

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“Київський політехнічний інститут”

**«НАПЛАВЛЕННЯ ТА НАПИЛЕННЯ»**  
**КРЕДИТНИЙ МОДУЛЬ 2. «НАПИЛЕННЯ»**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ ДЛЯ СТУДЕНТІВ  
НАПРЯМКУ “ЗВАРЮВАННЯ”

*Затверджено методичною радою ЗФ, НТУУ “КПІ”*

Київ 2012

Направлення та напилення Кредитний модуль 2 «Напилення». Методичні вказівки до лабораторних робіт для студентів напрямку підготовки 6.050504 “Зварювання”. /Укл. В. М. Корж, Д.В. Степанов, О. С. Василенко – К.:НТУУ “КПІ”, 2012 р. – 23с. укр. /

Навчальне видання.

**«НАПЛАВЛЕННЯ ТА НАПИЛЕННЯ»  
КРЕДИТНИЙ МОДУЛЬ 2 «НАПИЛЕННЯ»**

Методичні вказівки  
до лабораторних робіт  
для студентів напрямку підготовки 6.050504 “Зварювання”.

**УКЛАДАЧІ:**

Корж Віктор Миколайович,  
доктор технічних наук, професор

Степанов Денис Володимирович  
асистент

Василенко Олександр Сергійович  
асистент

**Відповідальний редактор:**

С.М. Гетманець,  
кандидат технічних наук, доцент

**Рецензенти:**

Р.М. Рижов,  
доктор технічних наук, професор

Комп'ютерна  
верстка К.О. Спіріна

КПІ 2012р

## ЗМІСТ

<b>Вступ</b> .....	4
<b>Лабораторна робота № 1</b> Визначення параметрів режиму роботи обладнання для абразивно-струменевої обробки при підготовці поверхні для напилення.....	5
<b>Лабораторна робота № 2</b> Визначення продуктивності і коефіцієнту використання матеріалу (КВМ) при газополуменевому напиленні.....	8
<b>Лабораторна робота № 3</b> Визначення продуктивності і коефіцієнту використання матеріалу (КВМ) при електродуговому напиленні.....	12
<b>Лабораторна робота № 4</b> Визначення продуктивності і коефіцієнту використання матеріалу (КВМ) при плазмовому напиленні .....	16
<b>Лабораторна робота № 5</b> Визначення основних технологічних параметрів режиму вакуумно-конденсаційного нанесення покриття (ВКНП) і методів їх регулювання на обладнанні.....	19
<b>Література</b> .....	23

## ВСТУП

Дисципліна «Напилення та наплавлення» модуль 2 «Напилення» у відповідності з узагальненим об'єктом діяльності бакалавра за напрямком 6.050504 “Зварювання” – *процеси створення нероз’ємних з’єднань, поверхонь, зварювальне устаткування*, охоплює процеси створення поверхонь газотермічними і вакуумно-конденсаційними методами нанесення покриття.

Вона входить до переліку дисциплін професійної та практичної підготовки нормативної частини державної освітньо-професійної програми підготовки бакалаврів за напрямком 6.050504 “Зварювання”.

Перед виконанням лабораторної роботи студент повинен ознайомитися зі змістом роботи, усвідомити її мету та завдання, засвоїти правила техніки безпеки при виконанні робіт в лабораторії нанесення покриття, відповісти на контрольні питання викладача і отримати дозвіл на виконання роботи.

Прийом робіт викладачем проводиться по мірі їх виконання.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

### ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ РОБОТИ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СТРУМЕНЕВО-АБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ ПРИ ПІДГОТОВЦІ ПОВЕРХНІ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТЯ.

**МЕТА РОБОТИ:** *набуття практичних навичок роботи обладнання для струменево-абразивної обробки поверхні, налагодження роботи обладнання, визначення технологічних параметрів.*

#### ТЕОРИТИЧНІ ВІДОМОСТІ

При газотермічному напиленні функціонального покриття, якість покриття залежить від підготовки поверхні виробу.

Для очищення і активації поверхні використовують механічну, хімічну і термічну обробку.

Найбільш універсальним вважається струменево-абразивний спосіб підготовки поверхні, який є найбільш продуктивний і економічний. Струменево-абразивна обробка забезпечує активацію поверхні і надає поверхні шорсткість  $R_z=10-60\text{мкм}$

Для обробки використовують абразив у вигляді металічної дробу, марки Д4К, ДСК з номером 0,1; 0,2; 0,3, електрокорунд зерном 80-150 мкм.

При проведенні струменево-абразивної підготовки необхідно враховувати матеріал деталі (твердість, в'язкість), умови її експлуатації, якщо твердість поверхні до HRC 40, то рекомендується використовувати як абразив шліфзерно електрокорунду нормального марок 12А; 13А; 14А; 15А зернистістю 63Н та 63П. Металічний дріб не рекомендується застосовувати для деталей з матеріалу, який має високу в'язкість (мідь, мідні сплави та інше), а також перед напиленням жаростійких і корозійностійких покриттів.

Перерва між струменево-абразивною обробкою і процесом напилення повинна бути не більше 32 годин в залежності від умов зберігання заготовок.

При масовому та крупносерійному виробництві деталей рекомендується використовувати механічні, або автоматизовані комплекси. Одним з таких комплексів є установка 487PM, технічні характеристики наведені в таблиці 1.1. Вона складається з: робочої камери 1 де знаходяться механізм переміщення 2, струменево-абразивного пістолету 3, і пульта керування 4. В допоміжне обладнання входить компресор 6 і ресивер 5. (Рис. 1.1).

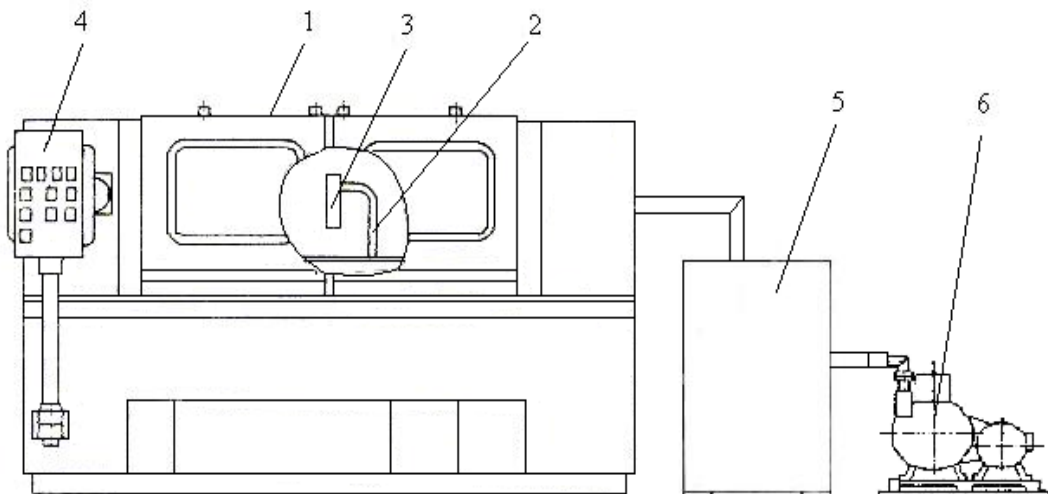


Рис.1.1 Зовнішній вигляд установки 487PM

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики установки 487PM:

Розміри оброблюваних деталей мм, не більше:	
довжина	1500
ширина	180
висота	250
діаметр	320
Маса оброблюваних деталей кг, не більше:	
циліндричних	100
плоских	250
Швидкість переміщення пістолетів, мм/с:	
пенпендикулярно осі шпинделя	4...80
поперечно осі шпинделя	1...50
Частота обертання шпинделя, об/хв	6,3..320
Кількість абразивно-струменевих пістолетів	2
Робочий тиск стиснутого повітря, МПа	0,5...0,63
Споживана потужність, кВт	6,75
Габаритні розміри напівавтомата, мм, не більше	5600x3500x2300
Вага напівавтомата, кг	2900

#### НЕОБХІДНЕ ОБЛАДНАННЯ

1. Напівавтомат абразивно-струменевої обробки 487PM.
2. Абразиви різної грануляції.
3. Зразки металів з різною твердістю 500x100x3.
4. Лінійка, штангенциркуль, секундомір.
5. Мікроскоп МБС-9 з градуйованим шаблоном.

#### ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитись з конструкцією напівавтомата 487PM і схемою керування.
2. Підготувати зразки для обробки попередньо нанести фарбу.
3. Завантажити та закріпити зразки у камері установки.
4. Виставити швидкість переміщення пістолету і дистанцію обробки.
5. Зафіксувати розмір грануляції абразиву.
6. Виставити тиск повітря 0,6 МПа.
7. Ввімкнути подачу повітря і абразиву, зафіксувати час видалення фарби зі зразка.
8. Заміряти за допомогою штангельциркулю діаметр плями.
9. Повторити досліди згідно пунктів 2-8 для відстані обробки деталь-пістолет 100; 150; 200 мм.
10. Дані експерименту занести до таблиці 1.2

Таблиця 1.2 Результати експериментальних досліджень

№ досліду	Матеріал зразка	Твердість обробки матеріалу, HRC	Абразив: тип, грануляція, мкм	Діаметр плями, мм	Час очищення плями, с	Дистанція обробки, мм	Шорсткість поверхні Rz, мкм

11. По даним таблиці 1.2 побудувати графічні залежності дистанції обробки і часу до повного очищення плями.
12. По даним таблиці 1.2 побудувати графічні залежності часу обробки від матеріалу.
13. За допомогою мікроскопу і шаблону виміряти шорсткість поверхні.
14. В залежності від твердості і дистанції обробки за отриманими результатами дослідів по зміні шорсткості побудувати графічні залежності.

#### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Перерахуйте технологічні параметри абразивно-струменевої обробки.
2. Що таке активація поверхні?
3. Призначення абразивно-струменевого способу активації поверхні?
4. Які матеріали застосовуються для обробки абразивно-струменевим способом?
5. Як впливають технологічні параметри на продуктивність абразивно-струменевої обробки?
6. Перелічіть умови, відповідність яким дозволяє здійснювати абразивно-струменеву обробку матеріалів.



## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

### ВИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ І КОЕФІЦІЄНТА ВИКОРИСТАННЯ МАТЕРІАЛУ (КВМ) ПРИ ГАЗОПОЛУМЕНОВОМУ НАПИЛЕННІ

**МЕТА РОБОТИ:** *визначити вплив технологічних параметрів на зміну КВМ та навчитися визначати продуктивність процесу при газополуменевому напиленні на плоску поверхню.*

#### ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

При газополуменевому напиленні утворення потоку напилюваних часток відбувається за рахунок впливу полум'я на розпалюваний матеріал. Це призводить до його розплавлення (дріт або порошок) або підплавлення (порошок), диспергування та перенесення у вигляді потоку.

Газополуменеве напилення дозволяє наносити зносостійкі покриття з дротів, порошку, гнучкого шнура та прутка. Основною перевагою газополуменевого способу напилення над іншими газотермічними є мобільність і компактність обладнання.

Застосування газополуменевого способу нанесення покриття обмежується температурою розпилюючого струменя. Джерелом розплавлення, при газополуменевому напиленні є ацетилено-кисневе полум'я. Допускається застосування ацетиленозамінників, але температура продуктів горіння буде нижче ніж при спаленні ацетилену. Для подачі порошкового матеріалу застосовують транспортуючий газ. В якості транспортуючого газу можливо застосовувати пальний газ або стиснене повітря. Стиснене повітря також, за допомогою спеціальних насадок, застосовують для обтиснення та прискорення розпилюючого струменя.

Важливим є також середовище перебування розпиленних часток до їх закріплення на поверхні виробу. Даний спосіб дозволяє керувати хімічним складом продуктів горіння (нормальне, окислювальне та вуглецевисте полум'я).

До складу установки газополуменевого напилення входять: розпилювач, дозатор живильник (або пристрій подачі дроту та бухта з дротом), джерела пального газу, окислювача та транспортуючого газу, відповідно редуктори та шланги для газів, запобіжний затвор для пального газу.

Поширеного застосування набули пальники, що дозволяють розпилювати порошковий матеріал. Однією з важливих переваг порошків є можливість широко регулювати спектр їх хімічного складу. Важливою перевагою розпилення порошкового матеріалу, на відміну від дротів або прутків, являється можливість здійснювати їх напилення не досягаючи температури повного їх розплавлення. Таке напилення називають «холодним», адгезія підплавлених часток досягається за рахунок високої кінетичної енергії струменя. «Гаряче» ж напилення передбачає повне розплавлення частинок у потоці.

Одним з таких, що дозволяють здійснювати напилення «холодним» та «гарячим» способами є пальник типу «Євроджет». Пальник ЄВРОДЖЕТ XS-8 призначений для ручного газополуменевого напилення металевих порошків або, при наявності обладнання, напилення механізованим способом. Пальник комплектується 3-ма наконечниками (№1, 2, 3) для напилення з подачею порошку з бункеру через інжекторний живильник («гаряче» напилення) і двома наконечниками (Е, Г) для зовнішньої подачі порошку у полум'я під дією гравітації («холодне» напилення).

В процесі налагодження пальника необхідно вибрати і з'єднати з стволем пальника необхідний наконечник, з'єднати з рукояткою кисневий та ацетиленовий шланги, перевернути пальник і приєднати ємність з порошком.

Слід пам'ятати, що при застосуванні полум'я є вірогідність виникнення зворотнього удару. Для запобігання виникнення зворотнього удару, слід застосовувати запобіжні затвори, а також дотримуватися послідовності відкриття (закриття) вентилів при підпалюванні (загащенні) полум'я. При підпалюванні полум'я слід спочатку відкрити вентиль подачі кисню, а

потім вентиль подачі пального газу. При загашенні полум'я слід вийти на режим мінімальної потужності полум'я, а потім різко закрити вентиль пального газу після чого вентиль подачі кисню.

При проектуванні процесу напилення слід обрати обладнання, яке буде задовольняти режим напилення конкретного виду та форми матеріалу. Для обраного матеріалу слід здійснювати корекцію (оптимізацію) режимних параметрів напилення в діапазоні рекомендованих. Оптимізацію здійснюють для досягнення високих показників якості, якими здебільшого виділяють: висока міцність зчеплення, низька пористість, максимальний КВМ та ін. КВМ представляє собою відношення мас розпиленого та напиленого матеріалу, і відображає у відсоток матеріалу, що був застосований корисно (тобто сформував покриття).

$$\text{КВМ} = \frac{m_1 - m_2}{m_3} \cdot 100\%, \quad (2.1)$$

де  $m_1$  – маса зразка з покриттям;  $m_2$  – маса зразка без покриття;  $m_3$  – маса розпиленого матеріалу.

З точки зору максимальної продуктивності та високого економічного ефекту – бажане отримання максимальної величини КВМ. Виключення складають ті випадки, коли підвищення інших показників якості є більш важливим.

Оптимізацію КВМ можна здійснювати дослідженням зміни його величини при зміні дистанції напилення. При замалих дистанціях напилення – частки надто перегріті струменем і при зіткненні з поверхнею відбувається їх розбризування; при завеликих – поверхні зразка досягають вже охолоджені частки, які не можуть закріпитися на поверхні. Відповідно до наведених змін буде змінюватися продуктивність напилення:

$$\Pi = \frac{m_1 - m_2}{\tau}, \text{ кг/год} \quad (2.2)$$

де  $\tau$  – час напилення, год.

Зміна дистанції напилення обумовлює зміну величини плями напилення (діаметру розсіювання), товщини покриття утвореної за одиницю часу. Для досягнення запланованих показників слід вести розрахунок швидкості переміщення пальника відносно виробу для кожного конкретного випадку. При точковому (без відносного переміщення) напиленні можливо визначити швидкість росту покриття у часі:  $\omega = \frac{\delta}{t} = \text{мм/с}$ , де  $\delta$  – товщина покриття,  $t$  – час нерухомого перебування сопла пальника над поверхнею, під час напилення. Швидкість росту покриття буде незмінною при сталих режимах напилення. Враховуючи таку швидкість, можна визначити необхідний час  $t$  для напилення необхідної товщини  $\delta_1$ , що не перевищує  $\delta$ . Для забезпечення утворення товщини  $\delta$  необхідно забезпечити час перебування сопла пальника на протязі часу  $t$  над кожною точкою траєкторії руху. Тобто рекомендується наступний вираз для розрахунку швидкості відносного переміщення пальника та виробу:

$$V_{\text{пальн.}} = \frac{D}{t}, \text{ мм/хв} \quad (2.3)$$

де  $D$  – діаметр плями, що утворилась при точковому напиленні, мм.

Напилення конкретної марки покриття для кожної конкретної установки ведуть згідно рекомендованих режимних параметрів. В таблиці 2.1 наведені орієнтовні параметри режиму напилення пальником ЄВРОДЖЕТ XS-8 відповідно до кожного наконечника.

Дистанція напилення в залежності від матеріалу для напилення, пальної суміші та обладнання яке використовується, знаходиться в межах 100...200 мм. Грануляцію застосовуваних порошкових матеріалів витримують в межах 20...100 мкм.

Таблиця 2.1 Орієнтовні параметри режиму напилення

Наконечник	Тиск газів, МПа		Витрати газів, дм <sup>3</sup> /год	
	кисню	ацетилену	кисню	ацетилену
1	0.2	0.05	1000	860
2	0.3	0.05	1000	860
3	0.35...0.4	0.05	1000	860
E	0.25	0.05	960	860
F	0.15	0.05	1100	1000

### НЕОБХІДНЕ ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ І МАТЕРІАЛИ

1. Установа газополуменевого напилення.
2. Порошки для напилення.
3. Терези аналітичні, секундомір, штангельциркуль, лінійка.
4. Сталеві пластини 250 x 250 x 3 мм

### ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитись з конструкцією газополуменевого розпилювача, правилами техніки безпеки при роботі на газополумених установках та переконатися в готовності обладнання до роботи.
2. Налаштувати нерухоме положення пальника відносно зразка та встановити дистанцію напилення 100 мм.
3. Зважити порцію порошкового матеріалу і завантажити її у бункер дозатора-живильника.
4. Підготувати до напилення зразок (очистити від бруду, обробити на абразивно-струменевої установці).
5. Зважити зразок. Масу порції порошку та зразка записати в таблицю 2.2.
6. Обрати наконечник пальника для напилення і відповідний йому режим напилення занести в таблицю 2.3.
7. Увімкнути установку газополуменевого напилення – встановити обрані режимні параметри напилення (витрати окислюючого і горючого газів) згідно таблиці 2.3.
8. Увімкнути дозатор-живильник і в нерухомому положенні нанести покриття на зразок, фіксує час напилення, до повного використання порошку в дозаторі.
9. Зважити охолоджену пластину з покриттям, виміряти діаметр плями напилення, товщину напиленого шару. Результати занести до таблиці 2.2.
10. Провести розрахунки КВМ та продуктивності і застосувавши дані таблиці 2.2. Розрахувати швидкість переміщення розпилювача відносно виробу за формулою 2.2. Отримані дані занести до таблиці 2.3.
11. Повторити послідовність пунктів 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10 для дистанцій напилення 120, 140, 160, 180 та 200 мм.

Таблиця 2.2 Результати експериментальних досліджень

№ досліду	Тип порошку	Грануляція С <sub>n</sub> , мкм	Час напилення τ, с	Маса зразка без покриття m <sub>2</sub> , г	Маса зразка з покриттям m <sub>1</sub> , г	Маса розпиленого порошку m <sub>3</sub> , г	Діаметр плями напилення d, мм	Товщина напиленого шару δ, мм

Таблиця 2.3 Обрані технологічні параметри напилення

Режимні параметри		
Сумарні витрати горючої суміші в пальнику $Q_{\Sigma}$ , м <sup>3</sup> /год	Витрата горючого компонента $Q_{г}$ , м <sup>3</sup> /год	Дистанція напилення $L$ , мм

Таблиця 2.4 Отримані розрахункові показники

№ дослідю	Дистанція напилення $L$ , мм	КВМ, %	Продуктивність напилення $\Pi$ , кг/год	Швидкість переміщення пальника, $V_{\text{пальн.}}$ , м/хв

#### ВИМОГИ ДО ЗВІТУ ПО РОБОТІ

1. Навести мету роботи.
2. Дати опис обладнання та інструментів, які були використані в роботі.
3. Описати порядок виконання роботи. Заповнити табл. 2.2, 2.3.
4. Провести розрахунки КВМ, продуктивності напилення та швидкості переміщення розпилювача відносно виробу. Розраховані дані занести до табл. 2.4.
5. Побудувати залежності КВМ,  $\Pi$  та  $V_{\text{пальн.}}$  від  $L$ .
6. Зробити висновки по роботі.

#### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Перелічіть основні технологічні параметри процесу газополуменевого напилення.
2. Що приймається до уваги при визначенні режимних параметрів пальника для нанесення покриття?
3. Які основні фактори впливають на продуктивність та КВМ газополуменевого розпилювача?
4. Як змінюється КВМ процесу при зміні форми поверхні деталі, що напилюється?
5. Які шляхи підвищення продуктивності газополумених пальників?
6. Як впливає на продуктивність та КВМ зміна способу подачі матеріалу?

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

#### ВИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ І КОЕФІЦІЄНТА ВИКОРИСТАННЯ МАТЕРІАЛУ (КВМ) ПРИ ЕЛЕКТРОДУГОВОМУ НАПИЛЕННІ

МЕТА РОБОТИ: визначити вплив технологічних параметрів на зміну КВМ та навчитися визначати продуктивність процесу при електродуговому напиленні на плоску поверхню.

#### ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

При електродуговому напиленні утворення потоку напилюваних часток відбувається за рахунок впливу на дроти електричної дуги, що призводить до його розплавлення. Диспергування та перенесення у вигляді потоку, досягається за рахунок дії на розплавлені частки спрямованого потоку газу.

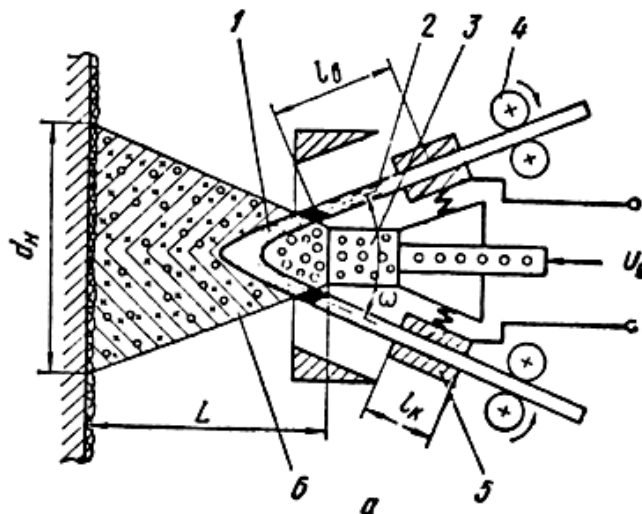
Електродугове напилення дозволяє наносити зносостійкі та корозійностійкі покриття. Основною перевагою цього способу напилення над іншими газотермічними є найвища продуктивність процесу.

Застосування електродугового способу нанесення покриття обмежується формою та властивостями розпилюваного матеріалу. Можливо застосовувати лише струмоведучі суцільні або порошкові дроти. Джерелом розплавлення, при електродуговому напиленні, є багатоамперна дуга. Можливе отримання біметалевих покриттів і псевдосплавів, а також покриттів зі спеціальними властивостями при використанні дротів з різних металів або порошкового дроту.

При електродуговій металізації площа активних плям на електродах обмежена невеликим діаметром дроту, який використовується для напилення. Діаметр дроту, який розплюється, визначається залежно від технічних характеристик металізатора, що використовується для напилення із урахуванням стандартної номенклатури діаметрів дроту.

Частіше за все діаметр дроту вибирають у межах 1,0...3,0 мм. При максимальних діаметрах зростає турбуленізація струменя. При малих діаметрах дроту процес напилення ускладнюється завдяки «блуканню» кінців дроту, який плавиться в умовах високої швидкості подачі.

На формування струменя напилюваних часток впливає також кут сходження електродів 2 – ω (див. рис. 3.1).



1 - електрична дуга; 2 - дріт; 3 - сопло; 4 - механізм подачі дроту; 5 - контактні пристрої; 6 - струмінь розпиленого матеріалу;  $l_0$  - величина вольту дроту

Рис. 3.1 Схема електродугового напилення

При малих кутах часто утворюються два потоки часток з кожного дроту. Великі кути ускладнюють конструктивне виконання розпилювача. На практиці оптимальний кут вибирають біля  $30^\circ$ . Суттєвий вплив на процес електродугового напилення чинить величина вильоту дроту від контактної пристрою 5 до торця дроту, що знаходиться в дузі  $l_b$  (див рис. 3.1). Зі збільшенням вильоту інтенсифікується виділення джоулевої теплоти. Особливо це характерно для металів з підвищеним питомим електричним опором (сталь, титан, нікель, тощо). Для цих металів швидкість плавлення дроту збільшується на 10...20%.

Диспергує напилювані частки швидкісний струмінь газу, що спрямований через отвір сопла 3. Такий газ називають розпилюючим. В якості розпилюючого газу здебільшого застосовують стиснене повітря. Енергію стисненого повітря також, в пристосованих пальниках, застосовують для подачі дроту в зону плавлення.

До складу установки електродугового напилення входять: розпилювач, котушки з дротом, джерело живлення, джерело розпилюючого газу.

При електродуговому напиленні необхідно враховувати інтенсивну взаємодію часток з активною газовою фазою, що призводить до насичення напилюваного металу киснем, азотом, великого вмісту оксидів у покритті. Запобігають цьому застосуванням самозахисного порошкового дроту або ведення процесу в ізольованій камері із захисною атмосферою. Перспективними шляхами лишаються розпилення металу захисними газами та додаванням пального газу до повітря або використання камер з низьким вакуумом.

Для отримання корозійностійких покриттів використовуються алюмінієвий або цинковий дроти. Для зносостійких покриттів напилюють різні сталі, бронзи або композиційні покриття з різних металів.

Антифрикційні алюмінієво-сталеві, мідно-сталеві, мідно-свинцеві та інші псевдосплави можна отримати при використанні двох дротів з різних матеріалів, або за рахунок використання плакованих дротів.

Технологічними параметрами електродугового напилення є:

- струм дуги, А;
- напруга, В;
- діаметр дроту, мм і його матеріал;
- швидкість подачі дроту, м/хв;
- витрати розпилюючого газу, м<sup>3</sup>/год;
- дистанція напилення, мм;
- швидкість переміщення металізатора відносно виробу, м/хв або мм/об;
- число обертів циліндричної деталі, об/хв.
- кут перетинання електродів  $\omega$ , град

Найбільш важливими параметрами режиму електродугового напилення є потужність дуги та витрати розпилюючого газу.

Потужність дуги визначається величиною електричного струму та напругою. Як правило, напруга не є параметром, який регулюється. Вона визначається вольт-амперною характеристикою джерела живлення і знаходиться в межах 18...35 В.

Дуга є саморегулюючою системою в якій, залежно від швидкості подачі дроту, змінюється кут, швидкість плавлення, яка і визначає струм дуги. Тому, регулюючи швидкість подачі дроту встановлюють необхідну величину потужності за допомогою зміни сили електричного струму, який в практиці електродугової металізації, як правило, знаходиться в межах 80...600 А. При цьому потужність дуги знаходиться в межах від 5 до 20 кВт.

До основних параметрів електродугового напилення належить також дистанція напилення, яка становить 60...150 мм, швидкість переміщення плями напилення, яка знаходиться у межах 3,0...5,0 м/хв.

Залежно від призначення покриття, виділяють вагомі показники якості (що вже описані в лаб. роб. №2).

На міцність зчеплення і пористість впливає розмір часток які утворюються при розпиленні дроту. Чим менше розмір часток тим ці показники кращі. З підвищенням струму (завдяки великим значенням ентальпії) середній розмір часток зменшується і можна отримати покриття з достатньою адгезійною та когезійною міцністю. З точки зору роботи обладнання, КВМ залежить від декількох факторів: потужність дуги (що обумовлює температуру та величину часток розплавленого дроту), діаметр вихідного сопла розпилювача та витрати газу (що обумовлюють швидкість руху та охолодження потоку часток). Таким чином величина КВМ може змінюватись зі зміною вказаних параметрів. Для кожного конкретного матеріалу при напиленні слід здійснювати налагодження якісних показників.

Оптимізацію КВМ можна здійснювати дослідженням зміни його величини при зміні дистанції напилення. При замалих дистанціях напилення частки надто перегріті струменем і при зіткненні з поверхнею відбувається їх розбризкування; при зavelиких поверхні зразка досягають вже охолоджені частки, які не можуть закріпитися на поверхні

Зміна дистанції напилення обумовлює зміну величини плями напилення (радіусу розсіювання), товщини покриття утвореної за одиницю часу. Для досягнення запланованих показників слід вести розрахунок швидкості переміщення пальника відносно виробу для кожного конкретного випадку. Рекомендується наступний вираз для розрахунку швидкості відносного переміщення пальника та виробу:

#### НЕОБХІДНЕ ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ І МАТЕРІАЛИ

1. Апарат електродугового напилення ЭМ-12М.
2. Дроти для напилення.
3. Терези аналітичні, секундомір, штангельциркуль, лінійка
4. Сталеві пластинки 500 x 500 x 3 мм.

#### ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитись з конструкцією електродугового розпилювача ЭМ-12М, правилами техніки безпеки під час роботи на установках електродугового напилення та переконатися в готовності обладнання до роботи.
2. Скласти план експерименту згідно з завданням викладача.
3. Зважити порцію дротяного матеріалу, виміряти його довжину. Визначити масу одиниці довжини дроту. Виміряти діаметр дроту і заправити в розпилювач. Отримані виміри занести в табл. 3.1.
4. Підготувати до напилення зразок (очистити від бруду, обробити на абразивно-струменевої установці).
5. Зважити зразок (масу зразка записати в таблицю 3.1).
6. Встановити необхідні режимні параметри напилення: струм дуги, витрату розпилюючого газу, швидкість подачі дротяного матеріалу, що відповідають стабільності горіння дуги. Занести режимні параметри до табл. 3.2.
7. Встановити зразок на дистанції 60 мм.
8. Увімкнути установку та встановити режим електродугової металізації згідно табл. 3.2.
9. При нерухомому розпилювачі нанести покриття на зразок. Зафіксувати час напилення і занести його до табл. 3.1
10. Зважити пластину з покриттям, заміряти діаметр плями напилення, товщину напиленого шару. Результати занести до табл. 3.1.
11. Скориставшись даними таблиці 3.1, провести розрахунки КВМ та продуктивності і швидкість переміщення розпилювача відносно виробу за формулами 2.1, 2.2 та 3.1 відповідно. Отримані дані занести до таблиці 3.3.
12. Повторити п.п. 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11 для інших пунктів плану експерименту для дистанцій напилення 80, 100, 120 та 140 мм.

Таблиця 3.1 Результати експериментальних досліджень

№ експ.	Тип дроту	Діаметр дроту $d$ , мм	Маса 1мм дроту $m_3$ , г	Час наплення $\tau$ , с	Маса зразка, без покриття $m_2$ , г	Маса зразка з покриттям $m_1$ , г	Маса розпиленого порошку $m_3 = m_3 \cdot V$ , г	Діаметр плями наплення $d_n$ , мм	Товщина напленого шару $\delta$ , мм

Таблиця 3.2 Режимні параметри нанесення покриття

Регульовані параметри			
Напруга на дузі $U$ , В	Струм дуги $I$ , А	Швидкість подачі дроту $V$ , мм/с	Дистанція наплення $L$ , мм

Таблиця 3.3 Отримані розрахункові показники

№ дослідю	Дистанція наплення $L$ , мм	КВМ, %	Продуктивність наплення $P$ , кг/год	Швидкість переміщення пальника, $V_{\text{пальн.}}$ , м/хв

### ВИМОГИ ДО ЗВІТУ ПО РОБОТІ

1. Навести мету роботи.
2. Дати опис обладнання та інструментів, які були використані в роботі.
3. Описати порядок виконання роботи. Заповнити табл. 3.1. 3.2, 3.3.
4. Розрахувати продуктивність, КВМ та швидкість переміщення розпилювача відносно виробу. Розраховані дані занести до табл 3.3.
5. Побудувати залежності КВМ, П та  $V_{\text{пальн.}}$  від  $L$ .
6. Висновки по лабораторній роботі.

### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Наведіть основні технологічні параметри процесу електродугового наплення.
2. Які фактори впливають на продуктивність електродугового розпилювача?
3. Які особливості матеріалогазового потоку, що створює електродуговий розпилювач, в порівнянні з іншими видами газотермічних розпилювачів?
4. Які шляхи підвищення продуктивності електродугових розпилювачів?
5. Які існують способи збільшення КВМ електродугових розпилювачів?
6. Як може вплинути на продуктивність та КВМ зміна складу та температури розпилюючого газу?



## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

### ВИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ І КОЕФІЦІЄНТА ВИКОРИСТАННЯ МАТЕРІАЛУ (КВМ) ПРИ ПЛАЗМОВОМУ НАПИЛЕННІ

**МЕТА РОБОТИ:** визначити вплив технологічних параметрів на зміну КВМ та навчитися визначати продуктивність процесу при плазмовому напиленні на пласку поверхню.

#### ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

При плазмовому напиленні утворення потоку напилюваних часток відбувається за рахунок впливу на розпалюваний матеріал (дріт, порошок) плазмового струменя. Плазмою називають прискорений високотемпературний іонізований потік газу. Цей струмінь призводить до розігріву, диспергування та перенесення потоку напилюваних часток.

Плазмово-дуговий метод рекомендується для напилення захисних, зміцнювальних та інших видів покриття. Можливо застосовувати дротяні матеріали та порошки. Основною перевагою цього способу напилення над іншими газотермічними є найвища температура струменя і можливість створення інертного середовища.

Плазмовий струмінь утворюється в плазмотроні внаслідок нагрівання плазмоутворювального газу при проходженні його через дугу або завдяки високочастотному індукційному нагріванні. Хімічна активність струменя обумовлює середовище перебування розпиленних часток. В якості плазмоутворювального можливо застосовувати як активні (азот, повітря) так і інертні (аргон, гелій) гази, що дозволяє застосовувати широкий спектр розпалюваних матеріалів.

Для подачі до плазмового струменя дроту – застосовують універсальні приводи, порошкові ж матеріали подаються за допомогою спеціальних дозаторів-живильників. Газ (який застосовують у живильниках) для подачі порошкового матеріалу називають транспортуєчим. Вибір транспортуєчого газу здійснюють виходячи з необхідного середовища напилення.

Взаємодія газу з електричною дугою призводить до підвищення його температури (5000-55000°C) та іонізації. Досягнення високих температур при плазмовому напиленні обумовлює необхідність активного повітряного чи водяного охолодження елементів розпилювача.

Досить важливим є можливість гнучкого керування електричного та газового режимів роботи плазмотрона, в тому числі в процесі напилення, дає змогу керувати енергетичними характеристиками напилюваних часток.

До складу установки плазмового напилення входять: плазмотрон, дозатор-живильник або пристрій подачі дроту, джерело живлення, джерело плазмоутворювального (транспортуєчого) газу.

Технологічними параметрами плазмового напилення є:

- струм дуги, А;
- напруга на дузі, В;
- грануляція порошку, мкм (або діаметр дроту, мм);
- витрати порошку, кг/год (або швидкість подачі дроту, м/хв);
- вид та витрати плазмоутворювального газу, м<sup>3</sup>/год;
- діаметр сопла плазмотрона, мм;
- дистанція напилення, мм;
- швидкість переміщення плазмотрона відносно виробу, м/хв або мм/об;
- число обертів циліндричної деталі, об/хв.

До параметрів технологічного процесу напилення, які характеризують режим роботи плазмотрона і визначають процес нагрівання розпалюваного матеріалу, належать ентальпія, температура та швидкість плазмового струменя.

Із збільшенням потужності дуги інтенсивно збільшується температура і ентальпія плазмового струменя. Вплив витрат плазмоутворювального газу протилежний. Потужність дуги визначається двома параметрами – силою струму та напругою.

Напруга дуги залежить від довжини дуги, яка визначається конструкцією плазмотрона, а також плазмоутворювальним газом та його витратами.

Для напилення застосовують порошки з грануляцією 5 – 100 мкм, дроти діаметром 0,8 – 2,5 мм. Дистанція напилення в даному способі становить 50 – 300 мм.

Ефективність процесу зростає із застосуванням ламінарного потоку плазми або із застосуванням камер зі зниженим тиском.

Залежно від призначення покриття, виділяють вагомні показники якості (що вже описані в лаб. роб. №2).

На міцність зчеплення і пористість впливає розмір часток які утворюються при розпиленні дроту. Чим менше розмір часток тим ці показники кращі. З підвищенням струму (завдяки великим значенням ентальпії) середній розмір часток зменшується і можна отримати покриття з достатньою адгезійною та когезійною міцністю. З точки зору роботи обладнання, КВМ залежить від декількох факторів: потужність дуги (що обумовлює температуру та величину часток розплавленого дроту), діаметр вихідного сопла розпилювача та витрати газу (що обумовлюють швидкість руху та охолодження потоку часток). Таким чином величина КВМ може змінюватись зі зміною вказаних параметрів. Для кожного конкретного матеріалу при напиленні слід здійснювати налагодження якісних показників.

Оптимізацію КВМ можна здійснювати дослідженням зміни його величини при зміні дистанції напилення. При замалих дистанціях напилення частки надто перегріті струменем і при зіткненні з поверхнею відбувається їх розбризкування; при зavelиких – поверхні зразка досягають вже охолоджені частки, які не можуть закріпитися на поверхні.

Зміна дистанції напилення обумовлює зміну величини плями напилення (радіусу розсіювання), товщини покриття утвореної за одиницю часу. Для досягнення запланованих показників слід вести розрахунок швидкості переміщення пальника відносно виробу для кожного конкретного випадку.

#### НЕОБХІДНЕ ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ І МАТЕРІАЛИ

1. Установа для плазмовою напилення "Київ-7".
2. Порошки для напилення.
3. Терези аналітичні, секундомір, штангельциркуль, лінійка.
4. Сталеві пластинки 250 x 250 x 3 мм.

#### ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитись з конструкцією пристосування для вимірювання продуктивності розпилювача, правилами техніки безпеки під час роботи на плазмових установах та переконатися у готовності обладнання до роботи.
2. Скласти план експерименту згідно з завданням викладача.
3. Завантажити порошок у бункер дозатора.
4. Підготувати до напилення зразок (очистити від бруду, обробити на абразивно-струменевій установці).
5. Зважити зразок (масу зразка записати в таблицю 4.1).
6. Встановити необхідні режимні параметри напилення конкретного матеріалу: вид, витрати та тиск плазмоутворювального газу, напругу та струм дуги, витрати порошкового матеріалу. Занести режимні параметри до табл. 4.2.
7. Встановити зразок на дистанції 100 мм.

8. Увімкнути установку та встановити режим згідно табл. 4.2.
9. При нерухомому розпилювачі нанести покриття на зразок. Зафіксувати час напилення і занести його до табл. 4.1
10. Зважити пластину з покриттям, заміряти діаметр плями напилення, товщину напиленого шару. Результати занести до табл. 4.1.
11. Скориставшись даними таблиці 4.1, провести розрахунки КВМ та продуктивності і швидкість переміщення розпилювача відносно виробу за формулами (2.1), (2.2) та (2.3) відповідно. Отримані дані занести до таблиці 4.3.
12. Повторити п.п. 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11 для інших пунктів плану експерименту для дистанцій напилення 120, 140 та 160 мм.

Таблиця 4.1 Результати експериментальних досліджень

№ експ.	Тип порошку	Грануляція порошку $S_n, \text{мм}$	Час напилення $\tau, \text{с}$	Маса зразка, без покриття $m_2, \text{г}$	Маса зразка з покриттям $m_1, \text{г}$	Маса розпиленого порошку $m_3 = G \cdot \tau, \text{г}$	Діаметр плями напилення $d, \text{мм}$	Товщина напиленого шару $\delta, \text{мм}$

Таблиця 4.2 Режимні параметри нанесення покриття

Регульовані параметри					
Напруга на дузі $U, \text{В}$	Струм дуги $I, \text{А}$	Витрати плазмоутворювального газу $V, \text{м}^3/\text{год}$	Витрати порошку $G, \text{г/с}$	Тиск плазмоутворювального газу $P, \text{МПа}$	Дистанція напилення $L, \text{мм}$

Таблиця 4.3 Отримані розрахункові показники

№ дослідю	Дистанція напилення $L, \text{мм}$	КВМ, %	Продуктивність напилення $\Pi, \text{кг/год}$	Швидкість переміщення пальника, $V_{\text{пальн.}}, \text{м/хв}$

### ВИМОГИ ДО ЗВІТУ ПО РОБОТІ

1. Навести мету роботи.
2. Дати опис обладнання та інструментів, які були використані в роботі.
3. Описати порядок виконання роботи. Заповнити табл. 4.1, 4.2, 4.3.
4. Розрахувати продуктивність, КВМ та швидкість переміщення розпилювача відносно виробу. Розраховані дані занести до табл 4.3.
5. Побудувати залежності КВМ,  $\Pi$  та  $V_{\text{пальн.}}$  від  $L$ .
6. Висновки по лабораторній роботі.

### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Перелічіть основні технологічні параметри процесу плазмового напилення.
2. Як відрізняється продуктивність розпилювача по розпиленому та напиленому матеріалу?
3. Як основні параметри технологічного процесу напилення впливають на його продуктивність?
4. Як визначається продуктивність розпилювача? Які шляхи її підвищення?
5. Для чого потрібна інформація про продуктивність розпилювача?

6. Що впливає на значення коефіцієнта використання матеріалу?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

### ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ВАКУУМНО-КОНДЕНСАЦІЙНОГО НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТЯ (ВКНП) І МЕТОДІВ ЇХ РЕГУЛЮВАННЯ НА ОБЛАДНАННІ

**МЕТА РОБОТИ:** *набуття навичок наладки обладнання для ВКНП. Оцінити вплив технологічних параметрів на процеси напилення.*

#### ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Структурні схеми установок для вакуумного конденсаційного напилювання покриттів, незважаючи на різноманіття, складаються з таких систем:

- вакуумної системи до яких входить робоча камера, засоби відкачки й ін.;
- випаровуючі чи розпилюючі пристрої – генератори потоку напилювальних часток;
- систему електроживлення;
- систему живлення робочим газом, водяного охолодження і підігріву;
- транспортуючі пристрої й оснащення;
- системи контролю і керування;
- інші допоміжні пристрої і прилади.

Розпилення напилюваного матеріалу відбувається трьома методами: термічним випаровуванням; вибуховим випаровуванням-розпиленням (сублімацією); іонним розпиленням твердого матеріалу.

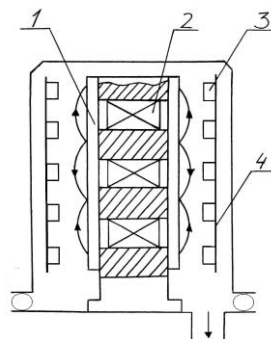
Іонне розпилення полягає у бомбардуванні розпилюваного матеріалу прискореним катодом позитивно заряджених іонів. Частіш за все для цієї мети використовують тліючий розряд при невисокому вакуумі у камері ( $1 \dots 10^{-1}$  Па).

На практиці отримали розповсюдження діодні, тріодні та магнетронні схеми катодного розпилення, які відрізняються утворенням плазми тліючого розряду.

Найбільше поширення отримали магнетронні розпилюючі системи.

Існує велика кількість різних конструкцій магнетронів, які відрізняються утворенням магнітного поля (в деяких випадках його формою), конструкцією катодного вузла та геометрією мішені. Розроблені три базових конструкції магнетрона – циліндрична (з циліндричним катодом), планарна – з плоским катодом, та так звана S-Gun система – з кільцевим конусоподібним катодом.

Установка УВН-61, має циліндричну (коаксіальну) магнетронну систему в якій катод з матеріалу, що розпилюється виконано у вигляді труби. Магнетронна система встановлена у внутрішній порожнині труби і при цьому розпилюється зовнішня поверхня катоду (рис. 5.1)

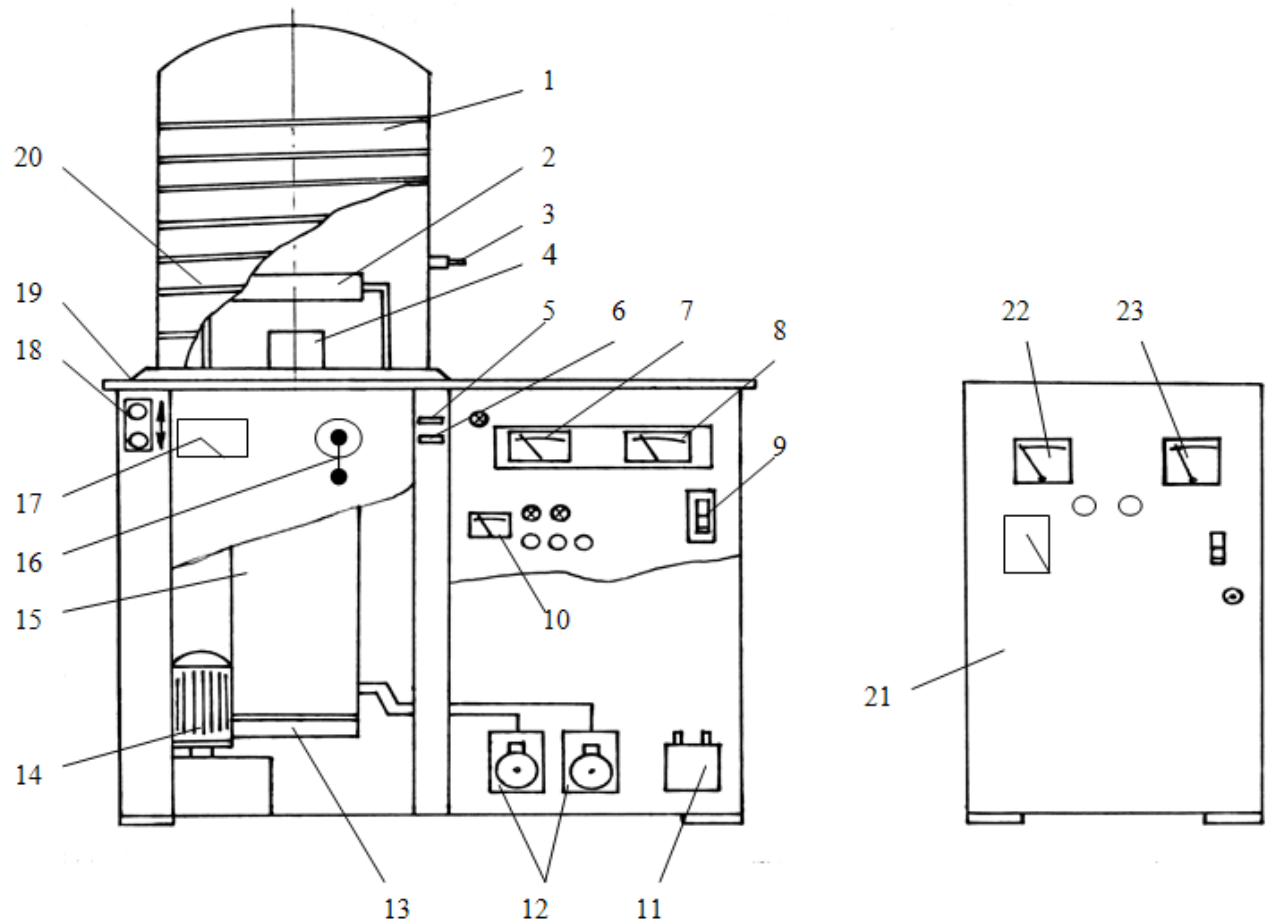


1 - катод (мішень); 2 - магнітна система; 3 - підложкоутримувач; 4 - анод.  
стрілками вказані силові лінії магнітного поля

Рис.5.1 Конструктивна схема магнетронної системи установки УВН-61

Плазма локалізується у поверхні катода, що розпилюється за допомогою кільцевито-арочного магнітного поля. Підложки розташовуються навкруги катода. Для наведеної схеми характерні щільності струму  $60\text{mA}/\text{cm}^2$  та досить висока рівномірність покриття.

Установка УВН-61 (рис.5.2) складається з основи, ковпакової робочої камери з підковпачним пристроєм і механізму для підйому ковпака, вакуумної системи, системи охолодження і пульта керування з електричним блоком.



1 - ковпак; 2 - випаровувач; 3 - натікач; 4 - деталь; 5 - клапан форвакуумного насосу; 6 - клапан форвисоковакуумного насосу; 7,8 - шкали вакуумметра; 9 - вимикач живлення; 10 - контроль параметрів напilenня; 11 - трансформатор; 12 - механічний (форвакуумний) насос; 13 - електронагрівач; 14 - мастильно-насосна станція гідроприводу; 15 - паромасильний (форвисоковакуумний) насос; 16 - затвор; 17 - контроль вакууму; 18 - органи керування гідроприводом; 19 - базова плита; 20 - змійовик; 21 - джерело живлення; 22 - контроль напруги магнітрону; 23 - контроль струму магнітрону;

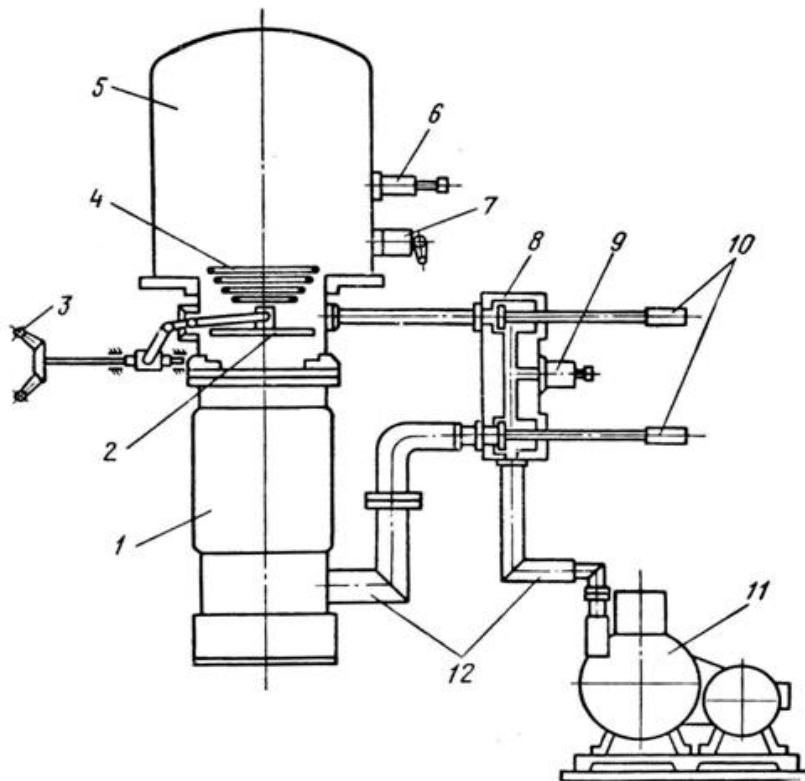
Рис.5.2 Зовнішній вигляд установки УВН-61

Основу становить сталевий зварний каркас, закритий металевими панелями пульта керування. Ковпакова робоча камера 1, з випаровувачем 2 і виробами розташовані на верхній панелі, а в середині каркасу змонтовані всі інші системи й елементи. Ковпакова камера 1 являє собою металеву (з нержавіючої сталі) герметичну оболонку, що вакуумно щільно з'єднується з базовою плитою 19. Для спостереження за процесом напилювання ковпак має оглядове вікно.

До камери припаяний змійовик, який призначений для охолодження або підігрівання камери холодною чи гарячою водою.

Вакуумна система УВН-61 (рис 5.3) призначена для створення розрідження у камері 5 і складається з механічного насоса 11 (ВНМ-7), паромасильного насоса 1 (Н-2Т), вакуумно-

го затвора 2, клапанної коробки 8, натікачів 6, 7, 9 і трубопроводів 12, а також азотної пастки 4 спірального типу. Керують роботою вакуумної системи рукоятками 10; вакуумний затвор приводиться в дію ручним приводом 3.



1 - паромасильний насос; 2 - вакуумний затвор; 3 - ручний привод; 4 - азотна пастка; 5 - колпакова камера; 6, 7, 9 - натікачі; 8 - клапанна коробка; 10 - рукоятки; 11 - механічний насос ВММ-7Г; 12 – трубопроводи.

Рис.5.3 Вакуумна система установки УВН-61

Порядок включення вакуумної системи на відкачку однаковий для всіх вакуумних систем. Спочатку включають механічний насос, що відкачує систему до тиску  $10^{-3}$  мм.рт.ст., а потім паромасильний насос, що забезпечує тиск у системі  $10^{-5}$  мм.рт.ст., (до основних параметрів вакуумних насосів відносять: граничний вакуум, початковий тиск, максимальний випускний тиск, швидкість відкачки). Для одержання більш високого вакууму користуються азотною пасткою, пропускаючи через неї рідкий азот. Натікачі 6, 7, 9 служать для підтримки вакууму в заданому діапазоні ( $10^{-1} \dots 10^{-5}$  мм.рт.ст.) і для напуску повітря під ковпак і у вакуумні насоси відповідно.

У системі охолодження установки, призначеної для охолодження проточною водою паромасляного насосу, ковпака і випарників, передбачено гідрореле, що контролює наявність води в системі. Для прогріву ковпака підковпачних пристрів з метою знегажування і усунення конденсації парів води при піднятті ковпака в установці передбачена подача гарячої води в змійовик ковпака.

#### НЕОБХІДНІ ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ І МАТЕРІАЛИ

1. Вакуумна установка УВН-61.
2. Іонізаційний манометр.
3. Секундомір, ваги аналітичні з важками
4. Зразки для наплення.

#### ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Знежирити поверхню зразків, зважити на аналітичних вагах з точністю до 0,01гр. Кількість зразків не менш 2-х.

2. Завантажити зразки у камеру і закріпити на підложкоутримувачі і зафіксувати дистанцію напилення.
3. Опустити ковпак робочої камери, включити механічний насос і відкачати повітря з робочої камери до тиску  $10^{-3}$  мм.рт.ст. паромасляний насос і включити азотну пастку.
4. Включити паромасляний насос і включити азотну пастку. Створити робочий тиск у камері  $10^{-1}$  Па вакуумі  $10^{-3}$  мм.рт.ст.
5. Підігріти зразки до температури  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  і напилити зразки випаровуючи матеріал з 2-х різних матеріалів катоду (наприклад хром, титан, мідь та інші) при струмотліючому розряді  $100\text{ mA}$ , зафіксувавши час розпилення матеріалів, однаковий для обох матеріалів.
6. Після нанесення покриття розгерметизувати робочу камеру, вийняти і зважити зразки.
7. Отримані дані занести в таблицю.

Таблиця 5.1 Режимні параметри напилення та виміри

Матеріал зразка	Напруга розряду, В	Струм розряду, мА	Тиск у камері, Па	Дистанція напилення, мм	Температура зразка, $^{\circ}\text{C}$	Вага зразка, г		Час напилення, хв.
						до	після	
						напилення		
Мідь								
Титан								
Хром								

8. Розрахувати продуктивність процесу нанесення покриття для різних матеріалів, що напилюються.
9. Зробити висновки по роботі.

#### ВИМОГИ ДО ЗВІТУ ПО РОБОТІ

1. Навести мету роботи.
2. Дати опис обладнання та прилади, що були використані при виконанні роботи.
3. Описати порядок виконання роботи.
4. Перелічити і зафіксувати технологічні параметри при вакуумно-конденсаційному напиленні. Занести їх у таблицю 5.1.
5. Розрахувати продуктивність при нанесенні покриття при магнетронному способі іонного розпилення.
6. Зробити висновки по роботі.

#### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які методи вакуумно-конденсаційного нанесення покриття ви знаєте?
2. В чому полягає різниця ВКНП випаровуванням і розпиленням?
3. Які схеми іонного розпилення ви знаєте? Дайте їх характеристику.
4. Які схеми магнетронного розпилення ви знаєте? Їх суть.
5. Перелічіть основні технологічні параметри процесів ВКНП.
6. Які технологічні параметри процесів ВКНП впливають на продуктивність процесу?
7. Які технологічні параметри процесів ВКНП впливають на рівномірність отриманого покриття?
8. Які технологічні параметри процесів ВКНП впливають на структуру та механічні характеристики покриття?
9. Коли і з якою метою використовується реакційне вакуумно-конденсаційне нанесення покриття?



## ЛІТЕРАТУРА

1. Корж В.М. Технологія та обладнання для напилення: Навчальний посібник. К.: НМЦ ВО, 2000. – 152с.
2. Порошковая металлургия и напыления покрытия: Учебник для вузов/В.Н. Анциферов, Г.В. Бобров, Л.К. Дружинин и др. – М.: Металлургия, 1987. – 792с.
3. Теория и практика газопламенного напыления./П.А. Витязь, В.С. Ивашко, Е.Д. Манайло и др. – М. Наука и техника, 1993. – 295с.
4. Газотермическое напыление покрытий. Сборник руководящих технических материалов. – К.: ИЭС им. Е.О. Патона, 1993. – 175с.
5. Газотермические покрытия из порошковых материалов. Справочник./ Ю.С. Борисов, Ю.А. Харламов, С.Л. Сидоренко, Е.П. Ардатовская. – К.: Наукова думка, 1987. – 544с.
6. Мовчан Б.А., Малашенко И.С.. Жаростойкие покрытия, осаждаемые в вакууме: – К.: Наукова думка, 1983. – 232с.
7. К.А. Ющенко, Ю.С. Борисов, В.Д. Кузнецов, В.М. Корж. Інженерія поверхні: підручник К. Наукова думка, 2007 – 553с.