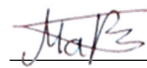


Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова

Кафедра зварювання

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри



к.т.н., доц. М.В. Матвієнко

«___» _____ 2024 року

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

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

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



Стазілов К.П.

(прізвище та ініціали)



Керівник

Лебедєв В.О.

(прізвище та ініціали)



Рецензент

Матвієнко М.В.

(прізвище та ініціали)

Херсон 2024 р.

Анотація

Магістерська робота присвячена розробці технології відновлення кулачкових валів із застосуванням плазмового наплавлення порошковими матеріалами. Актуальність роботи обумовлена необхідністю підвищення ефективності ремонту деталей машин, продовження їхнього ресурсу та зниження витрат матеріалів і енергетичних ресурсів.

У роботі проведено аналіз існуючих методів відновлення деталей та обґрунтовано доцільність застосування плазмового напилення з подальшим оплавленням покриття. Для реалізації технологічного процесу запропоновано використання установки плазмового напилення УПУ-3Д та самофлюсуючого порошку ПГ-12Н-02. Досліджено вплив добавки боршлакованого компоненту до порошкового матеріалу на адгезійну міцність і твердість покриття.

Розроблено технологічні рекомендації щодо підготовки поверхні, режимів нагрівання та контролю якості покриття. Встановлено, що застосування запропонованої технології забезпечує підвищення адгезійної міцності покриття, покращення фізико-механічних властивостей і ефективне відновлення робочих поверхонь кулачкових валів.

Ключові слова: відновлення деталей, кулачковий вал, плазмове напилення, плазмове наплавлення, порошкові матеріали, самофлюсуючі порошки, адгезійна міцність, оплавлення покриття.

Abstract

The master's thesis is devoted to the development of a technology for restoring camshafts using plasma surfacing with powder materials. The relevance of the work is determined by the need to increase the efficiency of machine part repair, extend their service life, and reduce the consumption of materials and energy resources.

The study analyzes existing methods for restoring worn parts and substantiates the feasibility of using plasma spraying followed by remelting of the coating. For the implementation of the technological process, the use of the UPU-3D plasma spraying unit

and the self-fluxing powder PG-12N-02 is proposed. The influence of adding a boron-containing component to the powder material on the adhesion strength and hardness of the coating is investigated.

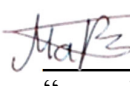
Technological recommendations for surface preparation, heating regimes, and coating quality control are developed. It is established that the proposed technology ensures increased adhesion strength of the coating, improved physical and mechanical properties, and effective restoration of camshaft working surfaces.

Keywords: parts restoration, camshaft, plasma spraying, plasma surfacing, powder materials, self-fluxing powders, adhesion strength, coating remelting.

**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
“ ” 2024 року

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

студенту Стазілову Костянтину Петровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка технології відновлення кулачкових валів ДВЗ

керівник роботи Лебедев Володимир Олександрович, професор НУК

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

затверджені розпорядженням ХФ НУК від “10” жовтня 2024 року № 19

2. Строк подання студентом роботи _____

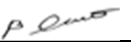
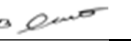
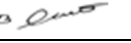
3. Вихідні дані до проекту Креслення виробу, матеріал сталь 40Х,

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) провести аналіз конструкції, матеріалу та методи відновлення деталей; 2) провести вибір матеріалів та режимів плазмового напилення з наступним оплавленням; 3) провести аналіз та вибір обладнання для напилення; 4) провести вибір оптимального матеріалу для відновлення кулачкових валів, 5) провести розробку технологічного процесу відновлення.

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

1) Загальний вигляд кулачкового валу. 2) Провести вибір методу відновлення. 3) Вибір матеріалів для наплавлення та хімічний склад і механічні властивості сталі. 4) Провести розрахунок ККД плазмотрону та термічного циклу ЗТВ. 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	д.т.н. Лебедєв В.О.		
2	д.т.н. Лебедєв В.О.		
3	д.т.н. Лебедєв В.О.		
4	д.т.н. Лебедєв В.О.		

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	10.10.2024	
2	Вибір матеріалів та дослідження властивостей покриття.	30.10.2024	
3	Розробка технологічного процесу відновлення валу	20.11.2024	
4	Вибір обладнання та контролю якості	01.12.2024	
	Графічна частина	14.12.2024	

Студент

(підпис)

Стазілов К.П.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Лебедєв В.О.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Вступ	8
1 Аналіз конструкції, матеріалу та методи відновлення деталей	9
1.1 Конструкція та її призначення.....	10
1.2 Характеристика основного металу.....	11
1.3 Аналіз методів відновлення деталей.....	13
1.3.1 Застосування наплавлення для відновлення деталей.....	14
1.3.2 Електродугове наплавлення.....	15
1.3.3 Способи легування наплавленого металу	16
1.3.4 Плазмова наплавка.....	18
1.3.5 Технологія плазмового наплавлення	19
1.4 Цілі та задачі дипломної роботи.....	22
2 Розробка технологічного процесу напилення.....	25
2.1 Вибір матеріалу для плазмового наплавлення.....	26
2.2 Вибір порошкового матеріалу	27
2.3 Вибір устаткування для плазмового напилення	31
2.4 Плазмове напилення з наступним оплавленням.....	38
2.4.1 Сутність способу, використовувані матеріали	38
2.4.2 Розрахунок необхідної кількості матеріалу для напилення	39
2.5 Розрахунок ККД плазмотрону.....	41
2.6 Вибір режиму плазмового напилення з урахуванням термічного циклу.....	43
2.6.1 Розрахунок термічного циклу напилення	43
2.6.2 Розрахунок очікуваних структур після напилення	48
2.7 Технологія та техніка процесу напилення.....	52
2.8 Розробка техпроцесу відновлення валів.....	54
2.9 Контроль якості нанесених покриттів	58
3 Дослідження властивостей плазмових покриттів.....	60
3.1 Визначення оптимального складу напиленого матеріалу	61

3.2 Поліпшення характеристик покриттів з самофлюсуючих порошків.....	62
3.3 Вибір якісного складу порошку	62
3.4 Визначення міцності зчеплення покриття з основою	63
3.5 Дослідження твердості покриттів	65
3.6 Дослідження мікроструктури отриманих покриттів.....	68
4 Загальні висновки по дипломній роботі	70
Перелік літератури.....	72
Додатки	74

					МП 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

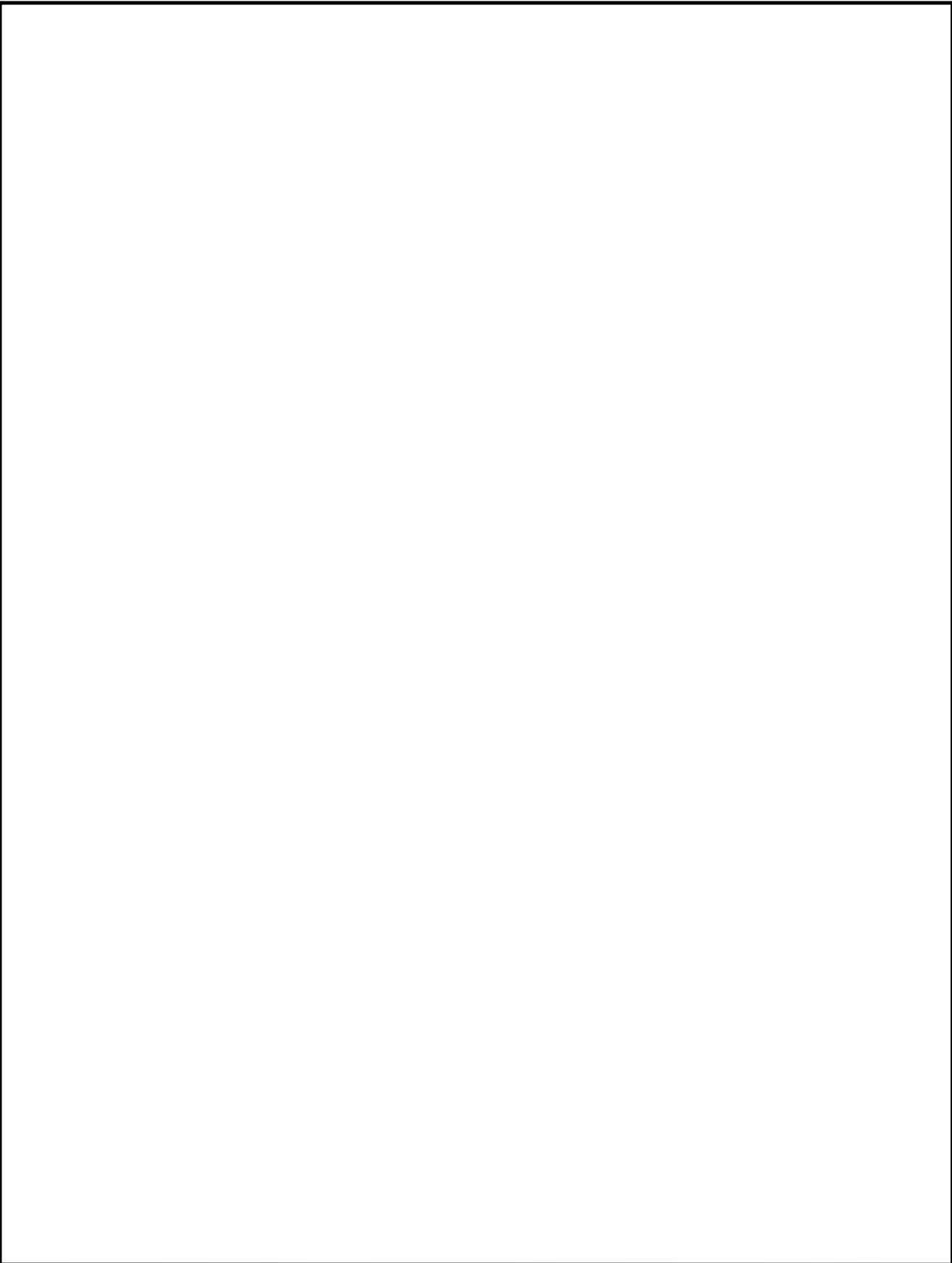
ВСТУП

Запорукою ефективного використання різноманітних машин та устаткування є високий рівень їх технічного обслуговування та своєчасного ремонту. Можливість використання сучасних технологій для відновлення вже відпрацьованих деталей, а також збільшення терміну служби наявних деталей машин і механізмів дозволяє значно підвищити техніко-економічні показники існуючих виробничих технологічних процесів.

Технології відновлення та підвищення терміну служби деталей машин і механізмів здатні забезпечити економію високоякісних та дорогих матеріалів, палива, енергетичних та трудових ресурсів; на рівні підтримувати рівень охорони навколишнього середовища. Для відновлення працездатності зношених деталей потрібно в кілька разів менше технологічних операцій. Слід виділити той факт, що використання сучасних відновлювальних технологічних операцій дозволяє багаторазово відновлювати початкові розміри та експлуатаційні властивості деталей; важливим моментом є можливість надання деталям нових властивостей, що позитивно відбивається на терміні служби відновлюваного обладнання.

Технологічні процеси відновлення деталей з використанням джерел високотемпературного нагріву, такі як наплавлення та напилювання, займають провідне місце при ремонті виробів, з їх допомогою відновлюють понад 80% всіх деталей.

					MP 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8



					МР 132.6121м.03.01.04. ПЗ									
Змін.	Арк.	№ документа.	Підпис	Дата										
Студент		Стазілов К.П.			1 Аналіз конструкції, матеріалу та методи відновлення деталей				Літ.		Арк.	Аркушів		
Консультант											9	16		
Керівник		Лебедев В.О.							ХННІ НУК					
Н. Контр.														
Зав.кафедр.		Матвієнко М.В.												

1.1 Конструкція та її призначення

Газорозподільний механізм двигунів внутрішнього згоряння забезпечує наповнення циліндрів горючою сумішшю і випуск відпрацьованих газів у відповідності з прийнятим для двигунів порядком роботи циліндрів і фазами газорозподілення. До деталей механізму відносяться: розподільний вал, клапани і направляючі втулки, пружини з деталями кріплення, важелі приводу клапанів.

Механізм газорозподілення тракторних двигунів [2] має мало відмінностей від аналогічного механізму автомобільних двигунів. Для тракторних двигунів є характерним використання механізму з розташуванням клапанів в голівці циліндрів, а розподільного валу – в блоці-картері з передачею руху за допомогою тяг та коромисел.

Така схема спрощує привід розподільного валу, а її основний недолік – висока інерційність – є несуттєвим для тракторного двигуна по причині малої частоти обертання.

Механізм газорозподілення тракторного двигуна СМД-14НГ – верхньо-клапанний. Рух обертання передається від колінчастого валу до розподільного через систему проміжних шестерень (від шестерні, встановленої на колінчастому валі, до шестерні, встановленої на розподільному валу).

Розподільний вал (рисунок 1.1) відштампований із сталі 40Х. Поверхня шийок та кулачків підвергається закалюванню за допомогою токів високої частоти.

Опірні шийки та поверхні кулачків загартовані до твердості 54-62 по Роквеллу (шкала С). Глибина загартованого слою 2-5 мм.

Розподільний вал має три опірних шийки і 8 керуючих кулачків, за допомогою яких, через систему важелів, здійснюється управління впускними та випускними клапанами циліндрів двигуна.

					МР 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10



Для забезпечення нормальної роботи газорозподільного механізму необхідна постійне змащування як опірних шийок, так і кулачків розподільчого валу.

1.2 Характеристика основного металла

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 тріщини і гартівних структур (мартенситу) тим вище, чим більше в сталі зміст легуючих елементів (таблиця 1.1 та таблиця 1.2).

Таблиця 1.1 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

					МР 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
						11
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.2 Механічні властивості сталі

Марка сталі	σ_B МПа	$\sigma_{0,2}$ МПа	δ_5 %	Ψ %	a_n МДж/м ²
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) [13].

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

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

Еквівалент по вуглецю $C_e = 0,81\%$ більше припустимого еквівалента $C_e = 0,45\%$, із цього можна зробити висновок, що при зварюванні (напилюванні) сталь 40X 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 напилюваного металу, ретельна підготовка напилюваної поверхні й напилюємих 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 розподільчого валу пред'являються наступні вимоги: величина деформацій валу після відновлення не повинна перевищувати 0,02 мм, поверхня повинна мати твердість HRC 45...50 і на поверхні не повинне бути раковин й інших дефектів.

Захисне покриття на 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.

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.

1.3 Аналіз методів відновлення деталей

Ремонт автомобільних деталей є відновлення всіх геометричних розмірів деталі, її форми та розташування поверхонь, а також забезпечення фізико-механічних властивостей у порівнянні з новою деталлю. Крім цього, при ремонті вирішується завдання підвищення довговічності та працездатності деталі [7, 8].

При ремонті автомобілів широко використовують газове наплавлення з присадкою прутків або дроту, газо порошкове наплавлення та газо полум'яне напилення з подальшим оплавленням. Переважне застосування отримала газо порошкова наплавка, так як порошки дозволяють у ширших межах, ніж дріт, регулювати склад покриттів, що наносяться, що сприяє підвищенню міцності їх зчеплення з основою. Цей спосіб дозволяє зміцнювати деталі складної конфігурації шаром мінімальної товщини (від 01 до 03 мм) без розведення основним металом, так як зона переходу становить всього 100-120 мкм [13]. Для наплавлення використовують сплави найрізноманітніших складів. Вимоги до властивостей металів наплавлення залежать від умов експлуатації деталей. В

					MP 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

даний час існує досить великий спектр порошкових матеріалів для наплавлення та напилення: порошки металів (вольфраму, алюмінію, молібдену, цинку), сплавів (свинцево-мідних, кобальтових, нікелевих), порошки різних сполучень та ін.

Серед різних наплавних матеріалів особливе місце займають зносостійкі матеріали, що мають високу твердість і зберігають її при високих температурах у процесі роботи.

У процесі відновлення автомобільних компонентів активно можуть застосовуватися самофлюсуючі порошкові сплави на основі нікелю. Найбільш поширені порошкові сплави наступних марок: ПГ-12Н-01, ПГ-12Н-02, ПР-Н77Х15С3Р2.

Зносостійкі покриття з порошкових сплавів системи Ni – Cr – В – Si – С, отримані методом газополум'яного напилення з подальшим оплавленням, мають досить складну структуру, що складається з твердого розчину на основі нікелю, багатокомпонентної евтектики, боридів, карбідів та силіцидів [7].

Однією з головних технологічних чинників, які впливають процес формування покриттів та його експлуатаційних властивостей, є товщина нанесеного шару матеріалу [8].

1.3.1 Застосування наплавлення для відновлення деталей

Наплавлення - це нанесення шару металу на поверхню заготовлі або виробу за допомогою зварювання плавленням. У разі застосування з цією метою зварювання тиском вживають термін «наварка» (плакування). Розрізняють виготовлювальну та відновлювальну наплавку.

Виробниче наплавлення (наварювання) служить для отримання нових біметалічних (багатошарових) виробів. Такі вироби складаються з основи (основний метал), що забезпечує необхідну конструкційну міцність, і напавленого робочого шару (напавлений метал з особливими властивостями (абразивна зносостійкість, термостійкість, корозійна стійкість і т.п.)).

					МР 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Відновлювальну наплавку (наварку) застосовують для відновлення початкових розмірів зношених чи пошкоджених деталей. У цьому випадку наплавлений метал за складом та властивостями може бути близьким до основного (відновна розмірна наплавка) або відрізнятися від нього (відновна зносо-стійка наплавка).

Наплавлений метал, внаслідок перемішування з основним металом і взаємодії з атмосферою дуги і шлаком [13] може в тій чи іншій мірі відрізнятися за складом від електродного (присадкового) металу.

Частка основного металу в наплавленому лежить у широких межах і залежить від способу та режиму наплавлення. Як правило, частку основного металу в наплавленому прагнуть звести до мінімуму. Її можна регулювати, змінюючи співвідношення швидкостей плавлення електродного і основного металів; вона зменшується зі збільшенням швидкості наплавлення, при застосуванні для наплавлення електродних стрічок або при коливальних рухах електрода.

Важливою характеристикою процесу є продуктивність наплавлення, яку вимірюють масою металу або площею поверхні, що наплавляються в одиницю часу. Крім продуктивності способи наплавлення характеризуються товщиною шару, наплавленого за один прохід.

1.3.2 Електродугове наплавлення

Як джерело нагрівання при електродуговому наплавленні використовують електричну дугу. Дугове наплавлення можна виконувати вручну покритими електродами або механізованими способами.

До основних способів дугового механізованого наплавлення відносять такі:

- автоматична під флюсом (одно-, дво- та багатоелектродна суцільним або порошковим дротом, електродною стрічкою);

					МР 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
						15
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- автоматична (одно-, дво- та багатоелектродна) та напіваавтоматична самозахисним порошковим дротом;

- автоматична самозахисна порошкова стрічка (одним або двома електродами);

- автоматична та напіваавтоматичну в захисних газах.

Найбільш широко в різних галузях промисловості [12] використовують автоматичне дугове наплавлення під флюсом одним дротом (суцільним, порошковим або стрічкою – холоднокатаним, порошковим, спеченим). Це досить універсальний спосіб, він забезпечує гарне формування та високу якість наплавленого металу. Легування наплавленого металу при цьому способі наплавлення здійснюється, як правило, через електродний матеріал, флюси, що легують, застосовують рідко.

Велике поширення набула також дугова наплавка самозахисними порошковими дротами. Стабілізацію дуги, легування та захист розплавленого металу від азоту та кисню повітря забезпечують за рахунок компонентів сердечника електродного матеріалу. Наплавлення самозахисними порошковими дротами вимагає суворого дотримання режимів, що рекомендуються для даного електродного матеріалу, особливо напруги дуги. При підвищенні напруги та відповідно довжини дуги погіршується захист наплавленого металу від навколишньої атмосфери, метал збагачується азотом та з'являються пори.

Використання в якості електродного матеріалу стрічок дозволяє підвищити продуктивність процесу наплавлення, а також знизити частку участі основного металу в наплавленому.

1.3.3 Способи легування наплавленого металу

На відміну від зварювання, при якому метал зварного шва за хімічним складом, як правило, близький основному металу, при наплавленні метал наплавленого шару за складом і властивостями в більшості випадків істотно відрізняється від основного.

					MP 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
						16
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

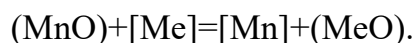
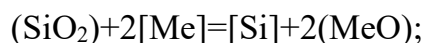
Найбільший ефект наплавлення дає у разі застосування високолегованих сталей і сплавів тільки для робочого шару деталі, при цьому деталь виготовляють з нелегованої маловуглецевої конструкційної сталі. Легувати наплавлений метал можна різними способами, причому в залежності від виду наплавлення легування можна проводити одним або декількома способами.

При виборі способу легування необхідно враховувати вимоги до точності та надійності отримання заданого складу наплавленого металу, стабільності складу при можливих коливаннях режиму наплавлення, його однорідності за обсягом наплавленого шару, економічності та зручності застосування методу легування.

Легують наплавлений метал при дуговому наплавленні:

- за рахунок обмінних реакцій між металом та оксидами, що входять до складу флюсів;
- через газову фазу;
- введенням легуючих добавок в електродний або присадний матеріали.

Прикладом легування за рахунок обмінних реакцій є марганцево- і кремнієво відновлювальні процеси при напавленні під високоактивними флюсами АН-348А і АН-60 з великим вмістом SiO_2 і MnO :



За ступенем зменшення спорідненості до кисню елементи, що вводяться до складу електродних покриттів, можна розташувати в наступний ряд: Ca, Al, Ti, Si, Mn, Fe. Виходячи із [11] спорідненості до кисню, кожен попередній елемент цього ряду відновлюватиме оксиди наступних елементів при температурах, до яких нагріваються рідкі шлаки та метал, у процесі наплавлення. Крім того, напрямок цих реакцій залежить також від концентрації реагуючих речовин, температури та активності окремих складових.

Прикладом легування через газову фазу може служити дугова наплавка електродом, що плавиться на повітрі або в азоті, при якій наплавлений метал

легується азотом. Таке легування буває корисним для сталей, що містять хром, титан, ванадій і деякі інші нітридоутворюючі елементи. Утворюючи з цими металами тверді та міцні нітриди, азот збільшує зносостійкість сталей.

Найбільшого поширення набуло легування наплавленого металу шляхом запровадження легуючих добавок в електродний чи присадочний матеріали.

1.3.4 Плазмова наплавка

Плазмова наплавка - це процес, при якому джерелом теплоти служить плазмова дуга, а присадковими або електродними матеріалами - суцільний або порошковий дріт, нерухома присадка у вигляді литих або спечених кілець, гранульовані порошки. Завдяки можливості регулювання в широкому діапазоні співвідношення між тепловою потужністю дуги та подачею присадкового (електродного) матеріалу, більшість способів плазмового наплавлення забезпечують достатню продуктивність (до 10 кг наплавленого металу на годину) при мінімальному проплавленні основного металу.

Важливою перевагою плазмового наплавлення є відмінне формування наплавлених валиків, стабільність їх розмірів: статистично встановлено, що у 95% наплавлених деталей відхилення товщини наплавленого шару від номінального розміру не перевищує 0,5 мм. У результаті суттєво скорочується витрата наплавних матеріалів, час наплавлення, а також завдяки малим припускам витрати на механічну обробку наплавлених деталей.

Плазмова наплавка забезпечує [11] високу працездатність деталей за рахунок відмінної якості наплавленого металу, його однорідності, а також сприятливої структури, що визначається специфічними умовами кристалізації металу зварювальної ванни.

					MP 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
						18
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3.5 Технологія плазмового наплавлення

У сучасній зварювальній техніці застосовують три схеми одержання плазми. Перша відповідає схемі стиснутої дуги прямої дії, коли анодом служить матеріал, що обробляється. Друга - стисла дуга непрямої дії виникає між вольфрамовим електродом і внутрішнім соплом плазмотрона, з якого випливає у вигляді плазмового струменя. Дуга непрямої дії (плазмовий струмінь) електрично не пов'язана з оброблюваним металом. Друга схема знайшла застосування при обробці не електропровідних матеріалів, а також при напиленні та загартуванні.

Найбільшого поширення набула третя схема з комбінованим підключенням плазмотрона до джерела живлення. У цьому випадку між вольфрамовим електродом і соплом анода запалюється допоміжна стиснута дуга непрямої дії, що володіє електропровідністю і утворює при зіткненні з струмоведучою оброблюваною деталлю стислу дугу прямої дії. Третя схема застосовується при зварюванні, наплавленні, різанні металів.

ККД при нагріванні стиснутою дугою прямої дії становить 30 – 75 %, непрямого: 10 – 50 %.

У звичайних умовах при прямій полярності стовп дуги між вольфрамовим електродом, що не плавиться, і деталлю в атмосфері захисного газу має вигляд конуса, розміри якого залежать від сили струму і напруги. Так як зі збільшенням сили струму та напруги стовп такої дуги має можливість розширюватися, то значної зміни температури та ступеня іонізації газу не спостерігається. Якщо якимось чином перешкодити електричній дузі зайняти природний об'єм і примусово стиснути її, залишивши в той же час постійним зварювальний струм, то і кількість електронів, що проходять по перерізу стовпа дуги, не зміниться, а кількість пружних і непружних зіткнень збільшиться, тобто . підвищиться ступінь іонізації, зростуть щільність та напруга дуги, що спричинить значне підвищення температури.

					MP 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Таким чином, наявність у плазмових пальників стабілізуючого водо охолодженого каналу сопла є основною відмінністю від звичайних пальників, що застосовуються для зварювання серед захисних газів.

Незважаючи на високу температуру плазмового струменя, пальники працюють досить стійке. Це пояснюється тим, що сопло, виготовлене з матеріалу з високою теплопровідністю (червона мідь), охолоджується водою, що циркулює навколо нього. Вода, що охолоджує стінки сопла, перешкоджає нагріванню та іонізації зовнішнього шару газу, що проходить через дугу. Тому зовнішній газовий шар має низьку температуру і через це, на противагу іншій частині газового потоку, не є електропровідним. Він утворює проти електричний та проти термічний ізолюючий шар між стінками сопла та потоком плазми. Зі збільшенням відстані від центру струмопровідного каналу температура знижується.

Стиснена дуга непрямої дії може мати різну довжину. У середині сопла вона стиснута, проте при виході за його межі починає поступово розширюватися до розмірів, рівних вільній дузі. При цьому розширення відбувається тим швидше, чим сильніше стиснутий розряд і чим менша витрата газу. З відривом 25 - 30 мм від нижнього зрізу сопла стиснена дуга розширюється до вільних розмірів. Найчастіше плазмову наплавку виконують на постійному струмі прямий, значно рідше зворотної полярності.

Розроблені способи плазмового наплавлення з присадковим або електродним дротом (рис. 1.2) дозволяють забезпечувати мінімальне проплавлення основного металу (частка основного металу в першому наплавленому шарі становить 0,5 - 2,5%).

З існуючих способів плазмової наплавки найбільше поширення в промисловості отримала плазмово-порошкова наплавка, яка є найбільш універсальним серед інших способів плазмового наплавлення. Завдяки малому проплавленню основного металу необхідну твердість і заданий хімічний склад наплавленого металу забезпечують на відстані 0,3 - 0,5 мм від поверхні сплавлення,

					MP 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

що дозволяє обмежитися одношаровою наплавкою там, де електродуговим способом необхідно наплавити 3 - 4 шари.

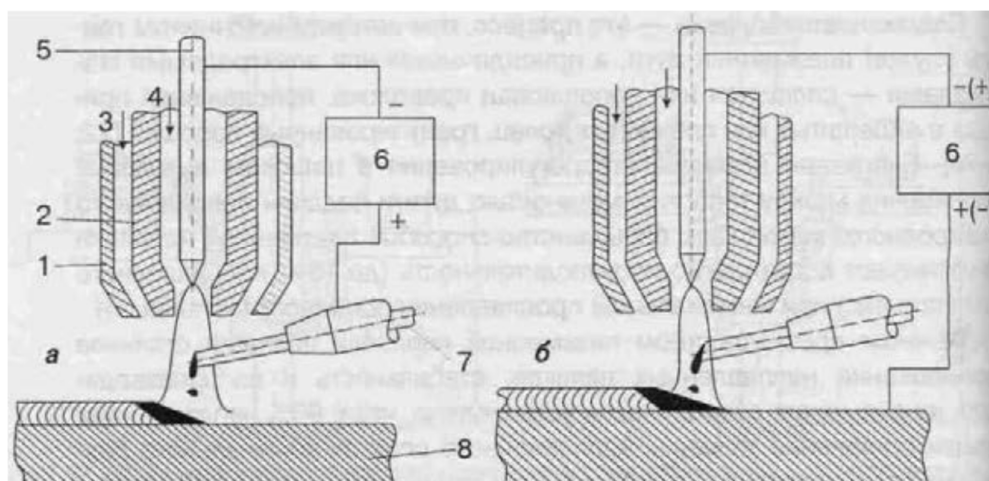


Рисунок 1.2 Схема плазмового наплавлення з використанням електродного (а) або присадного (б) дроту: 1 – захисне сопло; 2 – плазмоутворююче сопло; 3 – захисний газ; 4 – плазмоутворюючий газ; 5 – електрод; 6 – джерело живлення; 7 – дріт; 8 – наплавлюваний виріб

При плазмово-порошковій наплавці присадкою служать гранульовані металеві порошки, які подаються в плазмотрон транспортуючим газом за допомогою спеціального живильника. Для наплавних плазмотронів розроблено три схеми введення порошку в дугу (рис. 1.3):

- розподілений через кільцеву щілину між соплами;
- локальний бічний через канал (канали) у торці сопла;
- аксіальний через порожнистий електрод.

У промислових установках застосовують два перші способи, останній, незважаючи на переваги з точки зору використання порошку, не знайшов практичного застосування через малу надійність і низьку стійкість електрода, через отвір в якому подається присадковий порошок.

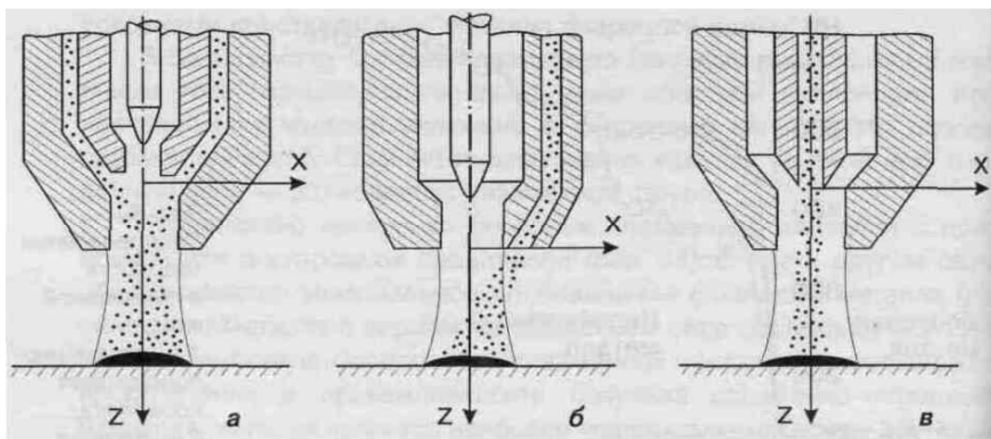


Рисунок 1.3 Схеми підведення порошку в дугу при плазмово-порошковій наплавці: а – розподілений через кільцеву щілину між соплами; б – локальний бічний через канал у торці сопла; в – аксіальний через порожнистий електрод

1.4 Цілі та задачі дипломної роботи

Попередній аналіз літературних даних показав, що розвитку досліджень по використанню методів газо-термічного напилювання для зміцнення й відновлення робочих поверхонь деталей машин і механізмів приділяється велика увага, як за рубежом, так й у нашій країні. Намітилися певні тенденції по застосуванню цих методів у машинобудуванні, суднобудуванні й судноремонті. Є значні успіхи при виробництві й ремонті ДВЗ і дизелів.

У якості напиляємих матеріалів широке поширення одержали багатоконпонентні порошки на основі карбідів, силіцидів, оксидів, в основному, це карбід хрому, дисульфід молібдену, оксид алюмінію. Широко застосовуються порівняно дорогі само флюсуючі порошки на основі кобальту, нікелю, хрому. Вони містять елементи, що поліпшують змоченість й які забезпечують самофлюсування рідкого металу. Для чого роблять нагрівання покриття разом з деталлю до високих температур, близько 1000°C .

Для успішної реалізації можливостей газо-термічного напилювання поряд зі створенням надійного високопродуктивного устаткування необхідно розробляти нові ефективні матеріали для напилювання й способи гнучкого керування властивостями покриттів.

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 (знос шийок та кулачків валу не більше 2,0 мм), можна зробити висновок, що найбільш прийнятним і перспективним методом відновлення валів є метод плазмового напилення. Плазмове напилення дозволяє отримати рівномірне покриття без яскраво вираженої гребеністості. Це в свою чергу дає можливість знизити витрату матеріалу, що напилюється, в порівнянні з дуговою наплавкою.

Застосовуючи плазму - високотемпературне джерело нагрівання - можна наносити покриття практично із всіх тугоплавких матеріалів, які в плазмовому струмені не сублімують і не перетерплюють інтенсивного розкладання.

Метою даної роботи є вибір матеріалу з самофлюсуючих сплавів на основі Ni-Cr-B-Si, метод оплавлення покриття (з одночасним чи послідовним оплавленням). Порівняти механічні властивості отриманих покриттів і розробити технологію відновлення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- обґрунтувати можливість підвищення ресурсу напилених покриттів;
- розробити технологічний процес відновлення робочих поверхонь;
- вивчити принцип вибору складу порошку для напилення зносостійких покриттів;
- перевірити можливості застосування порошків для напилення покриттів;

					MP 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
						23
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- розробити методи контролю отриманих покриттів.

					MP 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
						24
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					MP 132.6121м.03.02.04.ПЗ				
Змін.	Арк.	№ документа.	Підпис	Дата					
Студент		Стазілов К.П.			2 Розробка технологічного процесу напilenня		Літ.	Арк.	Аркушів
Консультант								25	35
Керівник		Лебедев В.О..					ХННІ НУК		
Н. Контр.									
Зав.кафедр.		Матвієнко М.В.							

2.1 Вибір матеріалу для плазмового наплавлення

(1) Однією з найактуальніших проблем сучасного матеріалознавства є розробка нових конструкційних матеріалів, що мають високі технологічні властивості і здатні витримувати все більш жорсткі умови роботи. Відомо, що експлуатація деталей машин є причиною їхнього зносу, а це, у свою чергу, вимагає заміни та збільшує собівартість продукції, що випускається. Крім того, виготовляти деталь цілком з дорогого зносостійкого матеріалу недоцільно, так як це пов'язано з високою вартістю та складністю обробки поверхні. Збільшити термін служби відповідальних деталей можна шляхом утворення на поверхні шару покриття, що володіють високим рівнем необхідних властивостей.

Для формування покриттів, стійких до абразивного зносу, використовують різні матеріали. Відомо, що сплави, що самофлюсуються на основі нікелю, а саме сплави системи Ni-Cr-Si-B, мають комплекс високих властивостей. Нікель характеризується досить високими показниками пластичності та міцності [17]. Висока корозійна стійкість на повітрі, у прісній та морській воді, а також у багатьох кислотах пояснюється утворенням на поверхні нікелю щільної тонкої плівки NiO [2]. Для підвищення стійкості до окисних середовищ, а також жаростійкості в нікель вводять хром [2, 3]. Добавки бору та вуглецю (який також присутній у цих сплавах у невеликій кількості – від 0,3 до 1,2 % залежно від марки порошку [дубової]) забезпечують формування різноманітних хімічних сполук у нікелевій матриці, наприклад, боридів хрому та нікелю та карбідів хрому, що сприяє підвищенню твердості та зносостійкості [3, 5]. Крім того, введення бору і кремнію знижує температуру плавлення сплавів і покращує властивості [2, 3, 6].

Поєднання високої зносостійкості, корозійної стійкості та жаростійкості обумовлює застосування сплавів системи Ni-Cr-Si-B у таких галузях промисловості, як аерокосмічна та літакобудування, атомна, нафтова, хімічна та ме-

					MP 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
						26
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

талургія. Існують різні способи нанесення покриттів з самофлюсуючих сплавів: наплавлення газополум'яне, плазмово-дугове і термічне напилення (плазмове, полум'яне) [дубовой]. Найбільш широке застосування знайшла технологія плазмового напилення, якій останнім часом приділяється підвищена увага. Дана технологія дозволяє не тільки формувати покриття на поверхнях будь-якої складності, а й відновлювати найбільш зношені ділянки деталей. Незважаючи на перелічені переваги, для плазмових покриттів характерна наявність різного роду дефектів, наприклад, оксидних плівок, пор, частинок, що не розплавилася [17].

Перелічені недоліки обмежують застосування плазмових покриттів в агресивних середовищах та сприяють зниженню зносостійкості. Крім того, покриття, отримані за цією технологією, характеризуються структурною та фазовою неоднорідністю. Одним із способів підвищення якості плазмових покриттів є подальше оплавлення. На сьогоднішній день виконано значну кількість робіт, присвячених технології плазмового напилення сплавів, що самофлюсуються, але практично не йдеться про структурні перетворення, що відбуваються в результаті оплавлення сплавів обраної системи. Таким чином, метою даної роботи є дослідження впливу температури оплавлення на структуру і властивості покриттів, що самофлюсуються.

2.2 Вибір порошкового матеріалу

Для плазмового наплавлення застосовують порошки сплавів. на основі нікелю, кобальту, заліза та міді. Виробляють порошки переважно методом розпилення струмені рідкого металу інертним газом, що забезпечує їм відмінні зварювально-технологічні властивості - хорошу сипкість, низький вміст кисню (0,02 - 0,10 %) та ін. У невеликих масштабах (для виробництва порошків тугоплавких матеріалів) використовують термовідцентрове розпилення. Порошок є універсальним наплавним матеріалом, тому що може бути отриманий

					MP 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

практично з будь-якого наплавного сплаву, незалежно від міцності, твердості та інших його властивостей.

Слід зазначити, що багато складів порошоків, розроблених та рекомендованих для газопорошкового наплавлення та плазмового напилення, можна успішно використовувати і для плазмового наплавлення.

Для плазмово-порошкової наплавки застосовують нікелеві сплави системи легування Ni-Cr-Si-B. Зміст хрому у цих сплавах може коливатися не більше 1 – 29 %. Важливими легуючими елементами є бор та кремній, зміст яких зазвичай становить 1- 4%. Присадки бору та кремнію знижують температуру плавлення хромонікелевих сплавів та забезпечують здатність до самофлюсування. Одночасно ці елементи підвищують твердість та зносостійкість наплавленого металу. Вуглець і залізо містяться в нікелевих сплавах у невеликих кількостях (до 1 % вуглецю та до 4,5 % заліза). Деякі зі сплавів містять також у невеликих кількостях вольфрам, молібден, марганець, мідь та інші легуючі елементи.

З великої кількості розроблених в даний час нікелевих сплавів найбільшого поширення для плазмової наплавки отримали порошки самофлюсованих Ni-Cr-Si-B-C-сплавів (табл. 2.1), відомих під назвою "Колмоної".

Торезький завод наплавочних твердих матеріалів Мінкольормету України освоїв за ліцензією фірми «Кастолін» (Швейцарія) серійне виготовлення металевих порошоків, 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, ПГ-12Н-02, ПС-12НВК-01; порошок гранульований та композиційні порошки термореагуючі (ПТ) для газотермічного напилення без наступного оплавлення.

					MP 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Хімічний склад порошків повинен відповідати нормам, зазначеним в табл.2.1 [14].

Таблиця 2.1 Хімічний склад гранульованих порошків

Марка порошку	Хімічні елементи, %					HRC (HRB)
	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	55-62
ПГ-10Н-04	-	1,2-1,8	2,3-2,8	0,2-0,6	<0,1	(89-96)
ПГ-12Н-01	8,0-14,0	1,7-2,8	1,2-3,2	2,0-5,0	0,3-0,8	35-40
ПГ-12Н-02	10,0-16,0	2,0-4,0	3,0-5,0	3,0-5,0	0,4-0,8	45-50
ПГ-12Н-03	12,0-18,0	2,5-4,5	3,5-5,5	3,5-5,0	0,5-1,5	55-62

Порошки ПГ-12Н-01, ПГ-12Н-02, ПГ-10Н-01 складені на нікелевій основі системи Ni-Cr-B-Si-C-Fe. Твердість регулюється змістом, В, Cr. Напилені сполуки мають низький коефіцієнт тертя, високу припустиму робочу температуру (до 800°C); їх застосовують для напилення та напилення з оплавленням при відновленні деталей з вуглецевих, корозійностійких сталей, чавуну типу «вал», поршневих насосів, фасок клапанів, шийок колінчастих валів, штовхачів. При твердості до HRC 40 покриття обробляють різанням понад HRC 40 - шліфуванням.

Порошки ПГ-10Н-03, ПГ-10Н-04 системи Ni-B-Si низьковуглецеві, відсутність у їх складі хрому значно знижує їх твердість. Нанесені покриття мають високу корозійну стійкість, добре опираються ударним навантаженням. Їх застосовують для відновлення посадкових місць під підшипники, зубчастих коліс, кулачкових муфт, штампового інструменту. Покриття добре обробляються різанням.

Метал, наплавлений нікелевими самофлюсуючими сплавами, має гарну зносостійкість при кімнатній і підвищених температурах, особливо в умовах тертя металу по металу, жароміцністю та жаростійкістю. Він також стійкий

проти корозії в розчинах деяких кислот (оцтової, мурашиної, лимонної тощо), в каустичній соді та інших агресивних середовищах.

Зі збільшенням вмісту вуглецю, бору та кремнію твердість наплавленого металу підвищується, а його структура змінюється від доєвтектичної, що складається з α -твердого розчину на основі нікелю і складної евтектики, до заєвтектичної, в якій поряд із цими структурними складовими є також бориди хрому, складні карбіди та карбобориди.

Наплавлений метал з доєвтектичної та евтектичної структурами краще для роботи в парах тертя і при значних ударних навантаженнях, із заєвтектичною структурою – при абразивному зношуванні.

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-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 800⁰С. 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 700⁰С. Товщина покриття до 2 мм. Обробляється шліфуванням. Застосовується для зміцнення та відновлення інструменту, шийок кулачкових

					MP 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

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- В-Si. Наноситься на деталі з протих 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 НВ 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]

2.3 Вибір устаткування для плазмового напилення

У цей час створено велику кількість типів установок для плазмового напилення порошковими матеріалами, використовуваних у різних галузях промисловості. До основних відмітних ознак устаткування плазмового напилення можна віднести наступне:

- середовище, у якому провадиться напилення - на атмосфері, у вакуумі, у захисному газі, в окисному газі й т.п.;
- ступінь автоматизації - установки з ручним, напівавтоматичним, програмним автоматичним керуванням;
- число робочих позицій - однопозиційні й багато позиційні установки.

При виборі плазмового устаткування для нанесення порошкових матеріалів необхідно керуватися техніко-технологічними вимогами, які загалом можуть бути сформульовані в такий спосіб:

					МР 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

- устаткування повинне забезпечувати одержання рівномірних покриттів з високою якістю й міцністю;
- обране устаткування повинне мати великий термін служби, високу надійність і бути зручним в експлуатації;
- устаткування повинне відповідати всім вимогам санітарно-гігієнічних умов праці й охорони навколишнього середовища;
- габарити й маса повинні бути мінімальними. [8]

Покриття наносять за допомогою установок, що випускає вітчизняна промисловість - УПУ-3Д, УПМ-5-68, УПМ-6, "Київ-7" й ін.

Із застосовуваного закордонного встаткування найбільший інтерес представляють установки фірм "Метко" (США - Італія), "Плазма-Технік АФ" (Швейцарія), Костолин - Ютеник" (Швейцарія). Основні позитивні риси устаткування цих фірм: висока точність підтримки й відтворення при повторних включеннях заданих робочих параметрів [22]. Загальні недоліки для закордонного устаткування: висока вартість, необхідність використання дорогих і порівняно дефіцитних газів особливої чистоти.

Технічні характеристики установок, для плазмового напилення покриттів, що випускають вітчизняною промисловістю наведені в таблиці 2.4.

Установка УПУ-3Д призначена для нанесення корозійностійких, зносостійких, ізоляційних і покриттів інших типів, на поверхню деталей методом плазмового напилення порошкових матеріалів, а так само із дроту по схемах «дріт нейтральний», «дріт - анод» [22].

У комплект установки УПУ-3Д входять: джерело живлення ИПИ 160/600, пульт, який дублює шафу керування, головка для металізації дротом, плазмотрони для напилення порошкових матеріалів, двох типів ПП і ПН, роторний порошковий дозатор, відцентровий вихровий насос.

Таблиця 2.2 Технічні характеристики установок для плазмового напилення

					МР 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Показники	Модель установки		
	УПУ-3Д	УПМ-5-68	УПМ-6
Споживана потужність установки, кВт	До 30	30	30
Витрата плазмоутворюючого газу, м ³ /год	3 - 4	3 - 4	3 - 4
Номинальний струм, А	до 600	500	500
Продуктивність напилення, кг/год	3,5 - 5	Al ₂ O ₃ -3 W - 4	Al ₂ O ₃ -4 W - 7
Витрата води на охолодження плазмотрону, л/хв	8 - 10	не менш 5	3 - 5
Коефіцієнт використання матеріалу	до 0,8	0,6 - 0,8	0,6 - 0,8
Тиск холодної води, кПа	400	300	300
Габаритні розміри пульта керування, мм	1650x700x 450	1260x400x 360	1640x1100x 400
Маса, кг	125	130	256

У порівнянні з установкою УПУ-3Д установка УМП-5-68 більш проста, однак при її експлуатації потрібні висококваліфіковані фахівці, що для серійного виробництва не прийнятно. Крім того, ця установка поставляється без джерела живлення, у неї низька надійність, невеликий ресурс роботи, недосконалий порошковий дозатор.

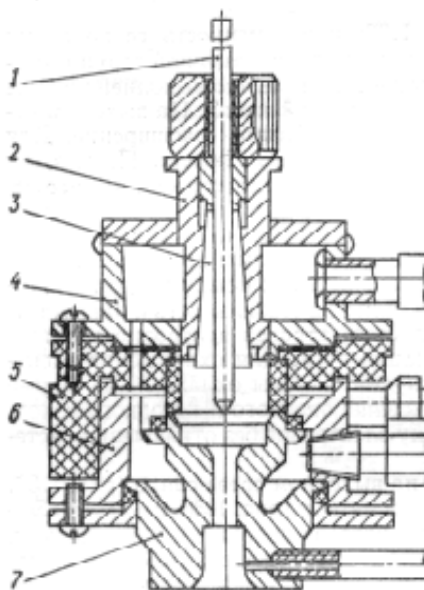
Установка УМП - 6 призначена для нанесення теплозахисних, жаростійких, електроізоляційних покриттів з керамічних і металевих порошків, а також зносостійких покриттів з наступним оплавленням.

Робочим інструментом установки УМП-6, як і будь-якої іншої установки плазмового напилення, служить плазмотрон, що генерує високошвидкісний високотемпературний потік іонізованого газу.

Апаратура, що випускається серійно, для плазмового напилення (УМП-5-68, УПУ-3Д, "Метко" й ін.) в основному базується на плазмотронах з дугою самоустановлювальної довжини або із профільованими каналами. При цьому використовується вольфрамовий катод і мідний анод. Інтенсивне окислювання вольфраму в кисневмісних газах дозволяє використовувати в якості плазмоутворюючих газів - тільки інертні або слабо реагуючі гази, звичайно це аргон, азот, водень й їхньої суміші.

Плазмотрони з дугою самоустановлювальної довжини мають падаючу вольтамперну характеристику. Їх характерна конструктивна ознака - порожні циліндричні електроди. Шунтування дуги на стінках каналу являє причиною високого рівня пульсацій параметрів потоку (до 30% по амплітуді й від 0,3 до 18 кГц по частоті) [23].

Плазмотрони по конструкції можна розділити на одне - і багатосекційні. Так, наприклад, плазмотрон ПН-14М має шість міжелектродних вставок.



1 - катод; 2 - втулка; 3 - цанга; 4 - кришка; 5 - корпус; 6 - стакан;
7 - сопло.

Рисунок 2.1 Плазмотрон для наплення порошкових матеріалів 0890-6011

Багатосекційні плазмотрони дозволяють збільшити довжину дуги за допомогою ізолюваних друг від друга секцій і зменшити теплові втрати в стінках каналу шляхом вдування робочого газу в канал через межсекційні зазори.

До переваг багатосекційних плазмотронів належить можливість реалізації стійких режимів на висхідних ділянках вольтамперних характеристик. Амплітуда пульсацій у них не перевищує 13-16% [21].

					МР 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Характеристики односекційного й багатосекційного плазмотрону ПП-25 і ПН-14М представлені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.3 Характеристики плазмотронів

Параметри	ПП - 25	ПН-14М
Максимальний струм, А	400 (на азоті)	400 (на Ar)
Плазмоутворюючі гази	азот, аргон, гелій, водень	аргон
Витрата плазмоутворюючого газу, л/хв	30 -100	24 -80
Максимальна потужність, кВт	30	50
Дисперсність застосовуваних порошків, мкм	10 -200	20 -160
Продуктивність напилення (Al ₂ O ₃), кг/год	1 - 2	4
Дистанція напилення, мм	100 - 150	150 - 300
Витрата води на охолодження, л/хв	8 - 10	10
Габаритні розміри, мм	73x46x240	55x55x110
Маса, кг	0,55	0,7

У цей час розроблена установка Київ-7. Установка призначена для плазмового напилення одно-, двокомпонентних покриттів з порошкових керамічних і металевих матеріалів на зовнішні металеві поверхні і для наплавлення самофлюсуючих твердих сплавів. Технічні характеристики установки наведені в таблиці 2.4.

Установка Київ-7 (рисунок 2.2) має блочно-модульну структуру й складається з наступних блоків:

- блоку керування з колекторним модулем;
- модуля горючого газу;
- блоку подачі порошків;
- блок плазмотрона;
- блок електроживлення.

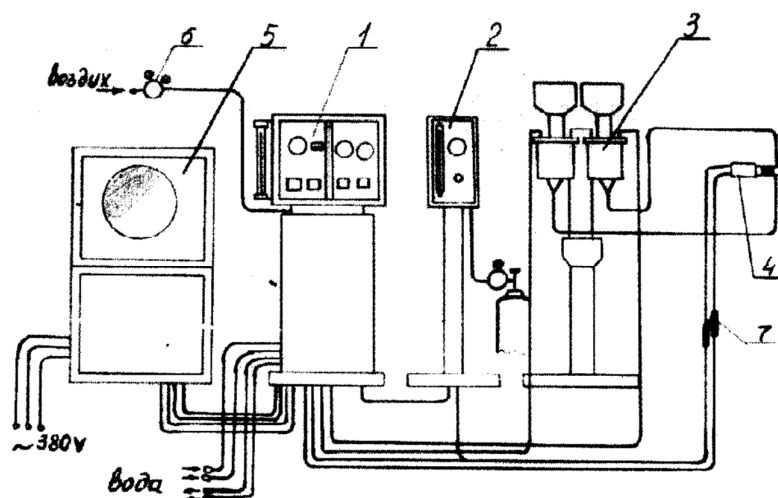
Таблиця 2.4 Технічна характеристика установки Київ-7

Найменування показника	Норма при використуванні потужності, кВт	
	40	80

Напруга живлення пульта блоку керування, В	220	
Частота обертання ротора живильника, об/хв		
не менш	1/60	
не більше	7/60	
Маса установки з обліком комплектуючих, кг	1150	
Габаритні розміри, мм:		
блок керування	600*600*1600	
блок подачі порошків	600*700*1850	
модуля горючого газу	420*600*1600	
Рівень звуку в зоні роботи оператора, дБ;		
при роботі у відкритій кабіні	125	
при роботі в камері	80	
При напилюванні самофлюсуючихся сплавів		
робоча напруга, В при роботі:		
на суміші повітря із пропан бутаном	200-215	230-255
на азоті	160-180	170-190
Робочий струм, А при роботі:		
на суміші повітря із пропан бутаном	180-210	280-305
на азоті	220-250	280-305
Витрата плазмоутворюючого газу, м ³ /ч:		
повітря	4,5-4,8	5,0-8,0
пропан бутану	0,1-0,2	0,2-0,3
азоту	3,8-4,-	4,0
Робочий тиск плазмоутворюючих газів, мПа		
стисненого повітря, азоту	175-200	280-320
пропан бутану	110-140	260-300
Коефіцієнт використання матеріалу, не менш	0,7	
Відстань від плазмотрона до напиленої поверхні, мм	150-250	180-300
Розміри часток порошкових матеріалів для		
напилювання, мкм.	40-160	

Блок керування призначений для контролю готовності комплексу плазмової апаратури, пуску й зупинки процесу напилювання, візуального спостереження й регулювання параметрів режиму, а також для передачі до плазмотрону електричного живлення, плазмоутворюючих газів, охолоджувального середовища.

					MP 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36



1-блок керування з колекторним модулем (БУК); 2-модуль горючого газу; 3-блок подачі порошків (БПП); 4-плазмотрон; 5-блок електроживлення (БЭП); 6-кисневий редуктор; 7-змішувач.

Рисунок 2.2 Загальний вид установки Київ-7

Блок подачі порошків призначений для подачі й дозування одного або двох різнорідних порошкових матеріалів у ручному або автоматичному режимах по заздалегідь заданій програмі.

Модуль горючих газів призначений для подачі й виміру витрати природного газу або пропан бутану (при роботі на азоті не використовується).

Плазмотрон призначений для перетворення електричної енергії в теплову у вигляді плазмового струменя, у якому відбувається розігрів і розгін порошкових матеріалів.

У комплект установки входять:

- плазмотрон уніфікований для напилювання ПУН-1УХЛ4 Т390.20.000 з комплектом ЗИП;
- кисневий редуктор ДКП-1-65;
- редуктор пропановий;
- змішувач із клапанами;
- шланг повітряний,

- шланг горючого газу;
- кабель силовий.

2.4 Плазмове напилення з наступним оплавленням

При напиленні площа безпосереднього контакту між частинками та між частинками та підкладкою незначна, що є основною причиною пористості шару, міцність якого на порядок нижча від наплавлених покриттів.

При впливі на такий шар порівняно низьких навантажень відбувається його відшарування. Для поліпшення зчеплення напилених покриттів і доведення їх міцності, близької до міцності шарів наплавлення, напилені покриття піддають подальшому оплавленню.

2.4.1 Сутність способу, використовувані матеріали

Процес отримання покриттів плазмовим напиленням з наступним оплавленням складається з трьох операцій:

- підготовка порошку та поверхні;
- напилення;
- оплавлення.

Для підготовки поверхні можна використовувати будь-які методи обробки, які забезпечують максимальний коефіцієнт напилення матеріалів. Для подальшого оплавлення придатні такі напилені тверді сплави на нікелевій основі, які мають здатність до самофлюсування. Вони мають низьку температуру плавлення (980 - 1080°C), а наявність у їх складі бору та кремнію сприяє самофлюсуванню та хорошій змочуваності поверхні оплавленого виробу. Самофлюсування відбувається за рахунок розкислювачів (кремнію та бору), які при оплавленні пов'язують кисень, утворюючи боросилікатні шлаки (B_2O_3 , SiO_2), що легко спливають на поверхню покриття.

З метою оплавлення покриття, що напилюється, рекомендується нагрівати до температури, при якій відбувається характерне «запотівання» шару,

					MP 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

що виражається в появі на оплавлених ділянках блискучої поверхні. При нагріванні таких покриттів за рахунок розплавлення легкоплавкою складової структури - евтектики - рідка фаза з'являється за 100 - 150 ° С до їхнього повного розплавлення. Вихідні складові структури сплавів (твердий розчин та карбіди) залишаються у твердому стані та зберігають загальну цілісність покриттів. Рідина, що виникла, заповнює пори, що утворилися при напиленні, забезпечуючи дифузію елементів, в результаті чого відбувається остаточне формування структури покриття. При цьому самофлюсні елементи - бор і кремній - дифундують в основний метал, а залізо з основного металу дифундує в покриття. Перегрівати покриття до повного розплавлення не слід, тому що в цьому випадку первинні кристали карбідів і боридів хрому переходять у рідкий розчин і при подальшій кристалізації утворюють грубішу структуру, що погіршує якість покриття.

Висока вартість хромонікелевих порошків обмежує використання плазмового способу напилення з подальшим оплавленням стосовно відновлення деталей тракторів, автомобілів і сільськогосподарських машин. Самофлюсних твердих сплавів на основі заліза поки немає, і напилені ними покриття не піддаються оплавленню.

Основна вимога, яка повинна витримуватися при оплавленні, - це рівномірне нагрівання поверхні деталі та шару покриття. При цьому для успішного перебігу дифузійних процесів насамперед необхідно підвести до деталі достатню кількість теплоти.

2.4.2 Розрахунок необхідної кількості матеріалу для напилення

Кількість порошку, необхідного для напилення поверхні кулачка розподільного валу відповідає витратам матеріалу, що визначається за формулою

$$m = m_n / \eta$$

де m_n - маса напиленого покриття, кг;

η - ефективність напилення, $m = 0,7$

					МР 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

L – протяжність покриття, яке дорівнює 23,5 мм або 2,35 см.

Тоді маса напиленого покриття на один кулачок може бути визначена за формулою:

$$m = S \cdot \rho \cdot L / \eta, \text{ г}$$

Площа поперечного перетину покриття

$$S = \pi \cdot D^2/4 - \pi \cdot d^2/4, \text{ см}^2$$

де: D та d – діаметри кулачку після напилення (38,92 мм) та до напилення (34,92 мм);

$$S = \pi \cdot 38,92^2/4 - \pi \cdot 34,92^2/4 = 1189,1 - 957,23 = 231,8 \text{ мм}^2 = 2,32 \text{ см}^2$$

Оскільки на розподільному валу 8 кулачків, маса напиленого покриття становитиме:

$$m = 8 \cdot 2,32 \cdot 2,35 \cdot 8,6/0,7 = 535,8 \text{ г}$$

Таким чином, при напилюванні витрати порошку на один розподільний вал становитиме 535,8 г.

2.5 Розрахунок ККД плазмотрону

ККД плазмотрону (η) змінюється залежно від витрати газу і струму дуги від 0,2 до 0,8. При малих витратах газу, коли формується ламінарна течія, ККД плазмотрону (0,8...0,5). При витраті газу, яка складає більш 0,6 г/с ККД дорівнюється 0,5...0,4. Розрахунок проводиться за формулою:

$$\eta = 2,48 \cdot 10^5 \cdot I^{-4} + 0,097 \cdot I^{0,25} \cdot \sigma^{-0,38} \text{ г/с} \quad (2.1)$$

де I – струм дуги, А; σ – витрата газу, г/с.

Визначимо витрату газу. Для напилення необхідна витрата газу складає 10 л/хв. Необхідно перевести у г/с, це буде:

$$\sigma = \frac{10 \cdot A_{Ar}}{60 \cdot 22,4}, \text{ г/с} \quad (2.2)$$

де

A_{Ar} – вага моля Ar, $A_{Ar} = 39,9$ г;

22,4 – об'єм одного моля, л

					МР 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
						41
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma = 10 \cdot 39,9 / 60 / 22,4 = 0,3 \text{ г/с}$$

Визначимо розрахункові величини (η) в залежності від току. Розрахункові дані зведемо у таблицю 2.5:

Таблиця 2.5 Визначення ККД плазмотрону

I, А / σ , г/с	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
150	0,626	0,537	0,481	0,442	0,413	0,389	0,370
200	0,673	0,577	0,517	0,475	0,443	0,418	0,397
250	0,711	0,610	0,546	0,502	0,468	0,442	0,420
300	0,744	0,638	0,572	0,525	0,490	0,462	0,439
350	0,773	0,663	0,594	0,546	0,509	0,480	0,457
400	0,800	0,685	0,614	0,565	0,527	0,497	0,472
450	0,824	0,706	0,633	0,581	0,542	0,512	0,486

По результатам розрахунку побудуємо залежність ККД від струму і витрат плазми утворюючого газу.

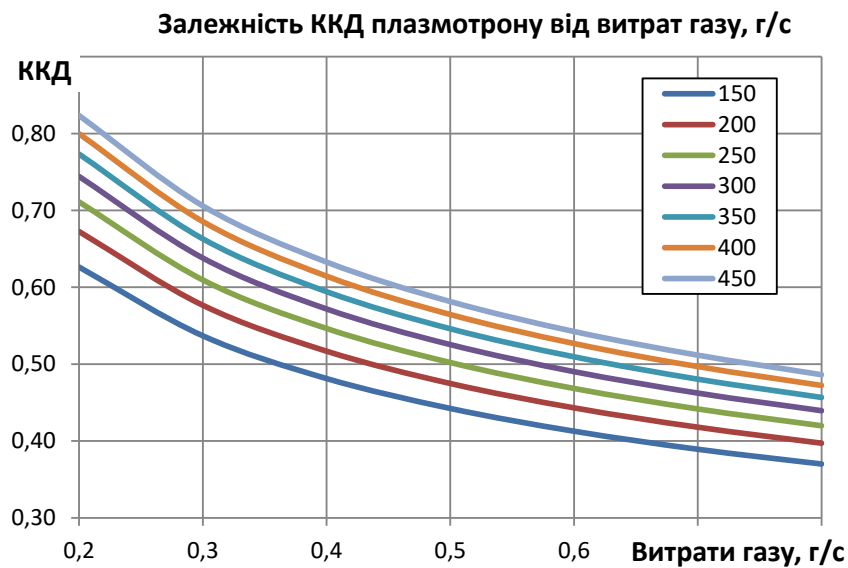


Рисунок 2.4 Визначення ККД плазмотрону.

2.6 Вибір режиму плазмового напилення з урахуванням термічного циклу

У цей час для розрахунку режимів плазмового напилення сплавами, що самофлюсуються, з наступним оплавленням відсутні формули розрахунку основних параметрів.

Для визначення режимів користуються таблицями, у яких дані параметри напилення залежно від напиляемого матеріалу (фізико-хімічні властивості), грануляції використовуваного порошку, від використання плазмоутворюючого газу, дистанції напилення й інші параметрів. Однак ці дані дають лише орієнтовні параметри, іноді й не співпадаючи один з одним, при аналізі цих даних. З іншої сторони в них не враховується хімічний склад підкладки, на яку наносять напиляємий матеріал, наприклад на вміст вуглецю. Тому що середньо вуглецеві сталі, мають більшу схильність до утворення холодних тріщин після напилення з наступним оплавленням, то й сам процес повинен проходити з підвищеною погонною енергією і, як правило, з попереднім підігрівом (для сталі 40X температура підігріву $T_{\text{під}}=250-300^{\circ}\text{C}$). Це необхідно для зниження швидкості охолодження зони термічного впливу.

З вищесказаного треба, що первісний вибір параметрів при плазмовому напиленні роблять на підставі табличних даних, а остаточний - у процесі експериментів або за результатами розрахунків термічного циклу плазмового напилення на конкретну сталь.

Згідно з табличними даними для плазмового напилення з наступним оплавленням на сталь 40X рекомендуються основні параметри: величина струму; напруга; витрата плазмоутворюючого газу.

2.6.1 Розрахунок термічного циклу напилення

При плазмовому напиленні з наступним оплавленням на середньовуглецеві низьколеговані сталі необхідно підібрати такий термічний цикл, який би

					МР 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
						43
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

задовольняв необхідним вимогам, що забезпечують якісну сполуку нанесеного покриття з основою.

Напилення виконується самофлюсуючим сплавом на основі Ni-Cr-B-Si (ПГ 12Н-02) з наступним оплавленням (нагрівання до 950°C). Нанесений шар забезпечує твердість HRC 55-62.

Представимо розрахунки термоциклів на різних режимах напилення. Очікувану структуру можна оцінити за допомогою діаграми термокінетичного перетворення аустеніту.

У лабораторії газотермічного напилення Херсонської філії НУК було зроблене напилення з наступним оплавленням на таких режимах:

$$I_{\text{пл}} = 350 \text{ А};$$

$$U_{\text{д}} = 60 \text{ В};$$

$$V_{\text{нап}} = 0,3 \text{ см/с};$$

$$q = I_{\text{пл}} U_{\text{д}} \eta = 8400 \text{ Вт}.$$

При наплавленні на масивний виріб:

$$T(r_0, t) = \frac{q}{2\pi\lambda V t} e^{-\frac{r_0^2}{4at}}$$

де

λ - коефіцієнт теплопровідності ($\lambda=0,4 \text{ Вт/см К}$);

$c\gamma$ об'ємна теплоємність ($c\gamma=5 \text{ Дж/см}^3 \text{ К}$);

$T_{\text{наг}}$ - температура нагрівання ($T_{\text{наг}} = 950^\circ\text{C}$);

a - коефіцієнт температуропровідності ($a=0,08$);

q - ефективна теплова потужність джерела;

η - ефективний коефіцієнт нагріву ($\eta=0,4$);

r_0 - відстань від джерела до розглянутої точки.

$$r_0 = \sqrt{\frac{0,368q}{\frac{\pi}{2} V c \gamma T_{\text{л}}}}$$

$$r_0 = 1,19 \text{ см}$$

					МР 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Таблиця 2.6 Нагрів й охолодження основи при плазмовому напиленні
(основний режим)

t, сек	0,1	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	40	50	100	200
T, °C	20	20	20	21	102	532	811	923	950	936	906	868	828	790	515	379	301	250	141	82

Миттєва швидкість охолодження:

$$\omega_{охл} = 2\pi\lambda \frac{(T - T_0)^2}{q/V}$$

$$\omega_{охл} = 25,2 \text{ } ^\circ\text{C/с}$$

Швидкість охолодження дуже велика. У підкладці міститься велика кількість мартенситу (близько 90%). Твердість по Вickersу близько 543HV. Можливе утворення холодних тріщин. Це видно при розрахунку складу структури основи при дії термічного циклу на даному режимі. Крива охолодження наведена на рисунку 2.5.

Розрахуємо термічний цикл для режиму наплавлення, запропонованого даними літературного джерела (14). Режим 1:

$$I_{пл} = 300\text{A};$$

$$U_d = 60\text{В};$$

$$V_{нап} = 0,3 \text{ см/с};$$

$$q = I_{пл} U_d \eta = 7200 \text{ Вт.}$$

Для даного режиму $r_o = 1,1 \text{ см.}$

Таблиця 2.7 - Цикл нагріву й охолодження при плазмовому напиленні
(режим 1)

t, сек	0,1	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	40	50	100	200
T, °C	20	20	20	20	40	315	623	811	906	943	949	936	914	887	627	473	379	317	179	102

Миттєва швидкість охолодження складе:

$$\omega_{охл} = 29,4 \text{ } ^\circ\text{C/с}$$

Крива охолодження наведена на рисунку 2.5. Миттєва швидкість охолодження велика, метал підкладки має мартенситну структуру. Велика ймовірність утворення холодних тріщин. Підкладка має у своєму складі близько 93% мартенситу. Твердість близько 552 HV.

Для зниження миттєвої швидкості охолодження можна збільшити погонну енергію напилення за рахунок збільшення струму й напруги. Режим 2:

$$I_{пл} = 400 \text{ А};$$

$$U_{\partial} = 65 \text{ В};$$

$$V_{нап} = 0,3 \text{ см/с};$$

$$q = I_{пл} U_{\partial} \eta = 10400 \text{ Вт}.$$

Для режиму 2 відстань від джерела до розглянутої точки складе $r_o = 1,1$ см.

Таблиця 2.8 - Нагрів й охолодження підкладки при плазмовому напиленні, режим 2.

t, сек	0,1	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	40	50	100	200
T, °C	20	20	20	21	109	547	821	927	950	934	901	862	822	782	508	373	296	247	139	81

Миттєва швидкість охолодження $\omega_{охл} = 20,35 \text{ °C/с}$:

Крива охолодження наведена на рисунку 2.5. При накладенні кривої охолодження на діаграму термодинамічного перетворення аустеніту можна визначити, що при даних параметрах режиму не можна гарантувати якість напилювання, тому що швидкість охолодження задоволено велика. У підкладці близько 85% мартенситу.

Режим 3:

Ефективна теплова потужність режиму залишається такою же, як і на режимі 2 ($q = 10400 \text{ Вт}$), але напилення ведеться з попереднім підігрівом валу. Для сталі 40Х рекомендується температура попереднього підігріву $T_{под} = 250 \text{ °C}$.

Для режиму 3 відстань від джерела до розглянутої точки складе $r_o = 1,1$ см.

Таблиця 2.9 - Охолодження основи при плазмовому напиленні (режим 3)

t, сек	0,1	0,3	0,4	0,5	1,0	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	40	50	100	200
T, °C	250	250	250	250	267	484	716	854	922	947	948	937	919	898	700	585	515	469	367	311

Миттєва швидкість охолодження $\omega_{охл} = 6,52$ °C/с. У цьому випадку одержуємо прийнятну швидкість охолодження. Крива охолодження наведена на рисунку 2.5. Мартенситу близько 35%. Утворення гартівних структур не відбувається, отже, відсутня ймовірність утворення холодних тріщин.

Режим 3 можна вважати оптимальним для даного процесу напилювання.

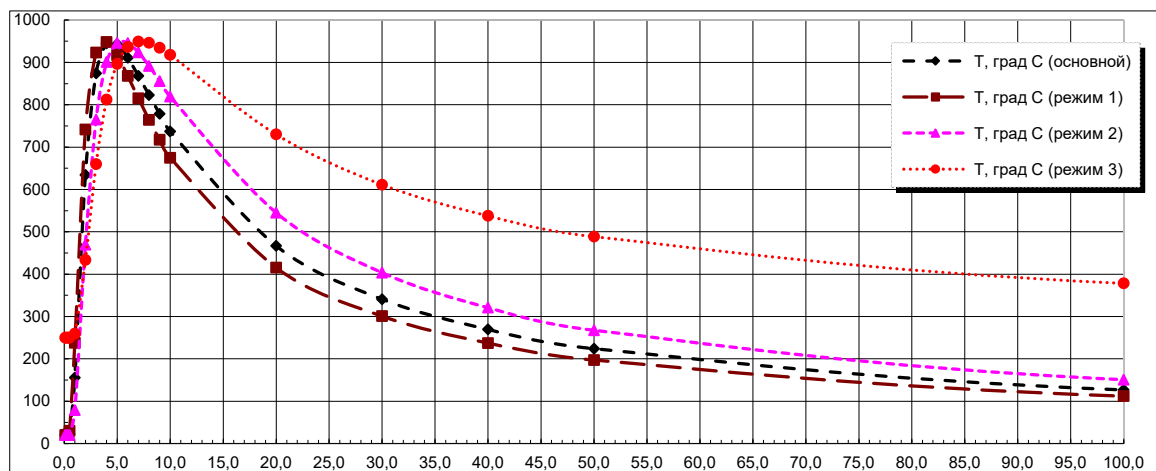


Рисунок 2.5 Криві нагріву та охолодження при плазмовому напиленні з наступним оплавленням

Зниження швидкості охолодження ЗТВ не змогло повністю запобігти перетворенню аустеніту в мартенсит, однак цей розпад аустеніту відбувається в області температур, що відповідають точці M_n – початок мартенситного перетворення, що робить мартенсит, що утвориться, менш напруженим і менш крихким.

2.6.2 Розрахунок очікуваних структур після напilenня

Розрахунок очікуваних структур провадиться по формулах, розробленим в ІЕЗ ім. Патона, що дозволяє прогнозувати фазовий состав високотемпературних ділянок ЗТВ й її механічні властивості. Параметри τ_m , s_m , τ_ϕ , $\tau_{\phi+\Pi}$, s_ϕ , $s_{\phi+\Pi}$ розраховуються залежно від складу сталі по наступних рівняннях регресії:

$$\ln \tau_m = -2,1 + 15,5 C + 0,96 Mn + 0,84 Si + 0,65 Cr + 0,74 Mo + 0,55 Ni + 0,3 V + 4,0 Al + 0,5 W + 0,8 Cu - 0,25 Nb - 13,5 C^2 - 0,8 Si^2;$$

$$\ln \tau_m = 3,14$$

$$\ln s_m = 0,56 - 0,41 C + 0,1 Mn + 0,14 Cr - 0,3 Mo + 2,7 Ti - 1,1 Nb + 0,5 Cu + 1,7 C Mo;$$

$$\ln s_m = 0,77$$

$$\ln \tau_\phi = 0,66 + 10 C + 1,3 Mn - 0,48 Si + 1,3 Cr + 1,5 Mo + 0,8 Ni - 1,4 W + 3,5 C Mn - 50 C V - 5,9 C^2 + 0,8 Si^2;$$

$$\ln \tau_\phi = 6,32$$

$$\ln s_\phi = 1,23 + 0,17 Mn - 0,34 Si + 0,3 Cr - 0,5 Mo + 0,31 Ni + 0,09 Nb - 0,43 W - 0,3 Cu;$$

$$\ln s_\phi = 1,53$$

$$\ln \tau_{\phi+\Pi} = 0,34 + 5,2 C + 1,8 Mn + 0,53 Si + 0,33 Cr + 2,9 Mo + 0,86 Ni + 1,5 W + 1 Cu - 60 C V - 5,1 C^2 + 0,7 Si^2;$$

$$\ln \tau_{\phi+\Pi} = 3,23$$

$$\ln s_{\phi+\Pi} = 0,91 - 0,9 C + 0,09 Mn + 0,08 Cr + 0,34 Mo + 0,15 Ni + 0,85 V + 2,2 Ti + 0,43 W;$$

$$\ln s_{\phi+\Pi} = 0,85$$

Розрахунок очікуваних структур після плазмового напilenня зробимо для режиму 3:

$$U_\delta = 65 \text{ В};$$

$$I_{ce} = 400 \text{ А};$$

					МР 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

$$V_H=0,3 \text{ см/с};$$

$$q = 10400 \text{ Вт};$$

$$T_{\text{нод}}=250^{\circ}\text{C}.$$

При напиленні на масивний виріб тривалість охолодження визначається по формулі:

$$\tau = \frac{q}{2\pi\lambda V} \left(\frac{1}{500 - T_0} - \frac{1}{800 - T_0} \right)$$

де

q - ефективна теплова потужність зварювального джерела нагріву;

λ - коефіцієнт теплопровідності;

V - швидкість наплавлення;

T_0 - початкова температура виробу.

$$\tau = 30,11 \quad \ln \tau = 3,4$$

Процентне співвідношення структурних складових у ЗТВ розраховується по наступних формулах:

- кількість мартенситу:

$$M(\tau) = 100 \left[1 - \Phi \left(\frac{\ln \tau - \ln \tau_m}{\lg s_m} \right) \right], \%$$

$$M(\tau) = 35,06\%$$

$\Phi(x)$ - інтегральна функція нормального розподілу;

τ - тривалість охолодження, що відповідає утворенню структури металу з 50%-м утриманням мартенситу;

s_m - константа, що характеризує крутість спаду кривій утримання мартенситу в міру збільшення тривалості τ .

$\Phi(\tau)$ - кількість фериту:

$$\Phi(\tau) = \Phi_{\max} \Phi \left(\frac{\ln \tau - \ln \phi}{\ln s_{\phi}} \right), \%$$

$\Phi_{\max}$ - максимальна кількість фериту, що може виділитися з аустеніту при дуже повільному охолодженні.

					МР 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
						49
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Phi_{\max} = 100 \left[\frac{1 - (C - 0,02)}{0,81 - 0,11Mn - 0,05Mo} \right], \%; \quad \Phi_{\max} = 54\% \quad \Phi(\tau) = 2\%$$

$[\Phi + \Pi](\tau)$ - сумарна кількість фериту й перліту:

$$[\Phi + \Pi](\tau) = 100\Phi \left(\frac{\ln \tau - \ln \tau_{\phi + \Pi}}{\ln s_{\phi + \Pi}} \right) \%;$$

$$[\Phi + \Pi](\tau) = 59\%$$

$B(\tau)$ - кількість бейніту:

$$B(\tau) = 100 - M(\tau) - [\Phi + \Pi](\tau), \%; \quad B(\tau) = 6\%$$

$\Pi(\tau)$ - кількість перліту:

$$\Pi(\tau) = [\Phi + \Pi](\tau) - \phi(\tau), \%; \quad \Pi(\tau) = 57\%$$

Механічні властивості ЗТВ залежно від структурного стану й режиму охолодження визначають по наступних емпіричних формулах:

$$HV = M(\tau) * (309 + 494 * C + 622 * C^2 + 17,7 * Mn) + B(\tau) * (234 + 122 * C) + [\Phi + \Pi](\tau) * (98 + 275 * C + 15,4 * Mn) = 344;$$

$$\sigma_s = M(\tau) * (798 + 3215 * C) + B(\tau) * (590 + 960 * C + 39,7 * Mn + 200 * V) + [\Phi + \Pi](\tau) * (297 + 1360 * C + 60 * Mn + 140 * V) = 1229 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{0,2} = M(\tau) * (662 + 1610 * C) + B(\tau) * (500 + 460 * C + 120 * C^2 + 150 * V) + [\Phi + \Pi](\tau) * (187 + 926 * C + 47 * Mn + 90 * V) = 800 \text{ МПа};$$

$$\delta = M(\tau) * (12,2 - 67 * C^2 - 1,5 * Mn + 0,76 * \ln \tau) + B(\tau) * (21,3 - 35,6 * C - 4 * Mn - 5 * V + 1,84 * \ln \tau) + [\Phi + \Pi](\tau) * (36,5 - 127 * C + 153 * C^2 - 1,16 * Mn + 0,66 * \ln \tau) = 9,7\%;$$

$$\psi = M(\tau) * (48,5 - 158 * C - 116 * C^2 + 0,98 * \ln \tau) + B(\tau) * (53,3 - 132 * C + 103 * C^2 - 5,1 * Mn - 10 * V + 3,4 * \ln \tau) + [\Phi + \Pi](\tau) * (65,4 - 88 * C - 82 * C^2 - 6,7 * Mn + 18 * V + 0,6 * \ln \tau) = 17,4\%;$$

$$KCH = M(\tau) * (1,06 - 2,8 * C + 1,3 * C^2 - 0,081 * Mn + 0,05 * \ln \tau) + B(\tau) * (1,3 - 1,6 * C - 0,08 * Mn) + [\Phi + \Pi](\tau) * (1,47 - 1,8 * C + 0,8 * C^2 - 0,076 * Mn - 0,045 * \ln \tau) = 0,6 (\text{Дж/м}^2).$$

Результати розрахунку наведені у таблиці 2.10.

					МР 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Таблиця 2.10 Механічні властивості ЗТВ залежно від структурного стану та режиму охолодження

Показник/режим	основний	режим 1	режим 2	режим 3
Твердість HV	531	553	523	344
Межа міцності, МПа	1809	1875	1784	1230
Умовна межа плинності, МПа	1152	1192	1137	801
Відносне подовження, %	5,2	4,6	5,4	9,7
Відносне звуження, %	10,4	9,4	10,7	17,4
Ударна в'язкість, МДж/м ²	0,3	0,3	0,4	0,6

Виводи: Вибір режиму з підігрівом валу перед плазмовим напиленням дозволяє звести до мінімуму ризик утворення холодних тріщин в ЗТВ. Завдяки низької швидкості охолодження більша частина аустеніту не встигає переохолодитися й перетворення аустеніту відбувається вище температури M_n або трохи нижче її, а мартенсит, що утвориться, виходить менш крихкий і напружений. Твердість структури, що утвориться, по термоциклу на режимі 3 становить порядку 340 HV.

При напиленні на режимі 1 отримана твердість у ЗТВ становить порядку 550 HV. При такій твердості ймовірність утворення холодних тріщин дуже висока. Це відбувається через високу швидкість охолодження й говорить про те, що обраний режим напилення має малу погонну енергію й для наплавлення на сталь 40X не годиться.

Режим 2 показав, що хоча погонна енергія його вище, ніж на режимі 1, але отримана структура металу в ЗТВ має твердість порядку 520-530 HV. Можна зробити висновок, що уникнути утворення структури мартенситу з високою твердістю раціонально, застосувати попередній підігрів. Наплавлення на параметрах режиму 2, але з попереднім підігрівом ($T_{pod} = 250^{\circ}\text{C}$) підтвердила істинність цього припущення.

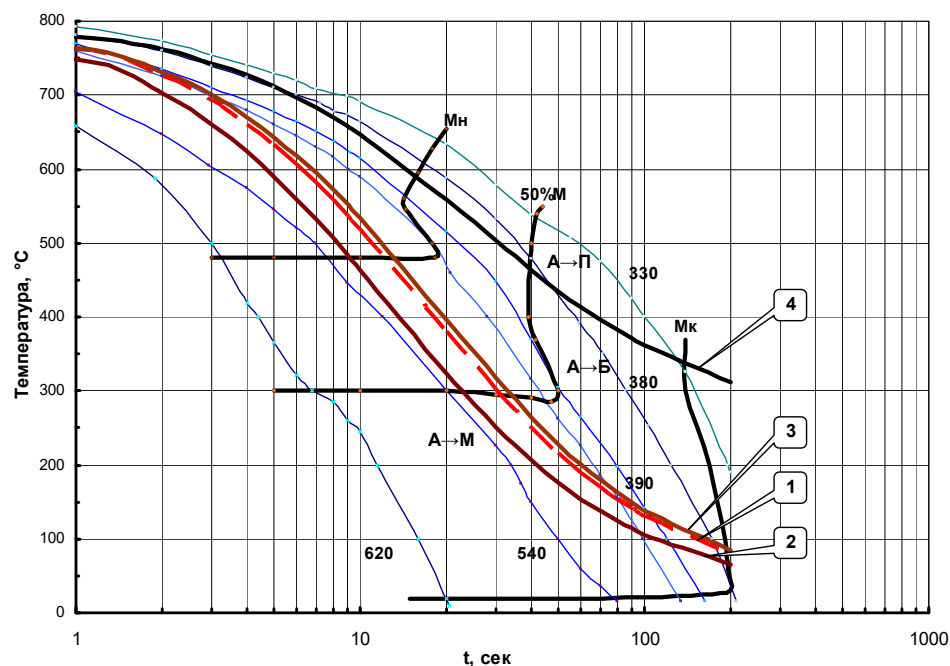


Рисунок 2.6 Діаграма термокінетичного розпаду аустеніту при плазмовому напilenні з наступним оплавленням покриття

При накладенні кривої охолодження (рисунок 2.5) на діаграму термокінетичного розпаду аустеніту по режиму 3 підтверджує розрахункові дані за структурою ЗТВ, рисунок 2.6.

2.7 Технологія та техніка процесу напilenня

З погляду технології процесу із застосовуваних способів найбільш раціональний плазмовий спосіб оплавлення. У цьому випадку процес напilenня і процес оплавлення здійснюються однією і тією ж горілкою при тій же потужності стиснутої дуги, при частоті обертання $10 - 14 \text{ хв}^{-1}$, при оплавленні з наближенням пальника до деталі на відстань $50 - 70 \text{ мм}$. Істотним недоліком плазмового нагріву є те, що плазмовий струмінь, володіючи високою температурою і значною концентрацією енергії, дуже швидко нагріває поверхню покриття при недостатньому нагріванні поверхні деталі і тим самим часто призводить до згортання покриття, що оплавляється. Крім того, в результаті високої швидкості закінчення плазмового струменя і значного тиску на поверхню,

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МР 132.6121м.03.01.04. ПЗ

Арк.

52

що напилюється, також може відбутися порушення шару покриття. Плазмове оплавлення рекомендується застосовувати для малогабаритних деталей діаметром, що не перевищує 50 мм, таких як штовхач, поршневі пальці, кулачкові вали тощо.

На якість оплавлення циліндричних деталей стиснутою дугою непрямої дії великий вплив надає швидкість переміщення плазмотрону (подача). Збільшення подачі з підвищенням сили струму пояснюється зростанням кількості теплоти, що припадає на одиницю площі поверхні, що оплавляється.

Зростання витрати газу в дуговому розряді збільшує число заряджених частинок і ступінь іонізації газу, що сприяє підвищенню теплової енергії, що підводиться до металу, і температури дуги непрямої дії. При подальшому зростанні витрати газу кількість газових молекул, що надходять у пальник, починає значно перевищувати число частинок, здатних іонізуватися в дуговому розряді при даній потужності дуги, що веде до зниження температури та зменшення подачі.

Зі збільшенням відстані між пальником та оплавлюваною деталлю подача зменшується. Чим далі віддаляється від сопла ділянка плазмовеого струменя, тим з меншою силою вона піддається стискаючому впливу з боку сопла пальника і газу, що проходить через нього. Вийшовши з-під впливу стискаючих сил, плазмовеий струмінь розширюється, його діаметр збільшується, а щільність і опір падають, що веде до зниження температури та зменшення подачі.

Найбільш висока якість покриттів виходить при використанні газового відновлювального ацетиленокисневого полум'я. Це тим, що ацетиленокисневе пальники, особливо многосоплові, дозволяють у межах регулювати подачу теплоти і рівномірно нагрівати одночасно значну площу напиленого покриття.

					МР 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
						53
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оплавлення струмами високої частоти найбільше раціонально застосовувати для деталей простої форми при значній програмі відновлення. Оплавлення виробляють на тих же режимах, що і поверхневе загартування виробів відповідних діаметрів.

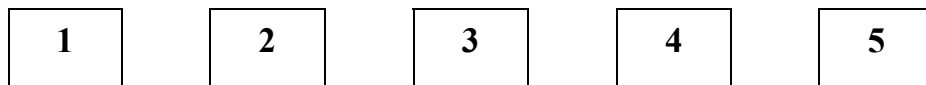
У практиці відновлення деталей типу «вал» оплавлення напилених покриттів виконують також аргонодуговим способом.

Однак незважаючи на те, що спосіб напилення з оплавленням дозволяє отримувати високоякісні зносостійкі покриття з мінімальним припуском на механічну обробку, широкого застосування при відновленні деталей не отримав через ряд недоліків. Процес напилення з оплавленням є трудомістким і за продуктивністю поступається процесам отримання покриттів наплавленням та електролітичними способами. Застосування дорогих порошків, що самофлюсуються, підвищує собівартість відновлення. Нагрівання покриття і деталі при оплавненні досягає 1100 °С, що вище температур фазових перетворень, і всі недоліки, характерні для наплавлення, притаманні цьому способу.

Оплавлення напилених поверхонь великогабаритних деталей складної форми (колінчасті вали) через нерівномірність нагрівання окремих частин не дозволяє отримувати якісних покриттів: утворюються тріщини, відшарування.

2.8 Розробка техпроцесу відновлення валів

Технологічний процес відновлення або зміцнення поверхонь плазмовим напиленням порошковими матеріалами в загальному випадку складається з таких операцій (див. рис. 2.7)



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

Рисунок 2.7 Схема технологічного процесу напилення.

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 60-150⁰С 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 протирочного 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 2.11.

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

Таблиця 2.11 Технічні дані для нарізання рваної різьби

Діаметр деталі, мм	Зміщення різця, мм	Частота обертання шпинделя, об/хв	Діаметр деталі, 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 130-150⁰С протягом 3-5 годин.

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

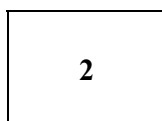
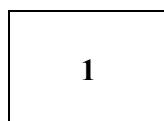
- деталі, що підготовлені до нанесення покриттів, повинні зберігатися в приміщенні при температурі не нижче 18⁰С та відносної вологості повітря не вище 75%.

- 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 розподільчих валів плазмовим напиленням з наступним оплавленням застосовується технологічний процес що складається з 4 операцій (див. рис.2.8.)



1 - операція хімічного очищення валів; 2 - плазмове напилення з наступним оплавленням; 3 - шліфування; 4 - контроль якості

Рисунок 2.8 Схема технологічного процесу відновлення розподільних валів плазмовим напилюванням з подальшим оплавленням.

Перелік операцій та переходів, склад устаткування по технологічному процесу відновлення розподільних валів методом плазмового напилювання зазначений в табл. 2.12.

Таблиця 2.12 Перелік операцій та переходів при плазмовому напилюванні з наступним оплавленням

Найменування операцій	Перелік переходів операцій	Найменування і тип обладнання	Норма часу, год
Хімічне очищення	1.Завантажити партію деталей в ванну. 2.Очищення. 3.Вивантаження.	Ванна Решітчатий контейнер	0,1 0,3 0,1
Плазмове напилення з наступним оплавленням	1.Встановити деталь у механізм обертання. 2.Установить плазмотрон для напилювання 3.Напилити поверхню валу до товщини 1,0 мм і провести оплавлення покриття. 4. Зняти деталь з механізму обертання та відправити на наступну операцію.	Механізм обертання (токарно-гвинторізний верстат 16K20) Плазмотрон ПП-25	0,1 0,1 1,0 0,1
Шліфування	1.Здійснити шліфування робочої поверхні валу 2.Полірувати деталь. 3.Зняти деталь.	Шліфувальний верстат	2,0 1,2 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:			5,6 н/год

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

При напилюванні особлива увага звертається:

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

2.9 Контроль якості нанесених покриттів

Контроль якості напилюваного 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 напилювання – це лише його заключна стадія. Контроль повинен здійснюватися на всіх стадіях виробництва і складається з попереднього контролю (перевірка напилюваних матеріалів, робочих газів і вибраковка деталей), поточного контролю (дотримання технологічного процесу) і приймального контролю (визначення придатності відновлених деталей до роботи). [6]

Перевірка якості напилюваних матеріалів зводиться до визначення однорідності по зовнішньому вигляду, розмірам зерна порошку, об'ємної маси та вологості. Розмір зерен контролюється просіюванням напилюваного 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 напилювання та зазначений розмір (товщина) напилюваного матеріалу.

Не менш важливим є дотримання режимів напилювання.

Контроль за зовнішнім виглядом здійснюється з метою виявлення зовнішніх дефектів – зколів, вздутості, відслоєння. Огляд здійснюється з використанням лупи десятикратного збільшення типів ЛИ-3, ЛИ-4 по ГОСТ 8309-75, ГОСТ 2594-75 при достатньому освітленні.

					MP 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

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.

					МР 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
						59
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					МР 132.6121м.03.03.04. ПЗ							
Змін.	Арк.	№ документа.	Підпис	Дата								
Студент		Стазілов К.П.			3 Дослідження властивостей плазмових покритть			Літ.		Арк.	Аркушів	
Консультант										60	10	
Керівник		Лебедев В.О.						ХННІ НУК				
Н. Контр.												
Зав.кафедр.		Матвієнко М.В.										

3.1 Визначення оптимального складу напиленого матеріалу

Спосіб отримання покриттів напиленням з подальшим оплавленням [13] заснований на застосування порошоків, що містять бор і кремній в сплавах хромо-нікелевих 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 [13] 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 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 порошоків, що напилюються, до 5% «борного шлаку».

На підставі проведеного короткого огляду літератури можна зробити висновки:

1 – введення додатків, що флюсують, до складу напилюваних порошоків 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.

3.2 Поліпшення характеристик покриттів з самофлюсуючих порошків

Все більшого поширення набувають покриття з самофлюсуючих сплавів, особливо при відновленні автотракторних деталей. Маючи високу зносостійкість, 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.

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.

3.3 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, вида-

					MP 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

ляє оксиди з поверхні підкладки і забезпечує хорошу змочуваність. Це повинне сприяти значному підвищенню міцності зчеплення оплавленого шару з підкладкою.

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

3.4 Визначення міцності зчеплення покриття з основою

Для проведення досліджень кількісного складу порошку [15] вибрали такі склади:

1. ПГ-12Н-01 (без БШ);
2. ПГ-12Н-01 (0,5% БШ)
3. ПГ-12Н-02 (без БШ);
4. ПГ-12Н-02 (0,5% БШ).

Отримані состави напилювались на зразки зі сталі 40Х плазмотроном ПП-25 з наступним оплавленням.

Розміри зразків вибиралися з можливості наявного устаткування. Найбільш оптимальним діаметром є $d=20$ мм (рис. 3.1)

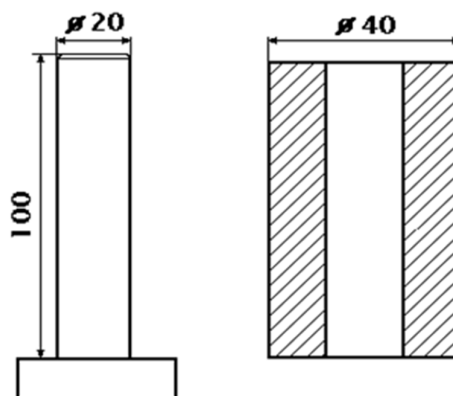
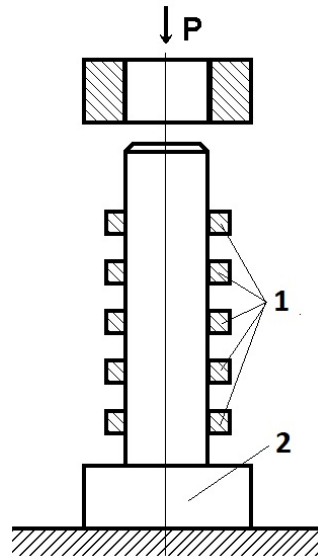


Рисунок 3.1 Ескіз зразка для проведення випробування на зріз

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. 3.2) шириною 2 мм, які випробовувалися на зріз. Площа зрізу - 125,6 мм².



1 - напилене покриття; 2 – зразок.

Рисунок 3.2 Підготовлений зразок для випробування

Результати проведених випробувань наведено у таблиці 3.1

Таблиця 3.1 Результати випробувань на міцність зчеплення покриття з основою

Номер зразка	Площа перерізу, мм ²	Середнє навантаження, кН	Напруження на зріз, МПа
1. ПГ-12Н-01 (без БШ);	125,6	34,62	276
2. ПГ-12Н-01 (0,5% БШ)	125,6	49,25	392
3. ПГ-12Н-02 (без БШ);	125,6	44,53	354
4. ПГ-12Н-02 (0,5% БШ)	125,6	52,45	418

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-02) 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.

Додавання БШ до порошку ПГ-12Н-01 дозволяє збільшити міцність зчеплення з основою на 30%, а добавка до ПГ-12Н-02 до 15%.

3.5 Дослідження твердості покриттів

Зносостійкі покриття з порошкових сплавів системи Ni – Cr – B – Si – C, отримані методом газотермічного напилення з подальшим оплавленням, мають досить складну структуру, що складається з твердого розчину на основі нікелю, багатокомпонентної евтектики, боридів, карбідів та силіцидів [7].

Однією з головних технологічних чинників, які впливають процес формування покриттів та його експлуатаційних властивостей, є товщина нанесеного шару матеріалу [8].

Твердість визначалась на зразках отриманих напиленням порошкових матеріалів ПГ-12Н -01 та ПГ-12Н-02 з додаванням борного шлаку (БШ) 0,5% від маси порошку. Напилення проводили шарами з кроком 0,5мм з наступним оплавленням до товщини 2,5 мм. Результати зведені у таблицю 3.2

					МР 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Таблиця 3.2 Визначення твердості покриття від товщини

Номер зразка	Товщина покриття, мм				
	0,5	1	1,5	2	2,5
1. ПГ-12Н-01 (без БШ), HRC	41	40	39	40	41
2. ПГ-12Н-01 (0,5% БШ), HRC	43	43	42	42	42
3. ПГ-12Н-02 (без БШ), HRC	48	49	51	53	52
4. ПГ-12Н-02 (0,5% БШ), HRC	51	51	53	56	57

По результатам випробувань були побудовані графічні залежності твердості шарів покриттів з наступним оплавленням (рис. 3.3).

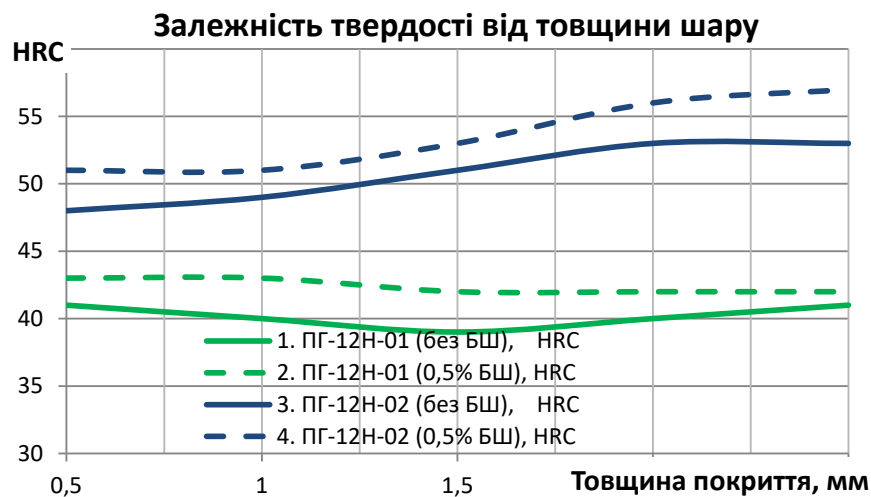


Рисунок 3.3 Результати визначення твердості HRC покриттів.

Аналіз кривих на рис. 3.3 свідчить, що покриття марки ПГ-12Н-02 має найбільшу твердість. Це пояснюється великою кількістю легуючих елементів даного сплаву та найбільшою кількістю твердої складової у цьому сплаві.

Твердість у покриттях марок ПГ-12Н-01 сягає максимальних значень з відривом 0,5-0,75 мм від межі основа – покриття, потім відбувається зниження твердості. У сплаві ПГ-12Н-01 твердість практично не залежить від товщини покриття. Поверхнева твердість сплаву ПГ-12Н-02, залежно від товщини пок-

риття, змінюється по-іншому. У разі збільшення товщини покриття відбувається підвищення значень твердості покриття. При цьому у покриттях збільшується кількість твердих складових.

Такі залежності пояснюються особливостями технології нанесення покриттів. Якщо товщина невелика, при нанесенні кожного наступного шару відбувається повніше і глибше проплавлення нанесеного матеріалу внаслідок його повторного розігріву. Кількість рідкої фази збільшується, тому за наступної кристалізації під час охолодження відбувається збільшення кількості евтектики. Твердість відповідно також зростає. Додавання БШ збільшує кількість евтектики що збільшує твердість. Починаючи з товщини 1,5 мм. відбувається злиття твердих частинок усередині покриття, при цьому збільшення кількості евтектик не спостерігається. Таким чином, починаючи з цієї товщини покриття поверхнева твердість залишається незмінною.

Для сплавів ПГ-12Н-02 вищеописаний характер залежності твердості та кількості твердої структурної складової від товщини покриття проявляється явніше. У покриттях марки ПГ-12Н-01 вміст хрому є більш високим порівняно зі сплавами ПГ-12Н-02 та його теплопровідність вища. Це забезпечує більш повне проплавлення при будь-якій з досліджених товщин нанесеного шару, що дає практично однакову структуру на поверхні покриття ПГ-12Н-01 різної товщини, тому твердість поверхні менше, ніж в інших сплавах, і практично не змінюється при збільшенні товщини покриття.

Технологія нанесення покриття визначає характер зміни кількості твердої складової по товщині покриття: покриття наноситься пошарово з подальшим оплавленням кожного шару доти, доки не вийде задана товщина покриття (від 0,5 до 2,6 мм). Поки кількість шарів мало, нанесений шар матеріалу встигає охолонути, і наступний шар наноситься на холодний метал, швидкість охолодження зростає, а отже, зростає і кількість твердої складової – евтектики.

3.6 Дослідження мікроструктури отриманих покриттів

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

Дослідження мікроструктури показали, що при напиленні покриття ПГ-12Н-02, що не містить БШ на непідготовлену основу із сталі 40Х з оплавленням в зоні з'єднання покриття з основою утворюється світлий прошарок товщиною близько 12 мкм. Ймовірно, це результат взаємної дифузії компонентів покриття та основи. Покриття щільне, спостерігаються окремі мікропори. Кордон сплавлення покриття, що містить "борний шлак", має складну хвиляподібну форму. Очевидно, введення в порошок, що напилюється БШ що є поверхнево-активною речовиною, сприяє інтенсивному розчиненню підкладки в покритті.

На підставі аналізу впливу добавок БШ в порошок з Ni – Cr – B – Si сплаву при плазмовому напиленні встановлено оптимальний склад добавки – $\approx 0,5$.

Таким чином, добавка БШ (сплаву зневодненої бури та подвійного метаборату натрію магнію у співвідношенні 1,15 : 1,00) в порошок сплаву системи Ni - Cr - B - Si підвищує адгезійну міцність покриттів. Використання запропонованого самофлюсуючого складу при напиленні дозволяє знизити трудомісткість відновлення деталей на 30%.

Висновки

1. Для відновлення валу вибрано самофлюсуючий порошковий сплав з наступним оплавленням ПГ-12Н-02.
2. Для покращення адгезійних властивостей у самофлюсуючи сплави типу ПГ-12Н-02 рекомендуємо добавляти БШ $\approx 0,5$.

					МР 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

3. Додавання БШ до сплаву при напиленні з наступним оплавленням дозволить підняти величину міцності зчеплення на 15...20%.
4. Величина твердості отриманого після наступного оплавлення сплаву ПГ-12Н-02 більша ніж у ПГ-12Н-01, тому рекомендуємо для відновлення валів.

					МР 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

					МР 132.6121м.03.04.04. ПЗ							
Змін.	Арк.	№ документа.	Підпис	Дата								
Студент		Стазілов К.П.			Загальні висновки по дипло- мній роботі			Літ.		Арк.	Аркушів	
Консультант										70	4	
Керівник		Лебедев В.О.						ХННІ НУК				
Н. Контр.												
Зав.кафедр.		Матвієнко М.В.										

Загальні висновки по дипломній роботі

У результаті аналізу можливих технологічних варіантів відновлення кулачкових валів був обраний спосіб плазмового наплавлення порошковими матеріалами, що забезпечують необхідну якість нанесеного покриття.

1. Для підвищення міцності зчеплення покриття з робочою поверхнею була розроблена технологія плазмового напилення з наступним оплавленням. В якості устаткування запропоновано установку для плазмового напилення УПУ-3Д. У якості матеріалу вибрано самофлюсуючий порошок ПГ-12Н-02.

2. Для покращення міцності зчеплення покриття з робочою поверхнею валу було пропановано добавляти БШ до металевого порошка в кількості 0,5% .

3. Добавка $\approx 0,5\%$. (сплаву зневодненої бури і подвійного метаборату натрію магнію) в порошок ПГ-12Н-02 підвищує адгезійну міцність і твердість покриттів, напилених без добавки.

4. Контроль за зовнішнім виглядом здійснюється з метою виявлення зовнішніх дефектів – зколів, вздутості, відслоєння здійснюється з використанням лупи десятикратного збільшення типів ЛИ-3, ЛИ-4 по ГОСТ 8309-75, ГОСТ 2594-75 при достатньому освітленні.

5. 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. Нанести шар покриття. Після цього підвести сопло пальника до поверхні деталі на відстань 60 мм та продовжувати нагрів, здійснюючи невеликі коливальні рухи до з'явлення «дзеркального блиску» поверхні, що свідчить про закінчення процесу оплавлення.

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

					МП 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

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. Сидоров А.И. Восстановление деталей напылением и наплавкой [Текст] / А.И. Сидоров. М: Машиностроение, 1987. – 98 с.
7. Быков В.И. Износостойкость газотермических покрытий, работающих в условиях трения со смазкой [Текст] / В.И. Быков, Ю.Д. Юрченко, А.С. Куликов. / Трение и износ. 1992. Т. 13. №3. С. 64 – 70
8. Анализ и совершенствование систем диагностирования двигателей внутреннего сгорания легковых автомобилей / Мезин И.Ю., Зотов С.В., Лимарев А.С., Коваленко А.О. // Автотранспортное предприятие. 2016. № 12. С. 38-41.
9. Мезин И.Ю., Лимарев А.С., Касаткина Е.Г. Формирование свойств машиностроительных материалов холодной пластической деформацией пористых порошковых заготовок // Качество в обработке материалов. 2018. № 2 (10). С. 40-45.

					МР 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

10. Голобородько, Ж.Г. Автоматическая дуговая сварка в судостроении [Текст] / Ж.Г. Голобородько. – Херсон: ООО и «ПКФ «Старт» ЛТД», 2011. – 233 с.

11. 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 Восточноукраинского национального университета имени В. Даля, 2003. - 496 с.

12. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / под ред. акад. Б.Е. Патона. М.: Машиностроение, 1974. 768 с

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

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

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

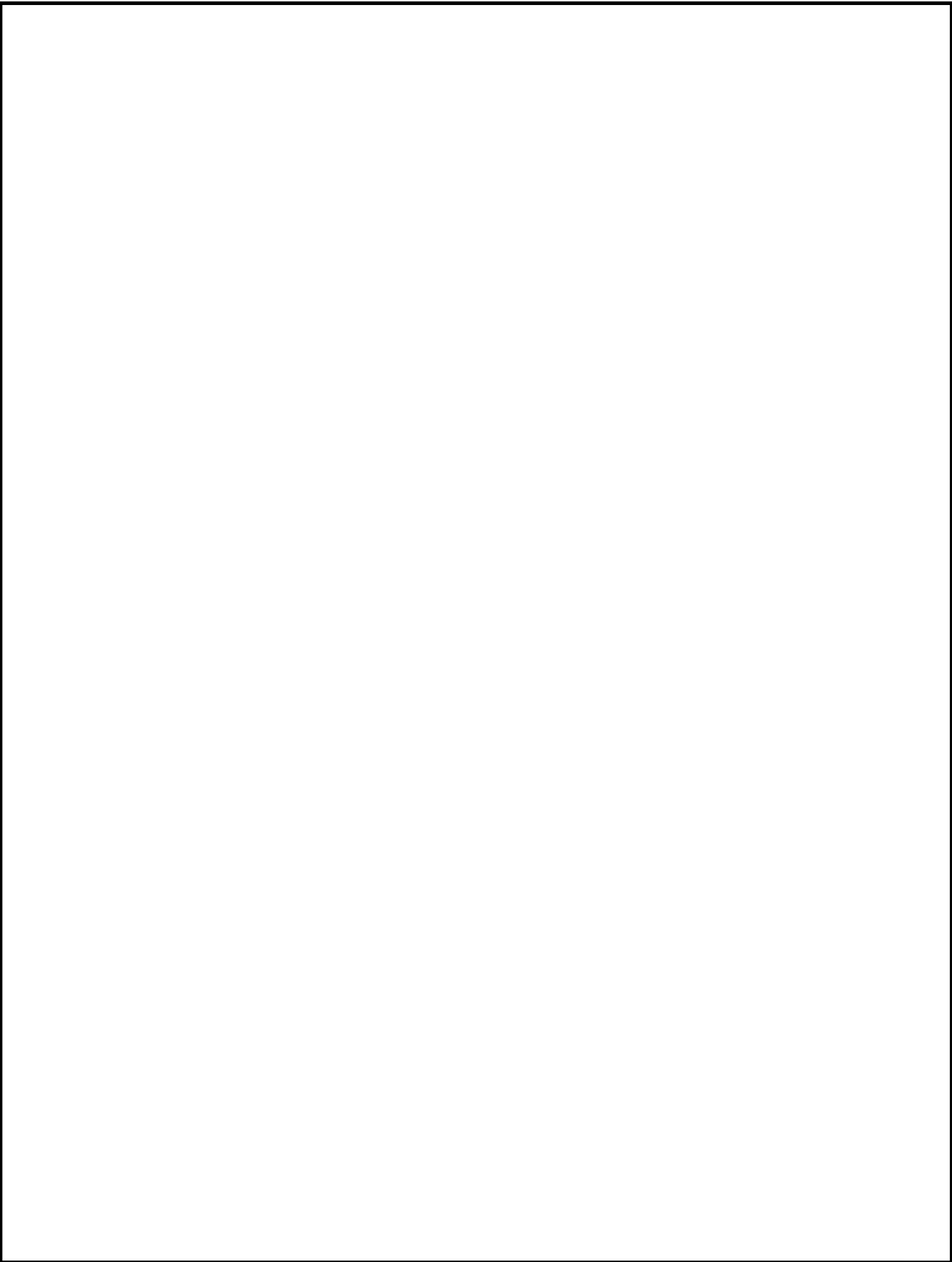
16. Астахов Є.А. Науково-технологічні основи керування властивостями детонаційних покриттів [Текст] / Автореф. дис. .докт. техн. наук. - К.: ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ. - 2005. - 36 с.

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.

					MP 132.6121м.03.01.04. ПЗ	Арк.
						73
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



					MP 132.6121м.03.00.04.ПЗ							
Змін.	Арк.	№ документа.	Підпис	Дата								
Студент		Стазілов К.П.			Додатки			Літ.		Арк.	Аркушів	
Консультант										74	2	
Керівник		Лебедев В.О..						ХННІ НУК				
Н. Контр.												
Зав.кафедр.		Матвієнко М.В.										

					Арк.	
					75	
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	MP 132.6121м.03.01.04. ПЗ	