

**Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Херсонська філія
Кафедра зварювання**

«Допущений до захисту»
Завідувач кафедри
_____к.т.н., проф. НУК Г.В. Єрмолаєв
«___» _____ 2021 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»
на тему: Розробка технології напилювання суднових валів

Виконав: студент V курсу, групи 5121зш
спеціальності 131 Прикладна механіка за
освітньо-професійною програмою Інжині-
ринг зварювання та споріднених процесів
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Голуб Євгеній Володимирович
(прізвище та ініціали)

Керівник Лой Сергій Анатолійович
(прізвище та ініціали)

Рецензент Спіхтаренко Володимир Володимирович
(прізвище та ініціали)

Херсон - 2021 р.

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Херсонська філія

Факультет суднобудівний
Кафедра зварювання
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Спеціальність 131 Прикладна механіка
(шифр і назва)
Освітньо-професійна програма Інжиніринг зварювання та споріднених процесів
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

доц. В.В. Спіхтаренко

“ ” 20__ року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

студенту Голубу Євгенію Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка технології напилювання суднових валів
керівник проекту Лой Сергій Анатолійович, доцент НУК

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

затверджені розпорядженням ХФ НУК від “12” 10 2020 року № 35

2. Строк подання студентом проекту 15 січня 2021р.
3. Вихідні дані до проекту Креслення виробу, матеріал сталь 18 ХНВА, річна програма 370 валів
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1.Характеристика виробу. Аналіз сучасних технологій газотермічного нанесення покриттів. 2.Аналіз структури та властивостей напилених покриттів. 3.Технологічний процес плазмового напилення проміжних суднових валів. 4. Охорона праці. 5. Розрахунок економічної ефективності проектних рішень.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1. Тема роботи. 2. Мета роботи, завдання. 3. Креслення проміжного валу. 4. Деталювання плазмотрону ПН–14М. 5. Розрахунок потужності плазмотрону. 6. Технологічна схема. 7. Структура плазмових покриттів. 8. Висновки.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Лой С.А., доцент НУК		
2	Лой С.А., доцент НУК		
3	Лой С.А., доцент НУК		
4	Лой С.А., доцент НУК		
5	Лой С.А., доцент НУК		

7. Дата видачі завдання 13.10.2020р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Аналіз конструкції і матеріалу переборки, можливих варіантів її виготовлення	27.10.20р.	
2.	Розрахунки технології зварювання	17.11.20р.	
3.	Розробка технологічного процесу	01.12.20р.	
4.	Охорона праці	22.12.20р.	
5.	Розрахунок економічної ефективності	05.01.21р.	
6.	Графічна частина	12.01.21р.	

Студент

(підпис)

Голуб Є.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Лой С.А.

(прізвище та ініціали)

Зміст	стор.
Вступ.....	6
1. Характеристика виробу. Аналіз сучасних технологій газотермічного нанесення покриттів.....	9
1.1 Загальна характеристика виробу.....	10
1.2 Характеристика матеріалу виробу	11
1.3 Методи нанесення покриття газотермічним напиленням.....	12
1.4 Висновки. Мета та завдання дипломного проекту.....	18
2. Аналіз структури та властивостей напилених покриттів.....	19
2.1 Обґрунтування вибору способу напилення.....	20
2.2 Розрахунок необхідної потужності плазмотрону.....	22
2.3 Розрахунок продуктивності напилення.....	26
2.4 Визначення міцності зчеплення покриттів.....	28
2.5 Аналіз структури напилених покриттів.....	29
3. Технологічний процес плазмового напилення проміжних судових валів.....	33
3.1 Принципова послідовність напилення покриттів.....	34
3.2 Обґрунтування вибору порошку.....	35
3.3 Обґрунтування вибору обладнання.....	37
3.4 Контроль якості покриттів.....	40
3.5 Модернізація конструкції плазмотрону ПН–14М1.....	41
4. Охорона праці.....	45
4.1 Аналіз потенційно–небезпечних та шкідливих факторів при плазмовому напиленні.....	47
4.2 Розрахунок системи вентиляції.....	55
5. Розрахунок економічної ефективності проектних рішень.....	59
5.1 Розрахунок вартості основних матеріалів.....	60
5.2 Розрахунок затрат на електроенергію.....	60
5.3 Розрахунок витрат на основну заробітну плату виробничих робітників.....	61

					<i>ДП. 131. 5121зш. 01. 05. ПЗ.</i>	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.4 Розрахунок строку окупності додаткових капітальних витрат...	63
Загальні висновки.....	64
Список використаної літератури.....	66
Ресурси інтернет.....	68
Додатки.....	69

					ДП. 131. 5121зш. 01. 05. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

					ДП. 131. 5121зш. 01. 05. ПЗ.			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Вступ			
Студент		Голуб Є.В.						
Керівник		Лой С.А.						
Конс.								
Н. Контр.								
Зав. каф.		Єрмолаєв Г.В.						
					Літ.	Арк.	Акрушів	
							6	3
					ХФ НУК			

ВСТУП

В наш час, першочерговою задачею є дослідження основних тенденцій, характерних для інноваційного розвитку машинобудівної галузі, та пошук шляхів вирішення проблем, які стримують даний процес.

В першу чергу на розвиток машинобудування та суднобудування впливає можливість створення і отримання в достатній кількості конструкційних матеріалів, здатних протистояти дії зносостійкості, агресивних газових середовищ, високих температур і механічних навантажень. Особливо гостро ці питання стоять для валів суднових валопроводів, де суднові вали працюють тривалий час в умовах зношування. Одним із найбільш швидко зношуваних вузлів проміжних валів суднових машин являється шийка валу, яка працює в парі з бабітовим вкладишем, що зрештою приводить до невиправданих втрат матеріальних, трудових і фінансових ресурсів. Шийки валів піддаються азотуванню в на протязі 50–60 годин. Інтенсивний знос пояснюється швидким дифузійним розсіюванням захисного слою відносно не великої товщини (до 0,03 мм). Останнім часом для скорочення тривалості виготовлення валу і підвищення стійкості в окремих випадках застосовують хромування. Однак азотування чи хромування бажаних результатів не дають, шийка валу швидко зношується.

Одним з шляхів рішення вказаних проблем є застосування високоефективних ресурсозберігаючих технологій нанесення покриттів. Нанесення покриття на судновий проміжний вал забезпечує істотне підвищення ресурсу його роботи. Завдяки цьому вдається досягти багатократної економії матеріальних, сировинних, трудових ресурсів.

В цілому в промисловості, авіа і судновому машинобудуванні, завдяки використуванню захисних покриттів на деталях, досягається визволення значної частки виробничих ресурсів (сировина, матеріали, трудові, фінансові ресурси та транспорт).

Необхідно відзначити, що нанесення покриттів мало змінює структуру і властивості початкового виробу. Тому для досягнення найбільшого ефекту

					ДП. 131. 51213ш. 01. 05. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

використовування плазмового напилення покриттів, необхідно надати особливу увагу вибору матеріалу, підготовці поверхні виробу, режиму напилення.

Таким чином можна зробити висновок, що нанесення покриттів це високоефективна, ресурсозберігаюча технологія, застосування якої дозволяє подовжити ресурс роботи суднових проміжних валів.

					ДП. 131. 5121зш. 01. 05. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

					ДП. 131. 5121зш. 01. 05. 01. ПЗ.		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Студент		Голуб Є.В.			Характеристика виробу Аналіз сучасних технологій газотермічного нанесення покриттів	Літ.	Арк.
Керівник		Лой С.А.					Акрушів
Конс.							9
Н. Контр.							10
Зав. каф.		Єрмолаєв Г.В.				ХФ НУК	

1.1 Загальна характеристика виробу

Проміжний вал – вал, що вбудовується в валову лінію валопроводу у випадках, коли загальна довжина валів недостатня для кінематичного зв'язку двигуна з рушієм.

Занадто швидкий знос шийок валу найчастіше пов'язаний з проблемами блоку. Обов'язково необхідно перевірити геометрію посадочних місць блоку під підшипники. У цьому випадку вал може "бовтатися" в постелях блоку, що призводить до істотного збільшення навантажень і швидкого зносу. Іншою причиною, що стала особливо актуальною в останні роки, може бути неякісний матеріал валу.

Прогин валу часто зустрічається в довгих валах комбайнів, будівельної техніки. Також вигин частіше зустрічається у валах виготовлених з неякісного м'якого матеріалу. Перевірка валу на вигин нескладна. Вал укладається на призми, встановлені на металевій плиті. Обертаючи вал, за допомогою індикатора перевіряється прогин осі валу. Допускається вигин до 0,1 мм. Якщо виявлений вигин більше 0,1 мм, проводиться випрямлення валу.

Знос шийок валів відбувається внаслідок дії на них робочих навантажень (від інерційних сил деталей шатунно–поршневого комплексу і від тиску газів). Поверхні шатунних шийок більше зношуються в площині хитання шатуна. Найбільший знос шатунних і корінних шийок спостерігається з боку, що прилягає до щік. Величину їх зносу, овальність і визначають мікрометрами.

Знос шийки валу відбувається в результаті попадання в підшипник частинок бруду, принесених маслом. Ці частинки здебільшого такі малі, що не можуть бути відфільтровані і проводяться маслом всередину підшипника, а там забиваються в одну з більш м'яких робочих поверхонь. Так як найбільш м'якою поверхнею є білий метал підшипника, то в нього частки бруду і будуть забиватися. Виступаючі з білого металу частинки бруду,

					ДП. 131. 51213ш. 01. 05. 01. ПЗ.	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проходячи крізь масляний шар, будуть затирати шийку валу. Очевидно, що ступінь зносу шийки також буде залежати від товщини масляного шару, крізь який, частки бруду повинні проникнути. З метою зменшення зносу шийки бажано, щоб була різниця в твердості між двома робочими поверхнями підшипника і валу.

1.2. Характеристика матеріалу виробу

Відновлювальний проміжний вал виготовлений зі сталі 18ХНВА. Ця низьколегована сталь має наступний склад, (табл. 1.1)

Таблиця 1.1 Хімічний склад сталі 18ХНВА

Елементи	C	Si	Mn	Cr	Ni	W
Зміст, %	0,15	0,17–0,37	0,30–0,60	0,60–0,90	1,25–1,65	0,5–0,8

Сталь 18ХНВА цементується, гартується па повітрі, схильна до відпускнуї крихкості, внаслідок чого при відпустці потрібно швидке охолодження. Застосовується для виготовлення відповідальних цементованих і нецементуючих деталей з високими напругами і динамічними навантаженнями (колінчастих валів, валів редукторів, турбін та компресорів, цапф, відповідальних болтів і шпильок, шестерень, шатунів).

Попередня термічна обробка: нормалізація при 920...980 °С і відпуск (для поковок і прутків). Цементация при 900...920 °С. Остаточна термічна обробка: загартування з 950 °С на повітрі, гартується з 850...860 °С на повітрі і відпуску при 150...170 °С, гартується з 860...870 °С в маслі і відпуску при 525...575 °С.

Вал піддається загартуванню при 950 °С і низькому відпуску при 200 °С. Після гарту і низького відпуску сталь набуває високі механічні властивості. Це обумовлено їх застосуванням не тільки в цементованому вигляді, але і без цементации (для деталей від яких не потрібна висока зносостійкість, а потрібна висока міцність). Механічні властивості сталі представлені в таблиці 1.2.

					ДП. 131. 51213ш. 01. 05. 01. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Таблиця 1.2. Механічні властивості сталі 18ХНВА

Матеріал	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	НВ
18ХНВА	1300	1100	14	55	310

1.3. Методи нанесення покриття газотермічним напиленням

Газотермічне напилення (англ. Thermal Spraying) – це процес нагріву, диспергування і перенесення конденсованих частинок матеріалу газовим або плазовим потоком для формування на підкладці шару потрібного матеріалу. Під загальною назвою газотермічне напилення (ГТН) об'єднують такі методи: газополум'яне напилення, високошвидкісне газополум'яне напилення, детонаційне напилення, плазове напилення, напилення з оплавленням, електродугова металізація і активована електродугова металізація.

За своєю суттю газотермічне напилення дуже схоже на зварювання, відмінність полягає у функціональному призначенні матеріалу, що переноситься. Мета зварювання – з'єднання конструкційних елементів споруд. Мета газотермічного напилення – захист поверхні від корозії, зносу і т.д.

Як правило, ГТН застосовують для створення на поверхні деталей та обладнання функціональних покриттів – зносостійких, корозійностійких, антифрикційних, теплостійких, термобар'єрних, електроізоляційних, електропровідних, і т.д. Матеріалами для напилення служать порошки, шнури і дроти з металів, металокераміки і кераміки. Деякі з методів газотермічного напилення є альтернативою методам гальванічної, хіміко–термічної обробки металів, плакуванню. Ще одне поширене застосування ГТН – ремонт і відновлення деталей і обладнання. За допомогою напилення можна відновити від десятків мікрон до міліметрів металу. Особливостями технології є:

					ДП. 131. 51213ш. 01. 05. 01. ПЗ.	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- можливість нанесення покриттів з різних матеріалів (практично будь який матеріал, що плавиться можна подати як порошок або дріт);
- відсутність перемішування матеріалу основи і матеріалу покриття;
- невисокий (не більше 150 °C) нагрівання поверхні при нанесенні покриття;
- можливість нанесення декількох шарів, кожен з яких несе свою функцію (наприклад, стійкий до високотемпературної корозії + термобарерний);
- легкість забезпечення захисту працівників та навколишнього середовища при напиленні (за допомогою повітряних фільтрів).

Винайшов даний методу нанесення покриттів Макс Ульріх Шооп. Розпорошуючи свинець за допомогою стаціонарної тигельної установки він отримував покриття на різних матеріалах. Варто відзначити, що на відміну від сучасних методів, де для переносу використовуються в основному газу, перша установка Шоопа переносила рідкий свинець за допомогою водяної пари. На основі його технології в Цюриху в 1909 був відкритий завод по металізації. В 1913 Ульріх Шооп удосконалив і запатентував конструкцію газополуменевого розпилювача, де матеріал для розпилення подавався в полум'я газового пальника у вигляді дроту. В 1918 Шооп зі співробітниками розробив електродуговий розпилювач, що дозволяв ефективно наносити покриття з металу. Завдяки значимого внеску в початковий розвиток технологій, методи нанесення газотермічних покриттів шляхом розпилення стали отримали назву шоопірування, по імені винахідника технології. В 1921 Ульріх Шооп запатентував технологію металопорошкового газополуменевого розпилення. Істотний поштовх до подальшого поширення методів дало прийняття директиви RoHS, яка істотно обмежила застосування гальванічного хромування через виділення при їх застосуванні канцерогенного шестивалентного хрому.

					ДП. 131. 51213ш. 01. 05. 01. ПЗ.	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Високошвидкісне газополум'яне напилення широко застосовується для створення щільних металевих і металокерамічних покриттів;

Детонаційне напилення – в силу дисперсного характеру напилення і малої продуктивності найбільш підходить для напилювання покриттів для захисту і відновлення невеликих ділянок поверхні;

Газополум'яне напилення – недорогий у впровадженні та експлуатації метод, широко використовуваний для відновлення геометрії деталей;

Напилення з оплавленням – метод, що забезпечує металургійний зв'язок покриття з основою. Застосовується, якщо високий нагрів при оплавленні не веде до ризику термічних поведок деталі або такий ризик вважається виправданим.

Плазмове напилення – це напилення під час якого використовується струмінь електронів, іонів та нейтральних атомів газу, з якого утворюється плазма з використанням плазмотронів. Розпилення за допомогою плазми зазвичай називають плазмовим напиленням. Це енерговитратний метод, його застосування найбільш виправдано для створення керамічних покриттів із тугоплавких матеріалів;

Електродугова металізація енергетично більш вигідна, однак дозволяє напилювати тільки металеві матеріали. Цей метод як правило, використовується для напилення антикорозійних металевих покриттів на великих площах;

Плазмове напилювання, під час якого плазмовий струмінь створюються за допомогою електричної дуги носить назву плазмово–дугове напилювання.

При плазмовому напиленні покриття формується з дрібних розплавлених частинок, які переносяться на поверхню при розпилюванні плазмою дроту, стрижнів або з порошку. У технологіях плазмового напилення велике значення мають час перебування частинок в плазмі і час доставки нагрітих частинок до підложки, вдосконалення плазмових

					ДП. 131. 51213ш. 01. 05. 01. ПЗ.	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

установок, знання процесів, що протікають в низькотемпературній плазмі при напиленні покриттів.

У потоці плазми частинки порошку нагріваються приблизно до 10000 К. Передача теплоти від плазми до порошкових частинок здійснюється в основному теплопровідністю і конвекцією.

Слід зазначити, що швидкість частинок, падаючих на деталь по перетину плями напилення, розподіляється у край нерівномірно і на периферії може бути в 3–4 рази менше, ніж в центрі плями.

Під дією поверхневого натягу розплавлені частинки набувають форми сфери. Сферичні частинки на шляху до підложки остигають і, падаючи на поверхню деталі, розтікаються і кристалізуються. Чергові порції розплавлених частинок падають на частинки покриття, що вже закристалізувались, тобто розплавлені частинки практично за весь час напилення падають на затверділу поверхню і утворюють пластинчасту структуру. Покриття формується шляхом послідовного укладання частинок, що деформуються. Процес супроводжується утворенням мікропорожнин, які заповнюються газом. Для зменшення пористості і підвищення однорідності напилюваних покриттів зменшують розмір напилюваних частинок. Проте дуже дрібні частинки (розмір фракції менше 10...20 мкм) часто виявляються непридатними.

Швидка кристалізація частинок на поверхні деталі дозволяє одержувати покриття із структурою пересичених твердих розчинів. Якість покриття залежить від процесів, що протікають при взаємодії частинок з плазмою, і від процесів при формуванні покриття на поверхні деталі (якість контактів між частинками, швидка кристалізація і деформація частинок, взаємодія напилюваної речовини зі зовнішнім середовищем). Найважливіше значення має середовище, в якому здійснюється процес осадження тих або інших покриттів [4].

Плазмове напилення може здійснюватися на повітрі або у вакуумі.

					ДП. 131. 5121зш. 01. 05. 01. ПЗ.	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Як плазмоутворюючі гази можуть використовуватися Ar, H₂, He, N₂ або їх суміші. Істотне поліпшення властивостей покриттів досягається при використанні плазмового напилення у вакуумі.

Вакуумна плазмова технологія має ряд переваг:

1. Швидкість частинок напилюваних речовин в 2–3 рази вища, ніж при плазмовому напиленні на повітрі. Це забезпечує вищу щільність покриттів, менш ніж до 0,5 % зменшує пористість, підвищує якість поверхонь.

2. Покращуються умови для взаємодифузії між покриттям і підложкою і підвищення адгезії.

3. При нанесенні покриттів у вакуумі відсутні реакційні гази, які можуть приводити до окислення металів, погіршення зчеплення і сколювання кераміки. Склад покриття на деталях повністю відповідає складу початкового матеріалу для покриття.

4. Високий відсоток використання матеріалів для покриття (до 40 %). При плазмовому напиленні у вакуумі одержують покриття щільніші, ніж в установках електронно–променевого випаровування.

5. Найбільш висока точність контролю складу покриття, чим при будь–якому іншому процесі.

6. Метод дозволяє напилювати матеріали з великою відмінністю тиску пари при збереженні низьких значень температури поверхні деталей (200...300 °С), що виключає структурні зміни і поверхневому шарі підложки. Плазмовий метод широко використовується для нанесення як керамічних, так і металевих покриттів.

Методу властивий ряд обмежень, які пов'язані з наступними чинниками:

- застосування матеріалів тільки в порошковій формі;
- застосування матеріалів зі стабільною рідкою фазою;
- мінімальна товщина покриттів обмежена розмірами частинок порошків;

					ДП. 131. 51213ш. 01. 05. 01. ПЗ.	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- метод не дозволяє покривати внутрішні поверхні;
- розміри деталей, що покриваються, обмежені розмірами вакуумної камери.

Найважливіше значення в технології плазмового напилення має розробка і підготовка порошкових матеріалів. Керамічний або металевий порошок нагнітається у високотемпературну швидкісну плазмову дугу, в якій відбувається плавлення частинок порошку, що летить до деталі. Рідкі частинки ударяються об поверхню деталі, і формується покриття. Для отримання якісного покриття проводять оптимізацію великої кількості параметрів, які ретельно контролюються і регулюються за допомогою автоматичних систем, які істотно ускладнюють технологічний процес. До цих параметрів відносяться: діаметр сопла для управління плазмовим факелом, місце введення порошку, кут розпилювання порошку. Ці параметри контролюють структуру плазмового факела. Стійкість роботи плазмової дуги регулюється і контролюється її потужністю, відстанню до підложки, складом первинного і вторинного газу, що подається, швидкістю потоку газу в дузі, швидкістю потоку несучого газу, швидкістю подачі, витратою матеріалу порошку, тобто частинки розподіляються за розмірами, формою і кристалографічними фазами.

При плазмовому напиленні із забезпеченням динамічного тиску за допомогою аргону розплавлені частинки кераміки з високою швидкістю падають на м'який шорсткий поверхневий шар металевого покриття і за допомогою механічної адгезії утримуються на поверхні деталей.

Утрудняє застосування цього методу і хонінгування поверхні до 12-го класу чистоти перед напиленням, підтримка постійного тиску парів, що часто розрізняються по властивостям елементів і температурі деталей.

Плазмові покриття мають на відміну від конденсованих лускату побудову. Метод плазмового напилення має необмежені можливості в керуванні складом, структурою і, отже, властивостями покриттів. Низька температура нагрівання поверхні напилення дозволяє зберігати особливості

					ДП. 131. 51213ш. 01. 05. 01. ПЗ.	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

структури і властивості матеріалу основи. Покриття можна наносити на будь-які поверхні й окремі їх ділянки. Для успішного застосування плазмового напилення при одержанні жаростійких покриттів останнім часом розроблені нові види устаткування і різні технологічні прийоми [12].

1.4. Висновки. Мета і завдання дипломного проекту

Таким чином на основі зробленого аналізу літературних даних можна зробити висновок, що метою дипломного проекту є:

1. розробка технологічного процесу нанесення зносостійкого покриття на проміжний вал плазмовим напиленням.
2. вибір та модернізація обладнання для цього процесу.

Для досягнення поставленого завдання дипломного проекту необхідно вирішити наступні питання:

- провести вибір обладнання та матеріалів, які найбільш задовольняють усім вимогам, а також розробити технологічний процес напилення покриттів на проміжний вал;
- провести розрахунок необхідної потужності плазмотрону, розрахунок продуктивності напилення;
- провести аналіз напилених покриттів;
- провести удосконалення плазмотрону, яке зможе підвищити продуктивність процесу плазмового напилення;
- провести аналіз всіх шкідливих та небезпечних факторів, які виникають при проведенні плазмового напилення, розрахувати місцеву вентиляцію на дільниці, розробити комплекс заходів щодо попередження травматизму та професіональних захворювань;
- провести розрахунок економічної доцільності застосування плазмового напилення порошкових покриттів на проміжні вали;
- проілюструвати вищезгадані розрахунки, розробки та вибране обладнання кресленнями, графіками та таблицями.

					ДП. 131. 51213ш. 01. 05. 01. ПЗ.	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					ДП. 131. 5121зш. 01. 05. 02. ПЗ.			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Студент		Голуб Є.В.			Аналіз структури та властивостей напилених покриттів	Літ.	Арк.	Акрушів
Керівник		Лой С.А.					19	14
Конс.						ХФ НУК		
Н. Контр.								
Зав. каф.		Єрмолаєв Г.В.						

2.1. Обґрунтування вибору способу напилення

Із усіх розглянутих методів нанесення зносостійких покриттів на проміжний вал в наш час застосовують переважно плазмове напилення, оскільки воно краще, ніж інші методи забезпечує необхідні властивості та характеристики покриттів.

Плазмотрон - це генератор плазми, тобто таке технічний пристрій, в якому електричний струм використовується для утворення плазми, яка, в свою чергу, застосовується з метою обробки матеріалів, наприклад, для різання плазмотроном.

Перші плазмотрони з'явилися в середині ХХ століття, що було викликано розширенням виробництва тугоплавких металів і необхідністю введення технології обробки матеріалів, стійких в умовах високих температур. Ще одна причина появи плазмотронів - потреба в джерелі тепла підвищеної потужності.

Якщо нагріти газ, молекули якого складаються з кількох атомів, до температури, що перевищує 1000 К, відбудеться процес руйнування молекулярних зв'язків і газ перейде в атомарний стан. Температура цього процесу, званого дисоціацією, визначається в основному родом газу і тиском. Газ, в якому значна частина атомів або молекул іонізована називається плазмою. Плазма володіє високою електропровідністю. Найбільш широко для отримання плазми використовують різні види електричних розрядів в газах, в тому числі і дуговий.

Різка підвищення температури в плазмовому струмені обумовлюється дією теплового та магнітного пінч-ефектів. Для нанесення покриття порошок вводять в плазму, де він нагрівається і струмінь направляється до підложки. Порошок вдувають з транспортуючим газом в сопло або безпосередньо в струмінь плазми на зрізі сопла. Під дією інерції та газодинамічних сил частинки порошку потрапляють в струмінь плазми, нагріваються і прискорюються струменем плазмоутворюючого газу. Для зменшення

					ДП. 131. 51213ш. 01. 05. 02. ПЗ.	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пористості і підвищення однорідності напилюваних покриттів зменшують розмір напилюваних частинок. Проте дуже дрібні частинки (розмір фракції менше 10–20 мкм) часто виявляються непридатними. Швидка кристалізація частинок на поверхні деталі дозволяє одержувати покриття із структурою пересичених твердих розчинів. Якість покриття залежить від процесів, що протікають при взаємодії частинок з плазмою, і від процесів при формуванні покриття на поверхні деталі (якість контактів між частинками, швидка кристалізація і деформація частинок, взаємодія напилюваної речовини із зовнішнім середовищем).

В якості плазмоутворюючих газів застосовують аргон, водень, азот, гелій та їх суміші. Частинки порошку під час напилення зазнають перетворення: нагрів, плавлення, формування потоку розплавлених часток, формування покриття шляхом укладки, деформації при ударі і затвердіння часток. Можна представити чотири основних види механізмів взаємодії розпиленних часток з газом:

1. адсорбція газу на поверхні часток;
2. хімічні взаємодії та утворення окисних плівок;
3. розчинення газу в рідкому металі часток;
4. дифузійні процеси і механічне замішування продуктів

поверхневої взаємодії в об'ємі часток в результаті конвективних потоків і механічного обурення рідкого металу. Результатами такої взаємодії являється окиснення матеріалу, що напилюється, знеуглецювання, в меншій мірі азотування.

Третя стадія найбільш складна через велику кількість процесів, що проходять в ній. Частинки співударяються з поверхнею підложки, замість удару відбувається кавітаційне руйнування і пластична деформація підложки. При ударі кінетична енергія частинок змушує їх інтенсивно деформуватися і визиває значний тиск в зоні удару, що сприяє, з однієї сторони, очищенню поверхні підложки, а по друге – розриву окисної плівки.

					ДП. 131. 5121зш. 01. 05. 02. ПЗ.	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рідкий метал змочує поверхню та заповнює мікронерівності, входить в фізичний контакт з поверхнею. Роль змочування дуже велика на цьому етапі, тому при виборі матеріалів покриття треба віддавати перевагу матеріалам, які мають найменший кут змочування. Частки, ударяються об поверхню та остигають. В них відбуваються структурні зміни. На остиглі частки укладаються наступні, утворюючи покриття. В окремих точках покриття виникає молекулярне зчеплення, як між шарами, так і між частками.

Напилення плазмовим струменем має такі особливості:

– висока температура плазмового струменя дозволяє порівняно просто здійснювати напилення тугоплавких матеріалів. Температуру струменю можна змінювати в широкому діапазоні, підбираючи діаметр сопла і режими роботи розпилювача. Це дозволяє здійснювати напилення різних матеріалів (металів, кераміки і органічних матеріалів). Так як в якості робочого газу використовується інертний газ, у напилюваного покриття утворюється порівняно небагато окислів. У разі необхідності напилення можна робити в ємності, заповненої інертним газом.

– покриття, отримані методом плазмового напилення, мають високу щільність і володіють добрим зчепленням з основою. Однак полум'яне напилення має низку недоліків, воно супроводжується шумом і сильним ультрафіолетовим випромінюванням, високу вартість обладнання та його експлуатаційні витрати.

2.2. Розрахунок потужності плазмотрону

Нагрівання газу в плазмотроні відбувається в результаті його взаємодії з дугою, тому ефективність нагріву істотно залежить від того, яким чином організовано це взаємодія, тобто робочий процес.

Оптимальний робочий процес повинен відповідати двом вимогам. По-перше, очевидно, що для отримання максимальної середнемасової температури велика частина газу, що нагрівається повинна взаємодіяти з

					ДП. 131. 5121зш. 01. 05. 02. ПЗ.	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дуговим розрядом. По-друге, необхідно забезпечити такі теплові режими всіх вузлів плазмотрона, при яких ресурс його роботи був би досить великий.

Розглянемо процес нагріву газу дугою. Тут можуть зустрітися два випадки. У першому випадку весь нагрівається газ проходить через дугу. Наприклад, якщо уявити собі дугу, палаючу у вузькому циліндричному каналі і що займає практично все його поперечний переріз, то кожна порція газу на час її проходження по каналу стає частиною стовпа дуги і на виході з каналу має середню температуру, рівну середній температурі дуги. Таким чином, в цьому випадку реалізується максимально можливий нагрів газу. Плазмотрони, в основу яких покладено такий робочий процес, отримали умовну назву високотемпературних.

Для отримання якісного покриття, необхідно, щоб частинки порошку в плазмовому струмені встигали повністю розплавитись. Для визначення умов оптимального проплавлення частинок порошку і максимального зростання товщини покриття (коефіцієнт осадження матеріалу) запропонована спрощена модель поведінки конденсуючої частинки в плазмовому струмені, за допомогою якого можна легко встановити зв'язок між її газодинамічними параметрами і теплофізичними властивостями порошків. Цей зв'язок дає можливість визначити необхідну потужність для розплавлення частинок порошку.

Величину теплової потужності плазмотрона, необхідної для розплавлення частинок матеріалу в струмені аргонної плазми, можна визначити за допомогою виразу [13]:

$$P_e = 2,99 \frac{V_r^{1.5} \cdot d_r \cdot D^{0.5}}{\eta \cdot R_0^{1.25} \cdot [l_k + 6(R_0 - R)]^{0.6}} \quad (2.1)$$

де V_r – витрата плазмоутворюючого газу, м³/с;

d_r – діаметр частинки порошку, м;

D – параметр важкості плавлення, кДж/(кг·м³);

$$D = C_e^2 \cdot T_{пл}^2 \cdot \rho_r \quad (2.2)$$

					ДП. 131. 5121зш. 01. 05. 02. ПЗ.	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де C_e – еквівалентна теплоємність частинки, кДж/кг·град;

$$C_e = \frac{i_r}{T_{пл} - T_0} = \int_{T_0}^{T_{пл}} C_r dT - \frac{i}{T_{пл}} - T_0 \quad (2.3)$$

де $T_{пл}$ – температура плавлення частинок, К;

ρ_r – густина частинки, кг/м³;

i_r – ентальпія розплавленого матеріалу частинки, кДж/кг;

C_T – істинна теплоємність частинки, кДж/кг·град;

i – теплота плавлення, кДж/кг;

T_0 – початкова температура, К;

η – ККД плазмотрона;

R_0 – радіус сопла, м;

l_k – відстань від точки введення порошку до зрізу сопла, м;

R – поточний радіус траєкторії частинок, $R = 0,9 R_0$;

$l_k + 6 (R_0 - R)$ – шлях руху частинки в ізотермічній ділянці струменя.

Чим більше параметр важкості плавлення, тим більшу теплову потужність треба підвести до струменя для того щоб нагріти частинки до стану їх проплавлення.

Зміна теплової потужності, залежно від параметра D , при різних витратах плазмоутворюючого газу складає від 20 до 50 кВт.

При малих витратах газу, коли формується ламінарна течія, ККД плазмотрона низький (0,1...0,3). Це пов'язано з тим, що максимум ККД обумовлений перерозподілом теплових потоків між стінками дугового каналу і електродами /14/.

Для підрахунку мінімальної потужності розглядатимемо ламінарний потік тому ККД плазмотрону візьмемо рівним 0,1 та 0,2. Розрахунок робимо для найбільш оптимальних витрат плазмоутворюючого газу: 20 та 25 л/хв.

Розрахунок проводиться для частинок порошкової суміші чавун + 20 % Сц, розміром 60 мкм.

					ДП. 131. 5121зш. 01. 05. 02. ПЗ.	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для розрахунків значення D для порошку чавун + 20 % Cu вибираємо з довідкової літератури, $D = 2,745 \cdot 10^{10} \text{ кДж/(кг}\cdot\text{м}^3)$ відповідно, решту величин для розрахунку беремо з паспорта плазмотрона ПН-14М1: $R_0 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $l_k = 1,1 \cdot 10^{-2} \text{ м}$.

1. ККД плазмотрону дорівнює 0,1.

При напыленні порошкової суміші чавун + 20 % Cu потужність визначиться:

при $V_r = 20 \text{ л/хв} = 3,33 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$:

$$P_e = 2,99 \frac{(3,33 \cdot 10^{-4})^{1,5} \cdot 6 \cdot 10^{-5} (2,745 \cdot 10^{10})^{0,5}}{0,1 \cdot (4 \cdot 10^{-3})^{1,25} \cdot [1,1 \cdot 10^{-2} + 6 \cdot (4 \cdot 10^{-3} - 3,6 \cdot 10^{-3})]^{0,6}} = 29 \text{ кВт}$$

при $V_r = 25 \text{ л/хв} = 4,17 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$:

$$P_e = 2,99 \frac{(4,17 \cdot 10^{-4})^{1,5} \cdot 6 \cdot 10^{-5} (2,745 \cdot 10^{10})^{0,5}}{0,1 \cdot (4 \cdot 10^{-3})^{1,25} \cdot [1,1 \cdot 10^{-2} + 6 \cdot (4 \cdot 10^{-3} - 3,6 \cdot 10^{-3})]^{0,6}} = 40,6 \text{ кВт}$$

2. ККД плазмотрону дорівнює 0,2.

При напыленні порошкової суміші чавун + 20 % Cu потужність становить:

при $V_r = 20 \text{ л/хв} = 3,33 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$:

$$P_e = 2,99 \frac{(3,33 \cdot 10^{-4})^{1,5} \cdot 6 \cdot 10^{-5} (2,745 \cdot 10^{10})^{0,5}}{0,2 \cdot (4 \cdot 10^{-3})^{1,25} \cdot [1,1 \cdot 10^{-2} + 6 \cdot (4 \cdot 10^{-3} - 3,6 \cdot 10^{-3})]^{0,6}} = 14,5 \text{ кВт}$$

при $V_r = 25 \text{ л/хв} = 4,17 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$:

$$P_e = 2,99 \frac{(4,17 \cdot 10^{-4})^{1,5} \cdot 6 \cdot 10^{-5} (2,745 \cdot 10^{10})^{0,5}}{0,2 \cdot (4 \cdot 10^{-3})^{1,25} \cdot [1,1 \cdot 10^{-2} + 6 \cdot (4 \cdot 10^{-3} - 3,6 \cdot 10^{-3})]^{0,6}} = 20,3 \text{ кВт}$$

За результатами розрахунку будуємо графік залежності потужності плазмотрону від витрат плазмоутворюючого газу при напыленні часток чавун + 20 % Cu (при різних значеннях ККД плазмотрону).

					ДП. 131. 5121зш. 01. 05. 02. ПЗ.	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

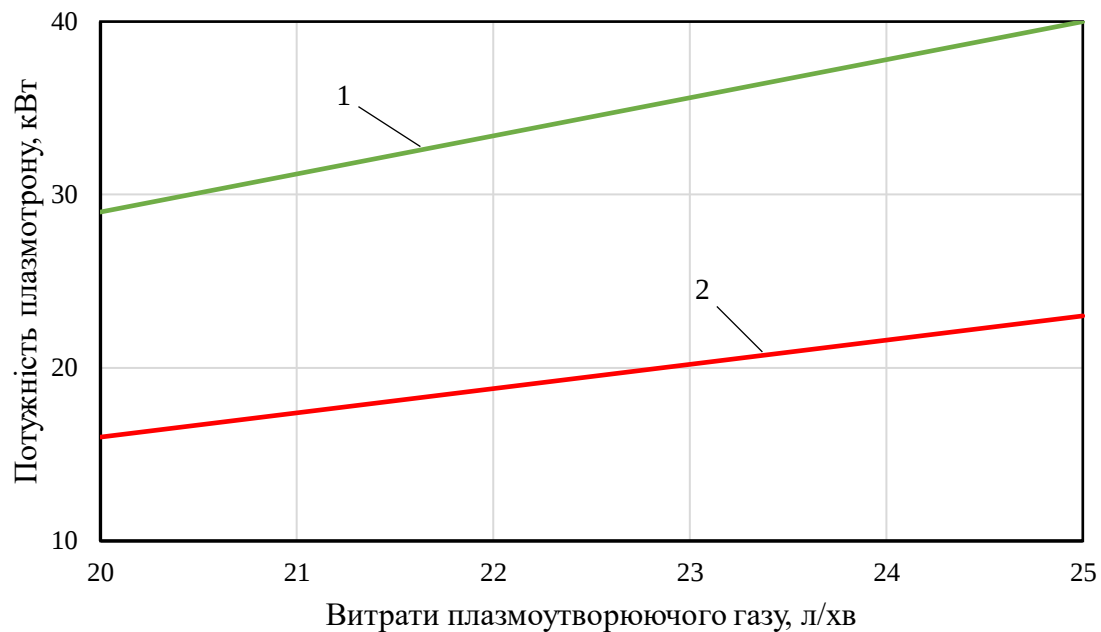


Рисунок 2.1 Залежність потужності плазмотрону від витрат плазмоутворюючого газу

1 – частки чавун + 20 % Cu ($\eta = 0,1$), 2 – частки чавун + 20 % Cu ($\eta = 0,2$);

2.3 Розрахунок продуктивності напилення

Кількість порошку, необхідна для напилення покриття відповідає витраті матеріалу і виражається формулою:

$$m = \frac{m_n}{\eta} \quad (2.4)$$

де m_n – маса напиленого покриття, кг;

η – ефективність напилення

Ефективність напилення залежить від виду напилюваного матеріалу, умов напилення та від геометричних розмірів деталі. Для напилення композиційного порошку (чавун + 20 % Cu), на проміжний вал з урахуванням його геометричних розмірів ефективність напилення за рекомендаціями, становить близько 60 %. Масу напиленого покриття можна визначити як добуток його обсягу на щільність.

$$m_n = \rho \cdot V \quad (2.5)$$

де ρ – щільність напиляного покриття; для композиції чавун з 20 % Cu
 $\rho = 8000 \text{ кг/м}^3$.

Для визначення обсягу напиленого покриття розглянемо геометричні характеристики напиленої поверхні валу. Товщина напилюваного покриття 0,8 мм. Враховуючи, що напилення проводиться, при обертанні валу по циліндричній поверхні, отриманий зріз покриття можна представити як кільце.

Враховуючи, що обсяг напиленого покриття можна представити у вигляді:

$$V = S \cdot l \quad (2.6)$$

де S – площа поперечного перерізу покриттів, м^2 ;

l – протяжність покриття, м; $l = 0,042 \text{ м}$

Маса напилюваного на вал покриття може бути представлена формулою:

$$m = \frac{S \cdot l \cdot \rho}{\eta} \quad (2.7)$$

При товщині покриття 0,8 мм і діаметром напилюваної ділянки валу 126 мм = $1,38 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$. Тоді:

$$m = \frac{1,38 \cdot 10^{-4} \cdot 0,042 \cdot 8000}{0,6} = 7,7 \cdot 10^{-2} \text{ кг}$$

Для напилення покриття композицією чавун + 20 % Cu на один проміжний вал необхідно 77 грам порошку.

					ДП. 131. 5121зш. 01. 05. 02. ПЗ.	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4 Визначення міцності зчеплення покриттів

Одним з найважливіших критеріїв якості покриттів нанесених плазмовим способом є міцність зчеплення. Існує велика кількість методів визначення міцності зчеплення таких як проба на звук, випробування різцем, клейова методика по ГОСТ 14760–69, штифтовий метод. Про міцність зчеплення покриття з основою можна судити результатами випробувань на зріз і т.д.

Кожен з існуючих методів має свої переваги і недоліки. Такі випробування, як проба на звук і різцем є грубими. Велике поширення отримала клейова методика, але вона вимагає сушіння клею при високих температурах (100–150 °С). Міцність зчеплення, яку можна заміряти цим способом обмежується міцністю клею, використовуваного при випробуваннях. Недоліком клейової методики є необхідність точності центрування випробовуваних зразків, інакше може статися скол, а не відрив.

Для випробування покриттів (чавун + 20 % Cu), скористаємося штифтовим методом. Зразок був виготовлений із сталі 18ХНВА. На рисунку 2.2 представлена схема визначення міцності зчеплення.

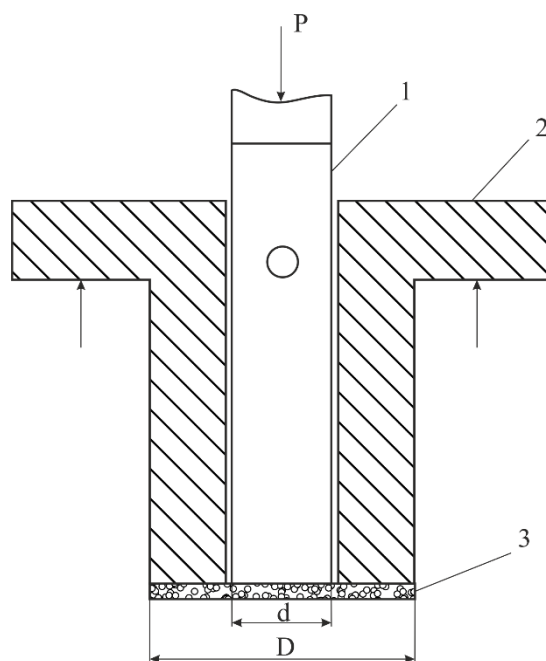


Рисунок 2.2 Схема визначення міцності

1 – штифт, 2 – стакан, 3 – покриття

					ДП. 131. 5121зш. 01. 05. 02. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

При вільному переміщенні стрижня в склянці зразок закріплюється фіксатором і здійснюється напилення. В іншому випадку необхідно очистити зразок від частинок дробу і забезпечити вільне ковзання штифта в стакані. Перед випробуванням фіксатор видаляють, зразок ставлять у колодку і на пресі видавлюють циліндр зі склянки, фіксуючи зусилля необхідне для відриву покриття. Швидкість навантаження складає 0,5 мм/хв. Міцність зчеплення визначається за формулою:

$$\sigma = \frac{4P}{\pi(D^2 - d^2)} \quad (2.8)$$

де d – діаметр штифта, м;

D – діаметр склянки, м

Після випробувань зразок торцюють на токарному верстаті і знову напилюють. Ця методика є простою і доступною; на відміну від штифтового методу. У даній методиці найменше завищуються результати за рахунок залипання частинок в зазор між штифтом і склянкою. Після випробувань на штифті залишається шар покриття, що наочно ілюструє точність експерименту. На відміну від клейової методики цим способом можна визначити міцність зчеплення, верхня межа якої обмежується межею плинності зразка.

2.5 Аналіз структури напилених покриттів

Для вивчення впливу термічної обробки на структуру плазмових покриттів була проведена термічна обробка покриттів з чавуну + 20 % міді на 18ХНВА. Вона полягала в нагріванні трубчастої печі до температури 900 °С з витримкою дві години, а потім охолодження з піччю до кімнатної температури. Після цього штифти досліджували на електронному мікроскопі марки УЕМВ–100К. Проведено фотографування характерних ділянок структур при напрузі 75 кВ. Крім цього проводилося фотографування цих же штифтів при збільшенні 500× на мікроскопі. На рисунку 2.3 представлена

					ДП. 131. 5121зш. 01. 05. 02. ПЗ.	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мікроструктура покриттів з чавуну + 20 % міді, що не піддається термообробці. На фото чітко простежується межа між частинками, що представляє собою поздовжні пори.

При напиленні використовувався порошок різних фракцій (20...160 мкм), і це не сприятливо позначилося на структурі, так як більші частки порошку недостатньо прогрілися в струмені і при зіткненні з раніше напиленими частинками утворилися порожнечі (пори). Крім цього на щільність покриттів великий вплив має ступінь очищення порошку від різного роду домішок. Це спостерігається при збільшенні 500× (рис. 2.3).

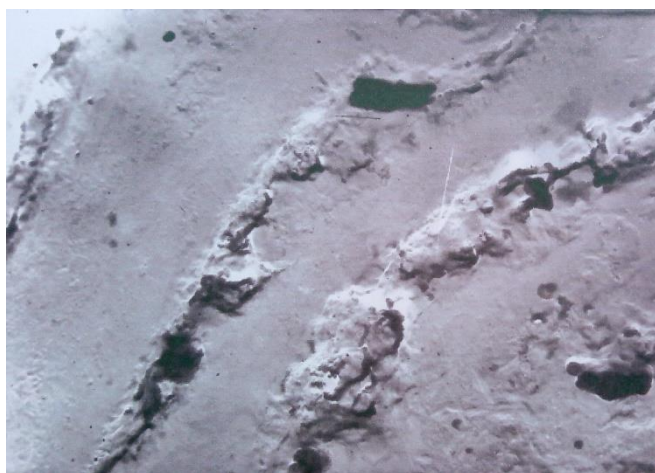


Рисунок 2.3 Мікроструктура плазмового покриття з чавуну з 20 % міді (не термообробленого) [×5000]

Видна характерна луската структура покриттів. Видно на скільки за розмірами і конфігурації одні частинки відрізняються від інших. Частинки мають більш велику форму, мабуть недостатньо проплавились і по цьому незначно деформувалися при зіткненні з підкладкою.

					ДП. 131. 5121зш. 01. 05. 02. ПЗ.	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

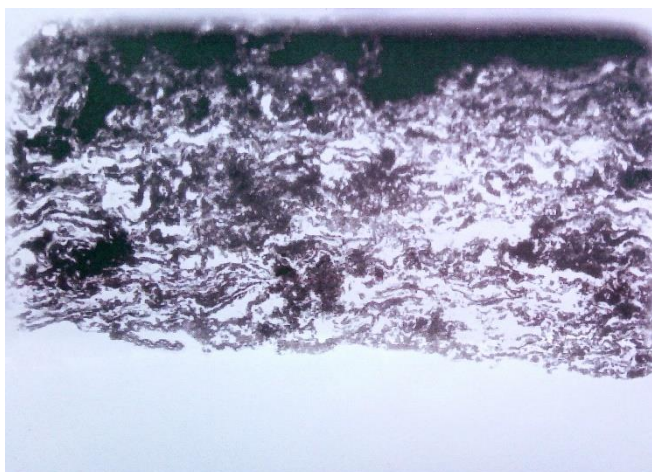


Рисунок 2.4 Мікроструктура не термообробленого плазмового покриття чавун + 20 % міді на 18ХНВА [$\times 500$]

Слід зазначити, що відсутня пориста межа розділу покриття–підкладка. На рисунку 2.4 показана структура покриття з чавуну з 20% міді, що піддавалась термообробці. Структура більш однорідна, ніж такого ж роду покриття, але не термооброблена. Досліджуючи це ж покриття при збільшенні $500\times$ (рис. 2.5) Видно, що більшість кордонів розділу частинка–частинка зникли і покриття стало більш однорідним.

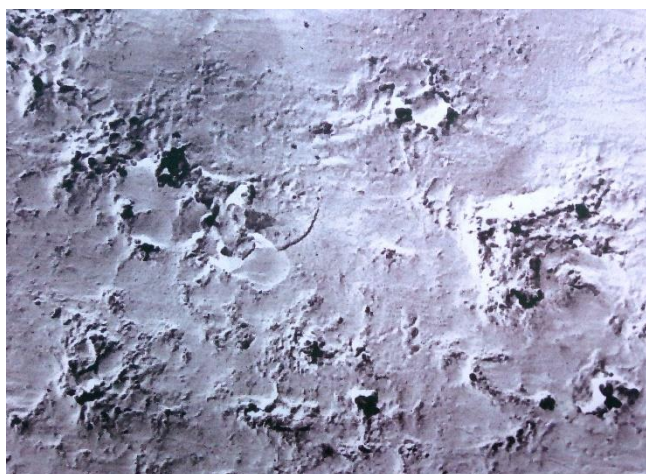


Рисунок 2.5 Мікроструктура термообробленого плазмового покриття чавун + 20 % міді [$\times 5000$]

Але спостерігається дуже пориста межа розділу покриття–підкладка, що знижує міцність зчеплення. Ймовірно це пов'язано з дифузією вуглецю до підкладки і по кордонах зерен вглиб підкладки.



Рисунок 2.6 Мікроструктура термообробленого плазмового покриття чавун + 20 % міді на 18ХНВА [$\times 500$]

Висновки: на основі результатів проведених в даному розділі досліджень та розрахунків можна зробити наступні висновки:

- для напилення покриття композицією чавун + 20 % міді на один проміжний вал необхідно 77 грам порошку;
- для повного проплавлення часток порошку чавун + 20 % міді розраховане значення потужності плазмотрону складає 40,6 кВт, мінімальна потужність складає 20,3 кВт.

					ДП. 131. 5121зш. 01. 05. 03. ПЗ.		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Студент		Голуб Є.В.			Технологічний процес плазмового напilenня суднових проміжних валів	Літ.	Арк.
Керівник		Лой С.А.					Акрушіє
Конс.							33
Н. Контр.							12
Зав. каф.		Єрмолаєв Г.В.				ХФ НУК	

3.1 Принципова послідовність напилення покриттів

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

У такій послідовності здійснюють операції з нанесення покриттів як газополуменим або електродуговим способом так і плазмовим або високочастотним індукційним методами напилення.

Попередня обробка поверхні основи є важливим чинником для забезпечення міцного зчеплення напиленого покриття з деталлю так як в більшості випадків з'єднання напиленого покриття з основою відбувається в результаті механічного зчеплення. Отже для того щоб напилюванні частинки які вдаряються і деформуються, міцно зчіплювалися з нерівностями поверхні, основа повинна мати достатню шорсткість. Крім механічного з'єднання напиленого покриття з основою можливі й інші види з'єднань, наприклад сплавлення напилюваного матеріалу з матеріалом основи, утворення хімічних сполук і т.д. Збільшення міцності механічного зачеплення пов'язано зі збільшенням площі поверхні основи і створенням більшої активності основи, що також важливо і для інших видів з'єднань. Тому створення розвиненої шорсткості на поверхні основи є важливою вимогою. Однак забезпечення шорсткості поверхні недостатньо для отримання міцного з'єднання покриття з основою. Перед попередньою обробкою поверхні необхідно провести промивку і наскільки це можливо, видалити вологу, масло та інші забруднення, а також окисні плівки.

Порошки сушать в сушильній шафі при температурі 130...150 °С протягом 3...5 годин в деках з нержавіючої сталі. Чавун + 20 % Сu або чавун + 15 % Сu прожарюють в електропечі при температурі 600...800 °С

					ДП. 131. 5121зш. 01. 05. 03. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

протягом 3,5 годин. Товщина шару засипки висушуваних порошків повинна бути не більше 20 мм.

3.2 Обґрунтування вибору порошку

Одним з основних вимог до покриття, що розробляється є висока зносостійкість. Вихідними технологічними матеріалами плазмового напилення є порошки тугоплавких металів, оксидів, твердих сплавів, композиційних матеріалів дисперсністю 40...315 мкм, що зумовлено відносно низькою вартістю і простою технологією процесу отримання порошків які використовуються для нанесення захисних покриттів та забезпечують підвищення зносостійкості, жаростійкості і корозійної стійкості деталей машин і конструкцій, інструменту. Напилення можна використовувати не тільки з метою поверхневого зміцнення, але і для відновлення розмірів виробів, втрачених в результаті природного зношування або корозії. Найбільший ефект захисні покриття забезпечують в разі експлуатації об'єкта в особливо важких умовах зношування при впливі агресивних середовищ і високих температур. З цієї причини головною областю застосування технології газотермічного напилення і наплавлення є основні та ремонтні виробництва з випуску металургійного, ковальсько-пресового, штампувального устаткування і т.д.

Застосовувати газотермічні покриття вигідно при будь-яких масштабах виробництва – від одиничного до високопродуктивного автоматизованого. Висока ефективність газотермічної технології напилення обумовлена: низькою витратою матеріалів та енергії; відносно високою продуктивністю, що досягає в окремих випадках 10–25 кг / год; можливістю отримання покриттів на будь-яких матеріалах: при напиленні – металевих, керамічних, полімерних, деревних, паперових та інших; відсутністю обмежень за розмірами поверхонь напилюваних виробів; простотою і невеликою трудомісткістю технологічних операцій; можливістю гнучко управляти формуванням структури і

					ДП. 131. 5121зш. 01. 05. 03. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

властивостей покриття за рахунок використання великої гами напилюваних матеріалів.

ГОСТ 28377–89 поширюється на порошки металів, сплавів, сполук, призначені для газотермічного (термічного) напилення різних покриттів: жаростійких, зносостійких, корозійностійких, теплозахисних, електроізоляційних та інших, а також для відновлення зношених деталей. Стандарт встановлює типи порошків для газотермічного напилення, класифіковані за такими параметрами: методам отримання, розміру часток, хімічному складу.

Відповідно до ГОСТ 28377–89 за методом отримання порошки поділяють на такі типи: розпорошений (ПР), відновлений (ПВ), карбонільний (ПК), автоклавний (ПА), електролітичний (ПЕ), механічно подрібнений (ПМ), плакований (ПП), конгломерований (ПГ), аморфний (ПФ), обкладена (ПО), порошкова суміш (ПС). У дужках дано умовне позначення типу порошку, де буква П означає «порошок», а наступна за нею буква – першу букву методу отримання (за винятком порошків конгломерованого і аморфного типів).

Розміри і гранулометричний склад порошків також мають істотний вплив на технологічні процеси. Застосування більш дрібнодисперсного порошку при напиленні зазвичай супроводжується поліпшенням заповнення покриття, що призводить до збільшення щільності та зменшення пористості. Будова покриття стає більш однорідним. Однак на практиці мінімальний розмір часток при газотермічному напилюванні повинен бути не менше 10 мкм, що обумовлено рядом причин. Дисперсні частинки більш схильні до утворення конгломератів при подачі їх потоком транспортуючого газу. Такі частинки можуть випаровуватися при напиленні в плазмі, швидко втрачають швидкість і не досягають напилюваної поверхні. Кращі результати забезпечують порошки з розміром частинок 40–70 мкм.

Плазмове покриття з Ni_3Al , добре зарекомендував себе в умовах граничного тертя і чавунна, дешева і перспективна.

					ДП. 131. 5121зш. 01. 05. 03. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Відомо, що сірий чавун має високу зносостійкість, тому що у структурі його міститься цементит, а графітові включення є як би природною змазкою. Чавун досить близький за хімічним складом до сталі, тому при плазмовому напиленні чавунного порошку слід чекати високу міцність зчеплення. Таке покриття з чавуну буде мати високу зносостійкість і може надійно служити при невисоких температурах і в неагресивних середовищах. Більшість композиційних матеріалів включають в себе значну кількість дефіцитних компонентів, таких як W, Nb, Cr, Ni та ін., які збільшують їх вартість. Крім цього, технологія промислового виробництва таких порошків є досить складною, що обмежує їх виробництво. На практиці в багатьох випадках застосування цих композиційних матеріалів економічно невиправдано, тому що вимоги до зміцнених поверхонь часто не високі. Користуючись літературними даними і попереднім напиленням чавуну, встановлено, що вище перерахованим вимогам (задовільна зносостійкість, нескладна технологія виробництва, відсутність дорогих дефіцитних компонентів) повною мірою відповідає композиції чавун–мідь.

3.3 Обґрунтування вибору обладнання

В наш час існує велика кількість установок для плазмового напилення покриттів. До основних ознак обладнання можна віднести:

1. Середовище, в якій відбувається напилення (атмосфері, вакуумі, захисному газі, окислювальному, відновлюючому газам і т.п.).
2. Ступінь автоматизації (установки з ручним, механізованим та автоматичним програмним керуванням).
3. Число робочих позицій (однопозиційні та багатопозиційні установки).

При виборі обладнання для плазмового нанесення порошкових матеріалів необхідно дотримуватися наступних вимог:

					ДП. 131. 5121зш. 01. 05. 03. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

– обладнання повинно забезпечувати отримання рівномірних по товщині покриттів з високою якістю та міцністю, необхідною пористістю та шорсткістю;

– обране обладнання повинно забезпечувати можливість роботи з будь-якими газами, мати великий термін служби та бути зручним у експлуатації;

– обладнання повинно відповідати вимогам санітарно-гігієнічних умов праці та охорони навколишнього середовища;

– обладнання повинно мати достатньо високу ефективність використання енергоресурсів, матеріалу, що напильюється, високу продуктивність та володіти низькою вартістю;

– габарити та вага обладнання повинні бути мінімально можливими.

В даний час створено кілька промислових установок для плазмового напилення, які дозволяють одержувати покриття із широким спектром властивостей із різних матеріалів.

Установка УМП-6 серійно випускається Барнаульським апаратно-механічним заводом з 1980 р. УМП-6 Укомплектована джерелом живлення АПР-402 та використовує низьковольтну електромеханічну систему підпалювання дугового розряду. Плазмотрон комплектується електродами на весь ресурс роботи (2100 год.). Пульт керування установки обладнаний аварійними і технологічними системами блокування.

До недоліків установки УМП-6 відносяться нестабільність режимів плазмотрона на кінцевому етапі гарантованого ресурсу, внаслідок зміни конфігурації електродів і недостатньо надійна система підпалювання дугового розряду.

На базі установки УМП-6 розроблена і прийнята до серійного виробництва серія плазмотронів для напилення внутрішніх поверхонь деталей діаметром від 40 мм і більше. Плазмотрони цієї серії мають назви ПГП-1600, ПГП-1-1000 і ПГП-1-1500 у залежності від глибини порожнини оброблюваної деталі в міліметрах.

					ДП. 131. 5121зш. 01. 05. 03. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Універсальна плазмова установка УПУ–3 серійно випускається Ржевским РПКО “Електромеханіка”. УПУ–3 поставляється в комплекті з джерелом живлення ИПН 160/600, призначеним для живлення силового ланцюга як при металізації дротом, так і при нанесенні порошкових покриттів.

У якості плазмоутворюючих газів застосовують аргон, азот, гелій, водень і їхні суміші. Джерело живлення з плавним регулюванням робочого струму може працювати при напрузі холостого ходу 80, 120 і 160 В.

Установка має модифікації: УПУ–3М, УПУ–3Д. Комплектується пультом керування, дозатором порошку, плазмотронами ГН–5Р, ГН–5М.

В установці УПУ–3Д замість плазмотронів ГН–5Р и ГН–5Н розроблений ряд плазмотронів загального і спеціального призначення (ПН–14М; ПП–125; ПП–25; ПМ–25; ПВ–25), що при високій надійності мають малі розміри і масу. Дозатори ДР–2 і ДШ–1 забезпечують рівномірну подачу порошкових матеріалів. Розроблено прилад для контролю витрат порошку (РПЗ–1) і газу, а також температури охолоджуючої води.

Подача порошку до плазмотрону проводиться через порошкоживлювач, від стабільності роботи цього пристрою залежить якість напилюваного покриття.

Конструкції порошкових живильників досить різноманітні. За принципом дії їх можна поділити на три типи:

- 1– з механічним дозуванням порошку, що напилюється;
- 2– вібраційні з сепаруванням порошків;
- 3– з використанням принципу перемішування порошкових матеріалів транспортуючим газом.

Найбільшу стабільність подачі порошку забезпечує порошкоживлювач з механічним дозуванням і саме він є більш перспективним при проведенні процесу нанесення порошкових матеріалів плазмовим напиленням на лопатки газотурбінних двигунів.

					ДП. 131. 5121зш. 01. 05. 03. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Джерело живлення постійного струму ИПН 160/600, яке входить в комплект установки УПУ–ЗД, служить для живлення силового ланцюга при нанесенні покриттів порошковими матеріалами.

Джерело живлення являє собою напівпровідниковий випрямляч з падаючою зовнішньою вольт–амперною характеристикою. Джерело складається із трифазного силового трансформатору; блоку випрямлячів, зібраного на кремнієвих діодах В–320 по трифазній мостовій схемі (схема Ларіонова); блоку сигнальної, пускової та регулюючої апаратури. Принцип регулювання робочого струму в ИПН–160/600 заснований на переміщенні магнітних шунтів, при якому змінюється доля магнітного потоку, який створений первиною обмоткою трансформатора.

Для створення різної напруги холостого ходу первина обмотка трансформатора поділена на три секції. Дві секції обмотки розміщені над вторинною обмоткою. Третя секція розміщена по другу сторону шунта. Ступені переключують переносом перемички на вивідній панелі трансформатора.

Джерело живлення забезпечує плавне регулювання зварювального струму в межах 160...600 А та може працювати при напрузі холостого ходу від 80 до 160 В.

3.4 Контроль якості напилених покриттів

Вироби з напиленим покриттям піддають контролю по зовнішньому вигляду, товщині, геометричним розмірам.

Контроль по зовнішньому вигляду виконується з метою виявлення зовнішніх дефектів – сколів, відшарувань. Для цього використовують лупи десятикратного збільшення ЛІ–3, ЛІ–4 по ГОСТ 8309–75, ГОСТ 7594–75.

Геометричні розміри деталі з покриттям вимірюються за допомогою лінійки (ГОСТ 427–75) та штангенциркуля (ГОСТ 166–80) і повинні відповідати вимогам креслення.

					ДП. 131. 51213ш. 01. 05. 03. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Товщину покриття на деталі вимірюють штангенциркулем (ГОСТ 166–80), мікрометром (ГОСТ 6507–78) та товщиномірами різноманітних типів. Похибка вимірювань всіх типів товщиномірів складає в середньому 10 %.

Мікротвердість покриттів вимірюють по ГОСТ 9540–76 за допомогою прибору ПМТ–3.

Контроль мікроструктури здійснюють на зразках при збільшенні 250...1000× з метою виявлення нерівномірного розподілу включень, наявності забруднень на межі підложка–покриття.

3.5 Модернізація конструкції плазмотрона ПН–14М

Надійність і якість роботи установки УПУ–ЗД визначається, в основному, надійністю роботи плазмотрона. Досвід експлуатації плазмотрона ПН–14М при напиленні теплозахисних покриттів показав, що він не забезпечує необхідної потужності дуги (до 40 кВт) і має ряд конструктивних недоліків: канали для подачі порошку часто забиваються; великий опір проходження охолоджуючої води; низька стійкість ущільнюючих елементів.

Для усунення вказаних недоліків, на базі плазмотрона ПН–14М розроблена вдосконалена конструкція.

У існуючій конструкції плазмотрона охолоджуючий потік води проходить через анод і потім послідовно через кільцеві канали кожної вставки. Такий напрям потоку обґрунтовується конструкцією капролонової втулки, де кожному кільцевому каналу вставок відповідає перегородка і вікно у капролоновій втулці. Для покращення водоохолодження міжелектродних вставок змінена конструкція капролонової вставки, у якій замість вікон для перетікання води послідовно по вставкам виконані наскрізні канали. Вольфрамовий катод кріпиться у цанговому затиску, що дозволяє легко і своєчасно встановлювати необхідну довжину робочої частини. Стійкість катода багато в чому визначається чистотою плазмоутворюючих газів, інтенсивністю охолодження і його геометричними параметрами.

					ДП. 131. 5121зш. 01. 05. 03. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Як зазначено вище, слабким місцем плазмотрона ПН–14М є вузол подачі порошку. Гумки ущільнювачів, із–за перегріву, часто виходять з ладу, що веде до порушення герметизації дугового каналу та викликає коротке замикання міжелектродних вставок.

Для уникнення перегріву ущільнень вихідного сопла в місці подачі порошку змінена конструкція корпусу анода і вихідного сопла. При збільшенні внутрішнього діаметру корпусу анода ширина каналів для охолоджуючої води відповідно збільшується. Крім того, замість одного отвору для проходження води з анода в корпус плазмотрона в розробленій конструкції передбачено три канали, що знижує теплове навантаження на ділянці подачі порошку за рахунок більш інтенсивного тепловідводу. У вихідному соплі виконані канавки, що забезпечують необхідний доступ води до гумових ущільнюючих елементів.

Описані зміни поліпшили тепловідвід і дозволили збільшити стійкість ущільнень вихідного сопла, а також міжелектродних вставок. Конструкція передсоплової вставки відрізняється від інших потовщеним буртиком. Міжелектродні вставки охолоджуються при проходженні води по капролоновому ізолятору.

При тиску на вході 0,85 МПа витрата охолоджуючої води складає 16 л/хв., а збільшення до 0,95 МПа приводить до зростання витрати до 19 л/хв. При такому охолоджуванні дана конструкція надійно працює при потужності до 40 кВт.

Істотною перевагою запропонованої конструкції плазмотрона є можливість використання в якості плазмоутворюючого газу суміш аргону з високоентальпійними газами (азотом або гелієм). При цьому теплонапруженість елементів плазмотрона не приводить до виходу з ладу гумових ущільнюючих елементів.

Порошок в даному випадку подається в анодну пляму і якийсь час знаходиться в каналі сопла, за рахунок чого поліпшується прогрівання частинок в струмені плазми, де швидкість частинок досягає 800–1000 м/с.

					ДП. 131. 5121зш. 01. 05. 03. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Цілий ряд процесів плазмової технології реалізується шляхом подачі порошкових матеріалів в плазмовий струмінь. Проте, як показують проведені експерименти, далеко не весь порошок, що подається в плазмовий струмінь, плавиться і випаровується, не дивлячись на його високий тепловміст. Причинами низької ефективності нагріву можуть бути: малий час перебування частинок в плазмовому струмені, складність введення порошку в центральну зону струменя.

Наслідком неправильного введення порошку може бути прослизання його в пристіночній області, де температура газу невисока, чи утворення настилів. При роботі плазмотрона ПН-14М спостерігається утворення настилів, неповне проплавлення порошку, виходить з ладу капролонова прокладка, виготовлення якої дуже трудомістке. Для поліпшення умов проплавлення порошку пропонуємо змінити геометрію сопла і порошок подавати під кутом 110° , внаслідок чого за рахунок більшого часу перебування частинок в струмені покращується теплообмін в системі аргон-порошок. При цьому швидкість частинок дещо зменшиться, але при напиленні у вакуумі, де опір середовища малий, цей чинник не зіграє визначального значення із-за зростання швидкості частинок в порівнянні з напиленням на повітрі. Зміну кута введення ($90^\circ \dots 110^\circ$) можливо провести з деякою зміною геометрії вихідного сопла. В результаті конструкторської розробки, запропоновано вихідне сопло, яке має дещо велику довжину в порівнянні з тим, що є. Крім того, змінений кут розкриття сопла з 90° до 60° . Менший кут розкриття покращує спрямованість струменя і відповідно збільшення коефіцієнту використання порошкового матеріалу. У зв'язку із зміною вихідного сопла змінюємо останню міжелектродну вставку, яка знаходиться при збиранні в безпосередньому зв'язку з соплом.

Даний плазмотрон має порівняно невелику витрату плазмоутворюючого газу на робочих режимах. Він забезпечує необхідну робочу потужність, достатню для прогрівання частинок в плазмовому струмені при напиленні в контрольованому середовищі.

					ДП. 131. 5121зш. 01. 05. 03. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

В результаті виконаної роботи вдосконалена конструкція плазмотрона, що дає можливість підвищення потужності та ресурсу безперервної роботи при використанні його на установці УПУ–ЗД.

Висновки: в процесі технологічних розробок по напиленню зносостійких покриттів на судновий проміжний вал прийняті наступні рішення:

- обрана установка УПУ–ЗД;
- в якості матеріалів для напилення прийняті порошки: чавун + 20 % Сu. В якості плазмоутворюючого і транспортуючого газу обрано аргон вищого сорту;
- на основі обраного обладнання і матеріалів розроблено технологічний процес напилення зносостійких покриттів на судновий проміжний вал, який включає наступні операції: надання необхідної шорсткості поверхні виробу перед напиленням, просушування порошку, плазмове напилення покриття, термічну обробку, контроль якості покриття.
- проведена модернізація конструкції плазмотрону ПН–14М1

					ДП. 131. 5121зш. 01. 05. 03. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

					ДП. 131. 5121зш. 01. 05. 04. ПЗ.		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Охорона праці		
Студент		Голуб Є.В.					
Керівник		Лой С.А.					
Конс.							
Н. Контр.							
Зав. каф.		Єрмолаєв Г.В.			ХФ НУК		
					Лім.	Арк.	Акрушів
						45	14

Охорона праці – це система правових, соціально–економічних, організаційно–технічних, санітарно–гігієнічних та лікувально–профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я та працездатності людини в процесі праці.

Законодавчими актами, що визначають основні положення про охорону праці, є загальні закони України (Конституція України, Закони України “Про охорону праці”, “Про охорону здоров'я” та ін.), а також спеціальні законодавчі акти (будівельні норми та правила, санітарні норми та правила та ін.).

Основоположним законодавчим документом у галузі охорони праці є Закон України “Про охорону праці”, дія якого поширюється на всі підприємства, установи і організації незалежно від форм власності, на усіх громадян, які працюють, а також залучені до праці на цих підприємствах.

Особливістю українського Закону, що регламентує правову основу охорони праці, є високий рівень прав і гарантій працівників. В Законі України “Про охорону праці” задекларовані основні принципи державної політики в галузі охорони праці:

- пріоритет життя і здоров'я працівників по відношенню до результатів виробничої діяльності підприємства;
- повна відповідальність роботодавця за створення безпечних і нешкідливих умов праці;
- обов'язковий соціальний захист працівників, повне відшкодування шкоди особам, які потерпіли від нещасних випадків на виробництві і професійних захворювань;
- встановлення єдиних нормативів з охорони праці для всіх підприємств, незалежно від форм власності і видів їх діяльності;
- здійснення навчання населення, професійної підготовки і підвищення кваліфікації працівників з охорони праці;

					ДП. 131. 51213ш. 01. 05. 04. ПЗ.	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– співробітництво і проведення консультацій між роботодавцями та профспілками (представниками трудових колективів) при прийнятті рішень з охорони праці.

Для реалізації цих принципів було створено Національну раду з питань безпечної життєдіяльності при Кабінеті Міністрів України, Держнаглядохоронпраці та його територіальні органи.

Тому в останні роки на підприємствах взято курс на значне покращення виробничих та побутових умов праці. Вкладати гроші в покращення умов праці вигідне: чим сучасніші умови праці працівників та побут робочого – тим ефективніше він працює.

На підприємствах особливе значення придають рішенням соціально–економічних проблем в сфері праці, зведенню до мінімуму ручного, малокваліфікованого, фізично важкого труда, приведенню всіх виробництв до безпечних, комфортних для людини. Законодавством вся відповідальність за створення безпечних та здорових умов праці на підприємствах покладена на господарчі органи – адміністрацію.

Головний зміст роботи адміністрації по охороні праці – виконання встановлених правил та норм техніки безпеки і виробничої санітарії. Вона повинна слідкувати за виконанням працюючими вимог по охороні праці.

Приймаються заходи, щодо профілактики травматизму та професійних захворювань, в першу чергу по зменшенню шкідливостей, які можуть викликати небажані дії на організм людини.

Розгляд питань охорони праці на ділянці плазмового напилення, дасть можливість розробити ряд заходів для забезпечення безпечних умов праці на виробництві, яке розглядається у даному проекті.

4.1 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів при плазмовому напиленні виробів

					ДП. 131. 51213ш. 01. 05. 04. ПЗ.	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відповідно до ГОСТ 12.0.003–74 “Опасные и вредные производственные факторы. Классификация” небезпечні та шкідливі чинники за природою дії поділяються на такі групи: фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні.

До фізичних небезпечних та шкідливих виробничих чинників належать: рухомі машини та механізми; пересувні частини виробничого устаткування; підвищена чи понижена температура поверхонь устаткування чи повітря робочої зони; підвищена запиленість та загазованість повітря; підвищений рівень шуму, вібрацій, ультразвуку; підвищені чи понижені барометричний тиск, вологість, іонізація та рухомість повітря; небезпечне значення напруги в електричному колі; відсутність чи нестача природного світла: недостатня освітленість робочої зони та ін.

До хімічних небезпечних та шкідливих виробничих чинників належать хімічні речовини.

До біологічних небезпечних та шкідливих виробничих чинників належать патогенні мікроорганізми (бактерії, віруси, грибки та ін.) та продукти їх життєдіяльності.

До психофізіологічних небезпечних та шкідливих виробничих чинників належать фізичні і нервно–психічні перевантаження.

Для виробництва, яке розглядається в даному дипломному проекті вимоги безпеки та основні положення визначені ОСТ 5.9942–84 “Нанесение металлических и неметаллических неорганических покрытий. Требования безопасности”.

По запропонованій технології, нанесення теплозахисного покриття виконується з використанням обладнання для плазмового напилення в середовищі з контрольованою атмосферою, що має ряд переваг, пов’язаних з тим, що вакуумна камера захищає працюючих від високочастотного шуму, аерозолів, токсичних газів та ультрафіолетового випромінювання. Таким чином при даній технології хімічні та біологічні виробничі чинники не оказують

					ДП. 131. 51213ш. 01. 05. 04. ПЗ.	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

значного впливу на здоров'я та працездатність робітників. Але необхідно звернути увагу на мікроклімат робочої зони, вимоги до приміщення, освітлення дільниці напilenня, пожежну безпеку, електробезпеку, кваліфікацію та освіту працюючих на дільниці, а також на запиленість та загазованість повітря робочої зони. [5]

4.1.1 Мікроклімат робочої зони. Суттєвий вплив на стан організму працівника, його працездатність здійснює мікроклімат у виробничих приміщеннях, під яким розуміють умови внутрішнього середовища цих приміщень, що впливають на тепловий обмін працюючих з оточенням. Ці умови визначаються поєднанням температури, відносної вологості та швидкості руху повітря. Параметри мікроклімату робочої зони нормуються ДСН 3.3.6–042–99 “Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень”.

Віддача тепла організмом людини в навколишнє середовище здійснюється трьома способами: конвекцією, випромінюванням та випаровуванням вологи з поверхні шкіри. Чим нижча температура повітря, тим більше тепла віддається випромінюванням. При високій температурі значна частина тепла втрачається випаровуванням.

Вологість повітря істотно впливає на віддачу тепла випаровуванням. Через високу вологість випаровування утруднюється і віддача тепла зменшується. Зниження вологості покращує процес тепловіддачі випаровуванням. Однак надто низька вологість викликає висихання слизових оболонок дихальних шляхів.

Рухомість повітря визначає рівень тепловіддачі з поверхні шкіри конвекцією і випаровуванням. У жарких виробничих приміщеннях при температурі рухомого повітря до 35 °С рух повітря сприяє збільшенню віддачі тепла організмом. З підвищенням температури рухоме гаряче повітря саме буде віддавати своє тепло тілу людини, викликаючи його нагрівання.

					ДП. 131. 51213ш. 01. 05. 04. ПЗ.	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рухоме повітря при низькій температурі викликає переохолодження організму. На дільниці плазмового напилення для регулювання та контролювання параметрів мікроклімату робочої зони встановлені: спиртовий термометр, для вимірювання температури повітря та барометр – для визначення відносної вологості.

Основними джерелами тепловіддачі на дільниці, що проектується є електровакуумна піч для термічної обробки та електродвигуни.

Оптимальними параметрами мікроклімату є: температура повітря в холодний час 18–20 °С, а в теплий час 21–23 °С; відносна вологість повітря 40–60 %; швидкість руху повітря в літній час 0,3 м/с, а в інший час – 0,2 м/с.

Для підтримання цих параметрів на дільниці плазмового напилення електровакуумна піч встановлена біля вікна для природного охолодження. В теплу пору року оптимальна температура робочої зони досягається за рахунок провітрювання приміщення та створення протягу шляхом відкриття вікон та дверей, а також кондиціонуванням повітря.

В холодну пору року для підтримання оптимальної температури приміщення для напилення опалюється за допомогою центрального водного опалення. [1,3]

4.1.2 Освітлення дільниці напилення. Для створення сприятливих умов зорової роботи, які б виключали швидку втомлюваність очей, виникнення професійних захворювань, нещасних випадків і сприяли підвищенню продуктивності праці та якості продукції, виробниче освітлення повинно відповідати наступним вимогам:

- створювати на робочій поверхні освітленість, що відповідає характеру зорової роботи і не є нижчою для встановленої норми;
- забезпечити достатню рівномірність та постійність рівня освітленості у виробничих приміщеннях, щоб уникнути частотої переадаптації органів зору;

					ДП. 131. 51213ш. 01. 05. 04. ПЗ.	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- не створювати засліплювальної дії як від самих джерел освітлення, так і від інших предметів, що знаходяться в полі зору;
- не створювати небезпечних та шкідливих виробничих чинників (шум, теплові випромінювання, небезпека ураження струмом, пожежо– та вибухонебезпечність світильників);
- не створювати на робочій поверхні різких та глибоких тіней;
- повинно бути надійним і простим в експлуатації, економічним та естетичним.

Залежно від джерела світла виробниче освітлення може бути: природним, що створюється прямими сонячними променями та розсіяним світлом небосхилу; штучним, що створюється електричними джерелами світла та суміщеним, при якому недостатнє за нормами природне освітлення доповнюється штучним. [3]

Природне освітлення поділяється на: бокове, що здійснюється через світлові отвори в зовнішніх стінах; верхнє, яке здійснюється через верхні отвори в дахах та комбіноване. Штучне освітлення може бути загальним, місцевим та комбінованим.

Найменша освітленість робочих– поверхонь у виробничих приміщеннях регламентується СНиП II–4–79 “Естественное и искусственное освещение” і визначається, в основному, характеристикою зорової роботи.

Таблиця 4.1 Норми штучного та природного освітлення приміщення для V розряду [5]

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розпізнавання, мм	Штучне освітлення		Природне освітлення		Суміщене освітлення	
		Освітленість, лк		Коефіцієнт природного освітлення, %			
		При комбінованому	При загальному	При верхньому або комбінованому	При боковому	При верхньому або комбінованому	При боковому
Малої точності	1–5	300–200	200–100	3	1	1,8	0,6

Дані правила нормують вісім розрядів зорової роботи. Запропоноване виробництво відноситься до V розряду, норми для якого наведені в таблиці 4.1. На дільниці для плазмового напилення використовується суміщене освітлення, де природне бокове одностороннє освітлення доповнюється штучним загальним. В якості джерела штучного освітлення використовуються газорозрядні лампи, які внаслідок електричного розряду в середовищі інертних газів і парів металу та явища люмінесценції випромінюють світло оптичного діапазону спектра. Також на дільниці передбачене аварійне освітлення.

Надійність та ефективність природного і штучного освітлення залежить від своєчасності і ретельності їх обслуговування. Забруднення скла світлових отворів та ламп може знизити освітленість приміщення в 1,5–2 рази. Тому вікна необхідно мити не рідше двох разів у рік.

В світильниках з люмінесцентними лампами необхідно також слідкувати за справністю схем включення (не допускати миготіння ламп та шуму дроселів), забезпечувати безпеку та зручність експлуатації і обслуговування світильників, а також своєчасно замінювати перегорілі лампи і лампи, що слабо світяться. Періодично, не рідше одного разу на рік необхідно перевіряти рівень освітленості в контрольних місцях виробничою приміщення. Основний прилад для вимірювання освітленості – люксметр. [5]

4.1.3 Електробезпека. Електробезпека – це система організаційних та технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого та небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики.

Характер впливу електричного струму на організм людини, а відтак і наслідки ураження, залежать від цілої низки чинників, які умовно можна підрозділити на чинники електричного (сила струму, напруга, вид та частота струму) та неелектричного характеру (тривалість дії струму, шлях проходження струму через тіло людини) [1,5].

					ДП. 131. 51213ш. 01. 05. 04. ПЗ.	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Процес плазмового напилення відбувається при значеннях сили струму 300...350 А та величинах напруги – 80...150 В, тому можливе ушкодження електричним струмом. Сила струму, що проходить через тіло людини є основним чинником, який обумовлює наслідки ураження. Найбільш шкідливим є струм виробничої частоти 50 Гц.

Для забезпечення усунення причин пошкодження електричним струмом згідно ДНАОП 0.00–1.21–98 “Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів” необхідно:

- заізолювати токопідвідні частини машин та механізмів, а зокрема силовий ланцюг та підводи напруги до вакуумної камери на плазмотроні, шляхом покриття їх шаром діелектрика, для захисту людини від випадкового доторкання до частин електроустановок, через які проходить струм;

- надійно заземлити вакуумну камеру, водяний насос та пульт керування. Основними технічними факторами захисту людини від доторкання до струмопровідних частин є ізоляція та заземлення (ГОСТ 12.1.030–81 “Электробезопасность. Защитные заземление, зануление”). Опір ізоляції в залежності від номінальної робочої напруги регламентовано Правилами улаштування електроустановок та встановлено, що опір ізоляції складає для ланцюгів релейного захисту постійного струму 10мОм, змінного струму 6мОм, для релейних апаратів 2мОм. Вимірювання опору ізоляції установки необхідно проводити після її монтажу, ремонту та при експлуатації не рідше одного разу в рік. Це необхідно тому, що матеріали які застосовуються для ізоляції струмопідводних частин електроустановок з часом втрачають свої початкові діелектричні властивості.

Призначення захисного заземлення полягає в тому, щоб у випадку появи напруги на металевих частинах установки забезпечити захист людини від ураження електричним струмом при її доторканні до таких частин. В процесі експлуатації електроустановок можливе порушення цілісності заземлювальних провідників та підвищення опору заземлення вище норми.

					ДП. 131. 51213ш. 01. 05. 04. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Тому відповідно до ПУЕ–84 передбачено проведення візуального контролю (огляду) цілісності заземлювальних провідників та вимірювання опору заземлення. Такі вимірювання проводять, як правило, при найменшій провідності ґрунту: літом – при найбільшому висиханні чи зимою – при найбільшому промерзанні ґрунту. Вимірювання опору заземлення належить проводити після монтажу електроустановки, після її ремонту, а також не рідше одного разу на рік [1,3].

4.1.4 Пожежна безпека. Основним нормативним документом, що регламентує вимоги щодо пожежної безпеки є Закон України “Про пожежну безпеку”, прийнятий 17 грудня 1995 року.

Пожежа – це неконтрольоване горіння вогнища, що поширюється в часі і просторі.

Пожежа може бути викликана причинами електричного (іскроутворення в електрообладнанні, коротке замикання, несправність електрообладнання) та неелектричного характеру (необережне поводження з вогнем) [1].

За вибухопожежною та пожежною небезпекою відповідно до основних норм технологічного проектування (ОНТП 24–86) дільниця плазмового напилення відноситься до категорії Г.

Для забезпечення пожежної безпеки електричні ланцюги розраховуються в залежності з Правилами технічної експлуатації електроустановок, які передбачають вибір необхідного перерізу проводів, ізоляції, захисту запобіжними пристроями в залежності від напруження, від категорії приміщення, в якому обладнується електроустановка.

Дільниця плазмового напилення забезпечена двома вуглекислотними вогнегасниками марок ОУ–2 та ОУ–8 (ДСТУ 3734–98 “Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги”, ящиком з піском, а також має безпосередній вихід до води.

					ДП. 131. 51213ш. 01. 05. 04. ПЗ.	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На випадок пожежі передбачено два евакуаційні виходи: безпосередньо з приміщення назовні через запасний вихід, та через коридор на вулицю через основний. [1–2]

4.2. Розрахунок місцевої вентиляції

В запропонованому технологічному процесі нанесення захисних покриттів на лопатки газотурбінних двигунів плазмовим напиленням основним джерелом небезпеки для працівників є операція підготовки поверхні виробу перед напиленням – струменево–абразивна обробка. Основною шкідливістю такої обробки є пил, який виділяється при зіткненні виробу з корундовим піском.

Для зменшення дії шкідливих речовин на організм людини, яка обслуговує установку для струменево–абразивної обробки на дільниці, необхідно передбачити місцеву вентиляцію. Місцева вентиляція призначена для видалення шкідливих речовин, безпосередньо в місцях їх утворення, та перешкоджає поширенню їх в повітрі всього виробничого приміщення.

Перевагою місцевої вентиляції є те, що відсос мінімальних обсягів повітря з великим вмістом шкідливих домішок в ньому, попереджує забруднення повітря всього приміщення. [4]

Для створення нормальних санітарно–гігієнічних умов праці приймаємо місцеву вентиляційну систему з механічною тягою. Кількість повітря, необхідного для вентиляції приміщення з шкідливими домішками, які необхідно видалити за допомогою місцевої вентиляції розраховується за формулою: [4]

$$Q_m = n \cdot Q_0, \text{м}^3/\text{год.} \quad (4.1)$$

де Q_0 – кількість повітря, необхідного для видалення шкідливих речовин від одного джерела, $\text{м}^3/\text{с}$;

					ДП. 131. 51213ш. 01. 05. 04. ПЗ.	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

n – кількість джерел, які виділяють шкідливі речовини. На ділянці плазмового напilenня $n = 1$.

Кількість повітря, необхідна для видалення шкідливих речовин від одного джерела розраховується за формулою:

$$Q = 3600 \cdot S \cdot V_B \quad (4.2)$$

де S – площа повітроприймального отвору, м^2 ;

V_B – середня швидкість руху повітря в повітроприймачі, м/с .

Площа повітроприймача:

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \text{м}^2 \quad (4.3)$$

де d – діаметр повітроприймача, м . Прийmemo $d = 0,08 \text{ м}$. Тоді:

$$S = \frac{3,14 \cdot 0,08^2}{4} = 0,005, \text{м}^2$$

Середня швидкість руху повітря в повітря приймачі:

$$V_B = \frac{V_t \cdot l^2}{k \cdot d^2} \quad (4.4)$$

де V_t – допустима швидкість руху повітря у повітроприймачі, м/с . Для струменево-абразивної обробки приймаємо $V_t = 0,4 \text{ м/с}$;

k – коефіцієнт, який залежить від форми вхідного перерізу повітроприймача. Прийmemo k для круглих та квадратних отворів рівним $0,06$;

l – відстань від перерізу повітроприймача до місця виділення шкідливих речовин, м . В нашому випадку приймаємо $l = 0,25 \text{ м}$;

d – діаметр повітроприймача, м . Приймаємо $d = 0,08 \text{ м}$. Тоді:

$$V_B = \frac{0,04 \cdot (0,25)^2}{0,06 \cdot (0,08)^2} = 10,4 \text{ м/с}$$

					ДП. 131. 51213ш. 01. 05. 04. ПЗ.	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кількість повітря, необхідного для видаленні шкідливостей, становить:

$$Q_m = 1 \cdot 3600 \cdot 0,0005 \cdot 10,4 = 117,2 \text{ м}^3/\text{с}$$

Втрати напору в повітроприймачі на тертя розраховуються за формулою:

$$H_{\text{тр}} = \frac{\rho \cdot \lambda \cdot L}{2d} \cdot V_B^2 \quad (4.5)$$

де λ – коефіцієнт гідравлічних втрат, для металевих повітроводів $\lambda = 0,01$;

ρ – щільність повітря, г/см³, при стандартних умовах $\rho = 1,2$ кг/м³;

L – довжина повітропроводу, м. Приймаємо $L = 3$ м;

Тоді:

$$H_{\text{тр}} = \frac{1,2 \cdot 0,01 \cdot 3}{2 \cdot 0,08} \cdot 10,4^2 = 24,34$$

Втрати на місцевий опір:

$$H_{\text{м}} = \frac{z \cdot \rho \cdot V_B^2}{2}, \text{ Па} \quad (4.6)$$

де z – коефіцієнт місцевих опорів, приймаємо $z = 1,4$.

Тоді:

$$H_{\text{м}} = \frac{1,4 \cdot 1,2 \cdot 10,4^2}{2} = 90,8 \text{ Па}$$

Загальні втрати у вентиляційній системі:

$$H_{\text{заг.}} = H_{\text{м}} + H_{\text{тр.}} \quad (4.7)$$

$$H_{\text{заг.}} = 90,8 + 24,34 = 115,12 \text{ Па}$$

На основі зроблених розрахунків обираємо вентилятор 2,5/6,3 ЦСУ–14 з діаметром повітропроводу 0,1 м. Даний вентилятор на ділянці напилання

					ДП. 131. 51213ш. 01. 05. 04. ПЗ.	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

буде забезпечувати надійне видалення повітря, забрудненого частками корундового пилю. Технічні характеристики вентилятора наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Технічні характеристики вентилятора 2,5/6,3 ЦСУ–14. [4]

Витрати, м ³ /год.	Повний тиск, кгс/м ³	Статичний тиск, кгс/см ²	ККД	Мак. потужність, кВт	Нагрівання повітря в вентиляторі	Тип	Номінальна потужність, кВт	Коефіцієнт завантаження електродвигуна	Напруга, В	Частота обертання, об./хв.	Пускова апаратура	
											220 В	380 В
240	53	51	0,37	0,17	1,0	АОМ–11–2	0,25	0,27	220/380	2830	ПМ–1112	

Висновки: розроблена технологія нанесення зносостійкого покриття виконується з використанням обладнання для плазмового напилення. Необхідно чітко дотримуватися вимог, щодо приміщення, в якому розташована дільниця для напилення, а також персоналу, який працює на цій дільниці.

При виконанні процесу напилення можливе ураження електричним струмом. Для забезпечення усунення причин ураження електричним струмом необхідно заізолювати струмопідвідні частини машин та механізмів, надійно заземлити, водяний насос та пульт керування.

Шкідливість для здоров'я працюючих становить установка для струменево–абразивної обробки виробів перед напиленням. Корундовий пісок при зіткненні з поверхнею деталі що обробляється виділяє пил. На основі зроблених розрахунків обираємо вентилятор 2,5/6,3 ЦСУ–14 з діаметром повітропроводу 0,1 м.

					ДП. 131. 5121зш. 01. 05. 05. ПЗ.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Студент		Голуб Є.В.			Розрахунок економічної ефективності від обраного технологічного процесу плазмового напilenня	Літ.	Арк.	Акрушіє	
Керівник		Лой С.А.					59		
Конс.						ХФ НУК			
Н. Контр.									
Зав. каф.		Єрмолаєв Г.В.							

Річна програма випуску проміжних валів становить 370 шт. Роздрібна ціна одного такого валу становить 9000 грн.

5. Розрахунок вартості основних матеріалів

Витрата порошку (чавун + 20 % Cu) на напилення одного розглянутого валу становить $77 \cdot 10^{-3}$ кг. Ціна одного кг порошку = 2080 грн. Отже, витрати на основні матеріали становлять:

$$2080 \times 77 \times 10^{-3} = 160,1 \text{ грн.}$$

Витрата аргону на напилення одного розглянутого валу становить 600 л. Ціна одного літру становить 4,6 грн. отже, витрати на газ становлять:

$$4,6 \times 600 = 2800 \text{ грн.}$$

5.1 Розрахунок затрат на електроенергію

Витрати електроенергії розраховуються за формулою:

$$B_e = \Phi_{\text{еф.обл.}} \cdot K_z \cdot P \quad (5.1)$$

де B_e – витрати електроенергії, кВт;

$\Phi_{\text{еф.обл.}}$ – ефективний фонд часу обладнання, год, $\Phi_{\text{еф.обл.}} = 1774$ год.;

K_z – коефіцієнт завантаження обладнання;

P – номінальна потужність одиниці обладнання, кВт.

Номінальна потужність кожного виду обладнання, яке застосовується на дільниці плазмового напилення, та його коефіцієнти завантаження наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 Обладнання, яке застосовується на дільниці

Найменування обладнання	Кількість обладнання, одиниць	Номінальна потужність одиниці обладнання (P), кВт	Коефіцієнт завантаження обладнання (K_z)
Установка УПУ–ЗД	1	20	0,89
Вакуумна піч	1	10	0,82

$$B_e = 1774 \times 0,89 \times 20 + 1774 \times 0,82 \times 10 = 46124 \text{ кВт}$$

Затрати на електроенергію визначаються:

$$Z_e = B_e \times C_e \quad (5.2)$$

де Z_e – затрати на електроенергію, грн.;

C_e – вартість одного кіловата електроенергії, $C_e = 2,37$ грн/кВт год.

$$Z_e = 25 \times 2,37 \times 0,35 = 20,7 \text{ грн.}$$

5.2 Розрахунок трудомісткості

Норма часу на напилення проміжного валу за даними експериментальних досліджень становить 0,35 н–год.

5.3 Розрахунок витрат на основну заробітну плату виробничих робітників

Тарифний розряд роботи – IV

Годинна тарифна ставка робітника IV розряду – 81 грн.

Відрядна розцінка складає:

$$P_{cd} = 81 \times 0,35 = 28,2 \text{ грн.}$$

Собівартість напилення одного валу становить 3808,9 грн. Отже ціна одного валу з плазмовим покриттям складе: $9000 + 3008,9 = 12008,9$ грн.

Розрахунок економічного ефекту проводився за формулою:

$$\Delta = \left[Z_1 \cdot \frac{B_1}{B_2} \cdot \frac{P_1 + E_n}{P_2 + E_n} + \frac{(I_1 - I_2) - E_n(I_2 - I_1)}{P_2 + E_n} - Z_2 \right] \cdot A$$

де Z_1 і Z_2 – приведені витрати на виготовлення валу по базовому і новому техпроцесу;

					ДП. 131. 51213ш. 01. 05. 05. ПЗ.	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

B_1 і B_2 – річні обсяги виробництва валів при використанні базового і нового техпроцесу;

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності (0,15);

P_1 і P_2 – частка відрахувань від балансової вартості, розраховується як величини зворотні терміну служби;

Термін служби проміжного валу складає 2 роки, а з урахуванням відновлення 3 роки, тоді:

$$P_1 = \frac{1}{2} = 0,5$$

$$P_2 = \frac{1}{3} = 0,33$$

I_1 и I_2 – річні експлуатаційні витрати споживача при використанні напиленого і не напиленого валів при розрахунку на обсяг продукції; $I_1 = I_2$;

A – річний об'єм напилених валів.

Наведені витрати за базовим варіантом ($З_1$) відповідають вартості проміжного валу і складають 9000 грн. Наведені витрати по проектуваному варіанту ($З_2$) становлять 12008,9 грн, розраховані за формулою:

$$З = C + E_n \cdot K$$

де C – собівартість одиниці продукції, грн;

K – питомі капітальні вкладення у виробничі фонди, грн. $K = 15600$, грн.

$$З_2 = 12008,9 + 0,15 \times 15600 = 14348,9 \text{ грн}$$

Враховуючи вище сказане, розрахунок економічного ефекту розраховуємо за формулою:

$$\mathcal{E}_r = \left(9000 \cdot \frac{0,5 + 0,15}{0,33 + 0,15} - 12009,9 \right) \cdot 370 = 65712 \text{ грн}$$

					ДП. 131. 51213ш. 01. 05. 05. ПЗ.	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.4 Розрахунок строку окупності додаткових капітальних витрат

Термін окупності додаткових капіталовкладень ($T_{ок}$) характеризує період часу в період якого додаткові капітальні вкладення окупляться за рахунок вкладення собівартості продукції:

$$T_{ок} = \frac{K}{\Xi_r} = \frac{15600}{65712} = 0,2 \text{ року}$$

Висновки: застосування технологічного процесу, плазмового напилювання для відновлення проміжних валів збільшує термін служби валів від 2 до 3 років. Термін окупності додаткових капіталовкладень складає 0,17 року. Річний економічний ефект проектованого техпроцесу складає 65712 грн.

					ДП. 131. 51213ш. 01. 05. 05. ПЗ.	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В даній роботі були розглянуті наступні питання:

1. проаналізовано сучасні технології газотермічного нанесення покриттів;
2. проаналізовано структури та властивості напилених покриттів;
3. розроблено технологічний процес нанесення зносостійкого покриття на проміжний вал плазмовим напиленням;
4. проведено розрахунок необхідної потужності плазмотрону, та розрахована продуктивність напилення;
5. проведено удосконалення плазмотрону, яке підвищило продуктивність процесу плазмового напилення;
6. проведено аналіз всіх шкідливих факторів та небезпек, які виникають при проведенні плазмового напилення, розрахована місцева вентиляція на дільниці.

Для повного проплавлення часток порошку чавун + 20 % Cu розраховане значення потужності плазмотрону складає 40,6 кВт, мінімальна потужність плазмотрону для чавун + 20 % Cu складає 20,3 кВт, для напилення покриття композицією чавун + 20 % Cu на один проміжний вал необхідно 77 грам порошку; для напилення зносостійких покриттів на судновий проміжний вал обрана установка УПУ-3Д; в якості матеріалів для напилення прийняті порошки: чавун + 20 % Cu. В якості плазмоутворюючого і транспортуючого газу прийнято аргон вищого сорту. На основі обраного обладнання і матеріалів розроблено технологічний процес напилення зносостійких покриттів на судновий проміжний вал, який включає наступні операції: надання необхідної шорсткості поверхні виробу перед напиленням, просушування порошку, плазмове напилення покриття, термічну обробку, контроль якості покриття.

У розділі охорони праці розглянуті основні засоби та методи усунення або

					ДП. 131. 5121зш. 01. ПЗ.	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зменшення небезпечних та шкідливих факторів, що існують при проведенні наплавочних робіт відповідно до нормативних вимог. На основі зроблених розрахунків обрано вентилятор 2,5/63 ЦСУ–14 з діаметром повітропроводу 0,1 м.

У розділі економічної ефективності розрахунок показав, що при річній програмі у кількості 370 шт. економічний ефект складає 65712 грн.

					ДП. 131. 5121зш. 01. ПЗ.	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаної літератури

1. Плазмотроны. Конструкции, характеристики, расчет /текст/ А.С. Коротеев, В.М. Миронов, Ю.С. Свирчук. – Москва: Машиностроение, 1993. – 296 с.
2. Бурьяненко В.Д., Промышленное применение процессов плазменного напыления /текст/ В.Д. Бурьяненко, А.В. Донской, В.С. Клубникин – Л.: Наука, 1972. – 24 с.
3. Лашко Н.Ф. Физико–химические методы фазового анализа сталей и сплавов /текст/ Н.Ф. Лашко – М.: Металлургия, 1970. – 237 с.
4. Харламов Ю.О. Основы технологии восстановления и упрочнения деталей машин: Учебное пособие: В 2–х т. /текст/ Ю.О. Харламов, Н.А. Будагьянц – Луганск: издательство Восточнoукраинского национального университета имени В. Даля, 2003. – 496 с.
4. Корж В.М. Технологія та обладнання для напилення /текст/ В.М. Корж Навчальний посібник – К.: НМЦВО, 2000. – 152 с.
6. А. Хасуй, Техника напыления /текст/ А. Хасуй – М.: Машиностроение, 1975. – 282 с.
7. Костиков В.И. Плазменные покрытия /текст/ В.И. Костиков, Ю.А. Шестерин – М.: Металлургия, 1978. – 159 с.
8. Кудинов В.В. Плазменные покрытия /текст/ В.В. Кудинов – М.: Машиностроение, 1975. – 288 с.
9. Донской А.В. Электронноплазменные процессы и установки в машиностроении /текст/ А.В. Донской, В.С. Клубникин – Л.: Машиностроение, 1979. – 21 с.
10. Эйзнер Б.А. Коррозионностойкие покрытия /текст/ Б.А. Эйзнер, В.И. Никитин, Е.В. Митор – М.: Машиностроение, 1990. – 349 с.
11. Лахтин Ю.М. Материаловедение /текст/ Ю.М. Лахтин,

					ДП. 131. 5121зш. 01. ПЗ.	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В.П. Леонтьева – М.: Машиностроение, 1990. – 351 с.

12. Лившиц Б.Е. Физические свойства металлов и сплавов /текст/ Б.Е. Лившиц, В.С. Крапошин, Я.Л. Линецкий – М.: Metallurgy, 1980. – 385 с.

13. Дубовой А.Н. Технология нанесения газотермических порошковых покрытий /текст/ А.Н. Дубовой, Э.Б. Хачатуров, С.А. Лой – Николаев: НКИ, 1986. – 65 с.

14. Антошин Е.В. Газотермическое напыление покрытий /текст/ Е.В. Антошин – М.: Машиностроение, 1974. – 172 с.

15. Борисов Ю.С. Порошки для газотермического напыления покрытий /текст/ Ю.С. Борисов – К.: Знание, 1984. – 16 с.

16. Вартгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей /текст/ Н.Б. Вартгафтик – М.: Наука, 1972. – 720 с.

17. Жидецкий В.Ц. Основи охорони праці. Підручник /текст/ В.Ц. Жидецкий – Львів: Афіша, 2002. – 320 с.

18. Купчик М.П. Охорона праці. Лабораторний практикум /текст/ М.П. Купчик, М.П. Гандзюк, І.Ф. Гандзюк, І.Ф. Степань, В.Н. Вендиханський, А.М. Литвиненко, О.В. Іваненко К.: Основа, 1998. – 224 с.

19. Щедролюсєв О.В. Основи охорони праці. Лабораторний практикум /текст/ Л.Л. Моїсєєнко, Ю.К. Яглицький – Херсон: Айлант, 2005. – 84 с.

20. В.И. Коваль. Разработка и расчёт систем вентиляции. Методические указания к дипломному проектированию /текст/ В.И. Коваль – Николаев: НКИ, 1990. – 37 с.

21. Пістун І.П. Охорона праці в суднобудуванні: Навчальний посібник /текст/ І.П. Пістун, А.М. Тубальцев, Н.П. Тубальцева – Львів: «Тріада плюс», 2009.–580с.

22. О. Г. Левченко Охорона праці та цивільний захист – Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2018 – 370 с.

					ДП. 131. 51213ш. 01. ПЗ.	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ресурси інтернет

1. <https://plasmainfo.ru/technology/416/>
2. <https://budtehnika.pp.ua/8447-vdnovlennya-znoshenih-detaley-plazmovoyi-naplavlennyam.html>
3. https://uk.wikipedia.org/wiki/Плазмове_напилення
4. <http://opcb.kpi.ua/wp-content/uploads/2015/05/Навчальний-посібник-для-практичних-занять-ОПГ-повний-ост-без-закон.pdf>
4. <https://works.doklad.ru/view/a7EZX-McqIc/all.html>

					ДП. 131. 5121зш. 01. ПЗ.	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					ДП. 131. 51213ш. 01. ПЗ.						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Студент		Голуб Є.В			Додатки			Літ.	Арк.	Акрушів	
Керівник		Лой С.А								69	
Конс.								ХФ НУК			
Н. Контр.											
Зав. каф.		Єрмолаєв Г.В.									

[illegible]