

**Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова**

Кафедра зварювання



«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри

к.т.н., проф. НУК Г.В. Єрмолаєв

«___» _____ 2023 року

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»
(освітньо-кваліфікаційний рівень)**

на тему: **Розробка технології відновлення колінчастих
валів ДВЗ**

Виконав: студент VI курсу, групи 6121м
спеціальності 132 Матеріалознавство спеціалізації
Інжиніринг зварювання та споріднених процесів
(спеціальність і спеціалізація)



Зяблов А.С.

(прізвище та ініціали)



Керівник

Єрмолаєв Г.В.

(прізвище та ініціали)



Рецензент

Матвієнко М.В.

Херсон 2023 р.

**Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова**

Факультет суднобудівний
Кафедра зварювання
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Спеціальність 132 «Матеріалознавство»
(шифр і назва)
Спеціалізація Інжиніринг зварювання та споріднених процесів
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ


Гарант освітньої програми
к.т.н. доц. М.В. Матвієнко
“ ” 2023 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»**

студенту Зяблову Андрію Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка технології відновлення колінчастих валів ДВЗ

керівник роботи Єрмолаєв Геннадій Володимирович, доцент, проф. НУК

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

затверджені розпорядженням ХФ НУК від “10” жовтня 2023 року № 19

2. Строк подання студентом роботи

3. Вихідні дані до проекту Креслення виробу, матеріал сталь 40Х,

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) провести аналіз технології відновлення циліндричних деталей; 2) провести вибір матеріалів та режимів газополуменевого напилення; 3) провести аналіз та вибір обладнання для напилення; 4) провести вибір оптимального складу матеріалу при відновленні; 5) провести розробку технологічного процесу.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1) Загальний вигляд колінчастого валу. 2) Провести вибір методу відновлення. 3) Вибір матеріалів для наплавлення та хімічний склад і механічні властивості сталі. 4) Розрахунок планування експерименту методом Бокса-Уілсона. 5) Схема технологічного процесу відновлення поверхні валу. 6) Вибір обладнання для відновлення. 7) Висновки по роботі.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	проф. НУК Єрмолаєв Г.В.		
2	проф. НУК Єрмолаєв Г.В.		
3	проф. НУК Єрмолаєв Г.В.		
4	проф. НУК Єрмолаєв Г.В.		

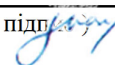
7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з /п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз конструкції, матеріалу та методи відновлення циліндричних деталей	10.10.2023	
2	Вибір матеріалів та дослідження властивостей покриття.	30.10.2023	
3	Розробка технологічного процесу відновлення валу	20.11.2023	
4	Вибір обладнання та контролю якості	01.12.2023	
	Графічна частина	14.12.2023	

Студент  Зяблов А.С.

(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)  Єрмолаєв Г.В.

(підпис) (прізвище та ініціали)

Анотація

Магістерська робота присвячена підвищенню експлуатаційних властивостей деталей машин шляхом формування зносостійких покриттів методом газотермічного напилювання. Обґрунтовано доцільність застосування поверхневого зміцнення для підвищення зносостійкості, корозійної та жаростійкості деталей, що працюють в умовах інтенсивного механічного та хімічного впливу.

Проаналізовано сучасні методи газотермічного напилювання та визначено їх місце у технологічному процесі відновлення деталей. В якості ефективного способу відновлення колінчастих валів обрано газополум'яне напилення порошковими матеріалами з подальшим оплавленням.

Розроблено технологію нанесення покриття із застосуванням пропано-кисневого пальника та самофлюсуючого порошку ПГ12Н-01. Встановлено оптимальний вміст добавки «борного шлаку» (1,5–2,5%) методом математичного планування експерименту, що забезпечує підвищення адгезійної міцності та зносостійкості покриття. Запропоноване рішення дозволяє спростити технологічний процес і знизити трудомісткість відновлення деталей до 30%.

Ключові слова: газотермічне напилювання, газополум'яне напилення, зносостійкість, адгезійна міцність, покриття, самофлюсуючий порошок, ПГ12Н-01, борний шлак, відновлення деталей, колінчастий вал, поверхневе зміцнення.

Abstract

The master's thesis is devoted to improving the performance properties of machine parts by forming wear-resistant coatings using thermal spraying technologies. The feasibility of surface strengthening to enhance wear resistance, corrosion resistance, and heat resistance of parts operating under intensive mechanical and chemical воздействия is substantiated.

Modern thermal spraying methods are analyzed, and their role in the technological process of part restoration is determined. Gas-flame spraying with subsequent remelting using powder materials was selected as an effective method for crankshaft restoration.

A coating technology using a propane-oxygen torch and self-fluxing powder PG12N-01 was developed. The optimal content of boron slag additive (1.5–2.5%) was determined using the Box–Wilson experimental design method, which ensures increased adhesion strength and wear resistance of the coating. The proposed approach allows simplification of the technological process and reduces labor intensity by up to 30%.

Keywords: thermal spraying, gas-flame spraying, wear resistance, adhesion strength, coating, self-fluxing powder, PG12N-01, boron slag, part restoration, crankshaft, surface engineering.

ЗМІСТ

Вступ	7
1 Аналіз конструкції, матеріалу та методи відновлення деталей	9
1.1 Конструкція та її призначення.....	10
1.2 Характеристика основного металу.....	13
1.3 Аналіз методів відновлення деталей.....	17
1.3.1 Відновлення колінчастих валів методом електродугової металізації	17
1.3.2 Плазмове напilenня	19
1.3.3 Газополуменеве напilenня.....	25
1.4 Цілі та задачі дипломної роботи.....	28
2 Вибір матеріалів та дослідження властивостей покриттів	30
2.1 Вибір порошкового матеріалу для напilenня	31
2.2 Вибір горючих газів	34
2.3 Визначення оптимального складу напilenого матеріалу	36
2.3.1 Поліпшення характеристик покриттів з самофлюсуючих порошків.....	37
2.3.2 Вибір якісного складу порошку	38
2.3.3 Вибір кількісного складу порошку, визначення механічних властивостей покриття.....	38
2.3.4 Оптимізація процесу газополуменевого напilenня з використанням персонального комп'ютера	40
2.4 Визначення міцності зчеплення покриття з основою	48
3 Розробка технологічного процесу відновлення валу	52
3.1 Розробка технологічного процесу відновлення.....	54
4 Вибір обладнання.....	63
4.1 Обладнання для напilenня.....	64
4.2 Обладнання для обробки поверхонь	68
4.3 Контроль якості нанесених покриттів	74
5 Загальні висновки по дипломній роботі.....	76

Перелік літератури.....	78
Додатки	80

					MP 132.6121м.01.01.05. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ВСТУП

До робочих поверхонь деталей машин залежно від умов їхньої експлуатації висувають певні вимоги по різних властивостях: зносостійкості, жаростійкості, корозійній стійкості й ін. Міцність деталей досягається шляхом використання відповідних матеріалів з необхідними вихідними властивостями. Іншими словами, при проектуванні машин необхідно виходити з міцності сучасних матеріалів.

Найважливішими факторами, що визначають експлуатаційну надійність і термін служби деталей і конструкційних елементів машин, є також властивості матеріалів поверхонь цих деталей й елементів. Наприклад, наземні будинки й спорудження піддаються руйнуванню під впливом дощу, вітру й сонячних променів. Судна - від постійного контакту з морською водою, хімічне встаткування інтенсивно зношується в результаті агресивної дії різних хімікатів, рідин і газів, будівельні машини зношуються від абразивної дії ґрунту й піску, зношування деталей машин загального призначення відбувається в результаті взаємного тертя їхніх робочих поверхонь.

Збільшення терміну служби деталей машин можна забезпечити шляхом утворення на поверхні цих деталей й елементів шарів або покриттів, що володіють високим рівнем необхідних властивостей - корозійної стійкості при високих температурах, зносостійкості, твердості, жаростійкості й ін.

Такий шлях представляє значні резерви економії сировинних ресурсів. Застосування технології поліпшення властивостей поверхні матеріалів, розширює перспективу проектування й виробництва різного встаткування з більшим високим рівнем експлуатаційних показників, що, у свою чергу, дозволяє скоротити споживання енергії й підвищити продуктивність праці в різних галузях промисловості.

Сучасна апаратура для газотермічного напилювання дозволяє наносити покриття практично із всіх відомих матеріалів, якщо вони не розкладаються при нагріванні. Матеріал для напилення використовують у вигляді дроту або порошку. Для електродугової металізації можна використати тільки дріт, а для

					MP 132.6121м.01.01.05. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

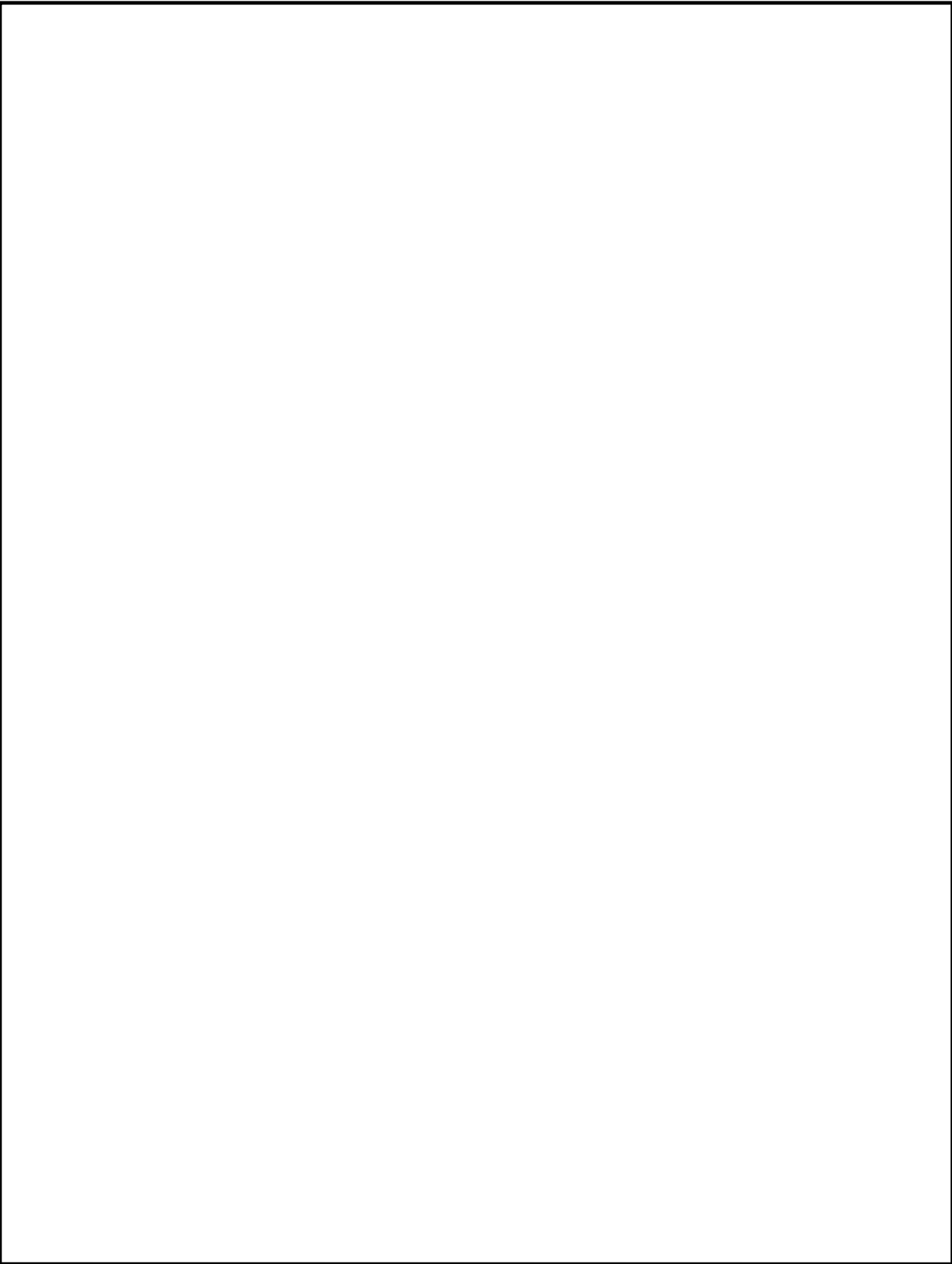
газополум'яного й плазмового методів - як дріт, так і порошок. Для дроту й порошків застосовують спеціальні конструкції пальників.

Для всіх методів газотермічного напилювання характерні наступні стадії технологічного процесу:

- очищення й попередня підготовка поверхні, на яку наноситься покриття;
- нанесення покриття;
- наступна обробка покриттів (механічна, термічна або яка-небудь інша);
- контроль, якості й розмірів.

Таким чином, сама операція газотермічного напилювання є лише ланкою в розвиненому технологічному ланцюзі.

					МП 132.6121м.01.01.05. ПЗ	Арк.
						8
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



					МР 132.6121м.01.01.05. ПЗ							
Змін.	Арк.	№ документа.	Підпис	Дата								
Студент		Зяблов А.С.			1 Аналіз конструкції, матеріалу та методи відновлення деталей			Літ.		Арк.	Аркушів	
Консультант										9	21	
Керівник		Єрмолаєв Г.В.						ХННІ НУК				
Н. Контр.												
Зав.кафедр.		Єрмолаєв Г.В.										

1.1 Конструкція та її призначення

Колінчастий вал - один з найбільш відповідальних і дорогих конструктивних елементів двигуна внутрішнього згорання. Він перетворює зворотно-поступальний рух поршнів в обертальний момент. Колінчастий вал сприймає періодичні змінні навантаження від сил тиску газів, а також сил інерції рухомих і обертових мас. Термін служби колінчастого валу залежить від умов його роботи і зносу.

Особливо швидко виходять з ладу колінчасті вали тракторних двигунів, що працюють в більш тяжких умовах у порівнянні з автомобільними. Якщо середня експлуатаційна навантаження автомобільних двигунів становить 50-60 %, то тракторних - при виконанні багатьох сільськогосподарських робіт - 95-98 %.

Питомий тиск на найбільш навантажені шатунні шийки колінчастих валів тракторних двигунів в 1,5-2 рази вище, ніж у автомобільних. В процесі експлуатації опір втоми тракторних колінчастих валів знижується на 25-30 %. Основними причинами вибракування колінчастих валів двигунів є знос шийок і їх поломки в області галтелей. Виникнення тріщин на галтелях і на відстані до 10 мм від них значно знижує опір втоми, і вали з таким дефектом не підлягають відновленню.

Вал виготовляється із сталі за допомогою кування чи чавуну шляхом лиття. На дизельних і турбированих двигунах встановлюються більш міцні сталеві колінчасті вали.

Конструктивне колінчастий вал об'єднує кілька корінних і шатунних шийок, з'єднаних між собою щоками. Корінних шийок, як правило, на одну більше, а вал з такою компоновкою називається полноопорним. Корінні шийки мають більший діаметр, ніж шатунні шийки. Продовженням щоки в протилежному від шатунної шийки напрямку є противага. Противаги зрівноважують вага шатунів і поршнів, тим самим забезпечують плавну роботу двигуна.

					МР 132.6121м.01.01.05. ПЗ	Арк.
						10
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

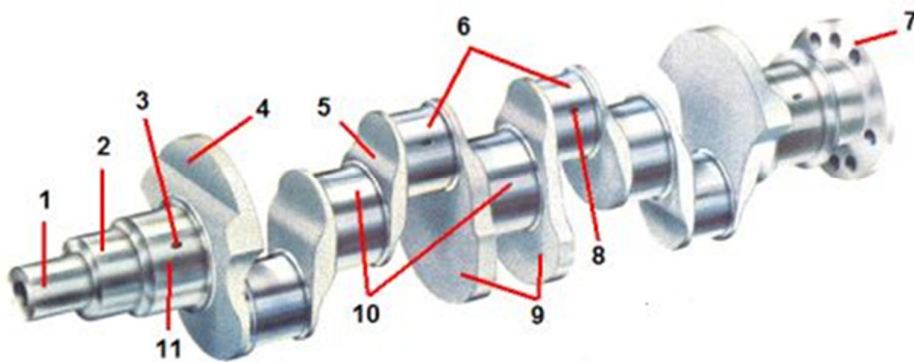


Рисунок 1.1 Загальний вигляд колінчастого валу:

1 - носок колінчастого валу; 2 - посадочне місце зірочки (шестерні) приводу колінчастого валу; 3 - отвір підведення масла до корінної шийки; 4 - противагу; 5 - щока; 6 - шатунні шийки; 7 - фланець маховика; 8 - отвір підведення масла до шатунної шийки; 9 - противаги; 10 - корінні шийки; 11 - корінна шийка упорного підшипника

Шатунна шийка, розташована між двома щоками, називається коліном. Коліна розташовуються в залежності від числа, розташування та порядку роботи циліндрів, такту двигуна. Положення колін повинно забезпечувати рівноваженість двигуна, рівномірність займання, мінімальні крутильні коливання і згинальні моменти.

Шатунна шийка служить опорною поверхнею для конкретного шатуна.

Найбільш навантаженим в конструкції колінчастого валу є місце переходу від шийки (корінний, шатунної) до щоки. Для зниження концентрації напружень перехід від шийки до щоки виконується з радіусом закруглення (галтелі). Галтелі в сукупності збільшують довжину колінчастого валу, для зменшення довжини їх виконують з поглибленням в щоку або шийку.

Обертання колінчастого валу в опорах, а шатунів в шатунних шийках забезпечується підшипниками ковзання. В якості підшипників застосовуються роз'ємні тонкостінні вкладиші, які виготовляються із сталеві стрічки з нанесеним антифрикційним шаром. Провертанням вкладишів навколо шийки перешкоджає виступ, яким вони фіксуються в опорі. Для запобігання осьових

					Арк.
					11
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

МР 132.6121м.01.01.05. ПЗ

переміщень колінчастого валу використовується упорний підшипник ковзання, який встановлюється на середній або крайній корінній шийці.

Колінчастий вал працює в умовах контактного ковзання корінних і шатунних шийок з вкладишами підшипників і мастилом. Зношування валу визначається низкою характерних факторів:

- знакозмінні контактні навантаження;
- закономірно змінюється площа контакту деталі в міру її зносу;
- зміна умов змащення деталі по мірі зміни її форми;
- навантажувальні, швидкісні і теплові режими роботи деталі;
- коливання фізико-хімічних властивостей мастильних матеріалів.

Комплекс цих факторів викликає, в основному, механічне зношування колінчастого валу.

Абразивну (механічне) зношування відбувається в результаті ріжучого або дряпальної дії твердих часток, що знаходяться у вільному або закріпленому стані.

У процесі експлуатації двигуна в результаті нерівномірності зносу, короточасних перевантажень, зміщення опор блоку через старіння металу і ряду інших факторів виникають ситуації, при яких вал працює в умовах перевантажень. При цьому в ході багаторазового циклічного навантаження і деформування мікро об'ємів металу поверхневого шару, в його структурі накопичуються втомні пошкодження, що призводять до втомного викришування найбільш напружених зон деталі. Такими зонами в колінчастих валах автомобільних двигунів є центральні частини корінних і шатунних шийок в області маслопідвідних отворів.

Таким чином, колінчасті вали двигунів працюють в умовах переважно втомного і абразивного зношування поверхонь шийок, до яких висуваються жорсткі вимоги щодо дотримання геометричних розмірів. Отже, термін служби колінчастого валу залежить від опору втомному викришуванню і зносостійкості поверхні корінних і шатунних шийок.

					MP 132.6121м.01.01.05. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Зношені колінчасті вали перешліфовують на ремонтні розміри до шести разів. Починаючи з третього ремонтного розміру знос корінних шийок значно збільшується в порівнянні з новими, через зменшення поверхневої твердості, тому їх необхідно гартувати повторно вже з другого ремонтного розміру. Однак тут з'являються складності. Оскільки в разі індукційного загартування виникають деформації, важко усуніти при ремонті, цей спосіб не застосовують. Лазерне термозміцнення забезпечує підвищення зносостійкості шийок колінчастого валу приблизно в два рази в порівнянні з незміцненими при відсутності деформації. Однак через високу вартість і складність лазерного обладнання цей процес також не знайшов застосування на ремонтних підприємствах. Тому застосування технологій відновлення зношених шийок колінчастих двигунів є перспективною й актуальною задачею. Крім того, відновлення зношених деталей у системі ремонту машин є природоохоронним та ресурсозберігаючим виробництвом. На виготовлення, наприклад, одного колінчастого валу автомобільного двигуна з робочим об'ємом 4,8 л. витрачають 57 кг металу, 183 МДж енергії, маса відходів при цьому дорівнює 2,5 кг. При відновленні ці величини мають значення приблизно в 20 разів менше: відповідно 2,6 кг, 9,5 МДж і 0,12 кг.

Серед розмаїття технологічних процесів відновлення зношених деталей приблизно 85 % обсягу відновлених шийок колінчастих валів всіх двигунів виконують шляхом застосування зварювально-наплавочних процесів.

1.2 Характеристика основного металу

Колінчасті вали тихохідних судів й автотракторних двигунів виготовляють зі сталей 40, 45, 40Х. Для виготовлення валів швидкохідних двигунів застосовують, леговані сталі 40Х, 40ХН.

Кування колінчастих валів, для одержання необхідних механічних властивостей, підготовки структури для остаточного механічного загартування й

					МР 132.6121м.01.01.05. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

забезпечення гарної оброблюваності різанням піддають нормалізації (при необхідності з відпусткою) або поліпшенню.

Для підвищення зносостійкості шийок колінчасті вали піддають загартуванню при індуктивному нагріванні й саме відпустці.

Для підвищення усталісної міцності шийки колінчастого вала, іноді зміцнюють обкатуванням роликами або, рідше дробоструйною обробкою. Довговічність колінчастих валів з легованих сталей може бути підвищена рідким або газовим азотуванням. Усталісна міцність колінчастих валів у результаті рідкого азотування підвищується на 60 - 80 % [1? 2].

Для виготовлення колінчастих валів складної форми, з великими фланцями й отворами на ряді зі сталлю застосовують високолеговані чавуни. Так наприклад, колінчасті вали автомобілів М-24 «Волга» виготовляють із високоміцного чавуну ВЧ 60-2 (3,2-3,4 % С, 2,0-2,5 % Si, 1,15-1,3 % Mn, 0,003 % S, 0,15-0,25 % Cr й 0,02-0,04 % Mg). Їх відливають в оболонкових формах, а потім піддають термічній обробці для підвищення механічних властивостей ($\sigma_b = 500 - 700$ МПа, $\delta = 5 - 8$ %, $\sigma_H = 900 - 1100$ МПа, НВ 207 - 241). Високі міцні чавуни, також застосовують для виготовлення колінчастих валів двигунів автомобілів типу «Запорожець», «Ваз» і тепловозів.

Але все-таки, основна кількість колінчастих валів виготовляється зі сталей 40, 45, 40Х, 40ХН, 40ХФА - ці вали призначені для суднових, автомобільних і дизельних двигунів, широко застосовуваних у промисловості. Їх піддають нормалізації або загартуванню при індуктивному нагріванні при $t = (150 - 170)^\circ\text{C}$. Короткі відомості з матеріалу наведені в таблиці 1.1 [2].

Для виготовлення поворотних валів тракторів МТЗ - 50, колінчастих валів двигунів вантажних автомобілів застосовують сталь 40Х. Ця сталь ставиться до легованих сталей із сумарною кількістю легуючих елементів більше 2,5 %. Як правило, ці сталі, характеризуються високою міцністю, у тому числі при підвищених температурах, зносостійкістю, задовільно обробляються різанням і тиском.

					МР 132.6121м.01.01.05. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Таблиця 1.1 Короткі відомості по виготовленню колінчастих валів

Найменування колінчастих валів	Марки сталей	Термічна обробка	Твердість серцевини HB	Твердість поверхні HRC,	Товщина зміцнюючого шару, мм
Колінчасті вали судових і автомобільних двигунів	40,45, 40X, 50M, 40XH, 40XГФ	Нормалізація або загартування з високим відпуском, поверхневе загартування	163-269	52-62	4-5
Колінчасті вали дизелів	13X2M43A	Загартування 910 °С (повітря) відпуск 200 °С	311-375	-	-
	40XHMA	Загартування 8800С (масло) відпустка 590 °С	311-375	HV 600-700	0,3-0,4

Хімічний склад, розглянутої сталі, а також механічні властивості цієї сталі, наведені в таблиці 1.2 й у таблиці 1.3 [3].

Найбільшу небезпеку при зварюванні сталей зі змістом вуглецю більше 0,3 % становить утворення гартівних структур, причому при тій же кількості вуглецю чутливість сталі до утворення тріщин і гартівних структур (мартенситу) тим вище, чим більше в сталі зміст легуючих елементів.

Таблиця 1.2 Хімічний склад сталі

Марка сталі	Зміст елементів, %				
	C	Si	Mn	Cr	Ti
40X	0,34-0,44	0,17-0,37	0,50-0,80	0,80-1,10	0,03-0,09

Таблиця 1.3 Механічні властивості сталі

Марка сталі	σ_B МПа	$\sigma_{0,2}$ МПа	δ_5 %	Ψ %	a_n МДж/м ³
40X	1000	800	10	45	0,6

Ступінь впливу окремих елементів різна й може бути оцінена по різних ознаках, одним із яких є еквівалент по вуглецю. Найпоширеніша формула для підрахунку еквівалента по вуглецю (1.1) [5].

$$C_{екв} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{10} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{10} \quad (1.1)$$

$$C_{екв} = 0,44 + \frac{0,8}{6} + \frac{0,37}{24} + \frac{1,1}{5} = 0,81 \%$$

Еквівалент по вуглецю $C_e = 0,81 \%$ більше припустимого еквівалента $C_e = 0,45 \%$, із цього можна зробити висновок, що при зварюванні (напилюванні) сталь 40Х схильна до утворення тріщин і тому потрібна спеціальна технологія для усунення цього небажаного явища. Ці заходи в основному зводяться до наступних операцій [6]:

- створення термічного циклу напилювання, що усуває утворення гартівних структур (попередній або супутній підігрів);
- зниження змісту водню в металі зони нагрівання (поліпшення захисту напиленого металу, ретельна підготовка напилюваної поверхні й напилених порошків перед нанесенням);
- термічна обробка виробу безпосередньо після напилювання;
- застосування технологічних прийомів, що знижують залишкові напружки (застосування пристосувань стиску, що створюють напругу, і т.п.).

До відновлюваної поверхні колінчастого валу пред'являються наступні вимоги: величина деформацій колінчастого валу після відновлення не повинна перевищувати 0,02 мм, поверхня повинна мати твердість HRC 45 і на поверхні не повинне бути раковин й інших дефектів.

Захисне покриття на колінчастих валах повинне передбачати захист від високотемпературної газової корозії, що гарантує більше високий і довговічний строк їхньої служби, а також більше високу температуру при експлуатації й надійність.

1.3 Аналіз методів відновлення деталей

1.3.1 Відновлення колінчастих валів методом електродугової металізації

Електродугова металізація (ЕДМ) є одним із способів нанесення газотермічних покриттів (ГТП).

У електрометалізаторі встановлені направляючі, через які безперервно проводиться подача двох розпилюються дротів. Між кінцями цих дротів збуджується електрична дуга. У центральній частині електрометалізатора мається сопло, через яке подається стиснене повітря.



Рисунок 1.2 Процес відновлення КВ газотермічним напиленням, електродугова металізація (ЕДМ)

Струмінь стиснутого повітря відриває з дротів-електродів частинки розплавленого металу і забирає їх до напилюваної поверхні.

Електрометалізатор може працювати як на постійному, так і на змінному струмі. При використанні змінного струму дуга горить нестійкий і супроводжується великим шумом. При постійному струмі характер роботи є стійким, напилений матеріал має дрібнозернисту структуру, продуктивність напилення висока. Тому в даний час для дугового напилення використовують джерела постійного електричного струму. Для напилення зазвичай використовують дріт діаметром 0,8; 1,0; 1,6 і 2,0 мм.

					MP 132.6121м.01.01.05. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

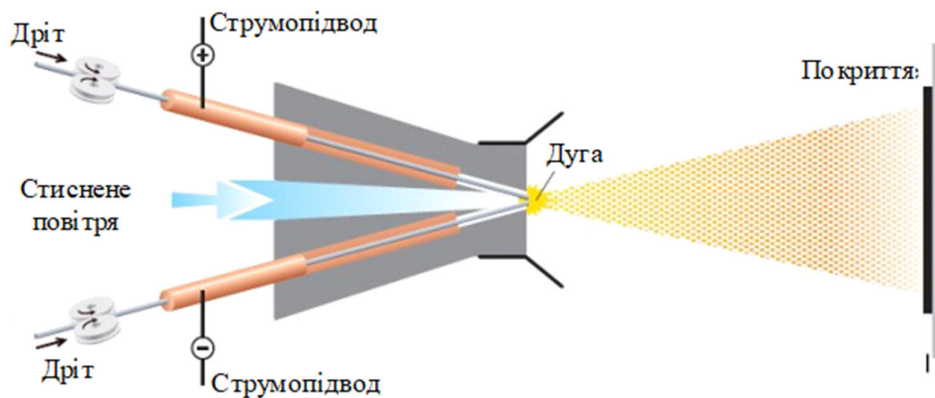


Рисунок 1.3 Принципова схема електродугової металізації

Перевагою способу електродугової металізації є висока продуктивність процесу і можливість значного скорочення витрат часу на напилення. Наприклад, при силі струму 750 А можна напилюють сталеве покриття з продуктивністю 36 кг/год, що перевищує в кілька разів продуктивність газополуменевого напилення. У порівнянні з газополуменевим напиленням металізація дозволяє одержувати більш міцні покриття, які краще з'єднуються з основою. При використанні в якості електродів дротів з двох різних металів можна отримати покриття з їх сплаву. Експлуатаційні витрати електрометалізатора досить невеликі. При напиленні покриття розпиленням двох електродів з різнорідних матеріалів бажано використовувати такі електрометалізатори, які б дозволяли робити окрему регулювання швидкості подачі кожного електрода.

Недоліком розглянутого методу є перегрів і окислення напилюваного матеріалу при малих швидкостях подачі розпороли дроту. Крім того, велика кількість теплоти, що виділяється при горінні дуги, призводить до значного вигорання легуючих елементів, що входять в напилюваний сплав (наприклад, вміст вуглецю в матеріалі покриття знижується на 40-60%, а кремнію і марганцю-на 10-15%). Це необхідно мати на увазі і застосовувати для напилення дріт, що містить підвищену кількість легуючих елементів. "

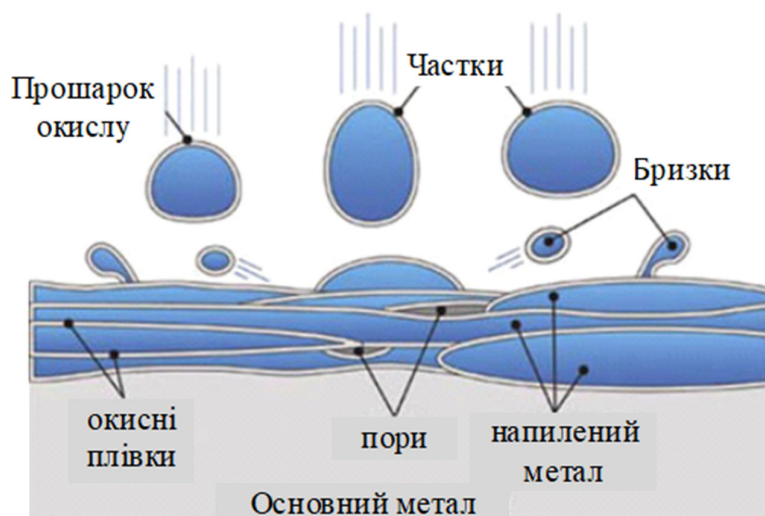


Рисунок 1.4 Процес утворення метализаційного покриття

Для всіх способів ГТП є загальні вимоги з підготовки поверхні:

Процес напилення включає наступні операції: попередню обробку поверхні основи для забезпечення міцного зчеплення напилюваного матеріалу; напилення матеріалу на основу пальником для напилення; обробку покриття після напилення, якщо в цьому є необхідність (термічна обробка, ущільнення покриття, обробна обробка).

Витрати на ремонт ЕДМ в 2,5 ... 6 разів нижче, ніж методами плазмового, детонаційного і газополум'яного напилення. Нагрівання поверхневого шару КВ при ЕДМ не перевищує 100 - 120 °С. Процес ЕДМ високопродуктивний. Важливою перевагою ЕДМ є, на відміну від наплавлення, можливість неодноразового ремонту.

1.3.2 Плазмове напилення

Плазмове напилення - прогресивний технологічний процес нанесення покриттів [20]. Цей метод є логічним розвитком електродугової металізації й газополуменевого напилювання. Застосовуючи плазму, можна наносити покриття практично із всіх відомих тугоплавких матеріалів, які в плазмовому струмені не сублімують і не перетерплюють інтенсивного розкладання.

Застосовуючи плазму, можна наносити покриття з таких різних матеріалів, як метали, сплави, оксиди, карбіди, нітриди, борида, пластмаси і їхні комбінації. Більшою розмаїтістю відрізняються матеріали, на які можуть бути нанесені покриття: метали, кераміка, графіт, пластмаса й т.д. Енергетичні характеристики плазми можна змінювати залежно від вимог технолога.

Покриття наносяться на більші й малі поверхні, на виробі складної форми. Завдяки нагріванню основи до порівняно невеликих температур (40 - 120 °С), зберігаються особливості структури й властивості матеріалу основи.

Товщина покриттів, одержуваних плазмовим напилюванням, може коливатися від 0,025 до декількох міліметрів.

Плазмові покриття мають більше високу щільність і краще зчеплення з основою, чим ті, що виконані газополуменевим методом. Недоліком плазмового напилювання є сильне ультрафіолетове випромінювання.

Процес плазмового напилювання полягає в нанесенні на поверхню деталі матеріалу із заданими властивостями у вигляді порошку або дроту, що розпорошують у результаті високотемпературного нагрівання й прискорення в плазмовому струмені. Напилений матеріал подається в плазмовий струмінь пальника у вигляді порошку з розміром часток не більше 100 мкм. Частки порошку під час напилювання перетерплюють перетворення: нагрівання, плавлення, формування потоку розплавлених часток відповідно до рисунка 1.6. Зчеплення часток порошку з основним металом відбувається за рахунок нанесення з великою швидкістю об шорсткувату поверхню. Вони заклинюються в нерівностях і частково зварюються за рахунок молекулярного зчеплення між шарами.

Якщо нагріти газ до температури, що перевищує 1300 °С, почнеться руйнування молекулярних зв'язків, і газ перейде в атомарний стан. При подальшому підвищенні температури від атомів відокремлюються електрони, і відбувається його іонізація. Газ, у якому значна частина атомів іонізована, концентрація електронів і негативних іонів дорівнює концентрації позитивних іонів,

					MP 132.6121м.01.01.05. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

називається плазмою. Плазма має електропровідність, що залежить від ступеня іонізації газу.

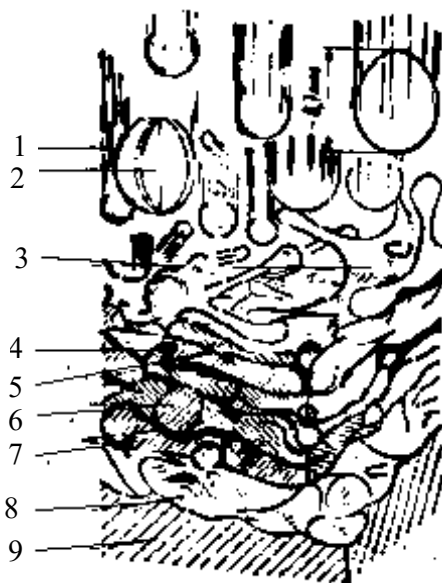


Рисунок 1.5 Схема формування плазмового покриття

1 - оксидна плівка; 2 - частка розплавленого напиленого металу;
 3 - частка при зіткненні з поверхнею; 4 - ділянка механічного зчеплення; 5
 - ділянка локального зчеплення; 6 - не повністю розплавлена частка; 7
 - пора; 8 - поверхня основного матеріалу; 9 - основний матеріал.

Для одержання плазмового струменя застосовують спеціальні пристрої - плазмотрони. У плазмотронах використовують дуговий розряд значної довжини, що горить у порівняно вузькому водоохолоджуємому каналі. Через канал під тиском подають газ, що, прохолоджуючи зовнішню поверхню стовпа дуги, викликає її стиск, наслідок чого щільність енергії в стовпі дуги і її температура різко зростає. Залежно від состава середовища, температура плазми газового розряду в дузі середньої потужності, стабілізованої потоком газу, становить 5000 – 20000 °С, при стабілізації водяним вихром досягає 20000 – 30000 °С. Матеріал, що напилюється, подається у високо температурний струмінь через отвір у соплі анода, де він нагрівається й, прискорюючись разом з потоком плазмоутворюючого газу, наноситься на поверхню оброблюваної деталі. Схема плазмотрону представлена на рисунку 1.7.

Подача порошку здійснюється за допомогою транспортуючого газу. Під дією сил інерції й газодинамічних сил частки порошку попадають у плазмовий струмінь.

Плазмотрон складається із трьох основних частин: анода - 8, вольфрамового катода - 1, охолоджуваних водою, і розташованого між ними ізолятора. У багато секційних плазмотронах є між електродна секціонована вставка.

Необхідно відзначити, що при плазмовому напилюванні навіть інертні плазмо утворюючі гази не створюють повністю захисну атмосферу на всій траєкторії польоту часток напиляемого матеріалу від розпилювача до основи, тому властивості покриття відрізняються від властивостей вихідного матеріалу.

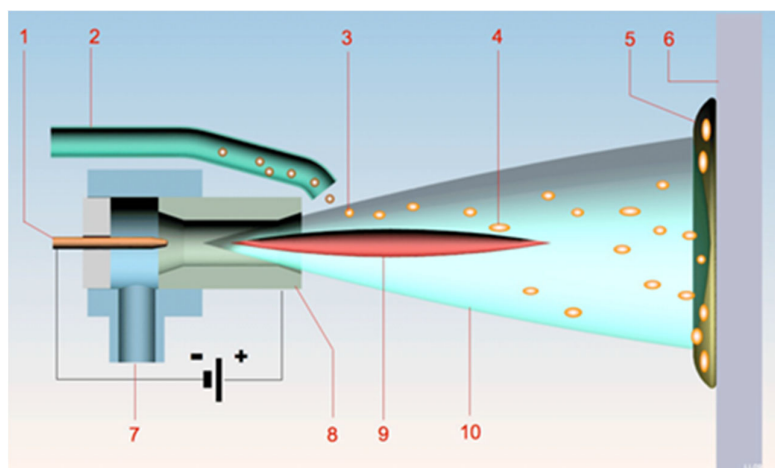


Рисунок 1.6 Схема устаткування плазмового напилення:

1 - катод; 2 - подавання порошкового матеріалу; 3 - частки порошку; 4 - розплавлені частки порошку; 5 - об'єкт напилення; 6 - підкладка; 7 - плазмотворюючий газ; 8 - анод. 9 - плазмова дуга; 10 - плазмовий струмінь з частками порошку

Істотний вплив на характеристики плазмового струменя робить плазмотворююче середовище. Від його складу залежить напруженість стовпа дуги, щільність струму, величина теплового потоку й в остаточному підсумку - ефективність перетворення електричної енергії в теплову. Состав плазмотворюючого середовища спричиняється також взаємодією із частками порошку.

Ефективність плазмового струменя визначається його енергетичними характеристиками, тобто здатністю перетворювати електричну енергію в теплову й передавати нагріву матеріалу. Важливими властивостями плазми є теплоємність і теплопровідність.

Аргон має погані енергетичні характеристики, низькою напруженістю поля й малою теплопровідністю, у зв'язку, із чим його застосування як самостійного плазмоутворюючого газу не завжди ефективно. Значно кращі енергетичні характеристики гелію, однак його вартість висока. Достатніми енергетичними характеристиками володіє азот. Кисень по енергетичних властивостях близький до азоту, але стійкість катода в кисневій плазмі вкрай низька. Гарні енергетичні характеристики має водень. Напруженість поля у водневій дузі у два-три рази вище, ніж в аргонівій. Теплопровідність його значно вище, ніж в інших газів. Як самостійний плазмоутворюючий газ водень не знайшов застосування через низьку стабільність струменя й стійкості сопла плазмотрона. Температура плазмового струменя розподіляється нерівномірно як по радіусу, так і по довжині.

Найбільше часто в якості плазмоутворюючого газу використовують аргон, азот і суміші - аргону з азотом або воднем, рідше - гелій, аміак, суміш гелію з аргоном.

Основні вимоги до робочого газу - мінімальна хімічна взаємодія з електродом плазмотрона, що визначає його ресурсні характеристики, і відсутність взаємодії з напиляємим матеріалом і покриттям. У деяких випадках для підвищення ресурсу роботи катода рекомендується як захисний газ застосовувати аргон, до якого підмішується основний плазмоутворюючий газ, наприклад азот.

Так, наприклад, у співробітництві з Інститутом електрозварювання ім. Е.О. Патона на СТО вантажних автомобілів м. Херсона уведена у виробництво технологія відновлення колінчастих валів методом плазово-дугового

					МР 132.6121м.01.01.05. ПЗ	Арк.
						23
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

напилення шатунних і корінних шийок з наступною обробкою їх під необхідний розмір.

Установка УН-126, що змонтована на списаному токарно-гвинторізному верстаті закордонного виробництва, використовується в якості обертача.

Відповідно до технології вали попередньо піддаються термообробці для випалювання залишків масла із внутрішніх порожнин, для чого силами працівників станції виготовлена електропід, з робочою температурою 300 -400 °С.

Після термообробки, шейки колінчастого вала піддають шліфуванню на придбаному шліфувальному верстаті мод. 3Д4230 на глибину, що перевищує необхідний розмір на 2 мм.

Потім поверхні шийок колінчастих валів піддаються дробоструйній обробці чавунним дробом ДЧК, на спеціально виготовленій в умовах СТО, дробоструйної установки. Дробоструйна установка змонтована на придбаному списаному токарно-гвинторізному верстаті мод. 1Е61М рік випуску 1962, що використовується в якості обертача.

Потім поверхня колінчастих валів, яка не підлягає напилюванню, захищають від напливів металу шляхом покриття рідким склом. Підготовлені колінчасті вали встановлюються для напилювання на установці УН-126.

Для кріплення валів, при обробці шатунних шийок на дробоструйній і на установці для напилювання УН-126, застосовується сімейство центрозміщувачів, спеціально виготовлених в умовах станції.

Напиляні колінчасті вали піддаються чорновій, а потім і чистовій обробці на шліфувальному верстаті.

Плазмоутворюючий газ (аргон) завозиться із Криворізького металургійного комбінату ім. Леніна в спеціально придбаних балонах.

Як розпиляємий матеріал застосовується сталевий пружинний дріт Нп-65Г, 70Г, 75Г, 80Г діаметром 1,2-2,0 мм, який завезений з Нижньо-Новгородського заводу «Червона Етна».

Чавунний дріб ДЧК завезений з компресорного заводу м. Мелітополь.

					МР 132.6121м.01.01.05. ПЗ	Арк.
						24
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У зв'язку з тим, що як охолоджувач використовується стиснене повітря в кількості 16-18 м³/годину, для його одержання використовується пересувний компресор мод. ПКС - 5, а як накопичувач ресивер ємністю 4 м³.

Все встаткування по виробництву плазмового напилювання встановлено в пристосованому приміщенні, крім шліфувального верстата, що встановлений в окремому приміщенні.

1.3.3 Газополуменеве напилення

Газополуменеве напилення порошкових матеріалів здійснюється з використанням тепла киснево-ацетиленового полум'я і є різновидом металізації напилюванням [20].

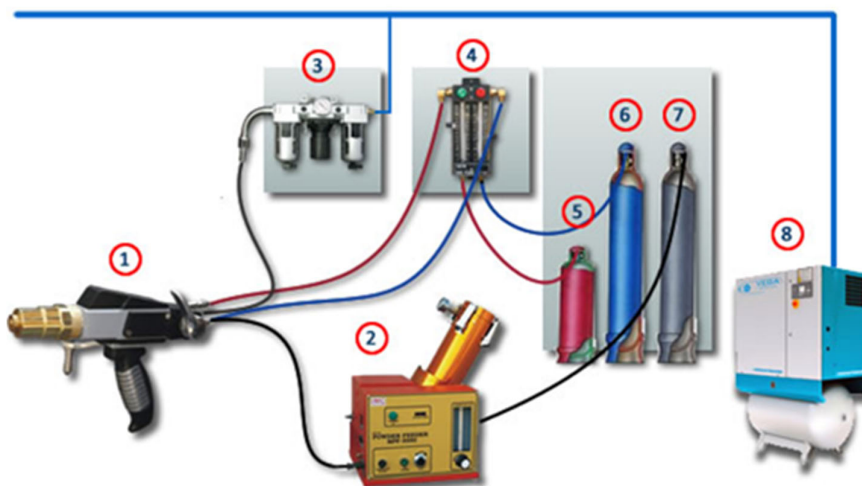


Рисунок 1.7 Схема поста для газополуменевого напилення порошком:
1 - розпилювач; 2 - порошковий живильник; 3 - блок підготовки повітря;
4 - блок ротаметрів; 5 - кисень; 6 - пропан; 7 - ацетилен; 8 - компресор

При газополуменевому напиленні порошкоподібний присадний метал з бачка, закріпленого на спеціальному апараті (пальнику), після відкриття клапана засмоктується в палик за рахунок інжекції струменем кисню, підхоплюється потоком газів і наноситься на поверхню. Порошок може подаватися й безпосередньо у факел полум'я під дією гравітації (рисунок 1.9).

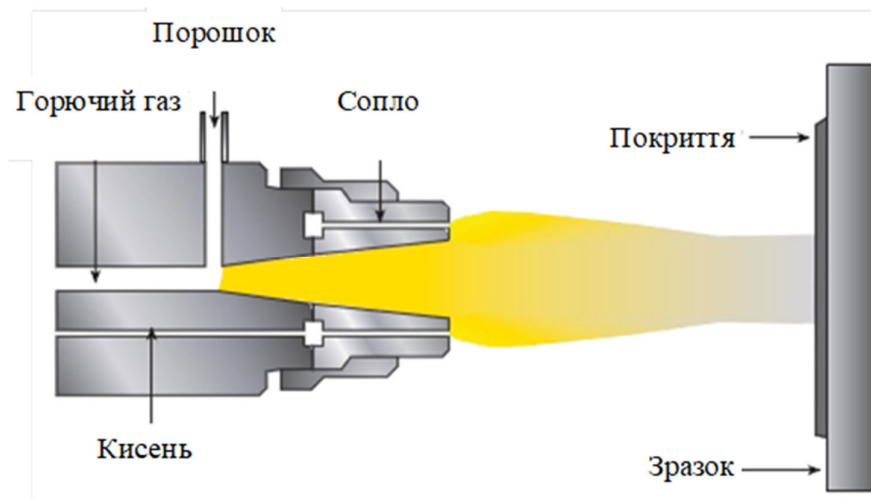


Рисунок 1.8 Схема газополуменевого напилення

У полум'ї апарата порошок грануляцією 40-100 мкм частково оплавляється до тістоподібного стану й під тиском газів наноситься на підготовлену поверхню. Потрапляючи на підігріту деталь (50-100 °С), частки порошку заповнюють нерівності поверхні, прохолоджуючись, кристалізуються і стискаються, міцно проникаючи в основний метал. Нерівності поверхні основного металу збільшують площу контакту й підвищують, зчеплення часточок нанесеного шару.

Вплив на міцність зчеплення за рахунок механічного зачеплення й переплетення часток між собою, а також з елементами мікрорельєфу поверхні основи. Дія міжатомних сил проявляється на великих ділянках і збільшується за рахунок швидкого спікання часток.

Відомий «холодний» спосіб наплавлення екзотермічних порошків. При проходженні через газове полум'я частка порошку нагрівається до температури 700 - 800 °С. При газополуменевому напилюванні без оплавлення шару використовують дві марки порошків (ПТ-НА-01 - підшар і ПТ-19Н-01 - шар).

Відомий й інший спосіб з'єднання порошкового самофлюсуючого сплаву з основним металом, коли оплавлення порошку виробляється після нанесення його на поверхню відновлюваної деталі. Виникнення металургійних

зв'язків відбувається одночасно при нагріванні основи й оплавленні самофлюючого порошкового сплаву. У всіх випадках як джерело тепла використовують газове полум'я.

Область використання газополуменевого напилювання досить різноманітна: від нанесення покриттів на робочі органи сільськогосподарських машин до відновлення складних і точних деталей.

У процесі напилювання порошкового матеріалу відбувається вигоряння окремих елементів, часткове окислювання, розпилення й деформування їх при осадженні на деталь.

На структуру й властивість шару великий вплив роблять швидкість часток, їхня маса й розміри, температура під час польоту і явища, що відбуваються при цьому, стан основи й матеріал порошку. Переважна більшість цих факторів залежить від режимів газополуменевого нанесення порошків.

Мікроструктура відновленого виробу характеризується наявністю зони напиленого шару, що складає із зони підшару й зони основного шару. Можна припустити, що в основному шарі й підшарі, а також по границі підшару й основного металу утвориться область включення окислів, що може стати областю зародження усталісної тріщини. Причиною утворення окислів можуть бути забруднення від попередньої обробки, що з'явилися на поверхні деталі при зберіганні, транспортуванні й закріпленні її на верстаті, при підготовці до напилювання. Утворенню окислів сприяє збільшення часу між закінченням механічної підготовки поверхні і її напилюванням. Окисли є більше тендітними, чим метал; вони знижують міцність шаруючи.

Зчеплення підшару з основним металом деталі вище, ніж зчеплення його з напиленим шаром. При статичному навантаженні шар практично завжди відокремлюється від підшару.

Характеристика газополуменевого покриття як шару з неповним контактом підтверджується наявністю пор у структурі шару. Тому використання газополуменевих покриттів для відновлення деталей, що працюють при сухому

					МП 132.6121м.01.01.05. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

терті ковзання, не дає задовільних результатів. Навпаки, при рідкому й граничному терті порошкові покриття мають певні переваги в порівнянні із суцільними тілами.

1.4 Цілі та задачі дипломної роботи

У переважній більшості випадків відмова в роботі двигунів й іншої техніки обумовлений зношуванням важко навантажених деталей і вузлів. При цьому руйнується тільки робоча поверхня деталей. Практичне використання прогресивних методів зміцнення, а також відновлення таких деталей являє собою важливу народногосподарську проблему.

Виходячи з технічних умов на відновлення валу (зношування шийок валу не більше 2,0 мм), можна зробити висновок, що найбільш прийнятним і перспективним методом відновлення валів є метод плазмового напилювання. Плазмове напилювання дає можливість одержати рівномірне покриття без яскраво вираженої гребністості. Це у свою чергу дає можливість зменшити витрату напиляемого матеріалу в порівнянні з дуговим наплавленням.

Таким чином, серед способів нанесення покриттів газополуменеве напилювання, завдяки своїм технічним можливостям і технологічності привертає особливу увагу.

Метою даної роботи є збільшення міцності зчеплення покриття з основою й скорочення технологічного процесу напилення покриттів із самофлюсуючих сплавів на основі Ni-Cr-B-Si шляхом виключення операції підготовки поверхні валу, забезпечуючи при цьому відповідну міцність зчеплення покриття з основою.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- обґрунтувати можливість підвищення ресурсу напиляних покриттів;
- розробити технологічний процес відновлення робочих поверхонь колінчастого валу;

- вивчити принцип вибору складу й способу одержання порошку для на-
пилення зносостійких покриттів;
- розробити нові порошкові состави з перевіркою їхнього застосування
для напилювання покриттів;
- розробити методи контролю й регулювання властивостей покриттів.

					МР 132.6121м.01.01.05. ПЗ	Арк.
						29
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					MP 132.6121м.01.02.05.ПЗ			
Змін.	Арк.	№ документа.	Підпис	Дата	2 Вибір матеріалів та дослідження властивостей покрить	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент	Зяблов А.С.							
Консультант							30	22
Керівник	Єрмолаєв Г.В.					ХННІ НУК		
Н. Контр.								
Зав.кафедр.	Єрмолаєв Г.В.							

2.1 Вибір порошкового матеріалу для напилення

Однією з існуючих відмінностей газотермічного нанесення порошків є можливість керувати складом, структурою та відповідно властивостями покриттів за рахунок застосування деяких порошкових композицій [20] з широким інтервалом співвідношення компонентів, в якості яких можуть бути метали сплави, оксиди, карбіди, бориди, нітриди, сульфід, графіт (алмаз), тверді змазки та ін [1].

Торезький завод наплавочних твердих матеріалів Мінкольормету України освоїв за ліцензією фірми «Кастолін» (Швейцарія) серійне виготовлення металевих порошків, що призначені для зміцнення нових та відновлення зношених деталей машин методами газотермічного напилення. Завод виготовляє порошки гранульовані для порошкового наплавлення ПГ-10Н-01, ПГ-10Н-04, ПГ-10К-01; порошки гранульовані та високолеговану порошкову суміш (ПС). [10].

Для газотермічного напилення з наступним оплавленням ПГ-12Н-01, ПС-12НВК-01; порошок гранульований та композиційні порошки терморегулюючі (ПТ) для газотермічного напилення без наступного оплавлення.

ПГ-10М-01, ПТ-НА-01, ПТ-10Н-01. Хімічний склад порошків повинен відповідати нормам, зазначеним в табл.2.1 [14].

Таблиця 2.1 Хімічний склад порошків

Марка порошку	Хімічні елементи, %				
	Cr	B	Si	Fe	C
ПГ-10Н-01	14,0-20,0	2,8-4,2	4,0-4,5	3,0-7,0	0,8-1,0
ПГ-10Н-04	1,2-1,8	1,2-1,8	2,3-2,8	до 2,0	до 2,0
ПГ-12Н-01	8,0-14,0	1,7-2,8	1,2-3,2	2,0-5,0	0,3-0,8
ПГ-12НВК-01	Механічна суміш 35% WC+65% ПГ-10Н-01				

Порошки зберігають в сухому закритому приміщенні, що не містять парів кислот, лугів та інших активних реагентів, в упаковці, передбаченій ТУ, по групі умов зберігання Л ГОСТ 16150-69.

ПГ-1ОК-01 (порошок-аналог 10093 «Кобальтек») являє собою сфероїдизований порошок сплаву на основі системи Co-Ni-Cr-B-Si-C-W . Наноситься на прості та нержавіючі сталі. Покриття має добру зносостійкість при високих температурах і корозійній середі, високу міцність при здавлюючі загрузках і низьким коефіцієнтом тертя. Твердість нанесеного шару HRC 45-50 [7, 8].

Максимально допустима робоча температура – 800°C . Товщина покриття до 3 мм. Обробляється шліфуванням. Застосовується для зміцнення та відновлення деталей ковальсько-пресового обладнання, що працює при високих температурах, клапанів двигунів внутрішнього згоряння, ріжучих кромek деревообробних верстатів, пресового інструменту, що працює в корозійних середовищах та піддаються абразивному зносу.

ПГ-12Н-01 (порошок-аналог 12493) –сфероїдизований порошок сплаву Ni-Cr-B-Si-C-Fe . Наноситься на деталі з простих та нержавіючих сталей та чавунів. Нанесений шар добре протистоїть тертю металу об метал, має відмінний опір корозії та термічним ударам. Твердість шару HRC 45-50. Максимально допустима робоча температура 800°C . Обробляється різанням. Застосовується для зміцнення та відновлення валів, поршнів насосів, ущільнюючих кілець апаратури високого тиску, деталей запірної арматури в гідроприводах та ін.

ПГ-10Н-01 (порошок – аналог «Боротак»)-сфероїдизований порошок сплаву на нікелевій основі системи Ni-Cr-B-Si-C-Fe . Наноситься на прості та нержавіючі сталі та чавуни. Сплав має відносно низьку температуру плавлення та підвищену текучість, що забезпечує отримання після нанесення досить гладкої поверхні. Нанесений шар характеризується дуже низьким коефіцієнтом тертя, високою зносостійкістю, добре зберігає свою твердість при високих температурах. Твердість шару HRC 55-62. Максимально допустима робоча температура 700°C . Товщина покриття до 2 мм. Обробляється шліфуванням.

					МП 132.6121м.01.01.05. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Застосовується для зміцнення та відновлення інструменту, шийок кулачкових валів, ексцентриків, храповиків, мішалок, ланцюгів транспортерів, кулачків та різних опір.

ПГ-10Н-04 (порошок-аналог 10680 «Хромотек») – сфероїдизований порошок сплаву на нікелевій основі системи Ni- B-Si. Наноситься на деталі з протистих та нержавіючих сталей та чавунів. Нанесений шар має хороший коефіцієнт тертя та опору ударам, не окислюється при високих температурах, забезпечує хорошу корозійну стійкість проти найбільш розповсюджених хімічних реагентів. Твердість шару HB 230. Максимально допустима робоча температура 600⁰С. Можливі покриття більшої товщини (до 8-10мм). Покриття легко обробляються різанням. Застосовується для зміцнення та відновлення штампового інструменту, зубчатих коліс, валів, кулачкових муфт, посадочних місць під підшипники кочення, сіделок клапанів, для обробки неправильно просвердлених або овальних отворів, відновлення деталей, забракованих після механічної обробки, нанесення проміжного шару перед наплавленням більш твердими порошками. [8]

ПГ-12НВК-01 (порошок-аналог 10112 «Тунгтек») – композиційний порошковий матеріал, що складається з механічної суміші сфероїдизованого порошку ПГ-10Н-01 системи Ni-Cr-B-Si-C-Fe і дуже дрібних часток карбіду вольфраму виду WC. Наноситься на протисті та нержавіючі сталі, а також чавуни. Нанесений шар має високий опір зносу при стиранні та ерозії при звичайних та підвищених температурах. Твердість шару HRC 57-64. Максимально допустима температура 700⁰С. Товщина покриття до 2 мм. Обробляється шліфуванням. Застосовується для зміцнення та відновлення транспортних ланцюгів та шнеків, різних лопастей та скребків мішалок, вентиляторів та скребків мішалок, вентиляторних лопастей, ріжучого інструменту.

					МП 132.6121м.01.01.05. ПЗ	Арк.
						33
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Вибір горючих газів

Остра дефіцитність та висока вартість ацетилену визначили напрями подальшого розвитку газополуменевого наплення. Всебічний аналіз та вивчення газополуменевого наплення само флюсованих порошкових матеріалів виявили підвищену енергонасиченість процесу при напленні ацетиленом. Початкові умови можливості переведення процесу на нижчий енергетичний ступінь визначалися з фізичних параметрів двофазного потоку ацетилено-кисневого та пропано-кисневих сумішей неадекватні. Різниця температур між ними 400°C на користь ацетиленокисневого полум'я. Дослідженнями встановлено, що температура полум'я є найістотнішим показником при газо термічних процесах [8].

Швидкість часток при наплавленні матеріалу залежить від співвідношення кисню та пального газу в суміші, кількості газу, який обдуває полум'я, відстані від зрізу сопла, кількості порошку, який вдувається у полум'я, його щільності, гранулометричного складу та ін., і знаходиться в межах 20...80 м/с.

Швидкість витікання пропано - кисневого полум'я нижча від ацетиленокисневого. Інша його перевага – збільшення довжини ядра. Оскільки основою нагрівання частинок відбувається усередині ядра полум'я у пропано-кисневого полум'я є додаткові енергетичні резерви.

Зазначені переваги передбачають достатню енергетичну компенсацію на різницю температур ацетилено-кисневого та пропано-кисневого полум'я, необхідної для газополуменевого наплення.

Висунута робоча гіпотеза дозволила провести необхідні аналітичні розрахунки, які експериментально підтвердилися. Проведено порівняльний розрахунок енергетичного балансу газопорошкового наплення ацетилено-кисневим полум'ям порівняно з пропано-кисневим. Розрахунок проводили відповідно до законів термодинаміки нормально - розподілених джерел при конвективному теплообміні виходячи з правил Ньютона.

					МР 132.6121м.01.01.05. ПЗ	Арк.
						34
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$q_k = d_k (T_{пл} - T_{ч}) \quad (2.1)$$

де:

q_k – питомий тепловий потік конвективної теплопередачі (кал/см²с);

d_k – коефіцієнт конвективної тепловіддачі (кал/см²с);

$T_{пл}$ – температура полум'я (°С);

$T_{ч}$ – температура частинок.

Отримані результати розрахунку визначили проведення комплексу досліджень прикладного характеру для газополуменового напилення на пропані, до якого увійшли: визначення оптимальних перерізів вогневої апаратури для роботи на пропано-кисневій суміші, вибір оптимальних співвідношень пропану та кисню, структури, твердості, адгезії та зносу покриттів.

Теплові характеристики полум'я залежать від співвідношення кисню та пального газу, а також їх витрат. У зв'язку з тим, що при газопорошковому напиленні в потік газової суміші вводиться порошковий матеріал, температура і потужність полум'я також змінюються, що впливає на формування та властивості покриття.

З метою визначення оптимального співвідношення газової суміші кисню і пропану проводилися дослід з газопорошкового напилення покриттів на чавунні зразки.

При цьому визначалося змочування поверхні зразка розплавом.

Контроль за формуванням покриття та змочуванням поверхні здійснювався у процесі напилення візуально.

Витрата пропану та кисню вимірювалася ротаметрами типу РМ за ГОСТ 13045-81, тиск газів - манометрами типу МТП кл.1,5 за ГОСТ 8625-77.

При напиленні покриття із співвідношення кисню та пропану $\beta = 3,1$ і більше довжина ядра полум'я 14...18 мм. Процес формування валика нестабільний, змочування поверхні зразка розплавом незадовільно, шар нерівномірний по ширині та щільності.

При зменшенні від 3,1 до 2,83 довжина ядра полум'я збільшується до 18...22 мм.

Поліпшується змочування поверхні розплавом, стабілізується процес формування покриття, валик рівномірний по ширині і товщині.

Зі зменшенням β до 2,5 довжина ядра збільшується до 24...28 мм. Процес формування у разі стабільний. Однак при більшій довжині ядра полум'я оператору складно стабільно витримувати відстань від ядра до поверхні виробу, крім того, при $\beta = 2,5$ і менше ядро полум'я розмивається, його форма втрачається, що ускладнює процес напилення.

Встановлено, що оптимальне співвідношення кисню та пропану в газовій суміші знаходиться в межах $\beta = 2,8...3,0$. [8].

В якості горючих газів будемо використовувати пропан ГОСТ 10196-77, тиск 0,07 МПа, кисень по ГОСТ 5583 з тиском 0,6 МПа. [4]

2.3 Визначення оптимального складу напиленого матеріалу

Спосіб отримання покриттів напиленням з подальшим оплавленням [9] заснований на застосування порошоків, що містять бор і кремній в сплавах хромонікелевих відомих під назвою «Колмоною». Такі сплави є самофлюсуючими, оскільки боросилікати, що утворюються при плавленні, зв'язують оксиди заліза, нікелю, хрому і виводять їх на поверхні у вигляді склоподібних шлаків. Завдяки цьому напилене покриття може бути оплавлене в повітрі.

Сплави, що самофлюсуються [9] відрізняються широким інтервалом пластичності при плавленні (50-100°C) і гарною змочуваністю, що запобігає стіканню покриття при оплавленні і дозволяє наносити покриття значної товщини (2-3 мм).

Відомо, що для підвищення адгезійної міцності паяної сполуки застосовуються флюси, що містять боріди, які для підвищення активності вводять у виді лігатури [15], що складається з алюмінію, міді і магнію. Цікавим є вивчення сполуки бору з магнієм - «борного шлаку» - на адгезійну міцність

					МП 132.6121м.01.01.05. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

напиленого покриття з самофлюсуючого сплаву. «Борний шлак» є сплавом зневодненої бури і подвійного метабориду натрію і магнію ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_6 \times \text{MgO}$) у співвідношенні 1,15 : 1,00.

Тому, для збільшення міцності зчеплення покриття з основою пропонується ввести до складу порошку, що напильюється, ПГ-12Н-01 до 5% «борного шлаку».

На підставі проведеного короткого огляду літератури можна зробити висновки:

1 – введення додатків, що флюсують, до складу напильованих порошків дозволить збільшити міцність зчеплення покриття з основою, зменшити пористість, поліпшити механічні характеристики покриття;

2 – застосування покриттів із самофлюсуючих сплавів дозволяє отримати покриття з високою міцністю зчеплення напиленого шару з основою та високою зносо- та ерозійною стійкістю.

2.3.1 Поліпшення характеристик покриттів з самофлюсуючих порошків

Все більшого поширення набувають покриття з самофлюсуючих сплавів, особливо при відновленні автотракторних деталей. Маючи високу зносо-стійкість, такі покриття здатні працювати у вузлах двигунів краще, ніж нові. Але такі покриття не застосовують у місцях, де виникають великі деформації, зрушення, оскільки міцність зчеплення покриття з основою не є рівно міцною з основним металом.

Тому міцність зчеплення покриття досягається головним чином за рахунок шорсткості поверхні. Необхідну шорсткість можна отримати кількома способами: нарізанням рваного різьблення, дробоструминною обробкою та ін методами. Така підготовка поверхні подовжує технологічний цикл відновлення зношеної поверхні на 30-40%. Збільшується трудомісткість відновлення деталі.

					MP 132.6121м.01.01.05. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Однією із завдань цієї роботи є збільшення міцності зчеплення і скорочення технологічного процесу напилення покриттів із сплавів, що самофлюсуються, на основі Ni-Cr-B-Si шляхом виключення операції підготовки поверхні підкладки, при цьому міцність зчеплення покриття з підкладкою збільшується.

Зазначену мету можна досягти, включаючи до відомих самофлюсуючих сплавів на основі Ni-Cr-B-Si флюсових добавок.

2.3.2 Вибір якісного складу порошку

В якості флюсуючий добавки був обраний борний шлак, отриманий сплавленням без доступу повітря зневодненої бури - 95% і Mg - 5%. Отримана склоподібна маса подрібнювалася в кульовому млині і просівалася через сито з осередком 100-120 мкм [15].

Отриманий борний шлак є активною флюсуючою та відновлюючою речовиною, яка в процесі оплавлення добре рафінує розплавлений метал, видаляє оксиди з поверхні підкладки і забезпечує хорошу змочуваність. Це повинне сприяти значному підвищенню міцності зчеплення оплавленого шару з підкладкою.

В якості порошку, що самофлюсується, був взятий порошок ПГ-12Н-01, що випускається Торезьким заводом наплавочних твердих сплавів.

Просіяний порошок борного шлаку змішувався з порошком ПГ-12Н-01, просушувався у вакуумній сушильній шафі при температурі 120-180°C протягом однієї години.

2.3.3 Вибір кількісного складу порошку, визначення механічних властивостей покриття

Для проведення досліджень кількісного складу порошку [15] вибрали склади наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 Склад порошоків для газополум'яного напилення покриттів

					МР 132.6121м.01.01.05. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Склад, номер зразку	Вихідні речовини, мас %	
	ПГ-12Н-01	Борний шлак
1. З підготовкою поверхні	100,00	-
2. Без підготовки поверхні	99,50	0,50
3. Без підготовки поверхні	99,25	0,75
4. Без підготовки поверхні	99,00	1,00
5. Без підготовки поверхні	98,75	1,25
6. Без підготовки поверхні	98,50	1,50

Отримані состави (табл. 2.2) напилувалися на зразки зі сталі 40Х модернізованим пальником ГН-3 нейтральним полум'ям з подальшим оплавленням

Розміри зразків вибиралися з можливості наявного устаткування. Найбільш оптимальним діаметром є $d=20$ мм (рис. 2.1)

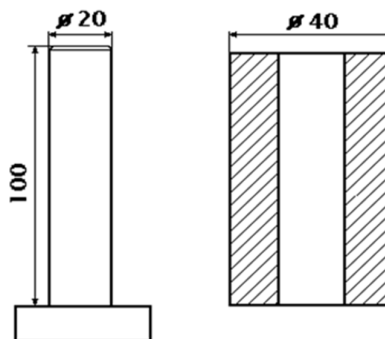


Рисунок 2.1 Ескіз зразка для проведення випробування на зріз

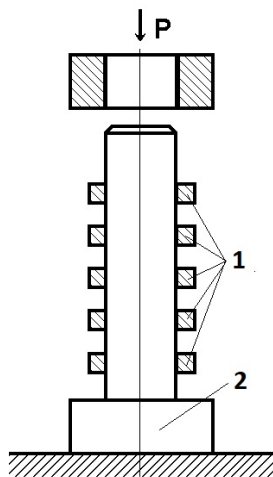
Один зразок напилується складом 1 з циклом підготовки поверхні, що включає:

- знежирення поверхні;
- піскоструминна обробка поверхні.

Напилення покриттів інші зразки здійснювалося без попередньої підготовки поверхні.

Напилений шар проточується [15] по зовнішній поверхні до 24 мм. Потім нанесеному шарі робилися проточки до основного металу для поділу

напиленого шару на окремі кільця (рис. 2.2) шириною 2 мм, які випробовувалися на зріз. Площа зрізу - 125,6 мм².



1 - напилене покриття; 2 – зразок.

Рисунок 2.2 Підготовлений зразок для випробування

2.3.4 Оптимізація процесу газополуменевого напилення з використанням персонального комп'ютера

Для визначення оптимальних параметрів режиму напилення покриттів використовувалась методика математичного планування експериментів Бокса-Уїлсона [10, 11]. Як параметр оптимізації була прийнята міцність зчеплення покриттів з основою, що є одним з головних критеріїв, що характеризують якість напилених покриттів. За результатами постановочних експериментів було визначено, що найбільший вплив на міцність зчеплення покриттів з основою мають наступні параметри: дистанція напилення (1), витрата пропану (2), відсоток борного шлаку (3). Вони і були обрані як основні чинники щодо рівняння регресії. Оскільки характер впливу кожного фактора не був відомий, використовувався загальний випадок рівняння регресії, заснований на повному лінійному рівнянні. Це дозволило скласти таку матрицю планування (табл. 2.3). У матриці коефіцієнтів введені такі позначення:

					МР 132.6121м.01.01.05. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

X1 – дистанція напилання, мм

X2-витрата пропану, л/год

X3 – борний шлак, %

Для отримання рівняння регресії з матрицею планування проведено 8 серій експериментів (по 5 у кожному). З цією метою кожен із факторів змінювався у певному діапазоні, так званому інтервалом вирівнювання. Найбільше значення факторів в інтервалі вирівнювання позначено (+1) у матриці планування, а найменше (-1). Вибрано такі інтервали варіювання для факторів (див. табл.2.3.):

Таблиця 2.3 Параметри оптимізації, рівні та інтервали варіювання.

Найменування	Фактори		
	X1	X2	X3
Параметр оптимізації	дистанція напилання, мм	витрата пропану л/год	борний шлак
Основний рівень	15	0,3	0,75
Інтервал варіювання	5	0,07	0,5
Верхній рівень	20	0,37	1,25
Нижній рівень	10	0,23	0,25

Це дозволило перейти від натуральних значень факторів до кодованих, що змінюються в інтервалі від -1 до +1. Такий перехід здійснюється за формулою:

$$x_i = \frac{X_i - x_i^0}{\delta_i}, \quad (2.2)$$

де x_i - натуральне значення фактору;

x_i^0 - значення і-го фактору на нульовому рівні;

δ - інтервал варіювання і-го фактору.

Таблиця 2.4 Матриця планування повного факторного експерименту

До- слідженн я	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	y ₁	y ₂	y ₃	y ₄	y ₅	Y _{ср}	S _j ²
1	1	-1	-1	-1	305	320	310	290	280	301	255
2	1	1	-1	-1	330	300	320	315	330	319	155
3	1	-1	1	-1	270	290	310	275	285	286	243
4	1	1	1	-1	290	310	305	275	275	291	268
5	1	-1	-1	1	320	320	335	360	330	333	270
6	1	1	-1	1	365	330	345	350	370	352	258
7	1	-1	1	1	350	365	340	360	380	359	230
8	1	1	1	1	325	330	320	290	330	319	280

Yсередне= 320 1958

Критерий Кохрена G_p= 0,14

G_T= 0,39

У кожному рядку визначали середні значення результатів експерименту:

$$\bar{Y}_i = \frac{\sum_{n=1}^m Y_{n_i}}{m} \quad (2.3)$$

де: m – число повторних експериментів у рядку. Крім того, визначалися дисперсії по рядках матриці:

$$S_i^2 = \frac{\sum_{n=1}^m (Y_{n_i} - \bar{Y}_i)^2}{m-1}, \quad (2.4)$$

Середнє значення $\bar{Y}_i$ та дисперсію S_i^2 не обчислюють, якщо паралельних дослідів у рядку немає. Якщо паралельні досліді є, то визначають максимальну серед рядкових дисперсій $S_{\max}^2$ та обчислюють суму всіх дисперсій:

$$S_o^2 = \sum_{i=1}^m S_i^2 \quad (2.5)$$

Таким чином, для перевірки значущості моделі визначали дисперсію по рядках матриці $S_{\max}^2$, суму рядкових дисперсій S_o^2 і обчислювали їхнє відношення G_p :

$$G_p = \frac{S_{\max}^2}{S_{\theta}^2} \leq G_k, \quad (2.6)$$

Порівнюючи величину G_p з табличним значенням критерію Кохрена [10], визначали значущість експерименту.

Так, як $G_p < G_k$ дисперсії однорідні.

Процес вважається відтворюваним, якщо виконується ця нерівність. Якщо нерівність не виконується, необхідно вжити заходів до уточнення вимірювань у досвіді з максимальною дисперсією. У разі відтворюваності процесу розраховуються коефіцієнти регресії:

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{y}_i}{n}, \quad (2.7)$$

$$b_i = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \bar{y}_i}{n}, \quad (2.8)$$

$$b_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot x_j \cdot \bar{y}_i}{n}, \quad (2.9)$$

де: n - Число дослідів або число рядків матриці планування.

Перевірку значущості коефіцієнтів робимо, порівнюючи абсолютну величину коефіцієнта з довірчим інтервалом. Для визначення довірчого інтервалу обчислюємо дисперсію коефіцієнтів регресії. Дисперсію i -го коефіцієнта визначають за виразом:

$$S^2\{b_i\} = \frac{1}{n \cdot m} S_y^2, \quad (2.10)$$

де: S_y^2 – дисперсія відтворюваності експерименту, яка визначається за формулою:

$$S_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i^2, \quad (2.11)$$

Довірчий інтервал Δb_i визначаємо за такою формулою:

					MP 132.6121м.01.01.05. ПЗ	Арк.
						43
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta b_i = \pm t_T \cdot S\{b_i\}, \quad (2.12)$$

де: t_T - табличне значення критерію при прийнятому рівні значущості та числі ступенів свободи f , з яким визначалася дисперсія S_y^2 . При рівномірному дублювання дослідів число ступенів свободи знаходиться за виразом:

$$f = (m-1)n$$

Дисперсія відтворюваності експерименту $S_y^2 = 244,69$

Довірчий інтервал $= 5,02$

Розраховані коефіцієнти мають такі значення:

$b_0 = 320$	коефіцієнт значим;
$b_1 = 0,25$	коефіцієнт незначим;
$b_2 = -6,25$	коефіцієнт значим;
$b_3 = 20,75$	коефіцієнт значим;
$b_{12} = -9,00$	коефіцієнт значим;
$b_{13} = -5,50$	коефіцієнт значим;
$b_{23} = 4,50$	коефіцієнт незначим;
$b_{123} = -5,75$	коефіцієнт значим.

Коефіцієнт значущий, якщо його абсолютна величина більша за довірчий інтервал. Статично незначущі коефіцієнти можна виключити з рівняння. Після розрахунку коефіцієнтів моделі та перевірки їхньої значущості визначають дисперсію S_{ad}^2 адекватності, яка характеризує розсіювання емпіричних значень параметра оптимізації щодо розрахункових, визначених за знайденим рівнянням регресії.

$$S_{ad}^2 = \frac{m \cdot \sum_{i=1}^n (\bar{y}_i - y_u)^2}{n - (k + 1)}, \quad (2.13)$$

де: k - Число факторів,

y_u - значення параметра оптимізації, обчислене за рівнянням регресії.

За допомогою критерію Фішера перевіряємо гіпотезу адекватності моделі:

$$F_P = S_{ad}^2 / S_y^2, \quad (2.14)$$

Якщо значення $F_P < F_T$ для прийнятого рівня значущості та відповідних чисел ступенів свободи, то модель вважається адекватною.

Адекватність рівняння регресії визначається з допомогою критерію Фішера.

Після отримання адекватного рівняння здійснюється рух градієнтом в область оптимуму. Визначаючи напрямок руху, потрібно змінити значення факторів пропорційно до величин відповідних коефіцієнтів в отриманому рівнянні з урахуванням їх знаків. І тому переходять від кодованих значень чинників до натуральним. Величину кроку вибирають з урахуванням інтервалів варіювання. Зміна факторів пропорційно добутку коефіцієнтів на відповідний інтервал варіювання (в той бік, в який вказує знак коефіцієнта), призводить до руху поверхнею відгуку в напрямку градієнта математичної моделі.

За запропонованим алгоритмом в електронних таблицях EXCEL-2010 було складено програму [19] для математичної обробки та планування експериментів. Програма побудована в такий спосіб, що й модель адекватна, то друк виводяться значення всіх чинників, вид рівняння регресії, і навіть величини значимих коефіцієнтів. Якщо модель неадекватна, то на друк виводяться відповідні повідомлення про це та перелік заходів щодо покращення адекватності. За отриманою моделлю автоматично (з використанням методу крутого сходження) виконувався пошук оптимуму (табл. 2.5) з отриманням проміжних значень оптимальної величини параметра оптимізації.

Таблиця 2.5 Планування експерименту методом Бокса-Уілсона

					МР 132.6121м.01.01.05. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Крок варіювання	X ₁	X ₂	X ₃	Y _{ср}
	0.00	-0.02	0.4	
1. Основний рівень	15.00	0.30	0.75	320.00
2. Уявний експеримент 1	0.00	0.28	1.15	341.47
3. Уявний експеримент 2	0.00	0.27	1.55	356.30
4. Уявний експеримент 3	0.00	0.25	1.95	364.47
5. Реалізований експеримент 4	0.00	0.23	2.35	366.00
6. Реалізований експеримент 5	0.00	0.22	2.75	360.87
7. Реалізований експеримент 6	0.00	0.20	3.15	349.09
8. Уявний експеримент 7	0.00	0.18	3.55	330.66
9. Уявний експеримент 8	0.00	0.17	3.95	305.58
10. Уявний експеримент 9	0.00	0.15	4.35	273.85
11. Уявний експеримент 10	0.00	0.13	4.75	235.47

Після отримання результатів було побудовано залежність оптимального значення режимів наплення (див. рисунок 2.3.)

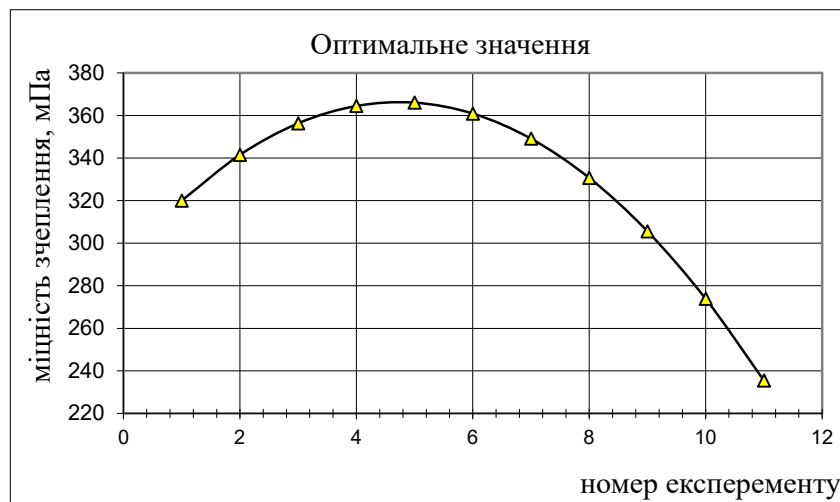


Рисунок 2.3 Діаграма залежності оптимального значення режимів наплення

Щоб визначити залежність міцності зчеплення покриття від витрати пропану (при постійній дистанції напilenня) та при постійній витраті кисню було розраховано і занесено у таблицю (див. таблиця 2.6).

Таблиця 2.6 Побудова залежності міцності зчеплення покриття від витрати пропану (при постійній дистанції напilenня) і при різній кількості борного шлаку.

x ₂	0,25	0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05	1,15	1,25
0,23	314,3	318,5	322,7	326,9	331,1	335,3	339,5	343,7	347,9	352,1	356,3
0,24	312,4	316,3	320,3	324,3	328,2	332,2	336,2	340,1	344,1	348,1	352,1
0,26	310,5	314,2	317,9	321,7	325,4	329,2	332,9	336,6	340,4	344,1	347,9
0,27	308,6	312,1	315,6	319,1	322,6	326,1	329,6	333,1	336,6	340,1	343,7
0,29	306,7	309,9	313,2	316,5	319,8	323,1	326,3	329,6	332,9	336,2	339,5
0,30	304,8	307,8	310,9	313,9	317,0	320,0	323,1	326,1	329,2	332,2	335,3
0,31	302,9	305,7	308,5	311,3	314,1	317,0	319,8	322,6	325,4	328,2	331,1
0,33	301,0	303,5	306,1	308,7	311,3	313,9	316,5	319,1	321,7	324,3	326,9
0,34	299,1	301,4	303,8	306,1	308,5	310,9	313,2	315,6	317,9	320,3	322,7
0,36	297,2	299,3	301,4	303,5	305,7	307,8	309,9	312,1	314,2	316,3	318,5
0,37	295,3	297,2	299,1	301,0	302,9	304,8	306,7	308,6	310,5	312,4	314,3

З таблиці 2.6 перенесемо дані на діаграму залежності міцності зчеплення покриття від витрати пропану.

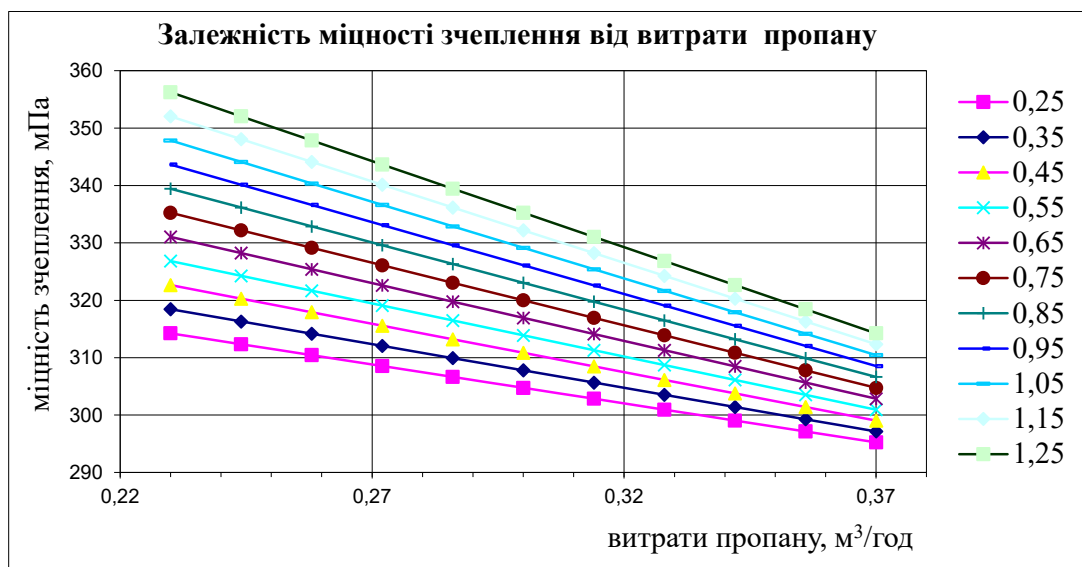


Рисунок 2.4 Результати розрахунку

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МР 132.6121м.01.01.05. ПЗ

Арк.

47

Надалі зазначена методика спільно з програмою розрахунку на ЕОМ була використана для оптимізації параметрів режиму плазмового та газополум'яного напилення покриттів, а також для вибору оптимальної кількості флюсуючого компонента, що збільшує міцність зчеплення покриття з основою.

2.4 Визначення міцності зчеплення покриття з основою

Інтенсифікація роботи машин змушує шукати та впроваджувати все більш ефективні та прогресивні технології відновлення та зміцнення деталей. В останні роки спостерігається розширення сфери застосування для цих цілей газо-термічного напилення сплавами, що самофлюсуються.

Механічні та інші службові властивості покриття переважно визначаються параметрами технології нанесення. Для багатьох деталей зносостійкість і міцність зчеплення покриттів з основою є головними показниками.

Поряд з високою зносостійкістю покриттів повинні мати достатню міцність зчеплення з основою. Основна проблема газотермічного напилення полягає в труднощі отримання покриттів з високою адгезійною міцністю, яка зазвичай становить 10 - 60 МПа. Підвищити цей показник можна за рахунок утворення хімічного зв'язку між покриттям та підкладкою. Це певною мірою реалізується напиленням самофлюсуючих сплавів системи Ni - Cr - B - Si шляхом рафінування контактної поверхні при оплавленні. Однак при цьому не виключається образивно-струменева обробка з метою очищення та надання шорсткості поверхні підкладки, що подовжує технологічний цикл відновлення та зміцнення деталей, збільшуючи трудомісткість на 30...40 %.

Метою даної роботи є зниження трудомісткості напилення і підвищення службових властивостей покриттів із сплавів, що самофлюсуються. Відомо, що для підвищення адгезійної міцності паяних сполук застосовуються флюси, що містять борати, в які для підвищення активності вводять лігатуру, що складається з алюмінію, міді і магнію. Цікавим є вивчення сполук бору з магнієм

					MP 132.6121m.01.01.05. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

– “борного шлаку” - на адгезійну міцність і зносостійкість напиленого покриття з самофлюсуючого сплаву.” Борний шлак” є сплав зневодненої бури та подвійного метаборату магнію ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_6 \cdot \text{MgO}$) співвідношенні 1,15: 1,00.

Напилення виконували газовим пальником ГН-3 нейтральним ацетилено-кисневим полум'ям на непідготовлену, а також після піскоструминної обробки електрокорундом з подальшим оплавленням.

Для складу 100% ПГ-12Н-01 отримана міцність зчеплення покриття з основою становить 280 МПа.

Деталь нагрівали до температури 300°C, потім проводили напилення шару завтовшки 3 мм. Оплавлення покриття виконували після напилення переміщенням пальника і доводили до стану “потівання”. Після оплавлення деталь повільно охолоджували в повітрі. Як підкладку використовували зразки зі сталі 40Х (див. рис. 2.3)

Напилений шар обточували по зовнішній поверхні діаметром до 24 мм. У нанесеному шарі робили проточки до основного металу (діаметр 20 мм) для поділу напиленого шару на окремі кільця шириною 2 мм, після цього зразки випробовували на міцність зчеплення на зріз (див. рисунок 2.4).

Обробка результатів експерименту програмувалася на ПК в електронних таблицях EXCEL. Отримане рівняння регресії є таким:

$$Y = 320,0 - 6,25 \times x_2 + 20,75 \times x_3 - 9x_1x_2 - 5,5x_1x_3 - 5,75x_1x_2x_3$$

Отримані дані свідчать про те, що введення 0,75...1,5 % "борного шлаку" до складу порошку типу ПГ-12Н-01 збільшує міцність зчеплення покриття з основою в середньому на 23 % для зразків із підготовленою поверхнею σ_v (з підготовленою поверхнею) = 280 МПа і на 44% - з непідготовленою (з 2.35% борного шлаку) = 366 МПа.

Зміст "борного шлаку" в суміші більше 2,5% призводить до рясного шлакоутворення, що ускладнює процес оплавлення покриття і знижує міцність зчеплення. При введенні менше 0,5% очікуваного ефекту не виявляється.

					МП 132.6121м.01.01.05. ПЗ	Арк.
						49
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отриманий результат пояснюється тим, що "борний шлак" є активною флюсуючою та відновлюючою речовиною, яка в процесі оплавлення рафінує розплавлений метал, зв'язує та видаляє оксиди з поверхні підкладки, забезпечуючи хімічний зв'язок між підкладкою та покриттям.

Вибраний оптимальний самофлюсуючий склад порошку дозволяє скоротити технологічний цикл відновлення та зміцнення деталей шляхом виключення операції підготовки поверхні підкладки на 30%.

Мікроструктура самофлюсуючих сплавів системи Ni - Cr - B - Si після оплавлення має дуже складну будову. Основними складовими сплавів є твердий розчин елементів у нікелі, евтектики складного складу, карбіди, бориди, карбобориди хрому та інші виділення. Високі показники механічних властивостей покриттів, що самофлюсуються, забезпечує структури з дрібнодисперсними однорідно розподіленими складовими.

Дослідження мікроструктури показали, що при напиленні покриття ПГ-12Н-01, що не містить "борний шлак", на непідготовлену підкладку зі сталі 40Х з оплавленням в зоні з'єднання покриття з основою утворюється світлий прошарок товщиною близько 12мкм. Ймовірно, це результат взаємної дифузії компонентів покриття та підкладки. Покриття щільне, спостерігаються окремі мікропори. Границя сплавлення покриття, що містить "борний шлак", має складну хвилеподібну форму. Очевидно, введення в порошок, що напилюється, "борного шлаку", що є поверхнево-активною речовиною, сприяє інтенсивному розчиненню підкладки в покритті.

З аналізу впливу добавок " борного шлаку " в порошок з Ni – Cr – B – Si сплаву при газополум'яному напиленні ацетилено-кисневим полум'ям встановлено оптимальний склад добавки – 0,75...1,5 %.

Таким чином, добавка "борного шлаку" (сплаву зневодненої бури і подвійного метаборату натрію магнію у співвідношенні 1,15 : 1,00) в порошок сплаву системи Ni - Cr - B - Si підвищує адгезійну міцність і зносостійкість покриттів, напилених добавки борного шлаку при напиленні пропан -

					MP 132.6121м.01.01.05. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

бутановим полум'ям - 1,5 ... 2,5%. Використання запропонованого самофлюсуючого складу при газополум'яному напilenні дозволяє знизити трудомісткість на 30%.

Висновки

1. Для відновлення валу вибрано самофлюсуючий порошковий сплав з наступним оплавленням ПГ-12Н-01.
2. В якості горючих газів будемо використовувати пропан ГОСТ 10196-77, тиск 0,07 МПа, кисень по ГОСТ 5583 з тиском 0,6 МПа.
3. Для покращення адгезійних властивостей у порошок ПГ-12Н-01 рекомендуємо додавати («борний шлак» 1,5 ... 2,5%), при напilenні пропан - бутановим полум'ям.
4. При напilenні ацетилено-кисневим полум'ям встановлено оптимальний склад добавки – 0,75...1,5 % «борного шлаку».

					МР 132.6121м.01.01.05. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

					MP 132.6121м.01.03.05.ПЗ							
Змін.	Арк.	№ документа.	Підпис	Дата	3 Технологічний процес відновлення валу			Літ.		Арк.	Аркушів	
Студент		Зяблов А.С.								52		11
Консультант												
Керівник		Єрмолаєв Г.В.						ХННІ НУК				
Н. Контр.												
Зав.кафедр.		Єрмолаєв Г.В.										

Найбільш міцне зчеплення порошкового матеріалу з основою досягається шляхом напилення з наступним оплавленням, при цьому необхідно дотримуватися такої черги дій:

- напилити шар самофлюсуючого порошку (ПГ-12Н-01) товщиною 1 мм;
- оплавити покриття або підігріти до температури не менше 0,9 температури плавлення матеріалу покриття;
- надалі чередувати напилення з оплавленням до отримання покриття необхідної товщини, при цьому необхідно слідкувати за якісним проплавленням кожного наступного шару.

Оплавлення покриття з самофлюсуючих сплавів рекомендується здійснювати одразу ж після напилювання. Це дозволяє використовувати отримане раніше деталлю тепло і зменшити можливість тріщини утворення та відслоєння покриття при охолодженні.

При оплавленні газополуменевим пальником з використанням в якості робочих газів кисню та пропану, необхідно встановити співвідношення $\beta = 3,5$, що забезпечує відновлюване полум'я.

Для отримання якісного зчеплення покриття з основою необхідно проводити попереднє нагрівання деталі до температури 200-300°C з відстані 100-125 мм, здійснюючи зворотно-поступальне переміщення факелу пальника по всій поверхні. Після цього підвести сопло пальника до поверхні деталі на відстань 40 мм та продовжувати нагрів, здійснюючи невеликі коливальні рухи до з'явлення «дзеркального блиску» поверхні, що свідчить про закінчення процесу оплавлення.

Необхідно уникати перегріву покриття. Це призведе до підтоків та різкому зниженню фізико-механічних властивостей покриття.

					МР 132.6121м.01.01.05. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

3.1 Розробка технологічного процесу відновлення

Технологічний процес відновлення [20] або зміцнення поверхонь газополуменевим напиленням порошковими матеріалами в загальному випадку складається з наступних операцій (див. рис. 3.1).



Рисунок 3.1 Схема технологічного процесу напилення:

1 – хімічне очищення 2 – просушування; 3 – напилювання; 4 – шліфування; 5 – контроль якості

При нанесенні всіх без винятку покриттів поверхня деталі знежирюється розчинниками, лужними розчинами та різними емульсіями по ГОСТ 9.0205-74. Після знежирювання водними розчинами здійснюють промивання деталей водою. Просушування деталей після промивання здійснюють в сушильних шафах при температурі 60-150 °С або обдуванням стиснутим повітрям по ГОСТ 9.010-73.

Для деталей та виробів, знежирювання яких зазначеними способами технологічно або економічно недоцільно, допускається знежирювання за допомогою щіток або притирочного матеріалу, змочених уайт-спіритом або бензином.

Спеціальна механічна обробка здійснюється в разі нанесення покриттів товщиною більше 1,0 мм або при експлуатації деталей в умовах підвищених навантажень. Основні види спеціальної механічної обробки - нарізання рваної різьби роликком. Деякі технічні дані для нарізання рваної різьби наведені в таблиці 3.1

Рвана різьба нарізається в напрямку обертання деталі від 30 до 40 об/хв без охолоджуючої рідини.

Таблиця 3.1 Технічні дані для нарізання рваної різьби

Діаметр деталі, мм	Зміщення різця, мм	Частота обертання шпинделя, об/хв	Діаметр деталей, мм	Зміщення різця, мм	Частота обертання шпинделя, об/хв
10	1,0	300	100	4,5	30
15	1,5	210	150	5,0	20
20	2,0	150	200	6,0	15
25	2,5	135	250	7,5	13
30	2,5	100	300	9,0	10
35	3,0	95	350	11,0	9
40	3,0	75	400	13,0	7
45	3,0	70	450	15,0	6
50	3,5	60	500	16,0	5

Перед використанням порошку металів їх суміші необхідно просушити. Порошки просушують в сушильних шафах при температурі 130-150 °С протягом 3-5 годин.

До зберігання деталей, що підлягають напилення, висуваються такі вимоги:

- деталі, що підготовлені до нанесення покриттів, повинні зберігатися в приміщенні при температурі не нижче 18 °С та відносної вологості повітря не вище 75 %.

- в повітрі не допускається вміст корозійно-активних агентів та попадання на поверхню бризок води та інших рідин;

- тривалість перерви між підготовкою поверхні та нанесенням покриття не повинна перевищувати 3 годин;

- забороняється торкатися до напилюваної поверхні руками або брудними інструментами.

Для відновлення колінчастих валів газополуменевим напиленням з оплавленням застосовується технологічний процес що складається з 5 операцій (див. рис. 3.2.)

Мийка. Двигуни, що надходять у ремонт, повинні задовольняти вимогам технічних умов на здачу в капітальний ремонт.

Для цього використовується автоматична мийна машина контейнерного типу MAGIDO L152. Зверху і знизу барабана, в який вкладаються деталі, розташовані дві пари труб, з встановленими в них жиклерами, через які під тиском подається розігрітий до 90 град. спеціальний миючий склад, під дією якого приблизно протягом 15 хвилин розчиняються масляні відкладення, змивається бруд і продукти зносу з поверхонь деталей, після чого деталі омивають проточною гарячою водою в окремій ванні.

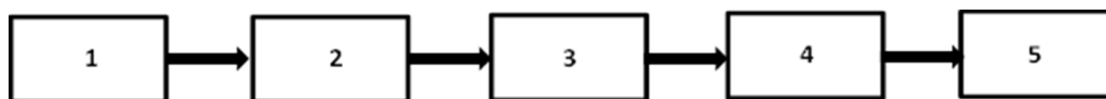


Рисунок 3.2 Схема технологічного процесу відновлення колінчастих валів газополуменевим напилюванням з подальшим оплавленням

1 – операція хімічного очищення валів; 2 – газополуменеве напилення з оплавленням; 3 – шліфування; 4 – динамічне балансування 5 – контроль якості

Напилення. Підготовлені для напилювання шийки повинні бути забезпечені від забруднення, а щоби захищені кожухами з жерсті або екранами. Час між підготовкою до напилювання й процесом напилювання по можливості не повинен перевищувати 2-3 год.

Вал установлюють у центрах обертача. Напилювання проводять на дистанції 30-50 мм. Покриття наносять із одночасним оплавленням. За один прохід наносять шар товщиною 0,5 мм. Напилювання проводять до номінального розміру із припуском для шліфування (1,5-2,0 мм).

Шліфування. Шліфування шийок колінчастих валів проводять на кругло шліфувальних універсальних або спеціальних верстатах.

Шліфування починають із корінних шийок, які шліфують у центрах без обертання вантажів, що врівноважують. Для установки валу як бази використовують шийку під маточину шківа колінчатого валу, шийку під розподільну шестірню, циліндричну поверхню фланця для кріплення маховика.

Базами при шліфуванні шатунних шийок служать корінні шейки. Для шліфування шатунних шийок на планшайби передньої й задньої бабок

установлюють перехідні плити, до яких кріплять призматичні затискач-кронштейни. Для балансування встановленого в кронштейнах валу на задні планшайби передньої й задньої бабок навішують противаги. Потім проводять точну установку валу в горизонтальній і вертикальній площинах. Попередню установку валу проводять по шаблонах, точну - за допомогою індикатора.

Овальність і конусність шийок, відремонтованих колінчатих валів допускається до розміру 0,01 – 0,02 мм; биття валу по середній шийці – 0,03 – 0,05 мм, по шийці під розподільну шестірню – не більше 0,03 мм; осьове биття фланця 0,03 – 0,05 мм. Чистота поверхні шийок повинна відповідати 9-му класу.



Рисунок 3.3 Процес шліфування з миттєвим охолодженням

Деякі дані по режимах шліфування наведені в таблиці 5.1.

Балансування. Остаточною операцією відновлення валу є динамічне балансування його на спеціальному верстаті HINES Liberator. Перед балансуванням висвердлюють графітові пробки за допомогою пристосування й знімають фаски під кутом 45° на глибину 1,5 – 2,0 мм.

Таблиця 3.1 Режими шліфування порошкових покриттів

					MP 132.6121м.01.01.05. ПЗ	Арк.
						57
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вид обробки	Окружна швидкість кола, м/с	Окружна швидкість деталі, м/с	Поздовжня подача, м/хв.	Глибина різання, мм	Витрата охолодної рідини, л/хв
Чорнове шліфування	20-25	10-12	0,5-0,7	0,1-0,2	10-12
Чистове шліфування	24-28	12-15	0,2-0,4	0,03-0,05	12-14

Технологічний процес балансування колінчастого валу починається з етапу підготовки верстата до роботи. Для цього: встановлюємо колінчастий вал на опори верстата, встановлюємо привідний ремінь, датчик положення і частоти обертання колінчастого валу, вводимо в комп'ютер: розміри валу, координати положення і радіуси поверхонь корекції (або знаходимо їх в базі даних).

Далі знімаємо показання ваги шатунів і зважування поршнів для підбору мас врівноважуючих вантажів. Програмне забезпечення верстата пов'язане з його комп'ютером, що дозволяє уникнути ручного введення даних. За результатами зважування програма автоматично видає таблицю балансувальних вантажів.

Закріплюємо балансувальні вантажі, обираємо кількість площин корекції і настройку таблиці глибини свердління, налаштовуємо частоту обертання валу (500 об/хв) і можна приступати до вимірювання дисбалансу.

Зупинка обертання колінчастого валу відбувається автоматично одночасно з виведенням на екран результатів балансування. Тривалість процесу вимірювання складає не більше 20 секунд.

Результати балансування - кутові положення і величини дисбалансу для кожної корекційної площини.

Залишається лише підсунути свердлильний верстат, встановлений на балансувальний верстат і провести корекцію дисбалансу, просвердивши отвір в потрібному місці на глибину відповідно до показань на моніторі.

Сумніватися в точності результатів корекції не доводиться, адже в попередніх налаштуваннях ми навіть мали змогу встановити навіть кут заточення свердла.

І все ж для порядку проведемо контрольне вимірювання дисбалансу і переконаємося в точності результату балансування валу.

Контроль якості. При контролі керуються технічними умовами з урахуванням призначення й умов роботи.

Спочатку отримані газополуменевим напилюванням покриття піддають зовнішньому огляду й контролю з метою визначення товщини й геометричних розмірів. Огляд проводять за допомогою 10-кратної лупи ЛІ-3, ЛІ-4 ГОСТ 7594-75.

Зовнішнім оглядом виявляються дефекти: відколи, здуття, відшарування. Геометричні розміри, повинні відповідати вимогам ремонтного креслення.

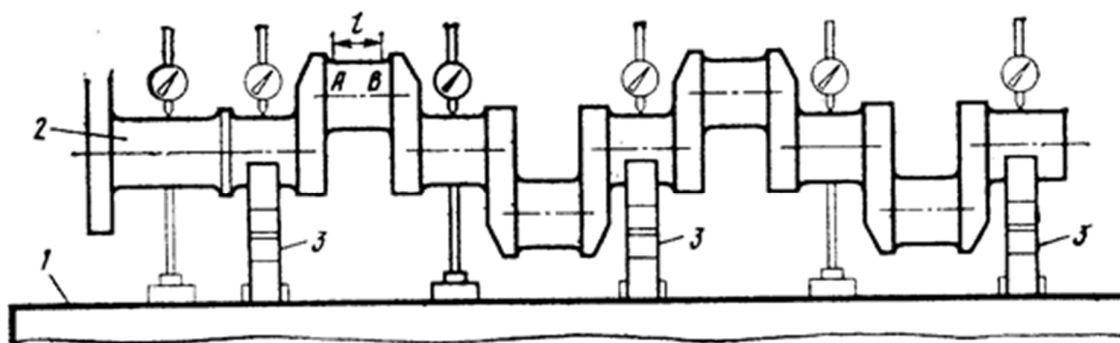


Рисунок 3.4 Схема для перевірки точності обробки колінчатого вала на перевірочній плиті за допомогою індикаторів:

1 – плита; 2 – колінчастий вал; 3 - призма

Вал 2 установлений на плиті 1 на точних призмах 3. Биття кожної корінної шийки перевіряють у трьох точках по середині її й по кінцях, відступаючи на 10-15 мм від жолобників.

Різниця відстаней від перевірочної плити до утворюючої шатунної шийки, що перевіряє, у точках А и В, розташованих від жолобників на 10-15

мм у самому верху шийки, указує на відхилення від паралельності утворюючої шийки щодо осі валу.

Відхилення від паралельності, віднесене до базової довжини, рівної 100 мм, визначають по формулі:

$$\Delta = \frac{100 \cdot a}{l}$$

де a – різниця показань індикатора в точках А и В, мм;

l – відстань між крапками А й В по довжині шийки, мм.

У такий же спосіб перевіряють відхилення від паралельності шатунної шийки щодо осі валу вимірюють її у самому нижнім її положенні.

При відсутності точної перевірконої плити й точних призм приймання валів допускається здійснювати на верстаті для шліфування корінних шийок. Вал при цьому повинен мати биття в кривошипах не більше 0,02 мм.

Відновлені вали піддають консервації й направляють на склад запасних частин.

Перелік операцій та переходів, склад устаткування по технологічному процесу відновлення колінчастих валів методом газополум'яного напилювання зазначений в табл. 3.2.

Норма часу на операції напилювання приймаємо на підставі розрахунків та даних, отриманих в лабораторіях ХФ НУК, а також хронометражу процесу напилювання.

При напилюванні особлива увага звертається:

- підготовці напилюваної поверхні;
- підготовці напилюваних порошків;
- вибору режимів напилювання;
- напилюванню та оплавленню покриття.

Таблиця 3.2 Перелік операцій та переходів при газополуменовому напилюванні

					МР 132.6121м.01.01.05. ПЗ	Арк.
						60
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найменування операцій	Перелік переходів операцій	Найменування і тип обладнання	Норма часу, год
Хімічне очищення	1.Завантажити партію деталей в мийну машину. 2.Очищення. 3.Вивантаження.	MAGIDO L152 Решітчастий контейнер	0,1 0,3 0,1
Газополум'яне напилення	1. Встановити деталь у механізм обертання. 2.Встановити пальник під напилювання 3.Напилити поверхню валу до товщини 2,5 мм 4. Зняти деталь з механізму обертання та відправити на наступну операцію.	Механізм обертання (токарно-гвинторізний верстат 16K20) Модернізований пальник ГН-3	0,1 0,1 1,0 0,1
Шліфування	1. Встановити деталь у шліфувальний верстат. 2.Здійснити шліфування робочої поверхні валу 3.Полірувати деталь. 4.Зняти деталь.	Шліфувальний верстат CG 260/1500	0,1 2,0 1,2 0,1
Балансування	1. Встановити деталь у механізм обертання. 2. Здійснити балансування. 3. Зняти деталь.	Верстат HINES Liberator	0,1 1,0 0,1
Контроль якості	1. Здійснити перевірку якості напилюваного покриття. 2. Укласти деталі, що пройшли контроль, на стелаж.	Візуальний огляд	0,4 0,1
Всього:			6,9 н/год

Висновки.

Рекомендуємий технологічний процес відновлення зношених поверхонь колінчастого валу містить п'ять операцій:

- хімічне очищення;
- газополум'яне напилення;
- шліфування;
- балансування;
- контроль якості.

					MP 132.6121м.01.01.05. ПЗ	Арк.
						61
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					Арк.	
					62	
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	MP 132.6121м.01.01.05. ПЗ	

					MP 132.6121м.01.04.05.ПЗ				
Змін.	Арк.	№ документа.	Підпис	Дата					
Студент		Зяблов . А.С.			4 Вибір обладнання		Літ.	Арк.	Аркушів
Консультант								63	13
Керівник		Єрмолаєв Г.В.					ХННІ НУК		
Н. Контр.									
Зав.кафедр.		Єрмолаєв Г.В.							

4.1 Обладнання для напилення

Установка газополуменового напилення Л-5405А включає в себе наступні основні вузли: пістолет-розпилювач; пульт управління; комплект шлангів; підводячі шланги; кабель; запальничка.

Пост призначений для нанесення газотермічним напилюванням захисних антикорозійних, антифрикційних та жаростійких покриттів на поверхні деталей порошковими матеріалами.

Напилювання здійснюється пальником вручну, можливе й механічне напилювання.

Пістолет-розпилювач призначений для розігріву і нанесення порошкового матеріалу на поверхню деталей.

Пульт управління призначений для управління і слідкування за процесом нанесення покриттів. На ньому розташовані витратоміри, манометри, вимикачі транспортуючого газу, вібратори і механізм обертання дозатора. На боковій стінці пульта управління розташовані штуцера для підводу газу до установки. [8, 13]

Комплект шлангів необхідний для підводу газу і порошкового матеріалу від пульта управління до пістолета-розпилювача.

Підводячі шланги використовуються для підводу газів від балону до установки.

Кабель служить для підключення установки до електричної мережі.

Запальничка призначена для підпалювання пістолета-розпилювача.

Установка Л-5405А призначена для нанесення антикорозійних і антифрикційних покриттів на будь-які поверхні.

Напилювання здійснюється порошковими матеріалами за допомогою ацетилено- або пропано-бутаново-кисневого полум'я. Технічні дані наведені в таблиці 4.1.

					МР 132.6121м.01.01.05. ПЗ	Арк.
						64
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 Технічні характеристики установки Л-5405А

Найменування параметру та одиниці вимірювання	Величина
Гранулювання порошкових матеріалів, мкм	
металевих	63-100
кераміки	0-50
органічних	50-200
Витрати горючих газів, л/хв.	
Ацетилену (ГОСТ 5457-75)	15,0-20,0
Пропан-бутану (ГОСТ 20488-80)	20,0-40,0
Витрати кисню, л/хв. (ГОСТ 5583-78)	30,0-50,0
Витрати порошкових матеріалів, кг/год	1,0-10,0
Число обертів диску дозатора, об/хв.	0,5-30,0
Витрати стиснутого повітря, л/хв. (ГОСТ 11882-73), клас чистоти не нижчий за 1	
транспортуючого	4,0-7,0
охолоджуючого	12,0-50,0
Коефіцієнт використання порошку	0,5-0,8
Продуктивність цехової вентиляції, м ³	3600
Габаритні розміри, мм	
довжина	626
ширина	400
висота	1345
Маса, кг	75

Установка газополуменева для порошкового напилювання УПН-8-68 призначена для напилювання матеріалів з температурою плавлення 2000-2200 °С (табл. 4.2), таких як оксид алюмінію, ніхром, нікель-алюмінієві сплави, нікелеборохромокремнієві сплави, карбідо-вмісні композиції та ін.

Таблиця 4.2 Технічна характеристика установки УПН-8-68

Найменування параметру	Величина
Максимальна продуктивність матеріалу, кг/год	
твердосплавного (Ni-Cr-B-Si)	1,0
оксиду алюмінію	1,5
Розмір часток напилюваного порошку, мм	30-150
Робочий тиск газів, МПа	
кисню	0,5
ацетилену	0,035-0,05
Максимальне витрачання газів, м ³ /с	
кисню	2,5
ацетилену	1,7
Розміри, мм	
дозатора порошку	240x240x400
пальники апарату	28x170x195
Коефіцієнт використання матеріалу при напилюванні	
Ni-Cr-B-Si	0,8-0,9
Оксиду алюмінію	0,65-0,75

Крім операції газополум'яного напилювання передбачена можливість подальшого сплавлення покриттів, наплавлених з твердосплавних порошків, типу Ni-Cr-B-Si, Na-Cr-B-Si + карбід (наприклад, WC), полум'ям пальника. [2]

Кіровоканський завод «Автогенмаш» виготовляє пальники [20] для газополум'яного наплавлення типу ГН-2, ГН-3, ГН-4, які можна використовувати для нанесення покриттів. Принцип роботи ГН-3 (рисунок 4.1).

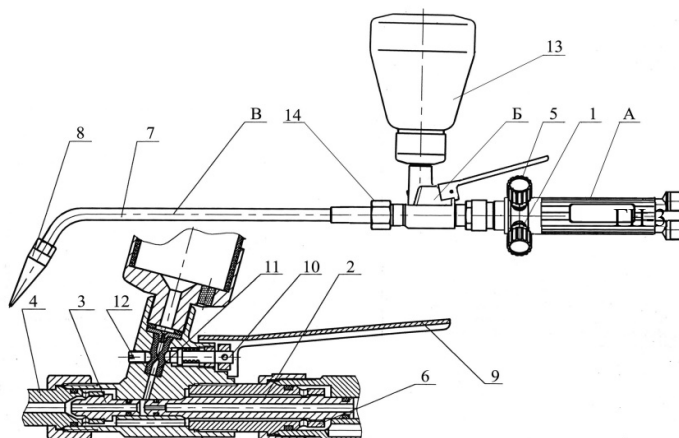


Рисунок 4.1 Пальник наплавочний ГН-3:

А – стовбур; Б – вузол подачі порошку; В – наконечник; 1 – регулювальний вентиль кисню; 2 – інжектор 1-го ступеня; 3 – інжектор 2-го ступеня; 4 – змішувач; 5 – регулювальний вентиль пропану; 6 – втулка перехідна; 7 – трубка; 8 – мундштук; 9 – важіль; 10 – клапан; 11 – гумова втулка; 12 – регулювальний гвинт; 13 – бункер; 14 – гайка

Кисень надходить від джерела живлення через приєднувальний ніпель до регулювального вентиля (1) і далі по центральному каналу перехідника в канал інжектора 7 ступені (3), на виході з якого кисневий струмінь створює розрідження, що сприяє при натисканні важеля (9) надходженню з бункера (13) порошку

Киснево-порошкова суміш далі надходить у інжектор 3 і в змішувач (4), створюючи розрідження в каналах горючого газу, за якими через приєднувальний ніпель і регулювальний вентиль горючого газу (5) надходить в змішувач (4) ацетилен або пропан, в залежності від типу пальника;

У змішувачі (4) і далі в трубці наконечника (7) відбувається утворення газо-киснево-порошкової суміші, що надходить в мундштук (8);

На виході з мундштука (8) газо-киснева суміш згорає, забезпечуючи нагрів наплавляється поверхні і оплавлення гранул порошку.

Загальний вигляд пальника представлено на рисунку 4.2.

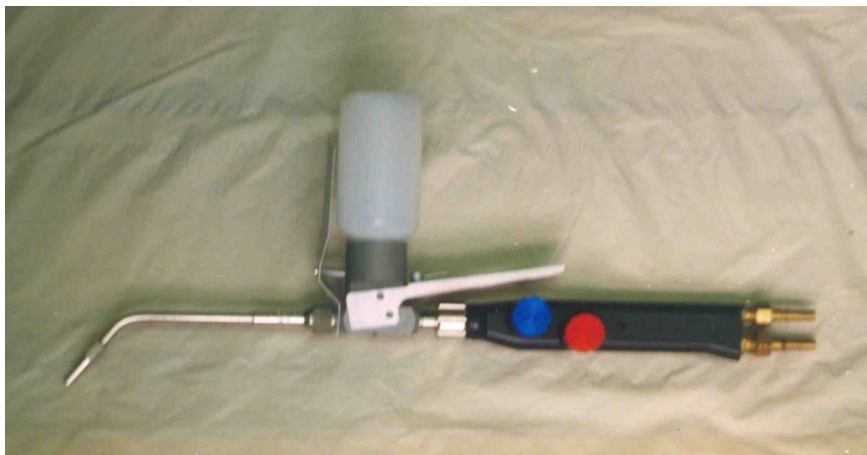


Рисунок 4.2 Газополум'яний пальник для наплавлення (напилення)

Таблиця 4.3 Технічні дані пальника ГН-3

Найменування параметру		Величина	
Номер мундштука		5	6
Тиск, кгс/см ² , не більше:	кисню	3,0-4,0	
	горючого газу	0,1-0,3	
Витрата, м ³ /год, не більше:	кисню	0,75-1,17	1,17-1,9
	горючого газу	0,7-1,1	1,05-1,75
Розміри часток порошку, мкм		40-100	
Витрата порошку при грануляції 100 мкм, кг/год, до:		3	
Маса пальника, кг (без порошку)		0,95	
Габаритні розміри, мм		670x170x80	

Газополум'яні апарати порошкового типу не мають швидкозношуваних деталей і простіші за конструкцією, ніж дротяні [12, 13].

Газополум'яна установка повинна мати високі технологічні показники, максимально можливий ККД, високий коефіцієнт потужності, малу масу, невеликі габарити, низьку вартість, простоту в експлуатації, великий ресурс

роботи, можливість швидкої заміни зношених деталей. Зазначеним вимогам в найбільшій мірі відповідає горілка ГН-3, яка призначена для наплавлювання та напилювання промислових порошкових твердих сплавів на основі заліза, нікелю і кобальту.

Для процесу газополум'яного напилення за допомогою горілки ГН-3 необхідні з'єднувальні шланги, пропановий та кисневий редуктори, балони з газом – пропан та кисень.

Робота на установці може виконуватися як вручну, так і механізованим способом (при наявності відповідних верстатів та пристосувань), в якості робочих газів використовують пропан по ГОСТ 10196-77, кисень по ГОСТ 5583-78. [12]

На підставі вищевикладеного, для газополум'яного напилювання колінчастих валів будемо використовувати пальник ГН-3.

4.2 Обладнання для обробки поверхонь

Для закріплення колінчастого валу використовується токарно-гвинторізний верстат 16K20, рисунок 4.3.



Рисунок 4.3 Токарно-гвинторізний верстат 16K20

Таблиця 4.4 Технічні характеристики 16K20

Модель	16K20
Найбільший діаметр оброблювальної заготовки, мм:	
- над станиною	400
- над супортом	220
Найбільша довжина оброблювальної заготовки, мм	750-1500
Клас точності по ГОСТ 8-82	Н
Розмір внутрішнього конуса в шпинделі, М	Морзе 6 М80*
Діаметр крізного отвору в шпинделі, мм	55, 62*
Найбільша маса встановлюваної заготовки, кг	
- закріпленого в патроні	300
- закріпленого в центрах	1300
Число ступенів частот обертання шпинделя	
- прямого	23
- зворотного	12
Межі частот обертання шпинделя, хв	
- прямого	12,5-2000
- зворотного	19-2420
Число ступенів робочих подач:	
- повздовжніх	42, 56*
- поперечних	42, 56*
Межі робочих подач, мм/об	
- повздовжніх	0.07-4.16
- поперечних	0.035-2.08
Найбільший обертальний момент, кНм	2
Найбільше переміщення пінолі, мм	200
Поперечне зміщення корпусу, мм	±15
Найбільший перетин різця, мм	25
Габаритні розміри верстата, мм	
- довжина	2812
- ширина	1166
- висота	1324
Маса верстата, кг	2140
Потужність електродвигуна приводу головного руху, кВт	10
Потужність електродвигуна приводу швидких переміщень супорта, кВт	0.75 або 1.1
Потужність насоса охолодження, кВт	0.12

Деталі, що надходять на ділянку відновлення необхідно очистити від ма-
сла, жирових плям й інших забруднень. Для мийки колінчатих валів будемо
використати машину MAGIDO L152 (див. рисунок 4.6). Автоматична миюча
машина моделі L152 призначена для мийки великогабаритних деталей вагою
до 350 кг гарячим миючим складом.



Рисунок 4.4 Мийна машина MAGIDO L152

Технічні характеристики мийної машини наведені в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 Технічна характеристика мийної машини MAGIDO L152

Пневмопривід кришки		Стандартна комплектація
Частота обертання приводу кошика	об/хв.	8
Діаметр кошика	мм	1400
Максимальне завантаження	кг	350
Максимальна висота деталі для мийки	мм	800
об'єм бака	Л	300
Тиск миючої рідини на виході з сопел	bar	2,4
продуктивність насосів	л/хв.	2x115
потужність електронагрівачів	кВт	12
Споживана потужність	кВт	15
Температура миючої рідини	°C	10...70
Час мийного циклу	хв.	0...60
напруга електроживлення	В	380, 3 фази
Габарити: Ширина	мм	1800
Висота при відкритій кришці	мм	2390
Глибина при відкритій кришці	мм	2160
Габарити в транспортній упаковці	мм	2000x2000x1700
Суха вага	кг	400

Шліфування шийок колінчастих валів проводять на кругло шліфувальних універсальних або спеціальних верстатах. Для шліфування колінчастих валів будемо використати верстат CG 260/1500 (див. рисунок 4.5).

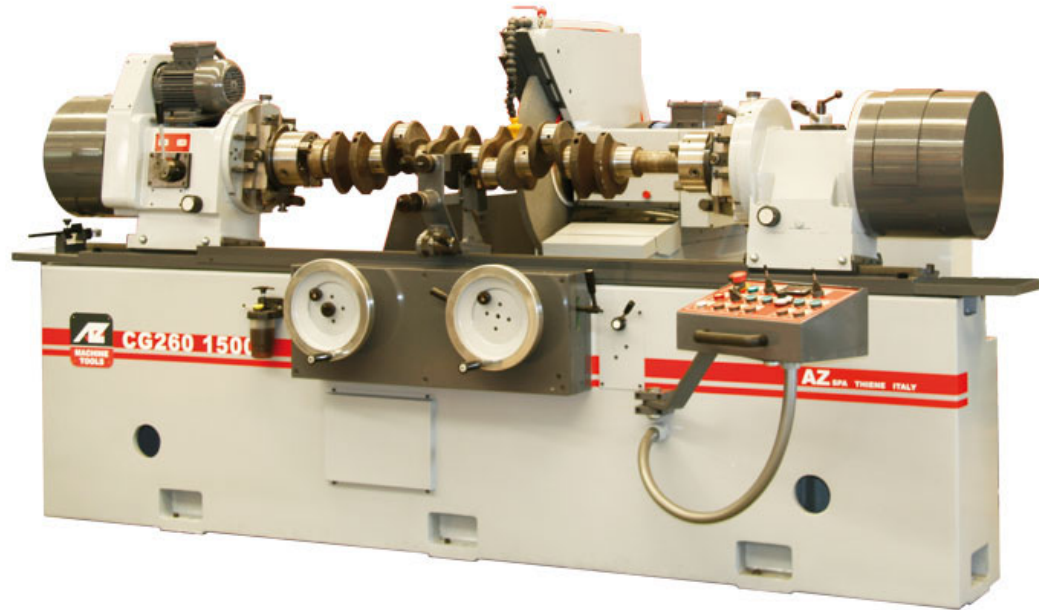


Рисунок 4.5 Верстат CG 260/1500 фірми AZ для шліфування шийок колінчастого валу

Технічні характеристики CG 260/1500 наведені у таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 Технічні характеристики верстата CG 260/1500

Найменування / модель	Од. вим.	CG 260/1500
Висота центрів	мм	260
Макс. відстань між центрами	мм	1500
Макс. діаметр обробки	мм	520
Макс. ексцентриситет	мм	80
Макс. діаметр посадкового місця нового абразив. кола	мм	160
Діаметр абразивного круга	мм	660
Стандарт. товщина абр. кола	мм	25
Хв. товщина абр. кола	мм	20
Макс. товщина абр. кола	мм	50
Макс. допустима вага деталі	кг	80
Макс. допустима вага деталі з люнетом	кг	200

Крок поперечної подачі абр. кола	мм	0,005
----------------------------------	----	-------

Продовження таблиці 4.6

Найменування / модель	Од. вим.	CG 260/ 1500
Зміна частоти обертання шпинделів	об/хв	45...95
Потужність є/м привода абр. круга	кВт	4
Потужність є/м привоу обертання шпинделів	кВт	0,5
Потужність є/м гідросистеми	кВт	0,75
Габаритні розміри:	м	
Довжина		3,2
Ширина		1,6
Висота		1,5

Остаточною операцією відновлення вала є динамічне балансування його на спеціальному верстаті HINES Liberator.



Рисунок 4.6 Верстат динамічного балансування колінчастих валів HINES Liberator

Технічні дані верстату HINES Liberator наведені у таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 Технічні дані верстату HINES Liberator

Найменування	Од.вим.	HINES Liberator
Габарити		
Довжина	мм	1 830 (2 440 опція)
Висота зі свердлувальним / фрезерним верстатом	мм	1 525
Ширина	мм	760
Ширина зі столом свердлильного / фрезерного верстата	мм	1 145
Маса		
Маса в упаковці	кг	1 570
Маса свердлильного верстата в упаковці	кг	204
Маса фрезерного верстата в упаковці	кг	358
Параметри електроживлення		
Живлення верстата		115В/1фаза/60Гц
Живлення свердлильного/фрезерного верстата		220В/1фаза/60Гц
Ваги		115В/1фаза/60Гц
Параметри балансувальної деталі		
Маса	кг	227
Максимальне навантаження на опору	кг	113.5
Максимальний діаметр	мм	915
Відстань між опорами	мм	125 - 1 420
Діаметр опорної частини балансувальної деталі	мм	12.5 - 114.5
Діаметр деталі в місці привода в обертання	мм	25.5- 203
точність балансування	г*мм	± 7,2
Параметри свердлильного верстата		
Частота обертання шпинделя	мин-1	60-1500
Радіус повороту супорта	мм	533
Конус патрону		Морзе 3 або R-8
Хід шпинделя	мм	127
Комп'ютер		
Тип		промисловий
Частота		533 МГц
Монітор		19" ЖК
Клавіатура		Стандартна комп'ютерна

Пам'ять		ОЗУ: 64MB PC100 SDRAM ПЗУ: 40 Гб (жорсткий диск)
---------	--	---

4.3 Контроль якості нанесених покриттів

Контроль якості [20] наплавленого шару забезпечує виготовлення доброякісних деталей, що відповідають відповідним ГОСТ та ТУ на ремонт і дозволяє попередити передчасний аварійний вихід з ладу зазначених деталей. Контроль якості не можна розглядати як перевірку кінцевих результатів наплавлення – це лише його заключна стадія. Контроль повинен здійснюватися на всіх стадіях виробництва і складається з попереднього контролю (перевірка матеріалів, робочих газів і вибраковка деталей), поточного контролю (дотримання технологічного процесу) і приймального контролю (визначення придатності відновлених деталей до роботи). [8]

Перевірка якості наплавляємих матеріалів зводиться до визначення однорідності по зовнішньому вигляду, розмірам зерна порошку, об'ємної маси та вологості. Розмір зерен контролюється просіюванням матеріалу через сито.

Для визначення вологості беруть за вагою 100 г, просушують при температурі 150-200⁰С та зважують через визначені проміжки часу.

Коли результати передостаннього та останнього зважування будуть однаковими, подальше просушування припиняють. Вологість порошку повинна бути не більше, ніж 0,1%.

Контроль техпроцесу зводиться до ознайомлення робітника з цим процесом, в якому зазначена послідовність операцій, режиму наплавлення та зазначений розмір (товщина).

Не менш важливим є дотримання режимів наплавлення.

Контроль за зовнішнім виглядом здійснюється з метою виявлення зовнішніх дефектів – зколів, вздутості, відслоєння. Огляд здійснюється з

					MP 132.6121м.01.01.05. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

використанням лупи десятикратного збільшення типів ЛІ-3, ЛІ-4 по ГОСТ 8309-75, ГОСТ 2594-75 при достатньому освітленні.

Товщину покриття на деталях виміряють штангенциркулем, мікрометром ГОСТ 6507-78. Геометричні розміри, виявлені процесі контролю на допустимі дефекти, підлягають виправленню. Після виправлення дефектів слід провести повторний контроль тими же методами.

Висновки

1. Газополум'яні апарати порошкового типу не мають швидкозношуваних деталей і простіші за конструкцією, ніж дротяні. Для газополум'яного напилювання колінчастих валів будемо використовувати пальник ГН-3.
2. В якості обертача для напилення будемо використовувати токарно-гвинторізний верстат 16К20.
3. Для мийки колінчастих валів будемо використати машину MAGIDO L152, яка дозволяє механізувати даний процес.
4. Для шліфування шийок колінчастих валів будемо використовувати верстат CG 260/1500.
5. Для динамічного балансування використовуємо спеціальний верстат HINES Liberator.
6. Контроль за зовнішнім виглядом здійснюється з метою виявлення зовнішніх дефектів – зколів, вздутості, відслоєння здійснюється з використанням лупи десятикратного збільшення типів ЛІ-3, ЛІ-4 по ГОСТ 8309-75, ГОСТ 2594-75 при достатньому освітленні.

					МР 132.6121м.01.01.05. ПЗ	Арк.
						75
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					МР 132.6121м.01.05.05. ПЗ							
Змін.	Арк.	№ документа.	Підпис	Дата								
Студент		Зяблов А.С.			Загальні висновки по дипло- мній роботі			Літ.		Арк.	Аркушів	
Консультант										76	4	
Керівник		Єрмолаєв Г.В.						ХННІ НУК				
Н. Контр.												
Зав.кафедр.		Єрмолаєв Г.В.										

Загальні висновки

У результаті аналізу можливих технологічних варіантів відновлення колінчастих валів був обраний спосіб газополум'яного наплавлення порошковими матеріалами, що забезпечують необхідну якість нанесеного покриття.

1. Для підвищення міцності зчеплення покриття з робочою поверхнею була розроблена технологія газополум'яного напилення з одночасним оплавленням. В якості устаткування запропоновано пропано-кисневий пальник ГН-3. У якості матеріалу вибрано самофлюсуючий порошок ПГ12Н-01.

2. Для покращення міцності зчеплення покриття з робочою поверхнею валу було розраховано методом математичного планування експериментів Бокса-Уілсона оптимальний вміст «борного шлаку». Це дозволило виключити операцію підготовки поверхні для напилення (піскоструменева обробка, нарізання рваного різьблення і т.п.). Це дозволило зменшити техпроцес відновлення.

3. Добавка "борного шлаку" -1,5 ... 2,5%. (сплаву зневодненої бури і подвійного метаборату натрію магнію) в порошок ПГ-12Н-01 підвищує адгезійну міцність і зносостійкість покриттів, напилених без добавки «борного шлаку» при напиленні пропан - бутановим полум'ям. Використання запропонованого самофлюсуючого складу при газополум'яному напиленні дозволяє знизити трудомісткість на 30%.

					МР 132.6121м.01.01.05. ПЗ	Арк.
						77
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кречмар Э. Напыление металлов, керамики и пластмасс [Текст] / Э. Кречмар. – М.: Машиностроение, 1966. 246 с.
2. Линник В.А. Современная техника газотермического нанесения покрытий [Текст] / В.А. Линник, П.Ю. Пекшев. – М.: Машиностроение, 1985. – 154 с.
3. Гуляев А.П. Металловедение [Текст] / А.П. Гуляев. – М.: Металлургия, 1977. – 235 с.
4. Сафронов И.И. Формирование высоких триботехнических свойств изделий наплавкой [Текст] / И.И. Сафронов. Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1989. – 78 с.
5. Акулов, А.И. Технология и оборудование сварки плавлением [Текст] / А.И. Акулов, Г.А. Бельчук, В.П. Демянцевич - М.: Машиностроение, 1977. – 432 с.
6. Голобородько, Ж.Г. Автоматическая дуговая сварка в судостроении [Текст] / Ж.Г. Голобородько. – Херсон: ООО и «ПКФ «Старт» ЛТД», 2011. – 233 с.
7. Рекомендации по применению порошковых материалов при восстановлении деталей сельскохозяйственной техники. Москва: ГОСНИТИ, 1983.
8. Харламов Ю.О. Основы технологии восстановления и упрочнения деталей машин: Учебное пособие: В 2-х т. [Текст] Ю.О. Харламов, Н.А. Будагьянц. - Луганск: издательство Восточнoукраинского национального университета имени В. Даля, 2003. - 496 с.
9. Руководящий технический материал « Восстановление деталей машин газопорошковой наплавкой с применением ацетилена» Москва: ГОСНИТИ, 1984.
10. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю.П. Адлер, В.В. Маркова, Грановский Ю.В. М.: Наука, 1976. – 114 с.

					MP 132.6121м.01.01.05. ПЗ	Арк.
						78
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Сагань В.Я. Методическое указание «Определение оптимальных режимов с применением методов математического планирования». Херсон. 1996.

12. Восстановление и повышение износостойкости и срока службы деталей машин [Текст] / Под редакцией В.С. Попова. - Запорожье: Издательство ОАО "Мотор Сич", 2000. - 394 с.

13. Силуянов В.П. Разработка и широкое внедрение комплектов оборудования для ресурсосберегающих технологий восстановления и упрочнения деталей газопламенной наплавкой. Обзорная информ. / Госагропром СССР. АгроНИИТЭИИТО. – М., 1987.

14. Прайс-лист концерну «Агро-Союз». Дніпропетровськ, Агро-Союз, 2010, 22 с.

15. Триботехнология судового машиностроения: Сборник научных трудов. - Николаев: НКИ. 1990. 83с.

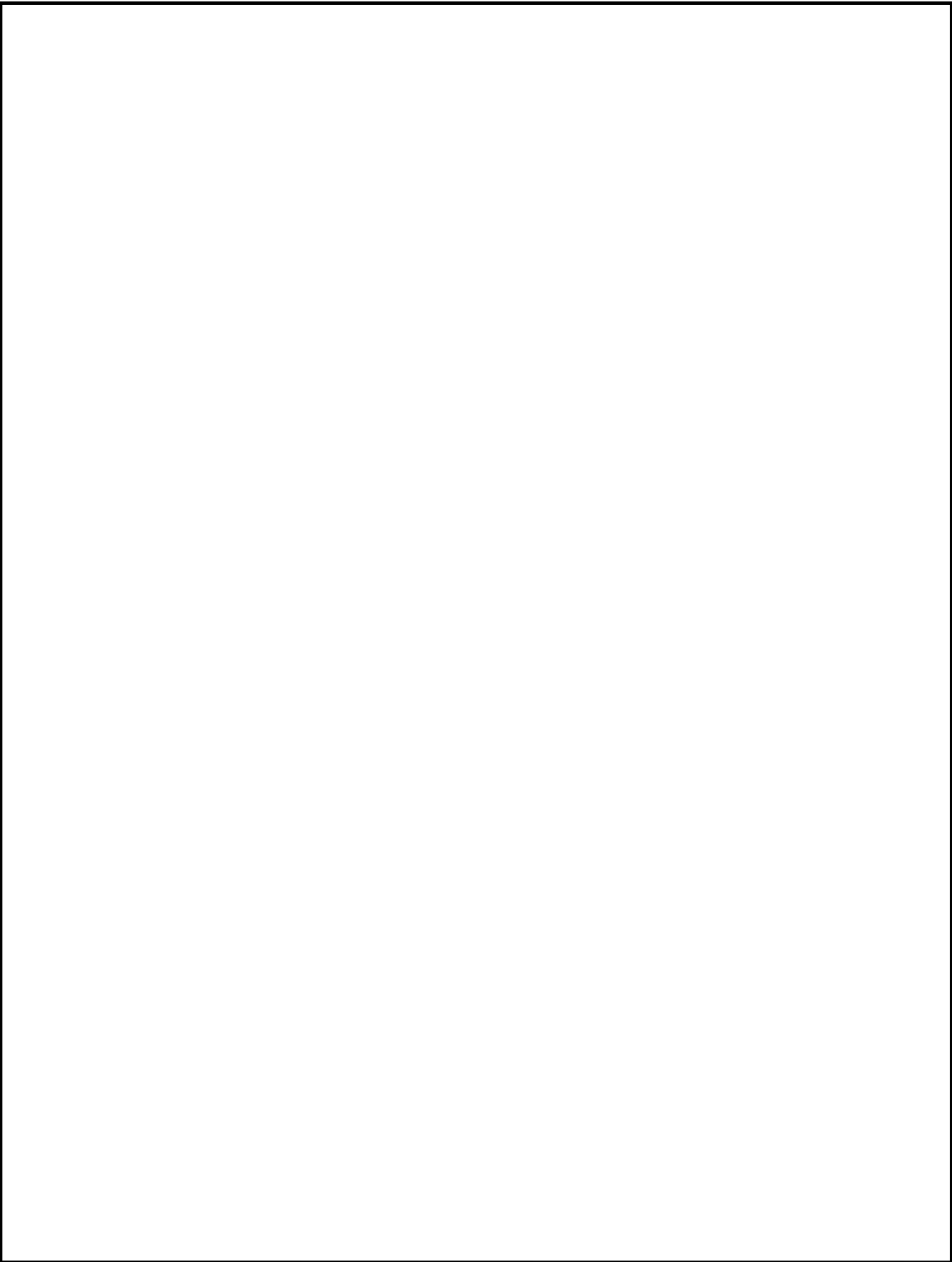
16. Астахов Є.А. Науково-технологічні основи керування властивостями детонаційних покриттів [Текст] / Автореф. дис. .докт. техн. наук. - К.: ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ. - 2005. - 36 с.

17. Хасуи А. Наплавка и напыление [Текст] / А. Хасуи, О. Моригаки. – М. : Машиностроение, 1985. – 239 с.

18. Сидоров А.И. Восстановление деталей напылением и наплавкой [Текст] / А.И. Сидоров – М. : Машиностроение, 1987. – 192 с.

19. Співхтаренко, В.В. Використання персонального комп'ютера в інженерних розрахунках: Навчальний посібник [Текст] / В.В. Співхтаренко. – Херсон: Олді-плюс, 2007. – 284 с.

20. Зяблов А.С. Розробка технології газо-порошкового наплавлення плунжерного насоса дизелю [Текст] / Дипломна робота, бакалавр. – Херсон: ХННІ, 2022. -77с.



					MP 132.6121м.01.00.00.ПЗ						
Змін.	Арк.	№ документа.	Підпис	Дата							
Студент		Зяблов А.С.			Додатки			Літ.	Арк.	Аркушів	
Консультант											
Керівник		Єрмолаєв Г.В.						ХННІ НУК			
Н. Контр.											
Зав.кафедр.		Єрмолаєв Г.В.									

					MP 132.6121м.01.01.05. ПЗ	
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Арк. 81	