металів необхідно унеможлиблювати дію небезпечних і шкідливих виробничих чинників на персонал розташованих поруч робочих зон.

Робочі місця для зварювання, різання, наплавлення, зачистки і нагріву мають бути оснащені засобами колективного захисту від шуму, інфрачервоної радіації і бризок розплавленого металу екранами і ширмами з негорючих матеріалів.

Робоче місце для газополум'яної обробки має бути обладнане місцевою витяжною вентиляцією.

На робочих місцях мають бути встановлені знаки безпеки.

Газополум'яне напилення покриттів ручним способом в приміщеннях повинне здійснюватися в звукоізованих кабінах, камерах або на спеціальних ділянках, з використанням звукоізолюючих кожухів.

Стіни кабіни повинні мати шарувату структуру і складатися із звукопоглинальних матеріалів. Передні стінки кабін слід закривати стулками зі вбудованими в них світлофільтрами і робочими отворами для рук.

Стаціонарні установки газополум'яного напилення повинні експлуатуватися в окремих приміщеннях або на ізованих ділянках цеху.

Установки детонаційного напилення покриттів розміщують в окремих будівлях або на перших поверхах виробничих будівель в окремих приміщеннях.

При конвеєрній або потоковій технології необхідно ізолювати ділянки газополум'яного наплення обгороджуваннями із звукопоглинальним теплостійким облицюванням.

При організації живлення горючими газами і киснем від мережі по трубопроводу для захисту від зворотного удару перед кожною одиницею устаткування для газополум'яної обробки металів (пальник, різак, машини термічного різання та ін.) мають бути встановлені газорозбірні пости.

Трубопроводи, шланги для подання повітря, газу, а також вентиляційні пристрої мають бути розташовані так, щоб не утруднювалося обслуговування устаткування. Конструкції штуцерів, на які надівають шланги, повинні забезпечувати зручне міцне кріплення і герметичне з'єднання.

Організація робочих місць при зварюванні, різанні, загартуванні, зачистці і нагріві повинна виключати нагрів токоведущих пристроїв, що знаходяться зблизька.

Робочі місця для газополум'яної обробки металів в монтажних умовах, розташовані на дерев'яних настилах або подмостях, мають бути очищені від горючих матеріалів (клоччя, стружки та ін.) в радіусі не менше 5 м. Дерев'яні настили мають бути покриті металевими листами, на них мають бути встановлені посудини з водою.

На кожне стаціонарне робоче місце для газополум'яної обробки металів повинно бути відведено не менше 4 м<sup>2</sup>, окрім площі, займаної устаткуванням і проходами, а при роботі в кабіні — не менше 3 м<sup>2</sup>. Проходи повинні мати ширину не менше 1 м.

Площа робочого місця оператора газополум'яного наплення має бути не менше 10 м<sup>2</sup>.

Захисні обгороджування робочих місць повинні відповідати ГОСТ 12.2.062.



На робочих місцях мають бути вивішені інструкції по техніці безпеки при проведенні газополум'яних робіт.

До персоналу пред'являються наступні вимоги для допуску до проведення робіт.

До роботи по газополум'яній обробці металів допускаються особи не молодше 18 років, що пройшли відповідне навчання, інструктаж і перевірку знань техніки безпеки і що мають кваліфікаційне посвідчення.

До газополум'яних робіт жінки допускаються відповідно до переліку виробництв, професій і робіт з важкими і шкідливими умовами праці, на яких забороняється застосування праці жінок.

Особи, що допускаються до роботи по газополум'яній обробці металів, повинні проходити попередні і періодичні медичні огляди.

Організація навчання працюючих безпеці праці — по ГОСТ 12.0.004.

Персонал, що допускається до газополум'яної обробки металів, повинен уміти надавати першу допомогу при гострих отруєннях, опіках шкіри і слизових оболонок.

Для роботи не обходимо персональні засоби захисту, до яких також пред'являються вимоги.

Особи, зайняті газополум'яною обробкою металів, повинні застосовувати засоби індивідуального захисту, забезпечення якими здійснюється відповідно до галузевих норм, затверджених в установленому порядку з урахуванням робіт, що проводяться.

Зберігання, періодичний ремонт, чищення інші види профілактичної обробки засобів індивідуального захисту, працюючих слід проводити відповідно до нормативно-технічної документації на ці вироби.

При роботі в замкнених просторах і важкодоступних місцях для захисту органів дихання необхідно застосовувати ізолюючі засоби індивідуального захисту по ГОСТ 12.4.034\* з поданням чистого повітря в зону дихання. Роботи не слід проводити при вмісті кисню в повітрі менше 19 % і більше 23 %.

Для захисту особи при зварюванні, різанні, загартуванні, зачистці і нагріві робітники повинні забезпечуватися захисними щитками.

Для захисту очей застосовуються захисні окуляри по ГОСТ 12.4.013.

Засоби індивідуального захисту органів слуху слід вибирати виходячи з частотного спектру шуму на робочому місці.

Типи і групи засобів індивідуального захисту органів слуху — по ГОСТ 12.4.051.

Для захисту рук застосовуються рукавиці по ГОСТ 12.4.010« [17].

## **Загальні висновки**

В процесі написання випускної кваліфікаційної роботи були виконані необхідні інженерні і проектні розрахунки, проведені дослідження і аналіз отриманих даних.

По розділах магістерської роботи, були виконані наступні дії і отримані відповідні результати:

- досліджена актуальність і поставлена мета проекту;
- в ході першого розділу проведений аналіз початкового об'єкту (деталі) для подальшого проектування технологічного процесу відновлення поверхонь валу;
- другий розділ містить результати аналізу дослідження спираючись на які проведена подальша розробка технічної частини, а саме розробка технологічного процесу;
- по третьому розділу визначені і вибрані спеціальні засоби оснащення, різальні інструменти, матеріали і устаткування для механічної попередньої і подальшої обробки валу, а також для процесу газополум'яного напилення із застосуванням воднево-кисневої суміші + 5% пропан-бутана.
- по четвертому розділу виконана розробка технологічного процесу відновлення валу газополум'яним напиленням, також проведені розрахунки параметрів і режимів різання для механічної обробки і визначені параметри газополум'яного напилення.
- у п'ятому розділі представлені дослідження по заходах безпеки і екологічності проекту.

Згідно з отриманими даними розрахунково-дослідницької частини випускної кваліфікаційної роботи, були розглянуті методи попередньої механічної обробки об'єкту (деталі), розроблений процес виготовлення і маршрут обробки, представлена екологічна частина об'єкту.

Отже, можна стверджувати, що мета магістерської роботи - підвищення якості відновлюваних валів шляхом розробки технологічного процесу, досягнута.

## Список використаних джерел

1. Попов В. С. Відновлення і підвищення зносостійкості і терміну служби деталей машин. / В. С. Попов, - Запоріжжя: Вид-во ВАТ "Мотор - Сич", 2000. - 394 с.
2. Кравченко И.Н. Технологии высокоскоростного нанесения наноструктурированных покрытий / И.Н. Кравченко, Ю.А. Кузнецов, А.В. Гуревский, А.А. Коломейченко // Строительные и дорожные машины. 2015. № 2. С. 10-15.
3. Кравченко И.Н. Исследования прочностных свойств и эксплуатационных характеристик хромовых покрытий, полученных различными методами напыления / И.Н. Кравченко, Е.М. Зубрилина, А.В. Шиян // Ремонт. Восстановление. Модернизация, 2012. - № 6. – С. 27-30.
4. Кравченко И.Н. Эффективные технологические методы нанесения покрытий газопламенным напылением / И.Н. Кравченко, В.М. Корнеев, А.А. Коломейченко, И.Е. Пупавцев // Вестник, 2015. - № 1. – С. 36-40
5. Справочник технолога - машиностроителя. В 2-х кн. Кн. 1/ А.Г. Косилова [и др.]; под ред. А.М. Дальского [и др.]; - 5-е изд., перераб. и доп. – М: Машиностроение-1, 2001 г., 912 с.
6. Справочник технолога - машиностроителя. В 2-х кн. Кн. 2/ А.Г. Косилова [и др.]; под ред. А.М. Дальского [и др.]; - 5-е изд., перераб. и доп. – М: Машиностроение-1, 2001 г., 944 с.
7. Сидоров В.П., Борисов Н.А. Критерий проплавления способности дуги при сварке [Текст] // Сварка и диагностика. - 2013. – С.24-27.
8. Сидоров В.П., Борисов Н.А. Вклад в проплавление изделия мощности электродного металла при сварке под флюсом [Текст] // Пайка - 2013: сборник материалов международной научно-технической конференции

(Тольятти, 10-12 сентября 2013 года) / редкол.: А.Ю. Краснопевцев (отв. ред.) [и др.] - Тольятти: ТГУ. – 2013. - С. 232–239.

9. Хромов В.Н., Коренев В.Н., Барабаш В.В. Повышение микротвёрдости покрытий при газопламенном напылении водородно-кислородным пламенем // Ремонт. Восстановление. Модернизация, 2010. - № 10. – С. 43-44.

10. Хромов В.Н., Коренев В.Н., Барабаш В.В., Венцов В.В. Газотермическое напыление покрытий с использованием водородно-кислородной смеси // Матер. 2-й Междунар. науч.-техн. конф. 28–30 мая 2002. г. Ялта; Киев: АТМ Украины. 2002. С. 217–220.

11. Хромов В.Н. Коренев В.Н., Барабаш В.В. Выбор режимов газопламенного напыления порошковыми материалами с использованием водородно-кислородного пламени // Ремонт. Восстановление. Модернизация, 2009. - № 7. – С. 30-33.

12. Гусев С.А., Клепов Д.В. Способ диспергирования металлического расплава: Научно-технический журнал “Электромеханик”, 2021. - № 21. - с.8-13.

13. Дальский А. М., Косиловой А.Г., Мещерякова Р.К., Сусллова А.Г. Справочник технолога машиностроителя // Машиностроение, 2003. Том 2. – С 358-365.

14. Дальский А. М., Косиловой А.Г., Мещерякова Р.К., Сусллова А.Г. Справочник технолога машиностроителя // Машиностроение, 2003. Том 2. – С 366-367.

15. Дальский А. М., Косиловой А.Г., Мещерякова Р.К., Сусллова А.Г. Справочник технолога машиностроителя // Машиностроение, 2003. Том 2. – С 438-442.

16. Дуданова Л.Ф. Бакалаврская работа. Технологический процесс изготовления ступицы переднего колеса автомобилей семейства LADA [Электронный ресурс] // Репозиторий ТГУ. 2020. URL:

<https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/13521>

17. ГОСТ 12.3.036-84 Система стандартов безопасности труда. Газопламенная обработка металлов. Требования безопасности [Электронный ресурс] // База ГОСТов. 1986. URL: [https://allgosts.ru/13/100/gost\\_12.3.036-84](https://allgosts.ru/13/100/gost_12.3.036-84)
18. Чеботарев М.И., Кадыров М.Р. Выбор оптимального способа восстановления изношенной поверхности [Электронный ресурс] URL: <https://kubsau.ru/upload/iblock/302/3022a16c56239d8f9a695b313ba0351a.pdf> (дата обращения: 23.10.2020).
19. Анализ вида изнашивания рабочих поверхностей детали [Электронный ресурс] 2018. URL: <http://www.lib.madi.ru/fel/fel1/fel18E497.pdf> (дата обращения: 12.10.2020).
20. Анализ повреждений машинных валов [Электронный ресурс] URL: <https://prmeht.ru/pub/company/press/20180821-01.pdf> (дата обращения: 12.10.2020).
21. Григурко І.О. «Технологія обробки типових деталей. Навчальний посібник.» – Львів : «Новий Світ – 2000», 2006. – 576 с.
22. Справочник металлиста [Электронный ресурс] URL: <http://enginiger.ru/materials/konstruktsionnaya-legirovannaya/stal-45h-konstruktsionnaya-legirovannaya/#naznachenie-i-primenenie> (дата обращения: 12.10.2023).
23. Скворцов В.Ф. Основы размерного анализа конструкций изделий [Электронный ресурс] 2012. URL: [https://portal.tpu.ru/SHARED/t/TMRI/uchwork/Tab4/IK\\_Skvorcov.pdf](https://portal.tpu.ru/SHARED/t/TMRI/uchwork/Tab4/IK_Skvorcov.pdf) (дата обращения: 12.10.2023).
24. Козлов, А.А. Оборудование и технологическая оснастка машиностроительных производств. Проектирование кулачковых самоцентрирующих патронов: практикум / А.А. Козлов, С.И. Ярыгин. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2019. – 1 оптический диск.
25. Сідашенко О.І. Ремонт машин / О.І Сідашенко – Київ: Урожай, 1994. – 396 с.
26. Станочные приспособления: Справочник. В 2-х кн. Кн. 1./ Б.Н.

Вардашкин; под ред. Б.Н. Вардашкина [и др.]; - М.: Машиностроение, 1984.

27. Касаткін Б.С. Експериментальні методи дослідження деформації і напружень. Довідковий посібник / Б.С., Касаткін, А.Б., Кедрин, Х.М. Лобанов. - До.: Наукова думання, 1981. - 584с.

28. Савуляк В.І. Відновлення деталей машин. Частина 1 / В.І. Савуляк, В.Т.Івацько. – Вінниця, ВНТУ 2004 – 100 с.

29. Nimuda G. E., Hermant B., Sudir T. Study of Flame Spray Coated Fe-Al Using N-2 as a Gas Carrier [Электронный ресурс] // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1191. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1191/1/012054> (дата обращения: 11.10.2023).

30. Haoliang T., Changliang W., Mengqiu G., Zhihui T., Hui T., Xinkun W., Shicheng W., Binshi X. A residual stresses numerical simulation and the relevant thermal-mechanical mapping relationship of Fe-based [Электронный ресурс] // Results in Physics. 2019. Vol. 13. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211379719300129> (дата обращения: 11.10.2023).

31. Student M., Gvozdetzky V., Student O., Prentkovskis O., Maruschak P., Olenyuk O., Titova L. The Effect of Increasing the Air Flow Pressure on the Properties of Coatings During the Arc Spraying of Cored Wires [Электронный ресурс] // Strojnicky časopis - Journal of Mechanical Engineering. 2019. Vol. 69. URL: <https://content.sciendo.com/view/journals/scjme/69/4/article-p133.xml> (дата обращения: 11.10.2023).

32. Tischendorf R., Simmler M., Weinberger C., Bieber M., Reddemann M., Fröde F., Lindner J., Pitsch H., Kneer R., Tiemann M., Nirschl H., Schmid H.-J. Examination of the evolution of iron oxide nanoparticles in flame spray pyrolysis by tailored in situ particle sampling techniques [Электронный ресурс] // Journal of Aerosol Science. 2023. Vol. 154. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002185022030207X?via%3Dihub> (дата обращения: 02.03.2023).



32. Борисов Ю.С. Газотермічні покриття з порошкових матеріалів. /

Ю.С. Борисов, Ю.А. Харламов, С. Л Сидорченко. - Київ: Наукова думання  
1987. – 544 с.

