

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Запорізький національний технічний університет**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторної роботи № 3

“Аналіз та дослідження електродних та порошкових матеріалів для металізації і напилення та нанесених ними поверхневих шарів” з дисципліни “Матеріали для наплавлення та напилення” для студентів освітньої програми „Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій” усіх форм навчання

2017

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи № 3  
“Аналіз та дослідження електродних та порошкових матеріалів для металізації і напилення та нанесених ними поверхневих шарів” з дисципліни “Матеріали для наплавлення та напилення” для студентів освітньої програми „Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій” усіх форм навчання / Укл.: М.І. Андрущенко, О.Є. Капустян – Запоріжжя: ЗНТУ, 2017. - 30 с.

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

Затверджено  
на засіданні кафедри ОТЗВ  
Протокол № 1 від 22.08.2017

Рекомендовано до видання  
НМК ІФФ  
Протокол № 1 від 19.09.2017

**ЗМІСТ**

1	МЕТА РОБОТИ.....	4
2	ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ .....	4
2.1	Дроти .....	4
2.2	Порошкові матеріали .....	6
2.2.1	Метали і сплави.....	6
2.2.3	Біметалічні термореагуючі порошкові сплави.....	10
2.2.4	Сплави, які самофлюсуються .....	10
2.2.5	Керамічні порошки .....	13
2.3	Класифікація методів отримання порошків .....	14
2.3.1	Механічні методи.....	15
2.3.2	Фізико-хімічні методи отримання порошків .....	21
2.4	Особливості технології нанесення покриттів .....	24
3	КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНОСТІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ .....	26
4	МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ .....	28
5	ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ.....	28
6	ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ...29	
7	ЗМІСТ ЗВІТУ .....	29
	РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА .....	30

## 1 МЕТА РОБОТИ

Провести аналіз електродних та порошкових матеріалів для металізації і напилення та дослідити структуру і властивості нанесених ними поверхневих шарів.

## 2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Для нанесення покриттів частіш за все використовують матеріали, які виготовляються у виді дротів або порошоків.

### 2.1 Дроти

Використання дротів забезпечує безперервну і рівномірну подачу матеріалу в зону плавлення, що дозволяє підтримувати стабільність процесу його розпилення і якість одержуваного покриття. Для металізації можна використовувати практично всі типи цільнотягнутих дротів (табл. 2.1) - зварювальних і для наплавлення з чорних і кольорових металів і сплавів.

Таблиця 2.1 - Основні типи цільнотягнутих дротів і рекомендовані області їх застосування при нанесенні металізаційних покриттів

Марка дроту	Напилений метал		Галузь використання
	Тип	НВ	
1	2	3	4
Св-08, Св-10Г2 Св-08ГС, Св-12ГС, Нп-25, Нп-30	малову глецева сталь	150- 250	Відновлення розмірів деталей з вуглецевих сталей і чавуну
Нп-65, Нп-65Г, Нп-80, Нп-105Х	Високо вуглеце	280- 500	Нанесення зносостійких шарів на робочі поверхні валів, вісів, цапф,

	ва сталь		втулок, шківів, шестерень, що направляють, що працюють в умовах тертя ковзання зі змазкою або нерухомих посадок
Св-20Х13 Нп-20Х13, Нп-30Х13 Нп-40Х13	хромиста сталь	300- 550	Нанесення зносостійких покриттів на осі, вали, крильчатки корпусу насосів і іншого технологічного обладнання, що працює в слабоагресивних середовищах
Св-06Х19Н9Т Св-08Х19Н10Г2Б Св-04Х19Н11М3, Св-02Х25Н13, Св-06Х16Н25АМ6	Хромонікелева високолегована сталь	130- 210	Нанесення антикорозійних захисних покриттів і нарощування обсягів деталей насосів, гідротурбін, гідроциліндрів та інших виробів, що працюють в агресивних середовищах.
Нп-Х20Н80Т Нп-Х16Н65	Нікель-хромовий сплав	135- 165	Нанесення жаростійких, корозійностійких і теплозахисних покриттів на вихлопні труби, головки поршнів, стержні вихлопних клапанів, елементи обладнання термічних печей.
Св-А1, Св-АМц, Св-АК-5 ГОСТ 7874	Алюміній	20-40	Нарощування розмірів деталей з алюмінію і його сплавів, виправлення дефектів лиття з алюмінієвих сплавів, нанесення антикорозійних і антифрикційних покриттів.
Ц1, Ц2, Ц3	цинк		Нанесення антикорозійного покриття, напилення підшару на скло, гіпс, кераміку і т.п.
М1, М2, М3	мідь	30-60	Нанесення декоративних, антифрикційних і електропровідних покриттів.
Бр.ОЦС 6-6-3 Бр.ОФ 6,5-0,4 Бр.КМц -3-1 Бр.Х-08	бронзи	40-100	Нанесення антифрикційних покриттів на напрямні, втулки, опори, підп'ятники, що працюють в умовах тертя ковзання.

Використовують для нанесення покриттів також порошкові і композитні дроти, однак при їх застосуванні не завжди вдається досягти однорідності складу покриття, як це має місце при наплавленні.

Для напилення сплавів, які неможливо або дуже складно виготовити у виді дроту, випускаються порошкові матеріали.

## **2.2 Порошкові матеріали**

Сплави випускаються переважно у виді гранульованих порошоків сферичної та іншої форми різного фракційного складу (для напилення використовують фракції 20-100 мкм, для наплавлення - 100-150 мкм); рідше плаковані і конгломеровані порошки переважно для нанесення шарів з високими адгезійними властивостями; порошки таких металів як вольфрам, молібден, нікель, мідь, цинк, алюміній та інші, які використовують в чистому виді при різних способах порошкової металізації для нанесення відповідних покриттів, або в якості сполучної добавки до оксидів і карбідів та інших неметалевих речовин.

Серед неметалічних матеріалів для нанесення зносостійких покриттів найбільш часто використовують рутил, оксид хрому і оксид алюмінію - для напилення вузлів сухого тертя; карбіди титану, вольфраму, хрому для захисту робочих поверхонь від абразивного і газоабразивного зносу, корозії і ерозії при підвищених температурах.

Для забезпечення більш високих характеристик міцності і пластичних властивостей покриттів з оксидів і карбідів, як сполучною добавки, в них найчастіше використовують 5-15 % порошку нікелю або ніхрому. Наносять покриття з оксидів і карбідів плазмовим або детонаційними способами.

### **2.2.1 Метали і сплави**

При виборі матеріалів для наплавлення та напилення, як в чистому виді так і сплавів, слід знати їх основні характеристики.

Наприклад, вольфрам (W) здатний утворювати при плазмовому напиленні металевий зв'язок з більшістю металів. Він має найвищу температуру плавлення серед металів ( $T_{пл} = 3422^{\circ} \text{C}$ ), розчиняється у фериті, є карбідоутворюючим елементом, з вуглецем утворює два карбіди: WC і WC<sub>2</sub>. Вольфрам підвищує зносо- та жаростійкість сплавів. Використовується для нанесення зносостійких і ерозієстійких покриттів. При плазмовому напиленні застосовується вольфрамовий порошок марки В або В-1 з розміром гранул 40...100 мкм.

Молібден (Mo) добре зчіплюється з поверхнею чорних металів, тому його часто використовують для напилення підшару, на який потім наносять покриття інших металів. Молібденові покриття мають досить високу зносостійкість. Для плазмового напилення також використовують сплави молібдену із залізом, титаном, кремнієм і механічні суміші на основі молібдену з добавками оксиду алюмінію і оксиду титану.

Титан і його сплави також випускаються у виді порошоків різних фракцій та форм. Він є активний карбідоутворюючий елемент і сильний розкислювач. З азотом титан утворює тверді нітриди.

З розвитком нових технологій застосування титану в світі за останнє десятиліття значно розширилося. Понад 50 ... 60 % всього виробленого титану використовується для потреб авіакосмічної промисловості. Крім того цей метал знаходить широке застосування в діапазоні від військової промисловості до цивільного будівництва і товарів народного споживання. Тому в даний час він є одним з найбільш затребуваних металів в світі.

Висока стійкість проти корозії вдало поєднується в ньому з незначною вагою і великою механічною міцністю. Титан лише в півтора рази важче алюмінію, але перевершує його по міцності в шість разів. При цьому він дуже пластичний, легко піддається куванню, зварюванню і механічній обробці, тому його можна вважати одним з найдосконаліших і універсальних матеріалів, які має сучасна промисловість.

Але титан на жаль є одним з найдорожчих металів на сьогоднішній день. Причина високої вартості титану і його сплавів - складна і витратна технологія виробництва. Тому на сьогоднішній день наукові дослідження і розробки в області отримання дешевого титану та сплавів на його основі є актуальними. При цьому чимала увага приділяється вторинним джерелам отримання титану з відходів

гірничодобувної, титанової та металургійної промисловості. технологіям збагачення титанових руд.

Важливим є отримання дрібнодисперсних порошків і наночасток титану та його оксидів з різних продуктів і відходів промисловості. Особливий інтерес представляє одержання і використання нанопорошків титану.

Використання нанопорошків для отримання і легування сплавів є малодослідженим, але відомо, що воно може забезпечити оптимальне співвідношення твердості і в'язкості сплавів, оскільки більшість характеристик є структурно-чутливими, тобто можуть бути керованими зміною дисперсності структур до нанокристалічного і аморфного стану. Малі розміри наночастинок призводять до зміни умов їх фазових і структурних перетворень. При цьому змінюються всі фундаментальні характеристики сплавів, включаючи і температуру плавлення.

У технологічному аспекті отримання сплавів це дозволяє значно знизити їх температури спікання, тобто зробити технологічний процес менш витратним при одночасному підвищенні фізико-механічних властивостей сплавів. В результаті досліджень недавно запропоновано спосіб отримання дрібнодисперсних порошків титану з титанової губки і відходів титанової промисловості шляхом бактеріального вилуговування. Показано, що основними перевагами цього методу із застосуванням обертового дезінтегратора є простота апаратного оформлення, можливість щодо швидкого розмноження бактерій, регенерація розчину бактеріями, збільшення швидкості вилуговування, в порівнянні з хімічним вилуговуванням, дешевизна реагентів. Показано, що отриманий матеріал має розмір зерен в межах 100 ... 200 нм.

Останнім часом роботами ЗНТУ показана можливість застосування несферичних титанових порошків (рис. 2.1а), які пройшли процеси гідрування і дегідрування в якості альтернативної сировини, що застосовуються на сьогоднішній день у виді сферичних порошків (рис. 2.1б) для прогресивних адитивних технологій (3-D друку). Вивчено вплив товщини проміжного шару порошку, який насипають на структуру матеріалу з метою отримання більш щільної безпористої і однорідної структури.

Хром - карбідоутворюючий елемент. Залежно від вмісту вуглецю й температури наплавлення, хром утворює карбіди різного



складу:  $Cr_7C_3$ ,  $Cr_{23}C_6$ ,  $Cr_2C_3$ . Останній в сплавах на основі заліза не утворюється. Зі збільшенням вмісту хрому підвищуються твердість і зносостійкість сплавів, але знижується пластичність і збільшується схильність до утворення кристалізаційних тріщин. Хром сприяє зміцненню основи сплаву - аустеніту й мартенситу, але, як і вуглець, підвищує карбідну неоднорідність. Хром підвищує стійкість сплаву до корозії.

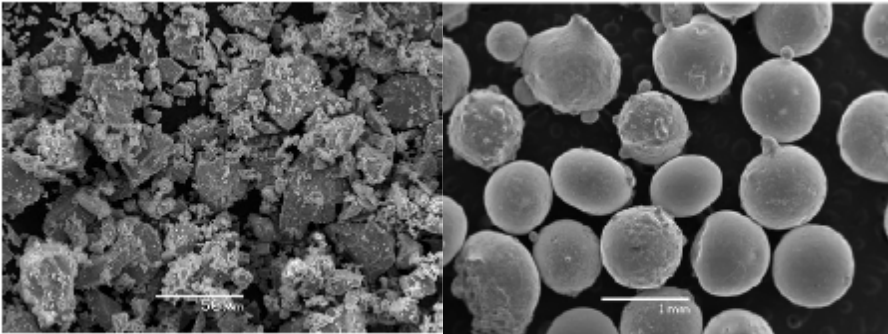


Рисунок 2.1 – Титанові порошки несферичні, які пройшли процеси гідрування і дегідрування (а), і сферичні, отримані за традиційною на даний час технологією (б).

Бор - легуючий елемент, вплив якого при багатокомпонентному легуванні вивчений недостатньо. З вуглецем, хромом та іншими карбідоутворюючими елементами бор дає різні з'єднання у виді боридів і карборидів. Введення невеликої кількості бору значно підвищує твердість і зносостійкість сплаву, але різко знижує в'язкість, що є причиною утворення тріщин при наплавленні. Бор сприяє самофлюсуванню сплавів на основі нікелю, сприяє також зниженню температури плавлення сплаву.

Кремній - активний розкислювач, служить складовою частиною твердого розчину, сприяє підвищенню жаростійкості й червоностійкості сплавів. При вмісті його понад 4 % структура наплавлених шарів погіршується: знижується ударна в'язкість і підвищується крихкість. По границях зерен кремній схильний до утворення легкоплавких прошарків, що сприяють виникненню тріщин. Власних карбідів в сплавах на основі заліза не утворює, їх синтезують шляхом спікання кремнезему і вуглецю в графітових електропічах при температурі 1600—2500° С:

Ванадій - сильний карбідоутворювач, зміцнює основу сплаву, утворює карбіди мілкодисперсної, близької до сферичної форми з рівномірним розподілом їх в основі сплаву.

Алюміній карбідів не утворює, розчиняється у фериті, сприяє графітизації. Як і титан, алюміній є сильним розкислювачем і з киснем утворює тугоплавкі оксиди, які за певних умов спливають на поверхню ванни розплаву. З азотом алюміній утворює стійкий нітрид AlN, що переходить при наплавленні в шлаки.

За ціною елементи діляться на відносно дешеві (C, Mn, Si, Cr, Al, Cu) та дорогі (Ni, W, V, Mo, Co).

### **2.2.2 Біметалічні термореагуючі порошкові сплави**

Частіше за все це нікель-алюмінієві покриття. Вони багатофазні і містять NiAl, Ni<sub>3</sub>Al, твердий розчин Ni в NiAl, мають екзотермічні властивості, що підвищує міцність зчеплення покриття з основою і фізико-механічні властивості в цілому. Їх застосовують як підшар, або для напилення основного шару. Вони складаються з частинок сферичної або близькою до неї форми. Кожна частка екзотермічних порошоків - це нікелеве ядро, покрите тонким шаром дрібнодисперсного алюмінію. Для отримання оптимальної міцності зчеплення товщина покриття повинна становити 0,05...0,15 мм.

### **2.2.3 Сплави, які самофлюсуються**

Ці матеріали являють собою сплави на основі нікелю, хрому і нікелю або кобальту, що містять добавки бору і кремнію. Крім того можуть містити карбіди тугоплавких металів, карбоборіди.

Порошки самофлюсуючих сплавів класифікуються за розміром частинок, хімічним складом.

Рекомендовані фракції порошоків: 20-63, 40-100 (45-106) мкм. Сплави MSFNi називають сплавами типу колмоной, а MSFCo - типу стелліт.

Легування бором і кремнієм забезпечує утворення легкоплавких

флюсів та взаємодії матеріалу покриття з поверхнею напилюваної деталі. Бор і кремній знижують температуру початку плавлення  $T_{\text{солідус}}$  покриття і одночасно розширюють температурний інтервал плавлення евтектичних сплавів, до яких відносяться самофлюсуючі, а наявність у складі сплавів твердих боридів хрому і комплексних карбоборидів забезпечують твердість і зносостійкість покриття. Ефект самофлюсування у цих сплавів досягається тим, що при оплавленні кремній і бор пов'язують кисень, адсорбований на поверхні порошку, в боросилікатні шлаки, які спливають на поверхню. Нанесення покриттів із сплавів, які самофлюсуються і подальше їх оплавлення дозволяє отримати шари без пор і з високою щільністю.

Наявність заліза в сплавах сприятливо впливає на змочуваність покриття на сталевій підкладці в процесі його оплавлення, при цьому формується щільна зона зчеплення. У той же час, через більш високу кінематичну в'язкість рідкого Fe, в порівнянні з Ni, вміст його в сплаві більше 5 % погіршує текучість покриття при оплавленні і знижує твердість. Залізо в більшій мірі, ніж інші елементи, розчиняється при впливі на сплави розчинами мінеральних кислот.

У загальному випадку простежується наступна залежність властивостей покриття від хімічного складу сплаву: зі збільшенням вмісту хрому, бору, кремнію і вуглецю в сплаві твердість і зносостійкість покриттів збільшується, а стійкість до удару падає.

Найпоширеніші порошки, які сам офлюсуються, це сплави системи нікель-хром-кремній-бор марок ПГ-10Н-01, ПГ-10Н-04, ПГ-12Н-01 і ін. (табл. 2.2).

Порошок ПТ-НА-01 застосовують як підшар, на який напилюють інші порошки, відповідні експлуатаційним вимогам. При відновленні поршнів компресорів, посадочних місць валів, цапф валів різних машин, шпинделів верстатів і інших деталей на підшар з цього порошку напилюють порівняно м'який порошок ПГ-19М-01 на мідній основі. Покриття легко піддається токарній обробці.

Порошок ПС-12НВК-01 (HRC 57-64) складається з композиції: порошок ПГ-10Н-01 (65 %) + порошок карбіду вольфраму WC (35 %). Покриття цієї композиції мають високу зносостійкість. Їх застосовують для відновлення рухомих і нерухомих з'єднань. Покриття обробляють шліфуванням.

Структура наплавлених шарів (рис. 2.2) являє собою кристали  $\gamma$ - твердого розчину на основі Ni, евтектику  $\gamma + \text{Ni}_3\text{B}$ , а також бориди

CrB і карбіди Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>. Крім цього у структурі можуть бути присутні карбіди типу Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub> і бориди Cr<sub>2</sub>B, Cr<sub>3</sub>B<sub>4</sub>.

Таблиця 2.2 — Основні типи порошків для газотермічного напилення і області їх застосування

Тип сплаву	Марка порошку	Твердість покриття, HRC	Галузь застосування
Сплави, які самофлюсуються на нікелевій основі, леговані бором і кремнієм типу ХН80СР	ПР-Н77Х15С3Р2	33-45	Зміцнення деталей, що піддаються абразивному і корозійно-абразивному зношуванню; при стиранні твердими поверхнями в корозійних середовищах, при сухому терті; при стиранні нитками, стрічками; в умовах фреттинг-корозії і т.п.
	ПН-Н70Х17С4Р4	55-60	
	ПР-Н67Х18С5Р5	60-62	
	ПГ-АН4	35-45	
	ПГ-АН5	45-55	
	ПГ-АН-6	54-65	
	ПГ-12Н-01	35-45	
	ПГ-12Н-02	45-54	
	ПГ-10Н-01	55-62	
ПГ-10Н-04	20-24		
ПГ-19Н-01	28-42		
Бр.АЖ10-4	ПГ-19М-01	HRB 65-72	Антифрикційні покриття вузлів тертя
Бр.ОФ8-0,3	ПГАН-10	-	
Бр.А-10	ПГАН-12		
Композиційні плаковані терморегуючі порошки	ПТ-НА-01	38-42	Нанесення адгезійного підшару з високою міцністю зчеплення; зносостійких шарів, стійких при стиранні, фреттинг-корозії, в окислювальній газовій атмосфері; жаростійких покриттів.
	ПН70Ю30	35-42	
	ПН85Ю15	20-22	
	ПН55Т45	50-55	

Покриття з цих металів мають високу відносну зносостійкість, корозійну і ерозійну стійкість, особливо при підвищених температурах. Ці порошки застосовуються для напилення зношеної спідниці поршня автотракторних двигунів, шпинделів верстатів і ін. Напилену поверхню обробляють шліфуванням.

Порошкові сплави на основі заліза з високим вмістом вуглецю (табл. 2.3) мають низьку вартість, високу зносостійкість. Яскраво виражений недолік цих порошків схильність до окислення при

напиленні.

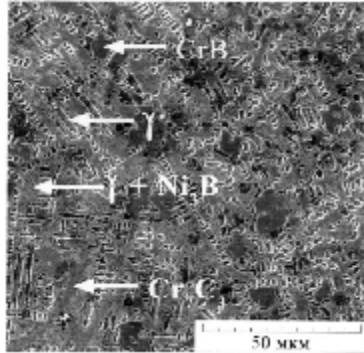


Рисунок 2.2 - Структура шару наплавленого сплавом ПГ-10Н-01  
Таблиця 2.3

Марка порошку	Хімічний склад							Твердість покриття, HRC	Температура плавлення, К
	C	Cr	Si	B	Ni	Mn	Fe		
ПР-Х4Г2Р4С2Ф	1,2	3,7	2,2	3,3			осн.	62	1473
ПР-8Х16Н8Ф3ТР	1,8	16,5		1,5	7,7		осн.	55	1418
ПГ-АН-1	2,8	32	2,5	1,8		1,5	осн.	54	1523
ЛГС-1	1,5	2,0	5,0	0,7	4,0		осн.	42	1503

#### 2.2.4 Керамічні порошки

До кераміки відносяться оксиди металів, бориди, нітриди, силікати і карбіди. Кераміка є тугоплавким матеріалом, для плавлення якого необхідна температура до 3000° С, тому газополуменеве напилювання не забезпечує температури, необхідної для напилення керамічними матеріалами.

Оксиди використовуються для нанесення теплозахисних і зносостійких покриттів. Покриття з оксиду алюмінію ( $Al_2O_3$ ) мають хороші теплоізоляційні властивості і є стійкими при високих температурах. Їх напилюють на поверхні деталей, що труться і працюють без ударних навантажень.

Переваги: вони мають високу твердість, низький коефіцієнт тертя і хімічну стійкість. Основним недоліком покриттів з оксиду

алюмінію є крихкість і низька механічна міцність. При місцевих ударних навантаженнях покриття можуть відділятися від основи.

Покриття з діоксиду цирконію ( $ZrO_2$ ) мають блідо-жовте забарвлення. Найбільш важливими характеристиками цих покриттів є висока жаростійкість, дуже низькі теплопровідність та хімічна активність.

Корозійностійкі покриття повинні бути з високою щільністю, не мати наскрізних пір. Досягненню поставленої мети сприяє введення порошку діоксиду титану ( $TiO_2$ ), що в суміші для наплення служить легкоплавкою складовою; до 25 % фторидів, лужно-земельних металів або 25 %  $Cr_2O_3$ .

Для запобігання відшаровування покриття від основи, що може бути викликано великою різницею в коефіцієнтах термічного розширення, до оксидів додають порошки металів, наприклад, міді. У практиці часто використовують суміші порошоків оксидів з металами:  $Al_2O_3-Ni$ ;  $Al_2O_3-Mo$ ;  $Al_2O_3-Cr$  та інші.

### 2.3 Класифікація методів отримання порошоків

Виробництво порошку - перша технологічна операція методу порошкової металургії. Способи отримання порошоків дуже різноманітні. Вони широко використовуються і при виробництві зварювальних матеріалів (компоненти шихти обмазки покритих електродів, порошкових дротів і стрічок, флюсів, порошоків для наплення та наплення). Це робить можливим надання виробам з порошку і покриттям необхідних фізичних, механічних та інших спеціальних властивостей. Крім того, метод виготовлення порошку в значній мірі визначає його якість і собівартість.

Способи отримання порошоків діляться на механічні і фізико-хімічні.

Механічні методи забезпечують перетворення вихідного матеріалу в порошок без помітної зміни його хімічного складу. Найчастіше використовують подрібнення твердих матеріалів в млинах різних конструкцій і диспергування розплавів.

До фізико-хімічних методів відносять технологічні процеси виробництва порошоків, пов'язані з фізико-хімічними перетвореннями

вихідної сировини. В результаті отримується порошок, що за хімічним складом істотно відрізняється від вихідного матеріалу.

### 2.3.1 Механічні методи

#### 1 Дроблення і розмелювання твердих матеріалів.

Подрібнення стружки, обрізків і компактних матеріалів проводять в кульових, вихрових, молоткових та інших млинах, к.к.д. яких порівняно невеликий. Отримують порошки Fe, Cu, Mn, латуні, бронзи, хрому, алюмінію, сталей.

#### 2 Диспергування розплаву.

Струмнь розплавленого металу диспергують механічним способом (впливом відцентрових сил і ін.) Або діючи на неї потоком енергоносія (газу або рідини). Отримують порошки алюмінію, свинцю, цинку, бронзи, латуні, заліза, чавуну, сталі.

#### 3 Грануляція розплаву.

Порошок утворюється при зливанні розплавленого металу в рідину (наприклад, у воду). Отримують крупні порошки заліза, міді, свинцю, олова, цинку.

#### 4 Обробка твердих (компактних) металів різанням.

При верстатній обробці литих металів або сплавів підбирають такий режим різання, який забезпечує утворення частинок, а не стружки. Отримують порошки стали, латуні, бронзи, магнію.

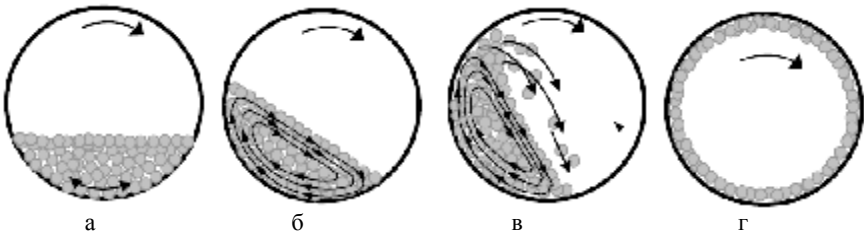
Механічне подрібнення компактних металів широко поширене в порошковій металургії. Подрібнення може бути дробленням, помелом, стиранням. Найбільш доцільно застосовувати механічне подрібнення при виробництві порошків крихких металів і сплавів, таких як Si, Be, Cr, Mn, сплави Al з Mg і ін. Розмел пластичних металів (Zn, Al, Cu) утруднений, так як вони в основному розплющуються, а не руйнуються.

При подрібненні комбінують розчавлювання і удар (при отриманні великих часток) і стирання та удар (при тонкому подрібненні). При дробленні енергія витрачається на пружну і пластичну деформацію, на теплоту і на утворення нових поверхонь.

Серед методів подрібнення твердих матеріалів найбільшого поширення набули обробка металів різанням з утворенням дрібної

стружки або тирси, подрібнення металу в кульових, вихрових, молоткових та інших млинах, ультразвукове диспергування.

Найпростіший апарат для подрібнення твердих матеріалів - кульовий млин, який являє собою металевий циліндричний барабан (рис. 2.3). Усередині барабана перебувають розмельні тіла поліедричної або округлої форми, найчастіше сталеві, чавунні або твердосплавні кулі. При обертанні млина розмельні тіла піднімаються на деяку висоту в напрямку обертання, потім падають, або скочуються і подрібнюють матеріал, стираючи його і роздрібнюючи. Співвідношення між діями дроблення і стирання розмельних тіл в млині залежить від відношення діаметра циліндра  $D$  до довжини циліндра  $L$  при однаковому обсязі. При  $D/L > 3$  переважає дія дроблення розмельних тіл (важливо при подрібненні крихких тіл), при  $D/L < 3$  – більша дія стирання (більш ефективно для подрібнення пластичних матеріалів).



а - режим ковзання при  $n_{кр} < 0.2 n_{кр}$ , б - режим перекочування при  $n < 0.4-0.6 n_{кр}$ , в - режим інтенсивного подрібнення (водоспадний режим) при  $n < 0.75-0.85 n_{кр}$ ; г – характер руху куль при  $n > n_{кр}$

Рисунок 2.3 - Схема руху куль у барабані кульового млина при різній швидкості його обертання

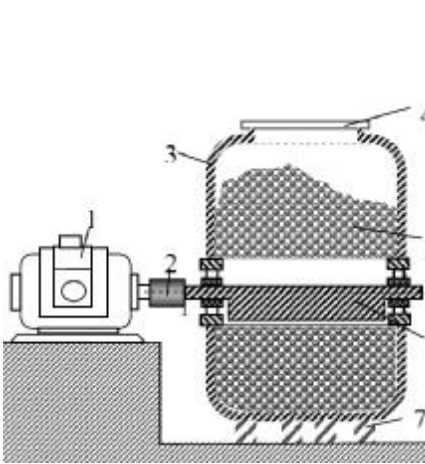
На інтенсивність і механізм дроблення значно впливає швидкість обертання барабана млина, число і розмір розмельних тіл, маса матеріалу, що подрібнюється, тривалість і середовище розмелу. Зі збільшенням швидкості обертання барабана млина розмельні тіла падають з більшої висоти (рис. 2.3), виконуючи головним чином дію, що дробить. При подальшому збільшенні швидкості обертання барабана розмельні тіла будуть обертатися з барабаном і матеріал буде подрібнюватись незначно. Цю швидкість називають критичною швидкістю обертання.

Для кульових обертових млинів співвідношення середніх розмірів частинок порошку до і після подрібнення, зване ступенем



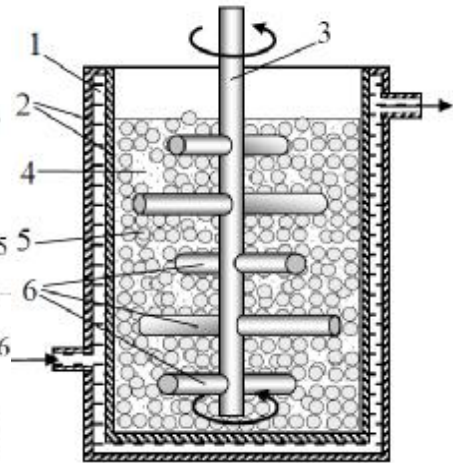
подрібнення, становить 50 - 100. Форма частинок, що отримується в результаті розмолу в кульових обертових млинах, зазвичай осколкова, тобто неправильна, з гострими гранями, а шорсткість їх поверхні невелика.

Крім обертових використовують також вібраційні (рис. 2.4), планетарні, відцентрові, гіроскопічні млини (обертаються щодо горизонтальних і вертикальних вісів), з магнітно-індукційним обертачем (для феромагнітних матеріалів), вихрові (подрібнення за рахунок створення вихрових потоків, що створюються двома пропелерами, розташованими один проти одного) і молоткові (використовується молот для дроблення губчастих матеріалів) аттриатори (рис. 2.5).



1 - електродвигун; 2 - сполучна муфта; 3 - корпус млина; 4 - завантажувальний люк; 5 - розмельні тіла; 6 - дебалансний вал; 7 - амортизатори (пружини)

Рисунок 2.4 - Схема вібраційного млина



1 - корпус млина (розмельна ємність); 2 - водоохолоджувані стінки корпусу млина; 3 - вал мішалки аттриатора; 4 - матеріал, що подрібнюється; 5 - розмельні тіла; 6 - лопаті мішалки

Рисунок 2.5 - Схема аттриатора

Іншим поширеним механічним методом отримання порошків є розпорощення розплавів. Диспергування розплавленого металу або сплаву струменем стисненого газу, рідини, або механічним способом дозволяє отримувати порошки, які називають розпорощеними. Процес характеризується високими продуктивністю, технологічністю, ступенем автоматизації і порівняно малими енерговитратами,

екологічно чистий. Промислове виробництво порошків становить в співвідношенні 4-5:1 на користь розпорошених порошків.

В даний час метод розпилення широко використовують для отримання не тільки порошків заліза, сталей та інших сплавів на основі заліза, а й порошків алюмінію, міді, свинцю, цинку, тугоплавких металів (титану, вольфраму та ін.), а також сплавів на основі кольорових металів. Розпилення дуже ефективно при отриманні порошків багатокomпонентних сплавів і забезпечує об'ємну рівномірність хімічного складу, оптимальну будову і тонку структуру кожної частинки, яка утворюється. Це пов'язано з перегрівом розплаву перед диспергуванням, що призводить до високого ступеня його однорідності на атомарному рівні через повне руйнування спадкової структури твердого стану та інтенсивного перемішування, і кристалізацією дисперсних частинок з високими швидкостями охолодження - від  $10^3$  -  $10^4$  до кількох десятків і навіть сотен мільйонів градусів у секунду. Методи розпилення металевого розплаву розрізняються по виду енергії, що витрачається (нагрів індукційний або непрямий, електродуговий, електронний, лазерний, плазмовий і ін.), виду силового впливу на розплав при диспергуванні (механічний вплив, енергія газових і водних потоків, сили гравітаційні, відцентрові, вплив ультразвуку і т.д.) і по типу середовища для його створення і диспергування (відновна, окислювальна, інертна або інша середа заданого складу, вакуум).

Сутність отримання металевих порошків з розплаву полягає в порушенні суцільності його потоку (струменя або плівки) під дією різних джерел збурень з виникненням дисперсних частинок.

Відцентрове розпилення являє собою один з основних видів диспергування розплаву. За методом обертового електрода розпорошення відбувається в момент формування розплаву - електрична дуга, або електронний промінь, плазма або інші джерела енергії). Новоутворена на торці електрода, який витрачається і обертається зі швидкістю  $2000-20000 \text{ хв}^{-1}$ , плівка розплаву товщиною 10-30 мкм під дією відцентрових сил переміщається до його периферії і зривається з його кромки у виді частинок-крапель переважно розміром 100-200 мкм (збільшення діаметра електрода і швидкості його обертання призводить до зменшення розміру частинок-крапель) Кристалізація крапель зі швидкістю охолодження порядку  $10^4 \text{ C/c}$  відбувається в атмосфері інертного газу.

Броварський завод порошкової металургії виготовляє залізний порошок методом розпилення розплаву металу. Розплавлений метал розпилюють водою високого тиску або повітрям. Отриману пульпу зневоднюють і сушать, потім порошок-сирець відновлюють в прохідних печах конвейерного типу при заданій температурі в середовищі водню. Отриману губку дроблять, розмелюють, піддають класифікації. Готовий продукт - залізний розпорошений (рис. 2.6 а) порошок має високі технологічні властивості. Ущільнюваність порошку при  $5 \text{ т/см}^3$  становить  $6,5\text{-}6,65 \text{ г/см}^3$ . Міцність неспеченої пресовки при щільності  $6,5 \text{ г/см}^3$  становить  $20\text{-}25 \text{ МПа}$ . Відносне подовження становить  $8\text{-}12 \%$  при щільності  $7,0\text{-}7,1 \text{ г/см}^3$ .

Металеві порошки, виготовлені за даною технологією, знаходять широке застосування в різних галузях промисловості: це виробництво порошкових виробів антифрикційного, конструкційного і електротехнічного призначення, спечених електродних стрічок; при киснево-флюсовому різанні металів і в якості головної складової покриття високопродуктивних електродів для зварювання.

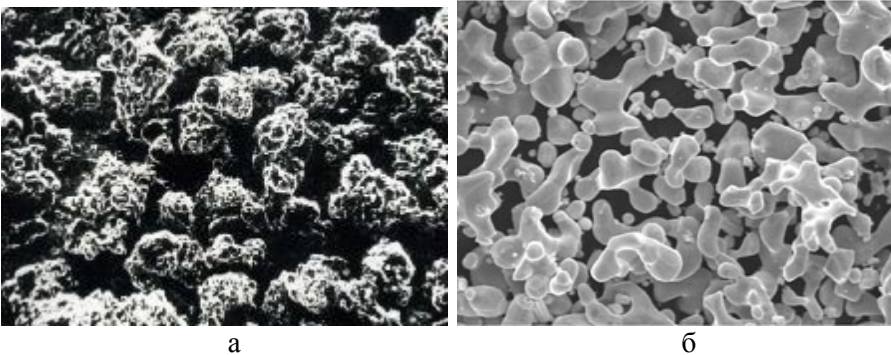


Рисунок 2.6 - Порошки залізний розпорошений (а) та титану (б), отримані відновленням оксидів металів гідридом кальцію.

Активно розвиваються методи розпилення розплавів, що забезпечують дуже високі швидкості охолодження частинок. Один з варіантів, який забезпечує затвердіння рідкої краплі зі швидкістю  $10^7\text{-}10^8 \text{ }^\circ\text{C/с}$ , дозволяє отримувати так звані РіШЗ - (розпорошені і швидкозагартовані порошки), коли на шляху краплі, яка летить встановлюють охолоджуваний екран під кутом  $15\text{-}45^\circ$  до напрямку її руху. При ударі об екран крапля переміщується по його поверхні і послідовно кристалізується у виді частки пластинчастої форми. При

надшвидкому охолодженні у вакуумі або інертному газі зі швидкістю понад  $10^6$  °C/с при кристалізації крапель розплаву утворюються порошки, частки яких мають аморфну структуру, що надає їм надзвичайно специфічні властивості і дозволяє створювати унікальні матеріали для різних галузей техніки.

### 2.3.2 Фізико-хімічні методи отримання порошків

#### 1. Хімічне відновлення:

а - хімічне відновлення газоподібних сполук металів.

Порошки металів високої чистоти можна отримати з низькокиплячих хлоридів і фторидів вольфраму, молібдену, ренію, ніобію або танталу по реакції:



де Me - будь-який метал, порошок якого треба отримати;

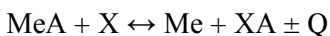
Г - хлор або фтор.

Для отримання високодисперсних порошків металів або їх сполук (карбідів, нітридів і ін.) існують перспективні плазмохімічні методи. Відновлювачем служить водень або вуглеводні і конвертований природний газ. Низькотемпературну ( $4000-10000^\circ\text{C}$ ) плазму створюють в плазмотроні електричною дугою високої інтенсивності, через яку пропускають будь-який газ або їх суміші. У плазмовому відновному струмені відбувається перетворення вихідних матеріалів в конденсовану дисперсну фазу. Метод використовується для отримання порошків тугоплавких металів W, Mo, Ni. Порошок титану і його сплавів отримують відновленням оксидів металів гідридом кальцію. Вибір гідриду кальцію в якості відновника пояснюється високою активністю кальцію, що дозволяє відновлювати практично всі оксиди металів і неметалів незалежно від їх термодинамічної активності. При цьому не утворюються тверді розчини і хімічні сполуки кальцію з відновленими металами. Відновлені порошки титану і сплавів мають неправильну (ірегулярну) форму (рис. 2.6 б) і розвинену поверхню частинок, завдяки чому відмінно формуються при порівняно низьких тисках

пресування в жорстких матрицях, а також методом гідростатичного пресування в еластичних оболонках. Порошок добре прокочуються в стрічку і спікається у вакуумі або нейтральній атмосфері.

б - відновлення відбувається з оксидів і інших твердих сполук металів.

Цей спосіб є одним з найбільш поширених і економічних способів. У загальному випадку найпростішу реакцію відновлення можна уявити як:



де А - неметалічна складова відновлюваного з'єднання MeA - (кисень, хлор, фтор, сольовий залишок та ін.);

X - відновник;

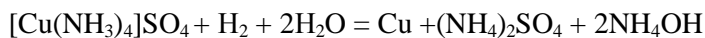
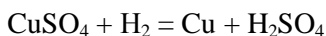
Q - тепловий ефект реакції.

Відновниками служать гази (водень, конвертований природний газ і ін.), твердий вуглець (кокс, сажа та ін.) і метали (натрій, кальцій і ін.). Вихідною сировиною є окислені руди, рудні концентрати, відходи і побічні продукти металургійного виробництва (наприклад, прокатна окалина), а також різні хімічні сполуки металів. Таким шляхом отримують порошки Fe, Cu, Ni, Co, W, Mo, Ti, Ta, Zr, Y і інших металів та їх сплавів, а також з'єднань з неметалами (карбіди, бориди і ін.).

в - хімічне відновлення різних сполук металів з водних розчинів.

Цей спосіб також є одним з найбільш економічних, що дозволяє отримувати високоякісні металеві порошки. Відновлювач - це водень або оксид вуглецю. Вихідна сировина - сірчаноокислий або аміачні розчини солей відповідних металів.

Як приклад, застосування цього методу можна розглянути отримання порошку міді. Мідь може бути виділена відновленням воднем як з кислих, так і лужних розчинів. Зазвичай використовують розчин сульфату міді або мідноаміачної комплексної солі. Реакції відновлення мають вид:



Відновлення проводять при сумарному тиску газу 2,4-3,5 або 3,5-4,5 МПа і температурі 140-170 або 180-200° С, відповідно. Випадання міді в осадок становить близько 99 %. Швидкість процесу відновлення зростає зі збільшенням кількості суспендованої міді.

Хімічна чистота порошків, отриманих таким способом, висока (99,7-99,9 % Cu, < 0,1 % O<sub>2</sub>, < 0,01 % Fe), а собівартість менше собівартості електролітичних порошків міді. Форма частинок може бути найрізноманітнішою: дендритною, округлою та ін. Таким шляхом отримують порошки Cu, Ni, Co, Ag, Au.

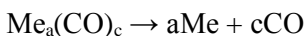
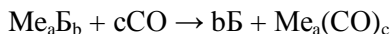
2. Електроліз водних розчинів або розплавлених солей різних металів.

На катоді під дією електричного струму осаджують з водних розчинів або розплавів солей чисті порошки практично будь яких металів. Вартість порошків висока через великі витрати електроенергії і порівняно низьку продуктивність електролізерів. Таким шляхом отримують з водних розчинів - порошки Cu, Ni, Fe, Ag, а з розплавлених середовищ - порошки Ta, Ti, Zr, Fe.

3. Дисоціація карбонілів.

Карбонілами називають з'єднання елементів з СО загальної формули Me<sub>a</sub>(CO)<sub>c</sub>. Карбоніли є легколетучими, утворюються при порівняно невисоких температурах і при нагріванні легко розкладаються.

У промислових масштабах дисоціацією карбонілів отримують порошки Ni, Fe, Co, Cr, Mo, W і деяких металів платинової групи. Схематично карбоніл - процес йде за схемою:



У першій фазі по реакції вихідна сировина Me<sub>a</sub>B<sub>b</sub>, що містить метал Me в з'єднанні з баластною речовиною B, взаємодіє з СО, утворюючи проміжний продукт (карбоніл). У другій фазі карбоніл металу при нагріванні розкладається на метал і СО.

Розширення виробництва карбонільних порошків істотно стримується їх високою вартістю, так як вони в десятки разів дорожче відновлених порошків аналогічних металів.

4. Термодифузійне насичення.

Шари, які чередуються, або суміш порошків різнорідних металів нагрівають до температури, що забезпечує їх активну взаємодію. Отримують порошки латуні, сплавів на основі хрому, високолегованих сталей.

#### 5. Випаровування і конденсація.

Для отримання порошку метал випаровують і потім конденсують його пари на холодній поверхні. Порошок є тонкодисперсним, але містить велику кількість оксидів. Отримують порошки Zn, Cd та інших металів з невисокою температурою випаровування.

#### 6. Міжкристалічна корозія.

У компактному (вилитому) металі або сплаві за допомогою хімічного травника руйнують міжкристалічні прошарки. Таким способом отримують порошки корозійностійких і хромонікелевих сталей.

Існують і інші способи отримання порошків, для яких характерні ті чи інші переваги.

### **2.4 Особливості технології нанесення покриттів**

Зі збільшенням товщини покриття величина залишкових напруг, що розтягують, зростає, виникає небезпека руйнування шару. Завжди слід прагнути до отримання покриття мінімальної товщини. Вона включає допуск на можливий знос і припуск на обробку після напилення. Не слід надмірно заглиблюватися в метал при проточці зношених поверхонь. Оптимальна товщина припуску становить 0,15 мм, а для карбідних покриттів менше 0,1 мм.

Оплавлення необхідно починати відразу після напилення, це знижує енерговитрати, небезпеку утворення тріщин або відшарування напиленого покриття.

Мінімальна товщина покриттів після оплавлення може становити 0,25 мм. Для покриттів рівномірної товщини припуск на шліфування становить від 0,1 до 0,4 мм в розрахунку на радіус. Усадка при оплавленні становить 20 %. Для валів на ділянках запресовки слід напилювати покриття товщиною 0,13 мм незалежно від діаметра.

Нагрівання покриття здійснюється плазмовим факелом. В напилених покриттях діють напруження розтягу. Різкий місцевий нагрів до високої температури викликає їх розширення і може призвести до відшарування покриття від основи. Тому слід зробити попередній нагрів поверхні до температури 500 ... 700 °С. При цій операції плазмотрон розташовується на відстані 100...125 мм від оплавленої деталі і здійснюється зворотно-поступальне переміщення по всій поверхні. Момент оплавлення контролюють по дзеркальному блиску поверхні, поява якого вказує на завершення процесу.

Після нагріву відстань необхідно зменшити до 35...40 мм і нагрівати поверхню до температури, близької до температури плавлення напиленого сплаву, яка становить 950 ... 1050 °С. При обертанні деталі плазмотрон може бути встановлено стаціонарно до досягнення необхідної температури поверхні, потім йому забезпечується поздовжнє переміщення зі швидкістю  $v = 0,01 \dots 0,03$  м/с. Якщо деталь розташовується нерухомо, необхідно здійснювати невеликі коливальні рухи плазмотроном.

Слід уникати перегріву, який викликає потьоки, провисання і зниження фізико-механічних властивостей покриття. Невиправдано довге оплавлення, витримка сплаву при високій температурі призводить до зниження твердості і погіршує корозійну стійкість. Оплавлення можна здійснити також у печі або індукційним нагріванням.

Тверді сплави мають коефіцієнт термічного розширення значно вищий, ніж більшість сталей. В результаті при охолодженні основний метал стискується менше матеріалу покриття. Це підсилює напруги які розтягують, що викликає тріщини. Тріщини можуть з'явитися, якщо покриття швидко охолоджується, а серцевина нагрівається за рахунок тепловмісту покриття. Тому швидкість охолодження з температури оплавлення повинна бути не велика, щоб уникнути розтріскування покриттів, особливо при високій твердості.

Їх причиною також є мартенситні перетворення, що супроводжуються збільшенням обсягу. Відповідний цикл охолодження дозволяє перетворити аустеніт в перліт або бейніт, уникаючи перетворення його в мартенсит. При повільному охолодженні в азбестокрихті покриття без розтріскування можуть бути нанесені майже на всі сталі.

Низька теплопровідність металу покриттів також ускладнює



умови різання. У зв'язку з цим обробку ведуть на режимах, параметри яких значно нижче загальноприйнятих, навіть у порівнянні з легованими сталями аналогічної твердості. При цьому використовують точіння, шліфування, фрезерування, свердління та інші відомі методи. Важливо, щоб виріб з покриттям при обробці не піддавався значним деформаціям і навантаженням, що викликають напруження розтягу.

За продуктивністю обробки пріоритет слід віддати точінню твердосплавними різцями. Але цього виду обробки піддаються лише покриття з твердістю не більше 40 HRC, отримані напиленням порошковими сплавами ПГ-10Н-04, ПГ-СР2, які самофлюсуються. Покриття більш високої твердості обробляють шліфуванням. Дуже погано піддаються обробці сплави, що містять карбіди, наприклад ПС-12НВК, тому покриття з таких матеріалів бажано використовувати як необроблювані. Навіть шліфуванням в цьому випадку ніяк не вдається зняти припуски, що зайвий раз вказує на те, що напилення слід проводити з високою точністю, щоб звести обробку до мінімуму.

### **3 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНОСТІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ**

1. Які дроти слід використовувати для нанесення зносостійких шарів на робочі поверхні валів, вісів, цапф, втулок, шківів, що працюють в умовах тертя ковзання з мастилом або нерухомих посадок?

2. Які дроти слід використовувати для нанесення зносостійких покриттів на осі, вали, крильчатки насосів і іншого технологічного обладнання, що працює в слабоагресивних середовищах?

3. Які переваги мають суцільні дроти перед порошковими та композитними при металізації?

4. Які матеріали можна рекомендувати для нанесення антифрикційних покриттів на напрямні, втулки, опори, підп'ятники, що працюють в умовах тертя ковзання?

5. Що слід зробити для забезпечення більш високих

характеристик міцності і пластичних властивостей покриттів з оксидів і карбідів?

6. Особливості вольфраму в якості порошку для напилення.

7. Який матеріал можна рекомендувати для напилення підшару, на який потім наносять покриття із інших металів, що характеризуються невисокою здатністю до зчеплення зі сталевими деталями?

8. Які переваги титану перед іншими кольоровими металами і його недоліки?

9. Які карбіди утворює хром взагалі, і які з них не утворює в сплавах на основі заліза?

10. Які елементи сприяють самофлюсуванню сплавів на основі нікелю і зниженню температури плавлення сплаву?

11. Які елементи в порошкових матеріалах є найбільш активними розкислювачами?

12. Які основні елементи входять в біметалічні термореагуючі порошкові сплави?

13. За рахунок чого досягається ефект самофлюсування сплавів?

14. Що потрібно зробити для отримання шарів із сплавів, які самофлюсуються без пор і з високою щільністю?

15. На що сприятливо впливає наявність заліза в сплавах, які самофлюсуються?

16. Наведіть приклади порошоків, які самофлюсуються набули найбільшого поширення.

17. Які фаз присутні в структурі шару наплавленого сплавом ПГ-10Н-01?

18. Які переваги і недоліки порошкових сплавів на основі заліза з високим вмістом вуглецю?

19. Які сполуки відносяться до кераміки?

20. З якою метою напилюють оксиди?

21. На які види діляться способи отримання порошоків?

22. Основні механічні методи отримання порошоків.

23. Які фактори впливають на інтенсивність і механізм дроблення в кульових млинах?

24. Якими способами проводять розпорошення розплавів для отримання порошоків?

25. Який тип структури утворюється при надшвидкому

охолодженні розпорошеного сплаву (крапель з швидкістю понад  $10^6$  С/с ) в вакуумі або інертному газі?

26. Назвіть фізико-хімічні методи отримання порошків.
27. Який спосіб отримання порошків відновленням є одним з найбільш поширених і економічних способів?
28. Напишіть у загальному виді найпростішу реакцію отримання порошків відновленням.
29. Особливості технології нанесення покриттів.

#### **4 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ**

1. Зразки металу, напиленого порошками, які самофлюсуються в оплавленому та неоплавленому виді.
2. Набір шліфувальних шкурочок та алмазної пасти.
3. Реактиви для травлення.
4. Прилад ПМТ-3.
5. Мікроскоп NU-2.
6. Прилад для виміру твердості за Роквеллом.

#### **5 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ**

Верстати і прилади, які використовуються при виконанні даної роботи підключаються до мережі змінного струму напругою 380 і 220 В. Тому існує небезпека ураження електричним струмом, а також травмування зразком при його поліруванні або шліфуванні. Для попередження нещасних випадків, а також пошкодження приладів і обладнання, необхідно виконувати певні вимоги безпеки:

1. Приступати до роботи після прослуховування інструктажу з техніки безпеки у керівника роботи і засвоєння матеріалу даних методичних вказівок.
2. Включати прилади тільки за вказівкою викладача або лаборанта.

3. Виконувати тільки роботу, передбачену завданням.
4. Переконатися в надійності заземлення верстата, електроізоляції кабелю і проводів.
5. Виявляти особливу уважність і акуратність при роботі.
6. Не торкатися рухомих і струмоведучих частин обладнання.
7. Працювати на верстаті із застебнутими манжетами рукавів.
8. Повідомляти викладачеві або лаборанту про виниклі несправності обладнання, не намагатися усунути їх самостійно.
9. Виконувати роботу при наявності в лабораторії не менше двох осіб.
10. Після закінчення роботи вимкнути обладнання і привести в порядок робоче місце.

## **6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ**

- 6.1. Визначається твердість HRC і аналізується зовнішній вид напиленого шару до і після оплавлення.
- 6.2. На прикладі 1-2 зразків освоюється методика виготовлення шліфів напилених зразків.
- 6.3 Вибирається реактив і проводиться травлення шліфів.
- 6.4. Вивчається структура напиленого шару та зони зчеплення з основним металом.
- 6.5 Визначається мікротвердість.
- 6.6. На прикладі одного зразка проводяться випробування на опірність абразивному зношуванню оплавленого покриття.

## **7 ЗМІСТ ЗВІТУ**

1. Найменування і мета роботи.
2. Характеристика матеріалу, який досліджується, його призначення.
3. Фото часток порошку, опис їх форми, розміри.
4. Опис структур напиленого металу з вказівкою основних

ознак структурних складових.

5. Заповнена таблиця 7.1, яка включає результати отримані за пунктами 6.1, 6.5, 6.6.

6. Висновки.

Таблиця 7.1

Вид зразку	Твердість, HV або HRC	Мікротверд ість Н <sub>50</sub> , ГПа	Мікрост руктура	Відносна зносоустійкість
з напиленням шаром				
з напиленням і оплавленим шаром				

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Восстановление и повышение износостойкости и срока службы деталей машин. Под редакцией д-ра техн. наук, проф. Попова В.С. - Запорожье.: Изд-во ОАО «Мотор Сич», 2000. - 394 с.

2. ГОСТ 28377-89 Порошки для газотермического напыления и наплавки. Типы

3. Бертенев С.С., Федьков Ю.П., Григоров А.И. Детонационные покрытия в машиностроении. - Л.: Машиностроение, 1982. - 215 с.

4. Борисов Ю.С. Газотермические покрытия из порошковых материалов / Ю.С. Борисов, Ю.А. Харламов. – К.: Наукова Думка, 1987. – 210 с.

5. Газотермические покрытия из порошковых материалов. Справочник // Ю.С.Борисов. Ю.А. Харламов, С.Л.Сидоренко и др. - К.: Наукова думка, 1987. - 544 с.

6. Газотермическое напыление композиционных порошков / А.Я. Кулик, Ю. С. Борисов, А. С. Мнухин, М. Д. Никитин. – Л.: Машиностроение, 1985.– 197 с.

7. Інженерія поверхні: Підручник / К. А. Ющенко, Ю. С. Борисов, В. Д. Кузнецов, В. М. Корж — К.: Наукова думка, 2007. — 559 с. — ISBN 978-966-00-0655-3

8. Какуевичкий В.А. Применение газотермических покрытий

при изготовлении и ремонте машин. - К.: Техніка, 1989. - 174 с.

9. Корж В. М. Технологія та обладнання для напилення: Навчальний посібник. — К.: НМЦВО, 2000. — 152 с.

10. Кудинов В. В. Плазменные покрытия. – М.: Наука, 1977. – 270 с.

11. Куницкий Ю. А. Некристаллические металлические материалы и покрытия в технике / Ю. А. Куницкий, В. Н. Коржик, Ю. С. Борисов. — К.: Техніка, 1988. — 198 с.

12. Лашенко Г.И. Плазменное упрочнение и напыление. – К.: Екотехнологія, 2003. – 64 с.

13. Хасуи А. Наплавка и напыление / А. Хасуи, О. Моригаки. – Пер. с яп., В. Н. Попова; Под ред. В. С. Степина, Н. Г. Шестеркина. — М.: Машиностроение, 1985. — 240 с.