МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи № 2
«Вивчення технології та обладнання плазмового напилення покриттів» з дисципліни «Наплавлення та напилення» для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» всіх форм навчання

2019

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи № 2 «Вивчення технології та обладнання плазмового напилення покриттів» з дисципліни «Наплавлення та напилення» для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» всіх форм навчання / Укл.: Ю.М. Савонов, О.Є. Капустян – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2019. - 21 с.

Укладачі: Ю.М. Савонов, канд. техн. наук, доцент
О.Є. Капустян, старш. викл.;
Рецензент: М.І. Андрущенко, канд. техн. наук, доцент
Редактор: І.П. Аверченко
Відповідальний за випуск: О.Є. Капустян

Затверджено
на засіданні кафедри ОТЗВ
Протокол №15 від 22.05.2019 р.

Рекомендовано
до видання НМК ІФФ
Протокол №8 від 20.06.2019 р.

ЗМІСТ

1 МЕТА РОБОТИ 4
2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ 4
2.1 Основи плазмового напилення 4
2.2 Основні паспортні дані обладнання комплексу плазмового напилення ОПН-11 10
2.2.1 Установка плазмового напилення УН-1 10
2.2.2 Змішувач газів СГ-1 12
2.2.3 Поживник порошку ПП-2500 13
2.2.4 Джерело живлення ІП-7 13
2.3 Загальні положення технологічної інструкції по плазмовому напиленню зносостійких покриттів 15
3 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНОСТІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ 17
4 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ 18
5 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ 18
6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ 19
7 ЗМІСТ ЗВІТУ 20
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА 21

1 МЕТА РОБОТИ

Практично ознайомитися з обладнанням і технологічним процесом нанесення покриття на поверхню деталей методом плазмового напилення.

2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

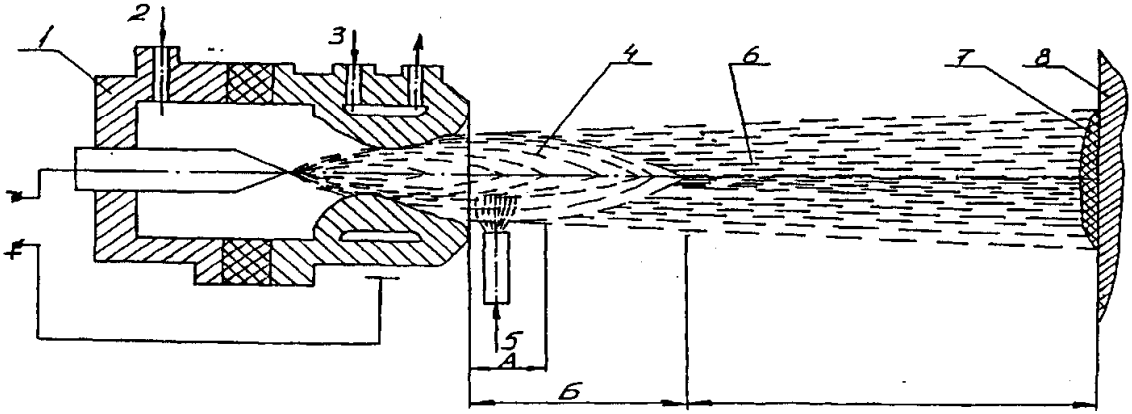
2.1 Основи плазмового напилення

Плазмове напилення - прогресивний технологічний процес нанесення покриттів. При плазмовому напиленні матеріал покриття у вигляді порошку або дроту вводиться в плазмовий струмінь, де він інтенсивно нагрівається (дріт плавиться і розпилюється), переноситься до поверхні оброблюваної деталі, в результаті взаємодії з нею утворює покриття (рис. 2.1).

Плазмовий струмінь одержують вдуванням плазмоутворюючого газу (в нашому випадку аргону і водню) в електричну дугу, яка утворюється в плазмотроні між двома електродами. Плазмовий струмінь, це потік електронів, іонів та нейтральних атомів плазмоутворюючого газу, температура якого становить 10000-50000 К, а швидкість руху частинок матеріалу, що напилюється в ньому 100-200 м/с.

При плазмовому напилюванні покриття з порошку його вводять в завислому стані в струмінь транспортуючого газу безпосередньо у сформований плазмовий струмінь на зрізі сопла плазмотрону.

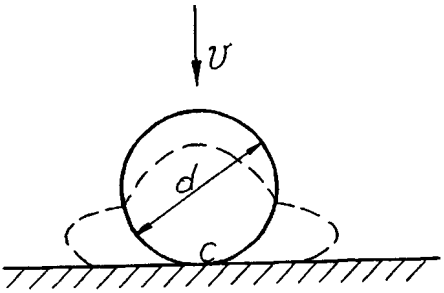
Під дією газодинамічних сил і сил інерції порошок проникає в плазму, нагрівається до температури плавлення під час руху на певному відрізку А (рис. 2.1) і прискорюється згідно з законами газодинаміки на відрізку Б, а далі, на ділянці В, вони цілеспрямовано з великою швидкістю рухаються до поверхні оброблюваної деталі напилюваний матеріал наноситься у диспергованому стані у вигляді дрібних розплавлених частинок сферичної форми або пластифікованих частинок. При ударі об поверхню деталі (зразка) сферичні частинки діаметром сильно деформуються тверднуть і набувають форму тонкого диску розміром (D × h) (рис. 2.2).



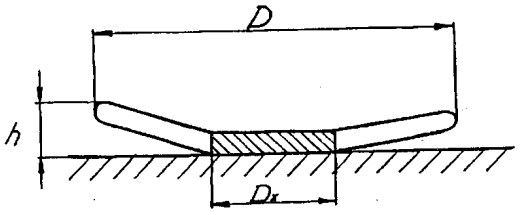
1 – плазмотрон; 2 - плазмоутворюючий газ; 3 - охолоджувальна вода; 4 - плазмовий струмінь; 5 - подача матеріалу (порошку) , що напилюється; 6 - частинки порошку, що напилюється; 7 - напилене покриття; 8 - поверхня деталі (виробу), що оброблюється;

А - дистанція, на якій відбувається нагрівання напилюваного матеріалу (порошку); Б - дистанція, на якій частинки матеріалу прискорюються плазмовим струменем; В - зона вільного руху частинок матеріалу, що напилюється

Рисунок 2.1 – Схема процесу плазмового напилення покриття



а



б

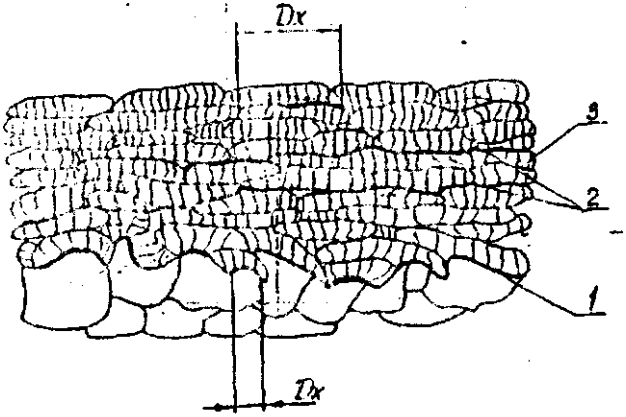
а – початковий стан; б – кінцевий стан частинки.

Рисунок 2.2 – Схема деформування частинок, що рухаються зі швидкістю V, при ударі (точка С) об плоску поверхню підкладки

Висока швидкість деформації і розтікання розплавлених частинок приводить у фізичний контакт матеріал частинки і підкладки на межі взаємодії. При цьому велика група збуджених атомів частинки, в рівній мірі підготовлена до хімічної взаємодії, входить в дотик з атомами підкладки. При наданні атомам підкладки певної енергії, а саме енергії активації, вони будуть хімічно взаємодіяти з атомами частинки. Міцне приварювання частинки до підкладки залежить від температури, яка утворюється на межі системи «підкладка - матеріал, що напилюється». При недостатній, чи надмірній температурі підкладки частинки чи окремі ділянки сформованої поверхні відокремлюються від основи.

Покриття в цілому можна уявити як матеріал, що складається з тонких пластин, з'єднаних між собою по контактній поверхні зварними ділянками «схоплювання», які утворились за час твердіння частинок (рис. 2.3). Зварені ділянки не заповнюють всю поверхню

контакту між частинками, тому міцність і щільність покриття нижчі міцності і щільності компактного матеріалу.



1 - межа між покриттям і поверхнею підкладки; 2 - межа між шарами покриття, що одержуються за один технологічний цикл напилення;
3 - межа контакту між окремими частинками

$Д_x$ - діаметр контактної поверхні, на якій відбулося зварювання частинок.

Рисунок 2.3 – Схема структури плазмового покриття

При напилюванні мас місце два характерних випадки взаємодії:

1 - між частинками, що напилюються і поверхнею підкладки (деталі);

2 - між частинками, що напилюються і вже нанесеним покриттям.

У першому випадку звичайно взаємодіють матеріали різні не лише по властивостям, але часто і по типу зв'язку в кристалічній гратці. Найбільш розповсюдженим прикладом такої взаємодії є взаємодія між металами і окислами при їх нанесенні у вигляді покриття. У другому - взаємодія обмежується лише частинками матеріалу, що напилюється між собою.

Таким чином, контактні процеси при ударі, деформації, твердінні і охолодженні частинок, а також процеси їх фізико - хімічної взаємодії з плазмою і оточуючим середовищем при русі до підкладки визначають структуру і властивості покриття. Виходячи з такого підходу в реальному покритті можна виділити ряд структурних елементів, які розділяються границями розділу з певними властивостями (рис. 2.3).

Межа розділення між покриттям і підкладкою визначає міцність

зчеплення між ними (адгезію покриття). Межа розділення між шарами, одержаними за один прохід напилювання, виникає із-за різної тривалості витримки між нанесенням частинок безпосередньо в шарі і між окремими шарами За період витримки міжшарового нанесення поверхня покриття забруднюється і контактні процеси між частинками ускладнюються.

Друга причина появи меж - відмінність у термоциклах, що залежать від теплопровідності покриття, яка сильно змінюється з ростом його товщини.

У межу розділення між частинками в шарі входять площа контактної поверхні в місцях «схоплювання», на окремі частинки приварювались до підкладки або покриття (когезія частинок в покритті).

Ділянки приварювання в першу чергу визначають механічні властивості покриття і, окрім того, являються відповідальними й за інші технічні властивості.

Будова шару, що утворюється за один прохід, неоднорідна у зв'язку з річним енергетичним станом (температурою і швидкістю) частинок, що знаходяться в периферійній і центральній зонах двохфазного потоку. Крім того, очевидно, має місце також екрануюча дія периферійних частинок центральної зони. Нерівномірність енергетичного стану частинок сильно проявляється, зокрема, при напилюванні окислів алюмінію. Різниця в щільності центральних і периферійних ділянок при напилюванні Al_2O_3 досягає 10-15 %.

В залежності від продуктивності розпилювання, швидкості переміщення плазмотрону, термічних умов на підкладці і інших параметрів режиму напилювання товщина шару покриття, нанесеного за один прохід, може досягти 50-100 мкм.

Утворення покриття послідовною укладкою багатьох деформуючих частинок неминуче приводить до появлення мікропорожнин, особливо на стиках частинок. У зв'язку з тим, що покриття формується в атмосфері, мікропорожнини заповнюються газом, що негативно впливає на властивості міжшарових границь, які мають найбільшу товщину адсорбованих газів. Внаслідок великої шорсткості покриття і надзвичайно швидкого розтікання і кристалізації частинок при ударі в зоні контактів з поверхнею раніше нанесених частинок утворюються дефекти і порожнини. Взаємодія з атмосферою, адсорбція газів і осідання пилевидних фракцій істотно

погіршують властивості міжшарової зони покриття.

Із зменшенням розміру частинок, що напилюються поліпшується заповнення шару покриття - його щільність росте, об'єм мікропорожнин зменшується, структура покриття робиться більш однорідною. Проте дуже дрібні частинки становляться непридатними для плазмового напилювання, тому що вони в плазмі можуть повністю випаровуватися.

Для забезпечення адгезійної міцності зчеплення в переважній більшості випадків перед нанесенням шару основного матеріалу, що напилюється проводиться нанесення підшару.

Напилення підшару передбачається при нанесенні покриттів, які мають різні по відношенню до матеріалу підкладки коефіцієнти термічного розширення і експлуатуються в умовах змінного динамічного, або теплового напруження, а також в агресивному середовищі. Як матеріали для підшару необхідно використовувати метали і сплави, які відзначаються основою і основним шаром покриття. При виборі матеріалу підшару необхідно ураховувати межі коливання температури експлуатації в окислювальному середовищі, як це вказано в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Матеріали, які використовуються для формування підшару

Матеріал підшару (марка порошку)	Орієнтовні граничні температури експлуатації, ° С
МП4 (молібден)	315
ПХ20Н80	1200
ПН85Ю15	1300
ПН70Ю30	1500
ПТ-НА-01	1000
ПТ105Н	1000
ПТ88Н12	500
ПТ65Ю35	1300
ПРХ18Н9	500
ПН55Т45	200

Підшар необхідно наносити на попередньо знежирену, активовану, шорстку поверхню деталі, виробу, конструкції.

Товщина нанесеного підшару не повинна перевищувати 0,05-0,15 мм.

2.2 Основні паспортні дані обладнання комплексу плазмового напилення ОПН-11

2.2.1 Установка плазмового напилення УН-1

Установка УН-1 (табл. 2.2) призначена для захисту обслуговуючого персоналу від впливу основних шкідливих факторів процесу (шуму, випромінювання, токсичного дрібнодисперсного пилу, аерозолів і т.і.), а також маніпулювання деталями та плазмотроном.

Таблиця 2.2 - Технічна характеристика установки УН-1

Найменування параметра	Значення
Найбільші розміри деталей, що оброблюються типу тіло обертання, мм:	
– діаметр	180
– довжина	600
Найбільші розміри площинних деталей, що оброблюються, мм: – довжина; – ширина	300 180
Маса деталей, що оброблюються, кг, не більше	12
Частота обертання деталі на позиції напилення, $хв^{-1}$	29-576
Хід пристрою координатних переміщень максимальний: – вертикальний, мм – поздовжній, мм; – поперечний, мм – кутовий, град.	 620 300 300 ±45
Швидкість руху пристрою координатних переміщень: вертикального, мм/с поздовжнього, мм/с поперечного, мм/с кутового, град/с	 1,44-72 0,9-18 0,9-18 2,5-50

Установка і складається з камери ізолюючої та пульту керування з жолобом.

Камера призначена для розміщення усіх технологічних механізмів та захисту обслуговуючого персоналу від впливу шкідливих факторів. Камера складається з корпусу, пристрою

координатних переміщень, допоміжного пульту керування, електрошафи, систем електро-, пневмо-, водо - та газопостачання.

Корпус складається з панелей облицьованих шумопоглинаючим матеріалом, має двоє дверей, шо зачиняються, оглядові вікна з світлозахисним склом, кільцевий канал дня проходу деталей систему вертикального та нижнього відсмоктування повітря та два повітрозбірники. На заданій панелі міститься фланець для приєднання аспіраційного пристрою, а також вводу плазмоутворюючих газів, стисненого повітря, води охолодження, електричного струму. Двері корпусу забезпечені системою механічного блокування.

Пристрій координатних переміщень - це промисловий робот з програмним керуванням, шо служить для переміщення плазмотрону в необхідному напрямку з необхідною швидкістю з чотирма ступенями свободи. Пристрій складається з механізмів повздовжнього, поперечного, вертикального та кутового переміщень.

Позиціонер придатний для подачі деталей до зони напилення, обертання деталі на позиції напилення, охолодження та транспортування деталей на розвантаження. Це шестипозиційний поворотний стіл з гніздами фіксації деталей, що напилюються.

Пульт керування призначений для дистанційного керування механізмами установки плазмового напилення, контролю їх роботи, налагодження та завдання програм.

В установці існують режими роботи:

- налагодження;
- автоматичний;
- одиночного циклу.

Пристрій координатних переміщень в автоматичному режимі працює:

- по тактах;
- по часу;
- в режимі «рифлений вал».

Позиціонер працює:

за однообертовим циклом; за багатообертовим циклом.

Режим налагодження використовується для перевірки працездатності вузлів та агрегатів установки. А також налагодження технологічних параметрів. Кожен механізм при цьому вмикається автономно.

2.2.2 Змішувач газів СГ-1

Змішувач газів (табл. 2.3) призначений для керування технологічними режимами роботи плазмотрону.

Таблиця 2.3 - Технічна характеристика змішувача газів

Найменування параметра	Значення
Витрати плазмоутворюючих газів, максимальні, л/хв: – аргон; – азот; – водень	 50 60 25
Тиск плазмоутворюючих газів на виході, МПа	0,01-0,1
Витрати транспортуючих газів (аргон або азот) л/хв	6
Тиск транспортуючих газів на виході, максимальний, МПа	0,35
Діапазон обмежування витрат води охолоджуючої, л/хв	8-15
Діапазон зміни температур води на вході в плазмотрон, град	5-30
Діапазон обмеження максимальної температури охолоджуючої води на виході з плазмотрону, град	40-44
Параметри дуги, максимальні: струм, А; напруга, В	 700 250

Змішувач складається з корпуса, в якому змонтовані системи:

– дозування плазмоутворюючих газів,

– дозування транспортуючих газів,

– блокування плазмотрона по витратам і температурної охолоджуючої води,

– контролю та регулювання роботи електрообладнання.

У задній частині корпуса змонтована панель вводів, через яку здійснюється підвід газів, підвід плазмоутворюючого газу до плазмотрону, транспортуючого газу до поживників порошку, панель керування, панель контролю та нижня панель. Змішувач газів дозволяє використовувати її як плазмоутворюючі так і гази і їх суміші:

– аргон;

– аргон + водень;

– аргон + азот;

– азот + водень;

– азот.

2.2.3 Поживник порошку ПП-2500

Поживник порошку (табл. 2.4) призначений для дозування та рівномірної подачі порошку до зони плазмового струменя.

Таблиця 2.4 - Технічна характеристика поживника порошку

Найменування параметра	Значення
Продуктивність, $см^3$/год	50-1500
Корисна місткість, $см^3$	2500
Параметри транспортуючого газу /аргон або азот/ витрати, л/хв; тиск, МПа	 6 до 0,35
Грануляція порошку, мкм	20-180

Поживник порошку складається з основних вузлів:

– корпусу;
– завантажувального бункеру;
– воронки зі скребком;
– диску (тарілки);
– приводу обертання диску;
– електромагнітного вібратора.

При запуску поживника порошку електродвигун приводить до обертання диск (тарілку), порошок просипається з воронки на диск, скидається скребком з диску і транспортується газом до зони плазмового струменя плазмотрону. Вібратор потрібен для запобігання злежування, злягання порошку. Амплітуда коливання вібратора регулюється.

Оберт диску регулюється за допомогою блока керування приводом обертання диску, змонтованого у змішувачі газів.

2.2.4 Джерело живлення ІП-7

Джерело живлення («джерело») (табл. 2.5, рис. 2.4, 2.5) - статичний перетворювач змінного трифазного електроструму промислової частоти у постійний і призначений для живлення плазмотрону.

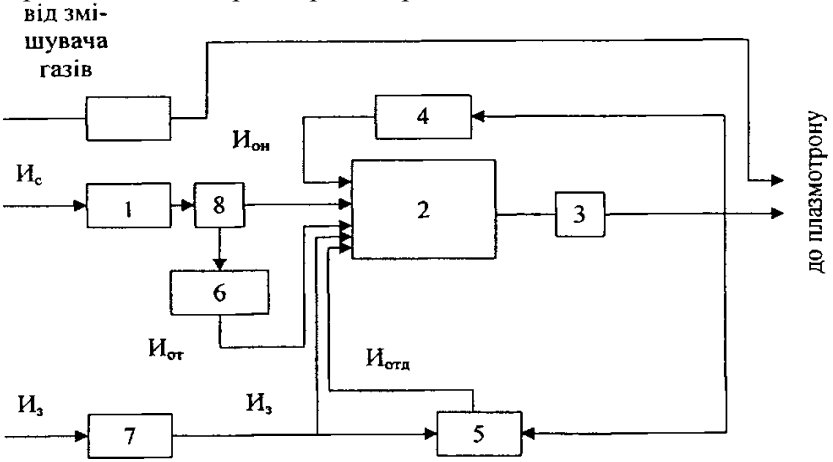
Джерело живлення - пристрій - випрямляч, зроблений на

кремнійових діодах, включених по трифазній мостовій схемі. Складається з перетворювача, трансформатора і силової шафи з комутаційними пристроями та блоком підпалення дуги.

Таблиця 2.5 - Технічна характеристика поживника порошку

Найменування параметра	Значення
Номінальна потужність кВт	45
Номінальний електричний струм, А	550
Номінальна напруга, В	70
напруга холостого ходу, В	180
Напруга мережі живлення, В	380
Частота мережі живлення, Гц	50
Охолодження	повітряне примусове

Джерело працює таким чином напруга живленим 380 В з комутуючої апаратури подається на трансформатор і перетворюється в напругу 133 В. Ця напруга через дроселі насичення, подасться на блок діодів, який перетворює змінну напругу у постійну. Регулювання вихідної напруги здійснюється системою САР (система автоматичного регулювання). Система захисту проводить вимкнення джерела живлення при аварійних режимах.



1. трансформатор; 2 - дроселі насичення; 3 - випрямляч; 4 - зворотний зв'язок; 5 - додатковий зворотний зв'язок по струменю; 6 - основний зворотний зв'язок по струменю; 7 - підсилювач; 8 - датчик струму; 9 - блок підпалення дуги;

Рисунок 2.4 - Структурна схема джерела живлення

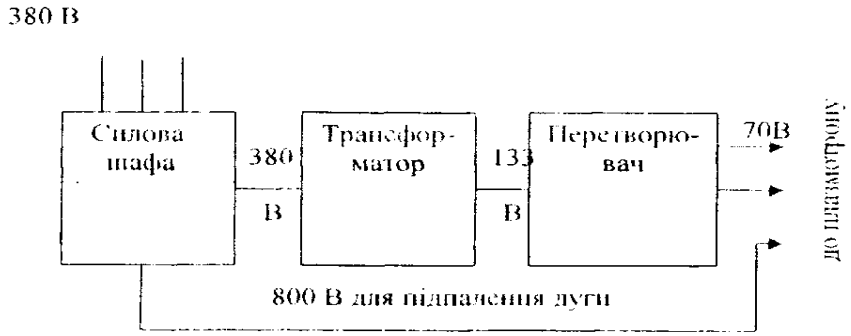


Рисунок 2.5 - Блок-схема джерела живлення

2.3 Загальні положення технологічної інструкції по плазмовому напиленню зносостійких покриттів

Як плазмоутворюючі гази рекомендується використовувати технічний водень і аргон вищого ґатунку, транспортуючим газом - аргон вищого ґатунку.

Для отримання зносостійких покриттів використовують керамічні та металічні порошкові матеріали.

Склад порошкових матеріалів і властивості покриттів приведені в табл. 2.6.

Перед використанням порошків їх потрібно просушити.

Температура просушки порошків, ° С:

– металічних 120-150;

– керамічних 300-400;

– тривалість сушки, год. 2-3.

Сушіння проводити в сушильній шафі, на піддонах, шар порошку не повинен перевищувати 20 мм.

Перед напилюванням порошки мусять пройти операцію просіювання. Для проведення класифікації використовують сітки металічні, тканини з квадратними вічками нормальної точності № 015-063 по ГОСТ 6613-73.

Напилюванні покриття повинні мати товщину, мм, не менше:

– підшар 0,04;

– основний шар 0,2.

Таблиця 2.6 - Матеріали для плазмового напилення та властивості зносостійких покриттів

Найменування матеріалу	Марка, призначення матеріалу	Зміст основних елементів, %	Основні властивості покриттів	Призначення матеріалу
Порошок матеріалів	ПН 85Ю16 грануляція 20-63 мкм ТУ 14-1-3282-81	12-15 основа	Міцність зчеплення на відрив при товщині 0,3 мм з сталлю 40-45 МПа мікротвердість 450 МПа	Для нанесення підшару
Мікрошліф порошок електрокорунду нормального	Марка 15А ТУ 2-036-802-79 грануляція М28-П, М40-П ГОСТ 3647-80	93-98 1,2-3,5	Поруватість 8-15 %, мікротвердість не менше 1000 МПа	Для нанесення основного шару

При необхідності наступної механічної обробки, товщина основного шару має бути збільшена до 0,5-0,8 мм в залежності від вимог точності розмірів та виду обробки.

Для запобігання перегріву деталей у процесі напилення поверхонь їх необхідно охолоджувати стисненим повітрям очищеним від вологи та масел. Тиск повітря 0,5 МПа. Струмінь повітря необхідно направляти на вже сформоване покриття. Витрати повітря – 95 $м^3$/год. Рекомендовані режими плазмового напилення приведені в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 - Рекомендовані режими плазмового напилення

№ п/п	Параметр	Значення показників	
		для підшару	для основного шару
1.	Струм, А	400-450	500-550
2.	Напруга, В	65-75	65-75
3.	Витрати плазмоутворюючих газів, л/хв		
	аргон	35-40	35-40
	водень	9,5-10,5	11-12
4.	Витрати транспортуючого газу, л/хв	1,0-1,8	1,0-1,8
5.	Тиск газів, МПа		
	плазмоутворюючих	0,15-0,2	0,15-0,2
	транспортуючих	0,15-0,2	0,15-0,2
6.	Витрати порошку, кГ/год	3-6	2-4

3 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНОСТІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ

3.1. Плазмове напилення, його суть та призначення.

3.2. Назвати основні технологічні операції плазмового напилення, послідовність їх виконання.

3.3. Схема побудови і роботи плазмотрону, його основні елементи і характеристика.

3.4. Параметри технологічного режиму плазмового напилення і як вони впливають на якість покриттів.

3.5. Назвати основні технічні дані використовуваного обладнання для плазмового формування покриттів.

3.6. Фізико-механічні властивості плазмових покриттів.

3.7. Що таке адгезія плазмового покриття від чого вона залежить?

3.8. З'ясувати механізм творення і структуру плазмових покриттів.

4 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ

1. Зразки та деталі для напилювання.
2. Порошок сплаву ПН85Ю15 (ТУ 14-1-3282-81) зернистістю 20-63 мкм.
3. Порошок електрокорунду нормального марки 15А (ТУ 2-036-802-79) зернистістю М28 (ГОСТ 3647-80).
4. Аргон вищого ґатунку (ГОСТ 10157-79).
5. Водень технічний марки А (ГОСТ 3022-80).
6. Мікрометри 0-25; 25-50; 50-75.
7. Лупа ЛІП - 7^x (ГОСТ 7594-75).
8. Прилади для закріплення деталей.
9. Змішувач газів СГ - 1 .
10. Поживники порошку ПП - 2500 – 2 шт.
11. Джерело живлення ІП - 7 .
12. Установка плазмового напилення УН - 1, з плазмотроном ПМ-ІМ.

5 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

Сумлінно виконувати усі вимоги техніки безпеки згідно з існуючою інструкцією у лабораторії зварювання плавленням.

Перед початком роботи необхідно оглянути кожну одиницю обладнання і переконатися в надійному їх заземленні. Роботу на обладнанні проводити відповідно з технологічною інструкцією на експлуатацію блока плазмового напилення, яка зафіксована на передній панелі кожної одиниці обладнання, лише після отримання допуску і під безпосереднім контролем викладача (лаборанта).

6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Ознайомитись з паспортними даними обладнання.
2. Ознайомитись з загальними положеннями технологічної інструкції плазмового напилення.
3. Ознайомитись з інструкцією по роботі на блоці плазмового напилення комплексу СПН-11.
4. Підготувати установку плазмового напилення УН-1 до роботи і установити деталь в пристрій позиціонера.
5. Підготувати до роботи змішувач газів СГ-1 і установити потрібний режим напилення (тиск і витрату плазмоутворюючого та транспортуючого газів, потужність плазмового струму, витрату порошку тощо.
6. Підготувати до роботи і заповнити порошками поживники порошків ПП-2500
7. Підготувати до роботи і увімкнути джерело живлення ІП-7,
8. Перевірити робочий стан плазмотрону ПМ-ІМ.
9. Установити оптимальні значення технологічних параметрів нанесення покриттів.

9.1. Відстань від зрізу сопла плазмотрона до поверхні напилювання: 140…160 мм для підшару; 120…140 мм - для основного шару.

9.2. Кут напилювання – 60…90°.

9.3. Швидкість відносного переміщення деталі (обертання) до плазмотрону ([1], рис. А.1).

9.4. Швидкість повздовжнього переміщення плазмотрону відносно деталі ([1], рис. А.2).

9.5.Рекомендовані режими напилення приведені в табл. 2.7.

10. Виконати процес напилювання.

10.1. Напилити проміжний шар за один такт (два проходи).

10.2. Визначити товщину нанесення підшару (мм).

10.3. Напилити основний шар покриття за один такт (два проходи).

10.4. Визначити товщину основного шару, нанесеною за один такт, мм.

10.5. Визначити необхідну кількість тактів (число проходів) для нанесення на деталь плазмового покриття заданої товщини (наприклад, 0,2мм; 0,3мм; 0.4мм).

10.6. Напилити згідно розрахунків основний шар покриття.

10.7. Визначити товщину основного шару, нанесеного за «N» тактів і порівняти із заданою.

10.8. Візуально оцінити якість одержаного покриття на відсутність сколів, відшарувань, тріщин, тощо.

10.9. Отримані дані занести в таблицю експериментальних даних (табл. 6.1).

11 Скласти звіт по роботі.

Таблиця 6.1 – - Результати вимірювання

Марка порошку	Режим напилення											Товщина шару, мм	Якість одержаного покриття.
	Сила струму, I, A	Напрута U, B	Відстань напилення	Витрати газів, л/хв		Витрати порошку кг/год	Діаметр деталі, мм	Матеріал деталі, мм	Поздовжня подача плазмотрону, мм	Кількість обертів деталі, хв.$^{-1}$	Число тактів проходів		
				Ar	H_2								

7 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Назва і мета роботи.
2. Схема процесу плазмодугового формування покриттів з порошків.
3. Призначення та основні технічні характеристики використовуваного обладнання для плазмодугового формування покриттів.
4. Експериментальні дані щодо режиму нанесення покриттів і їх товщини у вигляді табл. 6.1.
5. Висновки по роботі.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. В.В. Кудинов, В.М Иванов. Нанесение плазмой тугоплавких покрытий. М.: Машиностроение, 1981. – 192 с.

2. Ю.С. Борисов, А.Л. Борисова. Плазменные порошковые покрытия. К.: Техника – 1986. – 275 с.

3. Инструкция технологическая. Покрытия износостойкие, нанесенные метолом плазменного напыления на детали нефтепроводящей гарнитуры. РД-27-69-887-86. М.: 1986. – 43 с.

4. ЮС. Борисов, Ю.А. Харламов, С.Л. Сидоренко, Е.Н. Ардатовская. Газотермические покрытия из порошковых материалов. Справочник. К.: Наукова думка, 1987. – 544 с.

5. А.А. Хасуй. Техника напыления. М.: Машиностроение, 1975. – 640 с.

6. А.Н. Краснов, С.Ю. Шаривкер, В.Г. Зильберг. Низкотемпературная плазма в металлургии. М.: Металлургия, 1970. – 536 с.

7. Руководящие технические материалы. Подготовка поверхности перед нанесением покрытий газотермическим напылением. РТМ-2-87, Киев, 1987. – 52 с.