

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДРОГОБИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ІВАНА ФРАНКА

Кафедра технологічної та професійної освіти

«До захисту допускаю»
завідувач кафедри технологічної та професійної освіти,
доктор педагогічних наук, професор
_____ Леонід ОРШАНСЬКИЙ
«____» травня 2024 р.

Методичне забезпечення вивчення методів виготовлення
функціональних матеріалів із порошків на
факультативних заняттях з технологій

Спеціальність 014.10 Середня освіта (Трудове навчання та технології)

Магістерська робота

на здобуття професійної кваліфікації – вчитель трудового навчання,
технологій та креслення закладу загальної середньої освіти

Автор роботи: Кобинець Назарій Тарасович _____
підпис

Науковий керівник: кандидат фіз.-мат. наук, доцент

Павловський Юрій Вікторович _____
підпис

Дрогобич – 2024

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка

Зав. кафедри

_____ 27.10.2022 р.
(підпис) (дата)

**ЗАВДАННЯ
на підготовку магістерської роботи**

1. Тема: «Методичне забезпечення вивчення методів виготовлення функціональних матеріалів із порошків на факультативних заняттях з технологій».

2. Керівник – канд. фіз.-мат. наук, доцент Павловський Ю.В.

3. Студент – Кобинець Назарій Тарасович.

4. Перелік питань, що підлягають висвітленню у кваліфікаційній роботі:

1. Розглянути основні технологічні операції порошкової металургії та методи виробництва металевих порошків.

2. Ознайомитись з основними властивостями, виділити переваги та з'ясувати області практичного застосування матеріалів одержаних з порошків.

3. Розробити тематичне планування та елементи методичного забезпечення факультативу з технологій «Перспективні матеріали з порошків».

5. Список рекомендованої літератури:

1. Гіршов В.Л., Котов С.А., Цеменко В.Н. Сучасні технології у порошковій металургії: навч. посібн. Київ: Вища школа, 2010. 385 с.

2. Власенко А.М. Матеріалознавство та технологія металів: підручник для здобувачів професійної (професійно-технічної) освіти. Київ: Літера ЛТД, 2019. 224 с.

3. Композитні та порошкові матеріали: навчальний посібник / П.П. Савчук, В.П. Кашицький, М.Д. Мельничук, О.Л. Садова; за заг. ред. П.П. Савчука. Луцьк: Видавець: ФОП Теліцин О.В., 2017. 368 с.

4. Поплавко Ю.М., Воронов С.О., Якименко Ю.І. Фізичне матеріалознавство. Навчальний посібник. Київ: НТУУ «КПІ», 2011. Ч. 3. Провідники та магнетики. 372 с.

5. Порошкова металургія. Матеріали, технологія, властивості, області застосування. Довідник / І.М. Федорченко та ін. Київ, Наукова думка, 1985. 624 с.

6. Рослик І.Г., Ковзик А.М., Внуков О.О. Основи порошкової металургії. Частина 1. Виробництво порошків. Навч. Посібник. Дніпро: НМетАУ, 2019. 50 с.

7. Середа Б.П. Нові матеріали в металургії. Навчальний посібник. Запоріжжя: Видавництво Запорізької державної інженерної академії, 2009. 395 с.

8. Степанчук А.М. Теоретичні та технологічні основи отримання порошків металів, сплавів і тугоплавких сполук: Підручник. Київ: НТУУ «КПІ», 2006. 353 с.

9. Степанчук А.М., Мініцький А.В. Основи отримання порошкових та композиційних матеріалів. Ч. II. Пресування, спікання, технологія. Київ: НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», 2010. 112 с.

6. Етапи підготовки роботи:

№ з/п	Назва етапу	Термін виконання	Термін звіту перед керівником, кафедрою
1.	Вивчення й аналіз психолого-педагогічної та методичної літератури; визначення вихідних положень дослідження (об'єкт, предмет, методи); формування мети; постановка завдань.	до 10.03.2023 р.	16.03.2023 р.
2.	Підготовка 1-го розділу роботи.	до 10.10.2023 р.	27.10.2023 р.
3.	Підготовка 2-го розділу роботи.	до 12.02.2024 р.	27.02.2024 р.
5.	Формування висновків. Оформлення роботи.	до 30.04.2024 р.	10.05.2024 р.
6.	Перевірка роботи на плагіат	до 14.05.2024 р.	17.05.2024 р.
7.	Попередній захист роботи і рецензування.	до 21.05.2024 р.	28.05.2024 р.

7. Дата видачі завдання – 27.10.2022 р.

8. Термін подачі роботи керівнику – 14.05.2024 р.

9. Із вимогами до виконання роботи і завданням ознайомлений _____ Кобинець Н.Т.

10. Керівник _____ доц. Павловський Ю.В.

ЗАХИСТ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

1. Тема: «Методичне забезпечення вивчення методів виготовлення функціональних матеріалів із порошків на факультативних заняттях з технологій».

Оцінка за стобальною шкалою: _____

Оцінка за національною чотирибальною шкалою: _____

Коротка мотивація оцінки захисту:

_____	Голова ДЕК _____	_____
дата	підпис	прізвище та ініціали
	Секретар ДЕК _____	_____
	підпис	прізвище та ініціали

АНОТАЦІЯ

Кобинець Н.Т. Методичне забезпечення вивчення методів виготовлення функціональних матеріалів із порошків на факультативних заняттях з технологій. – Рукопис.

Проаналізовано основні технології та номенклатуру матеріалів одержаних методом порошкової металургії, основні властивості порошкових матеріалів та області їхнього практичного застосування. З'ясовано переваги виробів порошкової металургії, а також основні недоліки у порівнянні з аналогами одержаними за традиційними технологіями. Розроблено тематичне планування факультативу із технологій «Перспективні матеріали з порошків», а також елементи методичного забезпечення у вигляді трьох розширених конспектів занять та завдань для закріплення вивченого матеріалу, що сприятиме ефективному засвоєнню нових знань, розвитку пізнавального інтересу до сучасних технологій одержання порошкових матеріалів та формуванню технологічної культури учнів.

Ключові слова: порошкова металургія, порошкові матеріали, методи виробництва металевих порошків, факультатив із технологій, розширений конспект заняття.

ANNOTATION

Kobynets N.T. Methodological support for studying methods of manufacturing functional materials from powders during extracurricular activities in technology. – Manuscript.

The main technologies and nomenclature of materials obtained by powder metallurgy method, the basic properties of powder materials and areas of their practical application are analyzed. The advantages of products of powder metallurgy, as well as the main disadvantages compared to analogues obtained by traditional technologies, are clarified. A thematic plan for extracurricular activities on «Advanced Materials from Powders» technology is developed, as well as elements of methodological support in the form of three expanded session outlines and tasks to consolidate the material studied, which will contribute to effective assimilation of new knowledge, development of cognitive interest in modern technologies for obtaining powder materials and formation of technological culture among students.

Keywords: powder metallurgy, powder materials, methods of production of metal powders, technology elective, extended course outline.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ I. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПОРОШКОВОЇ МЕТАЛУРГІЇ.....	9
1.1. Основні продукти порошкової металургії.....	9
1.2. Методи виробництва металевих порошків	12
<i>1.2.1. Фізико-механічні методи.....</i>	<i>12</i>
<i>1.2.2. Фізико-хімічні методи.....</i>	<i>13</i>
<i>1.2.3. Хіміко-металургійні методи</i>	<i>15</i>
1.3. Порошкові матеріали та їх властивості	16
<i>1.3.1. Конструкційні порошкові матеріали</i>	<i>16</i>
<i>1.3.2. Пористі порошкові матеріали.....</i>	<i>24</i>
<i>1.3.3. Електротехнічні порошкові матеріали.....</i>	<i>30</i>
РОЗДІЛ II. МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФАКУЛЬТАТИВУ ІЗ ТЕХНОЛОГІЙ «ПЕРСПЕКТИВНІ МАТЕРІАЛИ З ПОРОШКІВ»	36
2.1. Розробка календарно-тематичного планування факультативу з технологій «Перспективні матеріали з порошків».....	36
2.2. Розробка розширених конспектів занять.....	37
Тема 1: Технологія формування виробів із металічних порошків.....	37
Тема 2. Види, області застосування та властивості спечених матеріалів та виробів із порошків	46
Тема 3. Електротехнічні та конструкційні матеріали із порошків.....	55
2.3. Розробка завдань для закріплення вивченого матеріалу	64
ВИСНОВОК	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	68

ВСТУП

Актуальність теми. Крім традиційних способів формоутворення, заснованих на плавленні металу, подальшому литті або деформуванні злитків, у середині XIX ст. виник принципово новий спосіб виготовлення деталей із порошків. Метод отримання різних матеріалів та готових виробів з металевих порошків шляхом їх пресування та спікання називається порошковою металургією. Однак прообразом порошкової металургії можна вважати кричний спосіб виробництва сталі, при якому через недостатність температури у горні для розплавлення великих об'ємів металу габаритні вироби отримували шляхом зварювання при куванні окремих криць.

Порошкова металургія – це наукомісткий напрямок створення матеріалів із заданими властивостями та виготовлення виробів, що забезпечує вирішення актуальних завдань сьогодення. Вона є однією з перспективних технологій металургійного та машинобудівного виробництва. Гостра потреба у металевих порошках, порошкових матеріалах та виробах пояснюється широкими можливостями їхнього використання при вирішенні багатьох науково-технічних завдань [1].

Сьогодні металеві порошкові матеріали застосовують у багатьох галузях промисловості, таких як автомобільна, авіаційна, електроніка, будівництво, медицина тощо. Вони використовуються для виробництва компонентів, інструментів, вузлів та конструкцій з високою міцністю та стійкістю.

Металеві порошкові матеріали мають властивості, які роблять їх особливо цінними для виробництва легких та міцних деталей. Це важливо в автомобільній та авіаційній промисловості, де кожен грам матеріалу може впливати на витрату пального.

Деякі металеві порошкові матеріали мають властивості, які дозволяють їм залишатися стійкими до корозії та окислення. Це особливо важливо для виробництва конструкцій, які піддаються впливу агресивних середовищ.

Використання металевих порошків може знизити витрати сировини порівняно з традиційними методами обробки металів, оскільки вони можуть використовуватись значно ефективніше та з меншими відходами.

Вивчення металевих порошкових матеріалів сприяє розвитку нових технологій та інновацій, таких як виробництво 3D-друкованих металевих деталей та розвиток нових матеріалів для високотемпературних умов.

Отже, вивчення металевих порошкових матеріалів є надзвичайно актуальним і сприяє розвитку сучасних технологій та інновацій у різних галузях науки та промисловості, тому тема магістерської роботи «Методичне забезпечення вивчення методів виготовлення функціональних матеріалів із порошків на факультативних заняттях з технологій» є актуальною та перспективною.

Об'єкт дослідження: сучасні матеріали з порошків.

Предмет дослідження: технологічні особливості одержання та практичне застосування матеріалів з порошків.

Мета дослідження: аналіз сучасних досягнень порошкової металургії та розробка методичних матеріалів для ознайомитись з основними властивостями, перевагами, практичним застосування порошкових матеріалів на факультативних заняттях з технологій.

Для досягнення поставленої мети розв'язувались такі **завдання:**

1. Розглянути основні технологічні операції порошкової металургії та методи виробництва металевих порошків.
2. Ознайомитись з основними властивостями, виділити переваги та з'ясувати області практичного застосування матеріалів одержаних з порошків.
3. Розробити тематичне планування та елементи методичного забезпечення факультативу з технологій «Перспективні матеріали з порошків».

Теоретичне значення роботи. Проаналізовано основні технології та номенклатуру матеріалів одержаних методом порошкової металургії, основні властивості порошкових матеріалів та області їхнього практичного застосування. З'ясовано переваги виробів порошкової металургії, а також основні недоліки у порівнянні з аналогами одержаними за традиційними технологіями.

Практичне значення роботи. Розроблено тематичне планування факультативу із технологій «Перспективні матеріали з порошків», а також

елементи методичного забезпечення у вигляді трьох розширених конспектів занять та завдань для закріплення вивченого матеріалу.

Апробація роботи. За результатами магістерської роботи опубліковано статтю у збірнику матеріалів X-ї Міжнародної науково-практичної конференції студентів та викладачів факультету фізики, математики, економіки та інноваційних технологій.

Структура роботи: Магістерська робота представлена на 71 сторінці, складається зі вступу, двох розділів, висновків та списку літературних джерел із 30 найменувань.

РОЗДІЛ І.

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПОРОШКОВОЇ МЕТАЛУРГІЇ

1.1. Основні продукти порошкової металургії

Велику кількість сучасних та перспективних матеріалів виготовляють із металевих та керамічних порошків методом порошкової металургії.

Порошкова металургія – галузь науки і техніки, що охоплює виробництво металевих порошків, а також виробів з них або їх сумішей з неметалічними порошками [1].

Порошкова металургія (ПМ) належить до тих галузей науки і техніки, які після свого виникнення часто виявлялися забутими і тільки через багато років відроджувалися для того, щоб знайти широке застосування на практиці. Історія розвитку ПМ починається з появою в житті людства перших порошків, свідченнями яких є історичні знахідки: «бойове забарвлення», наскальний живопис (10 тис. років тому), перше одержане людиною кричне залізо та вироби з нього (3000 р. до н.е.) – Ірак, 1000 р. до н.е. – Прикам'є, 2700 р. до н.е. гробниці Тутанхамона) [2].

Однією з версій побудови єгипетських пірамід є метод, запропонований французькими вченими, що включає операції порошкової металургії: гірські породи розтиралися в ступах у дрібний порошок, змішувалися з рідким сполучним (зараз би ми назвали це шлікером), заливалися в опалубку і піддавалися відпалу сонячним промінням. Потім встановлювався другий поверх опалубки та процес побудови повторювався. Тому великі блоки, з яких складаються піраміди, підігнані з такою високою точністю. А наштотхнули вчених на думку результати досліджень складу блоків пірамід та природних мінералів – вони відрізнялися. У складі блоків були присутні речовини, які в природних мінералах не є сусідами.

I-II тис. до н. – технологія заліза та залізних виробів (Азія, Індія). Одне з чудес світу, створене в 415 р.е., – колона в Делі, секрет довголіття якої у високій чистоті прокованого кричного заліза.

Одним із промислових способів отримання порошку заліза є спосіб, подібний до одержання криці (вперше реалізований на шведській фірмі «Hoeganas»): отримана губка заліза (криця) подрібнюється на порошок і використовується для отримання виробів порошкової металургії.

Металевий порошок (МП) – сукупність частинок металу, сплаву та металоподібного з'єднання розмірами до міліметра, що знаходяться у взаємному контакті та не пов'язані між собою [3].

Актуальними завданнями сучасної металургії є покращення відношення ціна/якість, підвищення екологічної безпеки та продуктивності праці, вирішення проблем ресурсозбереження. Сьогодні порошкова металургія – наукомісткий напрямок створення матеріалів із заданими властивостями та виготовлення виробів, що забезпечує вирішення перерахованих вище завдань. У багатьох випадках (наприклад, автомобілебудування) частка деталей, виготовлених методом порошкової металургії, є важливим показником відповідності виробу світовим стандартам якості.

Порошкова металургія є однією з перспективних технологій металургійного та машинобудівного виробництва. Гостра потреба у металевих порошках, порошкових матеріалах та виробих пояснюється широкими можливостями використання їх при вирішенні багатьох науково-технічних завдань. Методи порошкової металургії дозволяють не тільки створювати матеріали з новими якісними і характеристиками міцності, але і впроваджувати безвідходні та маловідходні технології виробництва матеріалів і виробів різного призначення, різко підвищувати продуктивність праці, знижувати собівартість продукції, широко впроваджувати автоматичні системи та технологічні процеси.

Великою перевагою є також і те, що вихідні матеріали при виробництві порошкових виробів можуть бути отримані безпосередньо з руд, так і з будь-яких відходів металургійної та машинобудівної промисловості (стружки, окалини тощо). Інші переваги порошкової металургії:

- коефіцієнт використання матеріалу – 95%;
- зниження трудомісткості: замість 30-40 операцій 4-6 операцій;

- збільшення продуктивності праці у 2–2,5 рази;
- висока частка автоматизації процесів (до 100%);
- екологічна чистота процесів;
- виробництво кераміки та композитів з унікальними властивостями.

Одним із значних споживачів продукції порошкової металургії є машинобудування, у тому числі автомобілебудування, прогнозується збереження динаміки зростання порошкової продукції у світі за рахунок збільшення використання порошкових деталей у автомобілях: двигунах, системах передач, гальмівних та вихлопних системах.

В останні роки методи порошкової металургії широко впроваджуються в практику виготовлення виробів різного призначення та охоплюють багато галузей від атомної та ракетної техніки до загального приладо- та машинобудування. Це обумовлюється як техніко-економічними показниками порошкових методів виробництва, так і їх можливостями у створенні матеріалів з особливими механічними та фізико-хімічними властивостями (пористих матеріалів, твердих сплавів, композиційних матеріалів, псевдосплавів, матеріалів захисних покриттів та багатьох інших), які неможливо виробляти звичайними традиційними способами.

Методом порошкової металургії можна отримувати різні класи матеріалів:

- 1) конструкційний порошковий матеріал – порошковий матеріал для несучих деталей машин, приладів та механізмів;
- 2) фрикційний порошковий матеріал – порошковий матеріал для роботи в гальмівних та передавальних вузлах машин та приладів;
- 3) антифрикційний порошковий матеріал – порошковий матеріал для виробів, від яких потрібні низькі втрати на тертя;
- 4) композиційний порошковий матеріал – порошковий матеріал, що представляє механічну суміш металів або металів та неметалів, що виключають взаємну дифузію при спіканні;
- 5) пористий порошковий матеріал – порошковий матеріал, має пористість, що забезпечує його проникність під час експлуатації;

- 6) електротехнічний порошковий матеріал (контакти та магніти);
- 7) зносостійкі порошкові матеріали;
- 8) керамічні порошкові матеріали;
- 9) інструментальні порошкові матеріали – тверді сплави, швидкорізальні сталі, карбідосталі.

1.2. Методи виробництва металевих порошків

1.2.1. Фізико-механічні методи

Механічні – подрібнення у млинах. Можливе одержання нанодисперсних порошків металів та неметалів.

Розпилення розплавів (рис. 1.1) – розплав через капіляр (1) надходить у зону диспергування (4), де руйнується на краплі струменями газу чи рідини (2) і остигає у зоні (3).

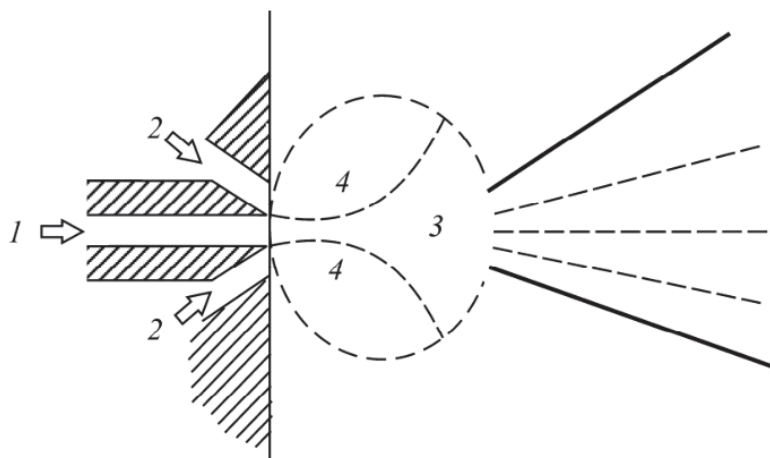


Рис. 1.1. Схема розпилення: 1 – канал подачі розплавленого металу; 2 – сопло зі стисненим повітрям чи рідиною; 3 – зона остигання; 4 – зона диспергування

Форма одержаних частинок близька до сферичної, оскільки умови охолодження сприяють сфероїдезації краплі до кристалізації (рис. 1.2). При зменшенні діаметра капіляра і збільшенні тиску диспергуючого середовища розміри частинок зменшуються аж до нанометричних.

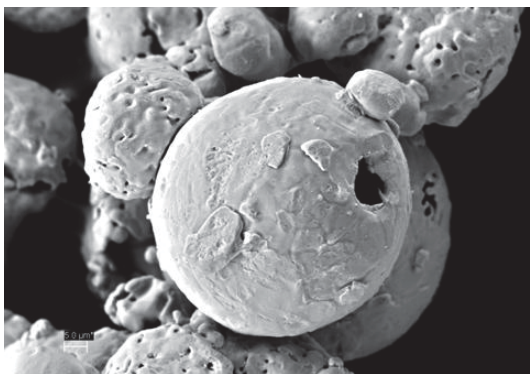
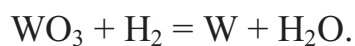
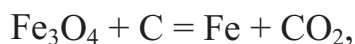


Рис. 1.2. Частика розпиленого заліза

1.2.2. Фізико-хімічні методи

1.2.2.1. Відновлення сполук металів вуглецем, воднем, кремнієм у печах або установках киплячого шару. Наприклад,



Форма частинок – неправильна. На рис. 1.3 наведено фотографії частинок, отримані відновленням на фірмі Хеганес.

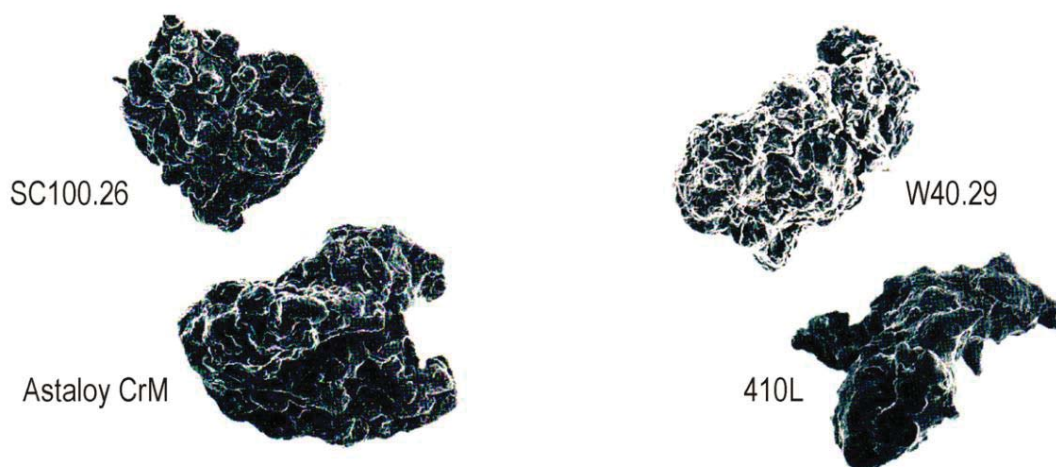


Рис. 1.3. Частинки відновлених заліза та сталей

1.2.2.2. Електроліз розчинів та розплавів солей:



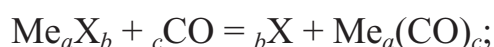
Частинки одержують подрібненням губчастого осаду, знятого з катода, форма частинок – дендритна (рис. 1.4). Порошки містять мінімальну кількість домішок, метал частинок пластичний та добре пресується.



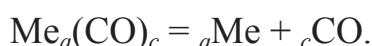
Рис. 1.4. Частка порошку електролітичної міді

1.2.2.3. Дисоціація карбонілів. Процес складається із двох стадій:

1) отримання карбонілу з вихідної сполуки:



2) утворення металевого порошку шляхом розкладання карбонілу при відносно низьких температурах (200-300°C).



Отримані карбонільні порошки відрізняються чистотою домішок (оскільки домішки видаляються на першій стадії процесу при фільтрації рідкого карбонілу) і сферичною формою частинок, утворених з пар металу (рис. 1.5). Дисперсність частинок – 2-5 мкм.

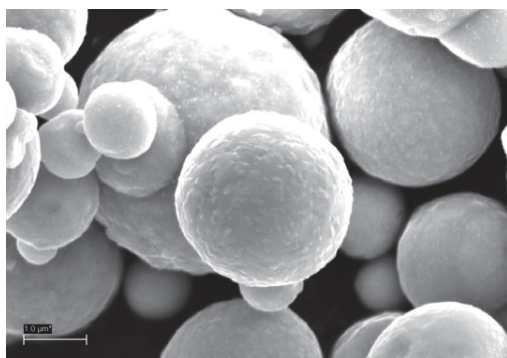


Рис. 1.5. Частинки порошку карбонільного заліза

1.2.2.4. Випаровування-конденсація. Сутність методу – випаровування металу і осадження пари у вигляді частинок на підкладці, що охолоджується. Дисперсність частинок – від нанометрів до кількох мікрон. Форма частинок близька до сферичної (рис. 1.6).

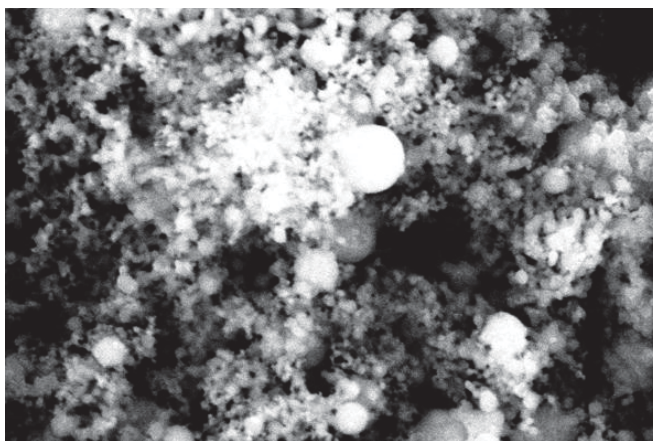


Рис. 1.6. Порошок міді

1.2.3. Хіміко-металургійні методи

Одержання порошку нанодисперсного заліза показано на схемі на рис. 1.7. Спосіб включає дві основні стадії – отримання гідроксиду металу хімічною взаємодією реагентів і відновлення у печі в атмосфері водню. При відновленні деяких солей перша стадія може бути відсутньою.



Рис. 1.7. Технологічна схема отримання нанопорошку заліза хіміко-металургійним методом

Розміри і форма частинок, кількість домішок, значно впливають на властивості одержуваних з порошку виробів. Так, сферичні порошки здатні до щільнішої упаковки при засипанні в матрицю прес-форми, більш рівномірно ущільнюються при пресуванні, що при подальшому спіканні дозволяє уникнути короблення деталі. Чистіші та пластичні порошки добре ущільнюються при пресуванні. Дисперсні порошки активують спікання: чим дрібніші та чистіші порошки, тим нижча залишкова пористість після спікання (аж до нуля).

1.3. Порошкові матеріали та їх властивості

1.3.1. Конструкційні порошкові матеріали

Спочатку метод порошкової металургії застосовувався тільки для виготовлення виробів, які неможливо отримати традиційними методами лиття і механічної обробки, наприклад, тверді сплави, мідно-графітові щітки, пористі матеріали. При цьому вважалося, що методом порошкової металургії неможливо отримати безпористі вироби з механічними властивостями, які не поступаються деталям, отриманим звичайним способом. Однак технологія порошкового виробництва удосконалювалася. Почали застосовувати багаторазове пресування, що чергується зі спіканням, методи гарячого динамічного пресування, освоїли термічну та хіміко-термічну обробку спечених виробів. Все це дозволило отримувати металокерамічні вироби, що мають достатню міцність, пластичність, твердість з незначною кількістю залишкових пор, тобто вироби з такими ж властивостями, як із литих металів [4].

Серед конструкційних матеріалів, що виготовляються методом порошкової металургії, – шестерні, компресорні лопатки, заглушки, трійники, втулки, храповики, накидні гайки, фланці та інші деталі. З численних конструкційних деталей зупинимося на технології виготовлення шестерень та поршневих кілець [5].

При виготовленні шестерень традиційними методами лиття та механічної обробки у стружку відходить до 60% високоякісного металу. Водночас це трудомісткий процес, що вимагає високої кваліфікації робітників. Метод порошкової металургії дозволяє в основному усунути зазначені недоліки і

навіть має деякі додаткові переваги, що полягають у виготовленні шестерень з певною пористістю (5...15%) та просочуванні їх маслом з вільним графітом, що утворює колоїдно-графітове мастило, яке утримується в порах силами поверхневого натягу. При експлуатації мастило виступає на робочій поверхні, що забезпечує самозмащування шестірні. Завдяки наявності пор, просочених маслом, зменшується зношування і знижується шум шестерень під час роботи.

Поршневі кільця зазвичай виготовляють із високоякісного сірого чавуну. При виробництві поршневих кілець велика увага приділяється збільшенню терміну їхньої служби, а водночас і довговічності двигуна. З цією метою застосовують різні технологічні методи: пористе хромування, легування чавуну, азотування, виготовлення поршневих кілець із високоякісного чавуну зі сферичною формою графіту або з литої графітізованої сталі.

Особливі вимоги пред'являються до мікроструктури, яка повинна представляти дрібнопластинчастий або сорбітоподібний перліт, вміст фериту допускається не більше 5%, не має бути структурно вільного цементиту. Така мікроструктура забезпечує достатню пружність кільця, високі антифрикційні властивості та опір зношуванню під час роботи в парі зі стінками циліндра. Виготовлення поршневих кілець із чавуну з подальшою механічною обробкою потребує більше десятка машинних операцій, під час яких у стружку втрачається до 90% металу.

Існує ряд варіантів виготовлення поршневих кілець металокерамічним шляхом. Основні переваги перед звичайними способами виготовлення такі: 1) різко скорочується втрата металу і трудовитрати; 2) менша залишкова деформація; 3) менше відношення модуля пружності до межі міцності, наслідком чого є велика довговічність та краща пристосованість до деформацій циліндра. Для підвищення зносостійкості металокерамічних кілець їх іноді виготовляють двошаровими (внутрішній шар – із залізного відновленого порошку з додаванням 1,1% графіту та 1,5% міді; у зовнішньому шарі вміст графіту збільшують до 3,5% і вводять до 6% хрому).

Тугоплавкі метали та матеріали на їх основі. Тугоплавкими прийнято вважати метали, температура плавлення яких вища, ніж у заліза. Найбільше

застосування як високотемпературні матеріали знайшли вольфрам, молібден, тантал, ніобій, титан. Незважаючи на високу температуру плавлення цих металів, процес їх зміцнення інтенсивно протікає вже при нагріванні до температур $(0,3...0,4)T_{пл}$. Крім того, недостатньо висока їх окалиностійкість. Шляхом введення легуючих елементів досягають підвищення температури розміцнення тугоплавких металів, проте навіть комплексне легування дає порівняно невеликий ефект, який відчутний лише до $(0,5...0,6)T_{пл}$. Легуючими добавками для вольфраму можуть бути тантал, реній, торій (близько 1%), для молібдену – цирконій, тантал, титан, бор, РМЗ (до 0,2...0,5%).

Характерними для виробництва вольфраму, молібдену, танталу, ніобію є пресування порошкової шихти певної насипної щільності у сталевих роз'ємних прес-формах, або гідростатичне пресування. Спікання проводиться у дві стадії: перша – низькотемпературна, друга – високотемпературна (здійснюється у зварювальних апаратах). Спікання призводить до зниження пористості, яка, наприклад, у вольфраму знижується з 30...40% до 10...15%. Остаточна операція – кування – дозволяє отримувати практично безпористий матеріал.

Більш економічний порошковий спосіб отримання титану здійснюється за двома основними варіантами: 1) пресування невеликих заготовок у сталевих прес-формах; великих – гідростатичним способом, спікання у вакуумі (10^{-4} мм рт.ст.) при 1000...1300°C; остаточна операція для отримання безпористого металу – кування; 2) гаряче пресування. Може здійснюватися або у вакуумі (10^{-3} мм рт.ст.) при 850...1000°C і графітових прес-формах (для попередження забруднення металу киснем, азотом та іншими газами), або вироблятися при підвищених температурах методом екструзії [6].

Одержання цирконію є аналогічним до розглянутих вище способів одержання спеченого титану.

Вольфрам, тантал, ніобій, молібден застосовуються в атомній енергетиці, радіотехніці, вольфрам та молібден – у виробництві ниток розжарювання. Молібден використовується для виготовлення нагрівальних елементів електричних печей. Титан та його сплави, завдяки високій питомій міцності та корозійній стійкості, знаходять широке застосування для деталей ракет, літаків,

у суднобудуванні, для деталей хімічного машинобудування. Цирконій та його сплави застосовуються в атомній енергетиці, електроніці та піротехніці [7].

Дисперсно-зміцнені матеріали. Авіаційна та космічна техніка вимагають матеріалів, що мають підвищену міцність при високих температурах. Значного підвищення жароміцності досягають введенням у тугоплавкі та інші метали дрібнодисперсних частинок тугоплавких кисневих сполук Al_2O_3 , SiO_2 , ThO_2 , HfO_2 , YO_2 , Cr_2O_3 , TiO_2 . Іноді як зміцнювальні фази додатково до оксидів у невеликих кількостях вводять карбіди, бори́ди, нітри́ди, інтерметалічні сполуки та різні тугоплавкі метали. Величезна кількість дисперсних частинок, спеціально введених в основний метал, перешкоджає руху дислокацій, що ускладнює процес деформування, а отже, підвищує міцність. Оптимальна дислокаційна структура матриць формується при строгому дотриманні дисперсності частинок (10...60 нм), відстань між ними 0,5...0,8 мкм, а також внаслідок застосування термомеханічних режимів обробки – холодної деформації та високотемпературного відпалу.

Технологія отримання виробів з дисперсно-зміцнених матеріалів зазвичай складається з підготовки вихідних порошків (головним чином шляхом спільного хімічного осадження основи та зміцнювача з водних розчинів солей), формування заготовок та обробки їх тиском – екструзією, волочінням, прокаткою.

Велике поширення мають дисперсно-зміцнені спечені алюмінієві псевдосплави (САП), до складу яких входить до 15...17% (за обсягом) Al_2O_3 . При нагріванні САП, що містять 10...13% Al_2O_3 , міцність не знижується до 550°C. Збільшення вмісту в САП Al_2O_3 від 0,5 до 17% сприяє підвищенню міцності при 18...20°C та тривалої міцності при нагріванні до 450...500°C, яка при випробуванні до 100000 год практично не змінюється. Статична та динамічна міцність САП при 400°C у шість разів вища, ніж у алюмінієвих старіючих сплавів. Створення порошкового алюмінієвого сплаву дозволяє підвищити міцність порівняно з алюмінієм, але меншою мірою, ніж це має місце у постарілих дуралюмінах. Таким чином, при кімнатній температурі САП

займає проміжне положення між чистим алюмінієм та постарілим дуралюмінієм.

Матеріали армовані волокнами. Зміцнення порошкових матеріалів волокнами ефективніше, ніж дисперсними частинками. Армуючі елементи (волокна) несуть основне навантаження, а матриця передає напругу волокнам. Як армуючі матеріали використовують волокна, дріт або вуса (монокристали) із заліза, сталі, вольфраму, нікелю, молібдену, титану та інших металів, графіту, оксидів алюмінію, берилію, кремнію, карбідів, боридів та інших тугоплавких матеріалів. Методи отримання армуючих матеріалів поділяють на механічні та фізико-хімічні. Найбільш поширеними і широко застосовуваними у промисловості є механічні методи, які здійснюються: а) виготовленням тонкого дроту шляхом волочіння; б) виготовленням «вовни» при шабренні, шевінгуванні та інших видах обробки на верстатах, що дають безперервні пасма; в) одержанням волокон з розплаву: видавлюванням через отвір заданого діаметра; формуванням волокна ежекцією струменя металу, що захоплюється потужним потоком газу, формуванням волокон на диску, що швидко обертається; г) одержанням ниток діаметром менше 1 мм із тугоплавких металів вольфраму, молібдену, титану, а також бору, кремнію, оксидів, карбідів та інших металоподібних сполук шляхом продавлювання суміші порошків із сполучними матеріалами через тонкі отвори [8].

Тверді сполуки. Це група матеріалів, утворених тугоплавкими перехідними металами з металоїдами (карбіди, нітриди, бориди, гідриди, силіциди). Вони характеризуються дуже високою твердістю, яка за шкалою Мооса оцінюється проміжним значенням між твердістю корунду і алмазу, тобто між 9 і 10. Важливою перевагою твердих сполук є висока температура плавлення, порівняна з температурою плавлення вольфраму. У ряді випадків вона навіть перевищує температуру плавлення вольфраму. Так, NbC плавиться за 3500°C, TaC – за 3880°C, HfC – за 3890°C [9].

Тверді сполуки мають високу хімічну стійкість.

З групи карбідів найбільш важливими є карбіди вольфраму, титану, танталу, ванадію, ніобію, молібдену, які є основою для сучасних твердих

сплавів.

З групи боридів особливе значення мають бориди титану та цирконію, що застосовуються для різних зносостійких, корозійностійких та жароміцних деталей.

З силіцидів застосовують дисиліциди молібдену, вольфраму і титану, що мають високу окалиностійкість у повітряному середовищі в інтервалі температур 1300...1700°C. З них виготовляють нагрівачі електричних печей, які працюють у повітряному середовищі.

З гідридів застосовують гідриди титану та цирконію, які використовують як гетери (газопоглиначі) для паяння неметалічних матеріалів з металами. Нітриди знайшли широке застосування у техніці високих температур, газотурбобудуванні, енергетиці, космічній техніці.

Кермети. Це гетерогенна композиція металів або сплавів з однією або декількома керамічними фазами відносно малої взаємної розчинності фаз. Керамічною складовою є оксиди Al_2O_3 , Cr_2O_3 , SiO_2 , ZrO_2 . Для покращення зв'язування металевої складовою з керамічною додають металоїди: карбіди (SiC , Cr_3C_2 , TiC), бориди (Cr_3B_2 , TiB_2 , ZrB_2), силіциди (MoSi) та нітриди (TiN). Для виготовлення керметів використовують порошки хрому, нікелю, алюмінію, заліза, кобальту, титану, цирконію та сплавів на їх основі. Зміст керамічної фази у керметах коливається від 15 до 85% (за об'ємом) [10].

Вироби з керметів отримують шляхом пресування порошкових заготовок з подальшим спіканням у відновлювальній або нейтральній атмосфері.

У керметах поєднуються властивості керамічних речовин (висока твердість та опір зношуванню, тугоплавкість, жароміцність) та металів (теплопровідність, пластичність). З керметів виготовляють деталі турбін, авіаційних двигунів, фрикційних елементів, інструменту та інших деталей, що зазнають підвищених навантажень при роботі в агресивних середовищах та при високих температурах.

Тверді сплави характеризуються високою зносостійкістю та твердістю, що зберігається навіть в умовах нагрівання до високих (900...1200°C) температур.

Тверді сплави – це спечені порошкові композиції, основою яких є карбіди тугоплавких металів (W, Ta, Ti, V, Nb), а сполучним елементом – метал із нижчою температурою плавлення (зазвичай кобальт, значно рідше – нікель). Порівняно з литими твердими сплавами металокерамічні тверді сплави відрізняються вищою міцністю та в'язкістю.

Тверді сплави мають три основні сфери застосування: як наплавки для оснащення ріжучого та бурового інструменту; як конструкційні матеріали для зносостійких деталей машин та приладів (наприклад, напавлення на валки для точної прокатки, волоки, матриці, вузли тертя); як жароміцні та жаростійкі сплави.

Застосування твердих сплавів має велике народногосподарське значення. Так, при обробці різанням у багато разів можна підвищити швидкість точіння, збільшити подачу і, як наслідок, суттєво підвищити продуктивність. Пояснюється це тим, що ріжуча здатність матеріалів пропорційна до їх твердості та зносостійкості. З підвищенням температури ріжучої кромки твердість інструменту знижується (рис. 1.8).

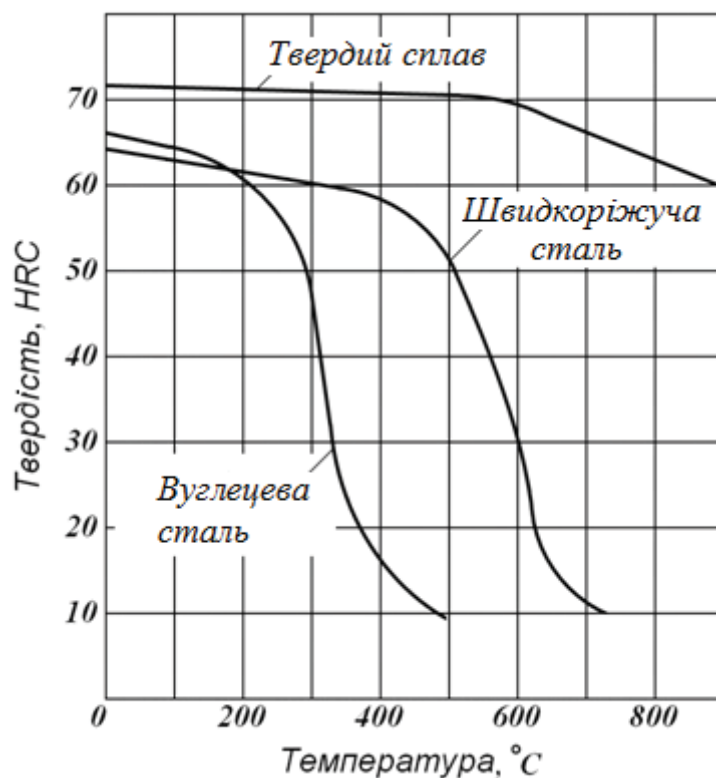


Рис. 1.8. Твердість різних конструкційних матеріалів у нагрітому стані

Ріжучий інструмент, виготовлений з вуглецевої інструментальної сталі, може надійно працювати при розігріванні кромки до 200...300°C. Вище зазначених температур жорсткість різко падає. Такі інструменти дозволяють обробляти чавун, сталь та бронзу зі швидкістю кілька метрів за хвилину. Швидкорізальна сталь витримує без істотного зниження твердості розігрів до 500...600°C. Відповідно, швидкість різання становить 30...40 м/хв. Інструментом, виготовленим металокерамічним шляхом, можна обробляти сталь та чавун зі швидкістю до 500 м/хв, а м'які матеріали – до 2000 м/хв [11].

За складом тверді сплави поділяють на три групи: вольфрамову, титановольфрамову, титанотанталовольфрамову.

Сплави вольфрамової групи ВК2...ВК8 використовують, головним чином, для обробки різанням чавуну, ВК10, ВК15 – для буріння, ВК20, ВК25 – для виготовлення штампів. Вміст кобальту у сплавах групи ВК – від 2 до 25%. Зі збільшенням вмісту кобальту підвищується міцність, але знижується твердість та зносостійкість. Сплави цієї групи не застосовують для різання в'язких матеріалів, що утворюють довгу стружку, оскільки остання налипає на інструменті.

Введення титану сприяє зменшенню зварюваності стружки з різцем. Тому сплави титановольфрамової групи успішно застосовують для обробки різанням сталі та інших в'язких матеріалів. Титанотанталовольфрамові сплави, найбільш поширеним з яких є сплав ТТ7К12, мають більшу стійкість проти окислення і призначені для виключно важких умов обробки спеціальних сталей і сплавів. Благотворний вплив танталу пояснюється зміною параметра кристалічних ґрат карбиду. Розчиняючись у кобальті, тантал підвищує температуру його розміцнення.

Порошок вольфраму одержують шляхом відновлення триоксиду вольфраму воднем. Процес зазвичай проходить у трубчастих або муфельних печах у дві стадії: $\text{WO}_3 \rightarrow \text{WO}_2$ при температурі 600...800°C, $\text{WO}_2 \rightarrow \text{W}$ при температурі 800...900°C. Нерідко проводять відновлення триоксиду вольфраму вуглецем. У цьому випадку процес проходить у графітотрубчастих печах при температурі 1700...1800°C [12].

Порошки кобальту отримують карбонільним методом, що забезпечує високий ступінь чистоти. Крім ступеня чистоти, до порошків висуваються певні вимоги щодо насипної щільності, яка для вольфраму повинна бути в межах 1,5...5, а для кобальту 0,6...0,8 г/см³. Для отримання карбіду вольфраму порошок вольфраму змішують з вуглецем і нагрівають в атмосфері водню або CO + N₂ при температурі 1350...1600°C [13].

1.3.2. Пористі порошкові матеріали

До пористих матеріалів відносять антифрикційні матеріали, фільтри, фрикційні матеріали [14, 15].

Антифрикційні матеріали. Область застосування пористих підшипників – машинобудування, приладобудування, автотракторобудування, сільськогосподарське машинобудування, вугільна, харчова, фармацевтична промисловість.

Переваги пористих підшипників у порівнянні з литими:

- 1) краща припрацьовуваність;
- 2) самозмащування (дозволяє відмовитися у ряді випадків від підведення олії ззовні, що дуже важливо, наприклад, для важкодоступних вузлів машин, у разі, коли можливий брак продукції внаслідок попадання в неї мастила від маслянок);
- 3) менша дефіцитність матеріалів виготовлення металокерамічних підшипників (економія кольорових металів);
- 4) менші витрати праці порівняно з виготовленням виробів із литих матеріалів;
- 5) висока експлуатаційна стійкість, що перевищує часом стійкість підшипників ковзання з вкладишами і втулками з бронзи, бабіту, чавуну.

У даний час найбільшого застосування знайшли пористі залізні, залізографітові (1...3% Гр, 97...99% Fe), бронзографітові (88...89% Cu, 9...10% Sn, 2...4% Гр) підшипники, а також підшипники на основі алюмінію (10% Cu, 3% Гр, інше Al). Властивості підшипників (твердість, міцність, пористість) залежать від умов пресування та спікання (табл. 1.1).

Таблиця 1

Характеристики механічних та експлуатаційних властивостей
антифрикційних матеріалів

Матеріал	Пористість, %	Густина, т/м ³	Твердість, НВ	Межа міцності на розтяг, МПа	Середнє граничне навантаження, МПа
Пористе залізо	20	6,20	58	140	660
Залізографіт з 3% графіту	23	6,00	40...60	120...190	1100
Бронза ОЦС 6-6-3	—	8,82	60	150	450
Бабіт Б-83	—	7,40	30	90	1000

Різновидом антифрикційних матеріалів є багатошарові матеріали, основним з яких вважається тришаровий матеріал, що складається зі сталевोї стрічки з мідно-нікелевим та бабітовим шарами. Цей матеріал прийшов на заміну бабітовим вкладишам в автомобілебудуванні, оскільки в бабітових вкладишів при заливці корінних і шатунних підшипників сучасних двигунів спостерігалось викривлення, що пояснюється появою тріщин втоми. Тришарові матеріали не мають зазначеного недоліку, навпаки, володіють підвищеними антифрикційними властивостями завдяки мастилу, що міститься в порах (або добавкам графіту, що діє аналогічним чином) [14, 16].

Металокерамічні фільтри. Фільтри необхідні у медицині, в установках для очищення води, вловлювання пилу, при очищенні палива, у вимірювальній техніці, для тонкого очищення рідкометалевих та газоподібних теплоносіїв, масел гідросистем високого тиску, для іонізації металевих парів в іонних ракетних двигунах. Це далеко не повний перелік областей застосування фільтрів.

Всі застосовувані в різних галузях промисловості фільтрувальні пристрої – гравійні, щілинні фільтри, циклони, електрофільтри, фільтри з кераміки та тканин – складні у виготовленні та експлуатації, але не забезпечують достатньо хорошої фільтрації. На відміну від названих, металокерамічні фільтри мають високу проникність і високий ступінь очищення. Вони міцні, пластичні, стійкі проти різкого підвищення

температури. Металокерамічні фільтри краще затримують дрібні тверді частинки, ніж фільтрувальна тканина, виключається засмічення фільтрованої рідини або газу матеріалом фільтра. Важливою перевагою металокерамічних фільтрів є також можливість їх регенерації, тобто обробки певним чином (продування, промивання, вібрування тощо) з метою очищення та відновлення колишніх властивостей, і, як наслідок, найтриваліший термін служби.

Пористі металокерамічні фільтри виготовляють переважно з порошків корозійностійких матеріалів, головним чином бронзи (92% Cu, 8% Sn), нержавіючої сталі, а також нікелю, срібла, латуні тощо. Останнім часом збільшується випуск пористих фільтрів на основі жароміцних нікелевих, а також титану, вольфраму, молібдену та тугоплавких сполук [15].

Пористі матеріали спеціального призначення. До таких матеріалів відносяться «пітні», бітуміноване пористе залізо, пористі снарядні пояски, пористі електроди.

«Пітні» – це високопористі матеріали (пористість понад 50%), які, головним чином, використовують в авіації для боротьби з зледенінням крил літаків. Спеціальні деталі, виготовлені з порошків міді та нікелю (у ряді випадків з додаванням олова), встановлюються у місцях найбільш інтенсивного зледеніння літака. За системою трубопроводів до цих деталей подається незамерзаюча рідина (антифриз), яка заповнює пори. Під дією повітряного потоку вона випаровується (випотіває) і таким чином перешкоджає осадженню криги на кромці крила літака.

Друге призначення «пітних» матеріалів – охолодження деталей машин і агрегатів, що нагріваються під час роботи. Принцип охолодження полягає в тому, що за допомогою пористого матеріалу до нагрітої деталі підводиться газ або рідина, які, випаровуючись, охолоджують навколишній простір. Цей метод використовується для охолодження різних деталей газових турбін, реактивних двигунів, двигунів внутрішнього згоряння та іншого спеціального обладнання. Відомі приклади виготовлення пористих турбінних лопаток із порошків нержавіючих аустенітних сталей, які охолоджуються стисненим повітрям, що дозволяє знизити їх температуру до 600°C. Зниження робочої температури

металу дозволяє підвищити межу його тривалої міцності, збільшити термін служби і надійність відповідального вузла або машини.

Бітуміноване пористе залізо застосовують для чеканки стиків трубопроводів. Зінтерит отримують з грубих залізних порошоків без попереднього пресування спіканням при $1200...1350^{\circ}\text{C}$ з подальшим просоченням бітумами для підвищення корозійної стійкості. Зазвичай бітуміноване залізо виготовляють як стрічки.

У залізонікелевих акумуляторах, виготовлених звичайним способом, активна металева маса міститься в ламелі з перфорованої бляхи, що значно ускладнює технологічний процес їх виробництва. Простішими у виготовленні і меншими розмірами є спечені електроди. Крім простоти виготовлення, порошкові електроди мають більш розвинену поверхню, що забезпечує стійке зниження величини перенапруги під час роботи акумулятора. Порошкові акумуляторні пластини (електроди) виготовляють напресування активної нікелевої маси на залізну сітку. В даний час ведуться роботи з освоєння продуктивнішого методу виготовлення електродів – методу прокатки.

Фрикційні матеріали. Підвищення продуктивності верстатів, машин та агрегатів нерозривно пов'язане зі збільшенням швидкостей та навантажень на окремі їх вузли та деталі. Тому і гальмівні пристрої повинні відчувати все зростаюче навантаження. Основним показником придатності матеріалу до роботи в гальмівних пристроях є коефіцієнт тертя.

У промисловості як фрикційні застосовуються як металеві, так і неметалеві матеріали.

Серед металевих найбільшого застосування знайшли чавун, сталь, бронза. Однак для важких умов роботи, що характеризуються розігрівом пари тертя до $1000...1200^{\circ}\text{C}$, вони не придатні внаслідок схоплювання, зварювання і заїдання. Під схоплюванням розуміють утворення зв'язків між парами тертя, в результаті чого може статися наволокування матеріалу одного елемента фрикційної пари на інший, приварювання частинок і утворення грубих задирок, що призводить до заїдання вузла, значного зношування поверхні пар тертя.

Неметалічні фрикційні матеріали мають, як правило, азбестову основу,

просочену олією, бітумом, бакелітом або каучуком. Ці матеріали також мають істотний недолік, який в основному пов'язаний із малою теплопровідністю азбесту. Матеріали на азбестовій основі із зазначеної причини швидко нагріваються; при температурі понад 330°C починається обуглювання органічних речовин, що входять до складу фрикційного матеріалу, випаровування вологи. Все це знижує коефіцієнт тертя, сприяє прискореному зношуванню, продукти горіння створюють задимленість.

Вказане вище свідчить про те, що потрібні інші матеріали, які поєднували б переваги металевих і неметалічних матеріалів. Такі матеріали, що володіють високим і стабільним коефіцієнтом тертя, високою оброблюваністю та теплопровідністю, у яких практично немає заїдання та зварюваності при високих температурах, дозволив створити метод порошкової металургії.

Як основу зазвичай застосовують мідь, бронзу або залізо. Металева основа поряд з високими властивостями міцності забезпечує фрикційному матеріалу і високу теплопровідність. Мідь або бронза застосовують для створення фрикційних матеріалів, що працюють в умовах рясного мастила і розігріву не вище 400°C . Залізну основу надають матеріалам, призначеним для більш важких умов роботи, які насамперед характеризуються сухим тертям і короткочасним розігрівом частин тертя до $1100\ldots 1200^{\circ}\text{C}$.

Для підвищення коефіцієнта тертя вводяться різні абразивні речовини, такі як азбест, кварцовий пісок, оксиди хрому і заліза, нітрид бору, карбіди титану, кремнію, вольфраму. При визначенні допустимої кількості цих речовин враховують, що з підвищенням їх вмісту посилюється зношування пари.

Найбільшого застосування одержав азбест, який зазвичай вводиться в шихту у вигляді порошку. Зміст його коливається від 2 до 10%. Особливо посилюється дія азбесту, коли разом із ним додається кварцовий пісок (окис кремнію). Окис кремнію, крім підвищення коефіцієнта тертя, сприяє стабілізації фрикційних властивостей при високих температурах, підвищує зносостійкість, опір заїданню. Кварцовий пісок вводиться у такій кількості, як і азбест.

До речовин, які відіграють роль мастила і захищають фрикційні матеріали

від руйнування, відносять свинець, вісмут, графіт, сульфід молибдену, заліза, міді, сірчанооксидні солі барію та заліза.

Графіт є у всіх фрикційних порошкових матеріалах. Оптимальний його вміст у виробках на залізній основі – 7...9%. Сприятливий вплив графіту спостерігається лише в тому випадку, якщо при спіканні забезпечується його взаємодія з металом матриці. Наприклад, при спіканні матеріалів на залізній основі прагнуть утворення перлітної структури, яка забезпечує найкращу зносостійкість, тоді як присутність м'якого структурно-вільного фериту обумовлює схоплювання і налипання його на контртіло.

Свинець, вісмут та олово служать для поглинання тепла при різкому підвищенні температури. Відрізняючись легкоплавкістю, вони утворюють рідку плівку на поверхнях тертя, запобігаючи таким чином схоплювання і заїдання, покращуючи припрацьовуваність.

Сірчанооксидний барій (барит) утворює на поверхні протизадирну плівку, що запобігає схоплюванню, сприяє підвищенню коефіцієнта тертя. Оптимальний вміст BaSO_4 у фрикційних матеріалах становить 6...8%.

З матеріалів на мідній основі виготовляють елементи (диски, сегменти) для електромагнітних муфт зчеплення, що працюють в умовах сухого тертя, але не дуже великих навантажень. З цих матеріалів виготовляють диски зчеплення і гальмівні стрічки автомобілів, призначені для роботи зі змащенням. Найбільше застосування знаходить фрикційний матеріал марки МП-11, до складу якого входить 11% заліза, 10% олова, 9% азбесту, 8% пульвербакеліту, 5% свинцю, 4% графіту. Коефіцієнт тертя під час роботи у умовах сухого тертя (без мастила) становить 0,3, а умовах рідинного тертя 0,10...0,13.

Матеріали ФАБ-1 та ФАБ-Д виготовляють на основі алюмінієвої бронзи. Вони мають хороші фрикційні властивості і вигідно відрізняються від аналогічних матеріалів на основі олов'яної бронзи тим, що вони в 1,5...2 рази дешевші.

Серед матеріалів на залізній основі, що відрізняються від розглянутих вище вищим коефіцієнтом тертя, меншим зношуванням в умовах важкого навантаження при високих швидкостях і меншою вартістю, найбільшого

застосування отримав ФМК-11 (14...16% міді; 6,5...8% графіту; 4...6% бариту; 2...3,5% азбесту; 2...3,5% оксиду кремнію). Цей матеріал навіть при температурі 1000...1100°C має коефіцієнт тертя 0,25, добре і швидко припрацьовується, знаходить застосування для виготовлення фрикційних елементів муфт для сухого зчеплення та тертя, гальмівних накладок тракторів, автомобілів, дорожніх машин, літаків, екскаваторів.

1.3.3. Електротехнічні порошкові матеріали

Електротехнічні матеріали включають контактні і магнітні (магнітно-м'які, магнітно-тверді, магнітодіелектрики) матеріали.

Контактні матеріали є найважливішими з електротехнічних матеріалів. Вони повинні володіти комплексом властивостей: високими електро- та теплопровідністю, високою електроерозійною стійкістю, достатньою міцністю, незначною схильністю до зварюваності та прилипання, високою тугоплавкістю та гарною припрацьовуваністю. Для задоволення цих вимог контактні матеріали виготовляються у вигляді псевдосплавів високоелектропровідних металів (срібло, мідь) з металами, що мають високу міцність (вольфрам, молібден).

Методом порошкової металургії виготовляють розривні контакти, контактні кільця, щітки електромашин із мідно-графітових матеріалів. Застосування в останніх 2...5% графіту дозволяє зменшити налипання і приварювання виробів під час роботи, знизити коефіцієнт тертя. Склад, властивості та застосування металокерамічних контактів представлені в табл. 1.2 [8].

В оптико-механічних та інших приладах застосовують високоміцні сплави системи Al-Zn-Mg-Cu (ПВ90, ПВ90Т1 та ін.) та гранульовані спеціальні сплави з вмістом Fe, Ni, Co, Mn, Cr, Zn, Ti, V та інших елементів, малорозчинних у твердому Al.

Сплави на основі кольорових металів (АЛП-2, АЛПД-2-4, АЛПЖ-12-4, БрПБ-2, БрПО10Ц, З-3, ЛП58Г2-2) знайшли широке застосування у приладобудуванні та електронній техніці.

Таблиця 1.2

Властивості, склад та сфери застосування металокерамічних контактів

Тип контакту	Хімічний склад, %	Питомий електроопір, Ом·мм ² /м (не більше)	Твердість по Брінелю, НВ (не менше)	Густина, кг/м ³ · 10 ³ (не менше)	Області застосування
CB50	50Ag 4,5W 2,5Ni	0,027	100	13,1	Високовольтні вимикачі, магнітні пускачі, стартери двигунів внутрішнього згоряння, електронні та теплові реле
CB70	30Ag 66,5W 3,5Ni	0,035	140	14,5	
CG3	97Ag 3C	0,024	27	8,7	Повітряні вимикачі, реле сигналізації залізниць, апарати керування ліфтом, перемикачі радіоприймачів
CG5	95Ag 5C	0,030	22	7,9	
CH29Г3	68Ag 29Ni 3C	0,030	45	8,7	
CH30	70Ag 30Ni	0,025	55	9,5	Контакти, магнітні пускачі, реле особливо важкого режиму, реле ланцюгів сигналізації та автоматики, віброперетворювачі, високовольтні вимикачі невеликої потужності
CH40	60Ag 40Ni	0,032	60	9,3	
CK22H1	76,5Ag 22Cd 0,5Fe	0,060	60	9,5	Регулятори напруги, повітряні вимикачі легені та важкого режимів, контактори, вимикачі побутових приладів, реле віброперетворювачів
CMO60	40Ag 60Mo	0,027	120	10	
COK15	85Ag 15CdO	0,030	50	9,2	Стартери двигунів внутрішнього згоряння, магнітні перетворювачі, реле середнього та важкого режимів
COM10	90Ag 10CuO	0,025	50	9,2	
MB50	50Cu 47,5W 2,5Ni	0,040	140	12,0	Металургійні контактори апаратів стикового зварювання, потужні масляні та повітряні вимикачі
MB70	30Cu 67W 3Ni	0,050	180	14,0	
MG3	97Cu 3C	0,035	24	6,8	Селективні автомати, ручні вимикачі
MG5	95Cu 5C	0,047	15	6,0	

У маркуванні сплавів перша літера вказує клас матеріалу («Ал» – Al, «Б» – берилій, «Бр» – бронза, «Л» – латунь тощо), «П» – порошкова; число після дефісу – густина матеріалу %. «Д» – Cu, «Ж» – Fe, «Г» – Mn та ін. Цифри в марці вказують склад металу.

Магнітні матеріали. До них відносять магнітно-м'які, магнітно-тверді та магнітодіелектрики.

Магнітно-м'які матеріали характеризуються високою початковою та максимальною проникністю μ , малою коерцитивною силою ($H_c < 2E$) та малими втратами на перемагнічування.

Застосування порошкових магнітно-м'яких матеріалів бажане тому, що магнітні властивості та їх рівномірність істотно залежать від точності складу, а метод порошкової металургії це забезпечує більшою мірою, ніж метод плавлення та лиття. Однак є й недоліки – магнітні властивості сильно залежать від дефектів кристалічної будови та однорідності матеріалу, висока вартість вихідних порошків.

Металокерамічним шляхом виготовляють магнітопроводи, осердя та ротори електромашин, полюсні наконечники постійних магнітів, деталі реле, вимірювальних електромагнітних приладів. Як магнітно-м'які металокерамічні матеріали застосовуються чисте залізо, сплави заліза з нікелем типу пермалоя, заліза з кремнієм і алюмінієм типу альсифера.

Матеріали на залізній основі відрізняються низьким електроопором, великими втратами на гістерезис та вихрові струми. Тому вони використовуються лише для установок і приладів, які працюють на постійному струмі. Електроопір можна підвищити введенням кремнію. У пристроях змінного струму іноді застосовуються залізокремністі матеріали, що містять ~4% Si, проте вони поступаються електротехнічним сталям. Подальше підвищення електроопору та магнітних властивостей досягається введенням у залізокремністі сплави алюмінію та бору. Такі матеріали застосовують для роботи у змінних магнітних полях.

Вироби з максимальною магнітною проникністю виготовляють із сплавів типу пермалоя, порошки для яких одержують карбонільним або електролітичним методом. Для подальшого підвищення магнітних властивостей до цих сплавів додають молібден і мідь. Наприклад, сплав, який складається з 77% Ni, 4% Mo, 5% Cu, 14% Fe, дозволяє отримувати початкову магнітну проникність не нижче 25000 Гс/Е, тоді як μ_0 для нелегованого

пермалою становить 10 000 Гс/Е.

Ферити. Це клас магнітних матеріалів, які складаються з оксидів заліза та інших металів (наприклад, оксидів барію, марганцю, цинку, нікелю, кадмію).

Ферити – феромагнітні матеріали. Виняток становлять лише ферити цинку та кадмію. Завдяки тому, що ферити між собою утворюють велику область твердих розчинів, вдається отримувати матеріали з дуже широким діапазоном властивостей від магнітно-твердих до магнітно-м'яких. Характерною особливістю феритів є їх високий електроопір в межах $10...10^7$ Ом/см (у металів він не більший 10^{-4} Ом/см).

Ферити мають велику твердість і крихкість. Ферити знайшли широке застосування у запам'ятовуючих та обчислювальних пристроях, системах магнітного запису, у телевізорах та радіоприймачах.

Магнітно-тверді матеріали. Це матеріали, які мають велику коерцитивну силу, високу залишкову магнітну індукцію і малу магнітну проникність.

Високе значення коерцитивної сили може бути отримано у матеріалів з нерівноважною гетерогенною структурою, що має суттєві спотворення кристалічних ґраток.

Відомо два методи отримання гетерогенної структури: 1) термічною обробкою (цей спосіб застосовний лише у випадку, коли компоненти мають необмежену розчинність при температурі спікання); 2) спіканням порошкових сумішей, що не утворюють твердих розчинів.

Метод порошкової металургії з низки причин є перспективнішим, ніж метод лиття. По-перше, магнітна обробка для литих деталей можлива лише за першим варіантом. По-друге, методом лиття важко виготовляти дрібні магніти масою до 200 г, особливо складної форми. Вихід придатної продукції при литті дрібних деталей становить 10...20%, а методом порошкової металургії – 95...98%.

Всі магнітно-тверді сплави можна розділити на такі групи: 1) недеформовані, які відрізняються високою твердістю і крихкістю і не піддаються обробці різанням; 2) деформовані, що мають невисоку твердість,

обробка яких може проводитися як шляхом пресування, так і шляхом прокатки з подальшим спіканням і механічною обробкою; 3) магніти із тонких порошоків; 4) магніти складу $P3M - Co$; 5) оксидні.

Серед металокерамічних магнітно-твердих сплавів найбільше значення мають залізонікельалюмінієві недеформовані сплави типу Альні, які містять 5...15% Al та 15...35% Ni. Для підвищення магнітних властивостей ці сплави додатково вводять кобальт, мідь, титан, цирконій, ніобій, бор, фосфор, цезій. Особливо сприятливий вплив дає легування кобальтом. Сплави із вмістом кобальту 3...15% називають «Альніко», з вищим – «Магніко». Основні етапи виготовлення цих сплавів – підготовка порошкових матеріалів, пресування та спікання. Після спікання магніти зі сплавів Альні піддають гартуванню, зі сплавів Альніко – гартуванню та відпуску, а зі сплавів Магніко – гартуванню в магнітному полі і відпуску. Накладення магнітного поля сприяє повороту феромагнітних частинок у певному кристалографічному напрямку та, як наслідок, підвищенню магнітних властивостей.

Деформовані сплави типу Куніфе виготовляють двох модифікацій: в ізотропному та анізотропному станах. Найвищі магнітні властивості досягаються у напрямі прокатки. Саме ця обставина покладена в основу отримання анізотропних магнітно-твердих матеріалів, які одержують прокаткою загартованої порошкової заготовки з проміжним відпалом. Виготовлення магнітів проводиться штампуванням.

Максимальну магнітну енергію мають кобальто-платинові сплави, але з економічних міркувань з них виготовляють тільки магніти масою кілька міліграмів для особливо точних приладів.

Порівняно недавно розпочалося виробництво магнітно-твердих матеріалів із тонких порошоків. Розробка таких матеріалів полягає в тому, що із зменшенням розмірів частинок відбувається збільшення коерцитивної сили. Однак є певна межа, коли на магнітні властивості починає діяти відстань між частинками. При певному віддаленні частинок виявляється розмагнічуючи дія, і пов'язане з цим зменшення коерцитивної сили. Найвищі магнітні властивості одержують при використанні тонкодисперсних порошоків заліза та кобальту з

величиною частинок, близькою до критичної 0,02...0,03 мкм, та магнітних матеріалів з вісмутиду марганцю.

Велике застосування у машинах для контактного зварювання, приладів зв'язку отримали контакти з порошкових матеріалів. Для цієї мети застосовують псевдосплави тугоплавких металів (W і Mo) з міддю (MB20, MB40, MB60, MB80), зі сріблом (CM30, CM60, CB30, CB50, CB85 та інші) або з оксидом Cd (OK8, OK12, OK) та інші. Контакти відрізняються високою міцністю, електропровідністю та електроерозійною стійкістю.

Магнітодіелектрики є сумішшю феромагнітних порошків із сполучними – ізоляторами. Магнітодіелектрики характеризуються сталістю магнітної проникності, великим питомим електроопором, низькими втратами на вихрові струми та на гістерезис. Використовуються ці матеріали в електро- та радіотехнічних пристроях для осердь котушок індуктивності та високочастотних трансформаторів для стрічок звукозапису.

Властивості магнітодіелектриків залежать від властивостей вихідних матеріалів. Магнітодіелектрики можуть бути магнітно-м'якими та магнітно-твердими. В якості вихідних матеріалів для магнітодіелектриків використовуються порошки електролітичного або карбонільного заліза, легovanого або нелегованого пермалою, залізокремнійалюмінієвих, залізонікелькобальтових сплавів, феритів та інших феромагнетиків. Найбільш поширеними сполучними (діелектриками) є рідке скло, бакеліт, шелак, полістирол, епоксидні, поліефірні та інші смоли. Діелектрик повинен добре покривати частинки феромагнетика та утворювати на них суцільну ізолюючу плівку достатньої твердості, міцності та еластичності, щоб оберігати вироби від руйнування при деформації. У даний час є ряд спеціалізованих магнітодіелектриків з проникністю в межах 4...200 Гс/Е, які обслуговують весь діапазон частот, що застосовуються в техніці зв'язку, аж до ультразвукових хвиль.

РОЗДІЛ II.

МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФАКУЛЬТАТИВУ ІЗ ТЕХНОЛОГІЙ «ПЕРСПЕКТИВНІ МАТЕРІАЛИ З ПОРОШКІВ»

2.1. Розробка календарно-тематичного планування факультативу з технологій «Перспективні матеріали з порошків»

Метою вивчення факультативного курсу «Перспективні матеріали з порошків» є формування загальнотрудових, загальнотехнічних, а також спеціальних знань та умінь у галузі сучасного матеріалознавства в процесі трудової підготовки школярів.

Вивчення цього курсу створює сприятливі умови для інтелектуального та технічного розвитку особистості дитини, соціально-культурного та професійного самовизначення, розвитку пізнавальної активності та творчої самореалізації учнів.

Теми занять, кількість відведених годин та очікувані результати при вивченні факультативного курсу наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Календарно-тематичне планування факультативу з технологій «Перспективні матеріали з порошків»

Дата проведення заняття	К-сть годин	Зміст навчального матеріалу	Вимоги до рівня загальноосвітньої підготовки учнів
	2	Металічні порошки та перспективи їх використання	<i>Називає</i> основні способи одержання порошків металів. <i>Пояснює</i> технологічні особливості одержання порошків металів фізичним та фізико-хімічним способом; одержання багатокомпонентних порошкових сплавів; формування та спікання заготовок з металевих порошків. <i>Наводить</i> приклади
	2	Хімічні властивості металічних порошків	
	2	Фізичні властивості металічних порошків	
	2	Технологічні властивості металічних порошків	
	2	Фізичні способи одержання металічних порошків	
	2	Фізико-хімічні способи одержання металічних порошків	
	2	Одержання багатокомпонентних порошкових сплавів	

	2	Формування та спікання заготовок з металевих порошків	практичного застосування конструкційних, пористих, електротехнічних порошкових матеріалів та порошкові матеріали з особливими властивостями. <i>Порівнює</i> властивості порошкових матеріалів з властивостями матеріалів одержаних ливарними технологіями. <i>Знає</i> основні операції технологічного процесу виготовлення виробів методом порошкової металургії. <i>Обґрунтовує</i> перспективність практичного застосування порошковим матеріалів та виробів з них. <i>Вміє</i> пояснити особливості металографічних та мікромеханічних досліджень порошкових матеріалів.
	2	Процеси, що відбуваються під час пресування	
	2	Основні схеми пресування порошкових виробів	
	2	Характерні вади пресованих заготовок та їх причини	
	2	Спікання пресувань. Практика спікання	
	2	Фізичні властивості спечених виробів і методи їхні визначення	
	2	Хімічні властивості і захист від корозії	
	2	Вивчення механічних властивостей	
	2	Особливості металографічних досліджень	
	2	Технологічні проби та випробування порошкових матеріалів	
	2	Види, області застосування і властивості конструкційних матеріалів з порошків	
	2	Пористі порошкові матеріали	
	2	Електротехнічні порошкові матеріали	
	2	Високотемпературні порошкові матеріали	
	2	Порошкові матеріали з особливими властивостями	
	6	Лабораторно-практичні роботи. Вивчення технологій одержання порошків металів. Вивчення структурних властивостей порошкових матеріалів. Дослідження мікротвердості порошкових матеріалів.	

2.2. Розробка розширених конспектів занять

Тема 1: Технології формування виробів із металічних порошків.

Мета: а) *навчальна:* навчити учнів технології формування заготовок із металічних порошків; б) *розвиваюча:* розвивати пізнавальний інтерес до сучасних технологій одержання порошкових матеріалів; виховна: формування творчого начала та технологічної культури.

Методи навчання: розповідь, бесіда, демонстрація наочних посібників.

Тип заняття: вивчення нового матеріалу.

План заняття

- I. Організаційний момент (1 хв.)
- II. Повідомлення теми та мети заняття (1 хв.)
- III. Актуалізація опорних знань (5 хв.)
- IV. Виклад нового матеріалу (30 хв.)
- V. Закріплення вивченого матеріалу (7 хв.)
- VI. Домашнє завдання (1 хв.)

Хід заняття

I. Організаційний момент

Перевірка присутності учнів та готовності до заняття.

II. Повідомлення теми та мети заняття

Серед різноманіття матеріалів, які знає людство, на сьогоднішній день особливою популярністю користуються порошкові матеріали, тому тема сьогоднішнього заняття: «Технологія формування виробів із металічних порошків».

Метою заняття є ознайомитися з технологією формування заготовок із металічних порошків; розвинути пізнавальний інтерес до сучасних технологій одержання порошкових матеріалів; виховувати формування творчого начала та технологічної культури.

III. Актуалізація опорних знань

- 1. Яку ви знаєте класифікацію матеріалів?
- 2. Які матеріали відносять до конструкційних?
- 3. Які вимоги до матеріалів висувають сучасні наука та техніка?
- 4. Які ви знаєте способи одержання конструкційних матеріалів?

IV. Виклад нового матеріалу

Процес формування виробів з порошків складається з підготовки порошків до пресування, процесу пресування, випресовування заготовок, контролю якості пресування. Підготовка порошків до пресування складається з термічного очищення, або механічної обробки, розсівання на фракції за величиною частинок, змішування, іноді грануляції [17, 18].

Очищення порошків необхідне внаслідок забруднення їх оксидами, продуктами зношування матеріалу млинів та їх робочих деталей. Очищення здійснюється хімічними, гідромеханічними або магнітними методами.

Термічна обробка – відпал – проводиться для зняття наклепу (зниження твердості), рафінування хімічного складу в результаті видалення вуглецю та інших домішок, зменшення окислення. Результатом відпалу часто буває укрупнення частинок. Якщо необхідно зняти наклеп, то відпал проводиться при температурі $\sim 0,4$ від абсолютної температури плавлення металу порошку, тобто вище за температуру рекристалізації. Обов'язковим при відпалюванні є застосування захисної або відновлювальної атмосфери [17].

Механічна обробка застосовується у випадку, коли потрібно додатково подрібнити порошок. Для цього зазвичай використовують кульові або молоткові млини.

Розсіювання порошків (класифікація) проводиться для отримання порошків з частинками певного розміру (фракцій), які надходять на наступну операцію – змішування. Після розсівання відбирають лише необхідні для даного технологічного процесу фракції. Класифікація порошків з крупністю вище 40...50 мкм проводиться за допомогою сит, а тонших – методом повітряної сепарації.

Головним завданням змішування є отримання однорідної за хімічним складом шихти. Однорідність шихти залежить від способу змішування, тривалості, гранулометричного складу та щільності порошків. Розрізняють сухе (механічне) та мокре (хімічне) змішування.

Наступним етапом є пресування. Призначення пресування – формування з порошкової шихти напівфабрикатів певної форми, розмірів та міцності.

Найпростіша конструкція прес-форми (рис. 2.1) складається з матриці, верхнього і нижнього пуансонів, між якими засипається порошок. Зусилля пресування прикладається до верхнього пуансона. У цьому випадку ми маємо справу із так званим одностороннім пресуванням [18].

Пресування порошкового тіла (об'єму порошку) відрізняється від пресування компактного (литого) металу суттєвим зменшенням початкового об'єму та підвищенням щільності. Зміна об'єму порошкового тіла при пресуванні відбувається в результаті ущільнення – консолідації – збільшення контактного перерізу. Щільність пресування залежить від тиску пресування, вплив якого можна умовно розділити на три етапи (рис. 2.1). Засипаний у прес-форму порошок до докладання зусилля має густину, яка відповідає насипній густині.

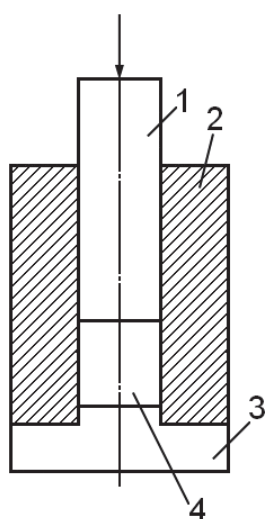


Рис. 2.1. Найпростіша конструкція прес-форми: 1 – верхній пуансон; 2 – матриця; 3 – нижній пуансон; 4 – порошок

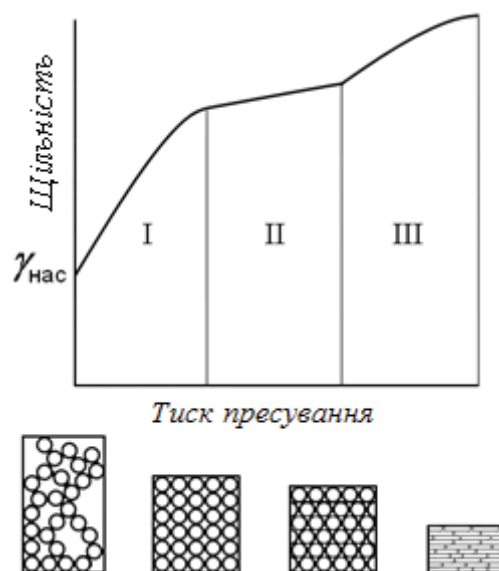


Рис. 2.2. Залежність щільності пресування від тиску пресування

На першому етапі навіть невелике підвищення тиску викликає значне збільшення щільності пресування за рахунок зменшення порожнин і щільнішого розташування частинок. У цілому нині перший етап характеризується «вільним» переміщенням частинок.

На другому етапі щільно упаковані частинки чинять певний опір стискуючим зусиллям. У міру підвищення тиску відбувається згладжування поверхні частинок за рахунок тертя одна об одну, здирання оксидних плівок, збільшення контактного перерізу. З'являються сили міжатомної взаємодії, і, як наслідок, опір порошкоподібного тіла зовнішньому тиску збільшується, підвищення щільності пресування загальмовується.

На третьому етапі тиск пресування перевищує опір частинок пружній деформації. Починається та протікає процес їхнього пластичного деформування. Метал тече, заповнюючи порожнечі, об'єм пресування зменшується. При пресуванні крихких матеріалів пластичної деформації немає. Третій етап характеризується їхнім крихким руйнуванням, дробленням виступів на поверхні частинок і так само, як і для пластичних металів, ущільненням та зменшенням об'єму пресування. Графік приведений на рис. 2, представляє теоретичний опис процесів. Насправді має місце накладення зазначених стадій ущільнення. Так, деформація окремих частинок починається вже за невисоких навантажень. Цьому багато в чому сприяє друга особливість пресування порошкових тіл, що полягає в нерівномірному розподілі щільності пресування по перерізу.

Процес пресування не закінчується лише деформуванням порошкового тіла. Потрібно провести ще випресування виробу. На перший погляд, для цього достатньо докласти зусилля, що дозволяє подолати лише сили тертя пресування стінки прес-форми. Насправді цього зусилля виявилось б недостатньо. Пластична деформація призводить до ущільнення пресування, а пружна, накопичуючись, врівноважує зовнішній тиск пресування.

Після зняття зовнішнього тиску пружні сили, звільняючись, прагнуть збільшити об'єм спресованого виробу. Це можливо лише шляхом збільшення висоти пресування, збільшенню її по діаметру перешкоджають стінки прес-форми. Пружні сили разом із зусиллям тертя, ускладнюють вилучення виробу. Зусилля виштовхування залежно від природи та властивостей порошкової шихти становлять $0,1 \dots 0,35$ від тиску пресування.

Інертні мастила дозволяють знижувати тертя між частинками і стінками

матриці прес-форми, не впливаючи на властивості матеріалу порошку.

Активні мастила спричиняють ще додатковий вплив на деформаційну міцність частинок порошку, сприяючи таким чином полегшенню взаємного переміщення частинок при пресуванні, кращому їх ущільненню і, як наслідок, досягненню вищої міцності при нижчих зусиллях пресування.

Істотний вплив на розподіл щільності має відношення висоти виробу, що пресується, до площі поперечного перерізу. Чим більше це відношення, тим менш однорідною щільністю має пресування. Більш рівномірного розподілу густини дозволяє досягти двостороннє пресування (рис. 2.3), однак і в цьому випадку в середині пресування утворюється зона зниженої густини [17].

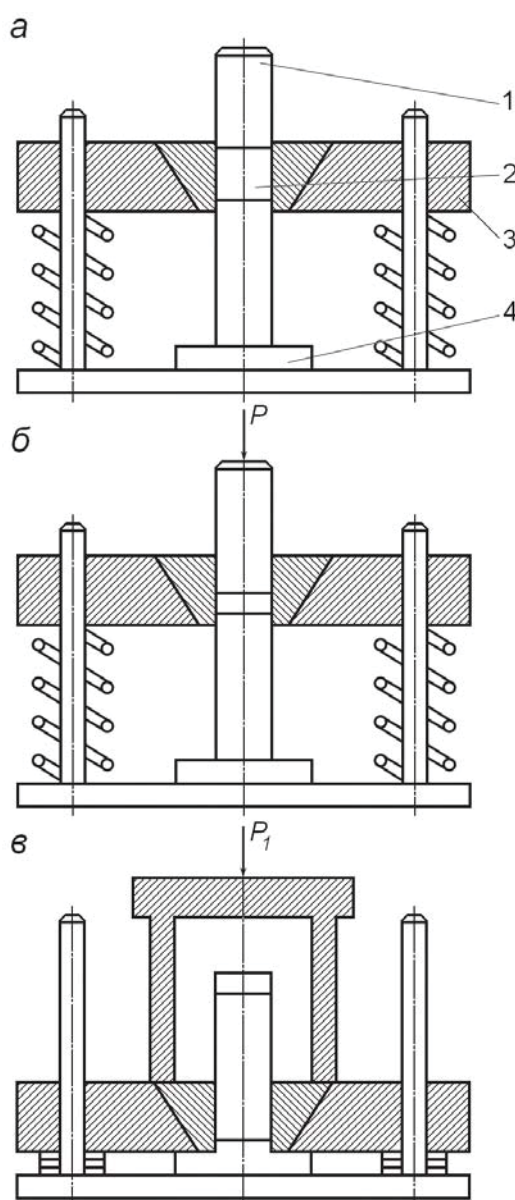


Рис. 2.3. Схема двостороннього пресування: *а* – засипання порошку та встановлення пуансона: 1 – верхній пуансон; 2 – порошкова шихта; 3 – матриця; 4 – нижній пуансон; *б* – пресування порошку; *в* – виштовхування пресування; P – тиск пресування; P_1 – тиск випресовування

Заготовки з рівномірною щільністю можна отримувати, застосовуючи гідростатичне пресування (рис.2.4, *а*), при якому порошкова шихта, засипана в еластичні (наприклад, гумові) оболонки, піддається всебічному стисканню рідиною (водою, олією, гліцерином) при тиску вище 100...200 МПа. Різновидом цього є вибухове пресування (рис. 2.4, *б*). Спочатку методом гідростатичного пресування отримували заготовки тільки простої форми, але в даний час завдяки застосуванню спеціального технологічного оснащення виготовляють і складні вироби масою до 2000 кг [18].

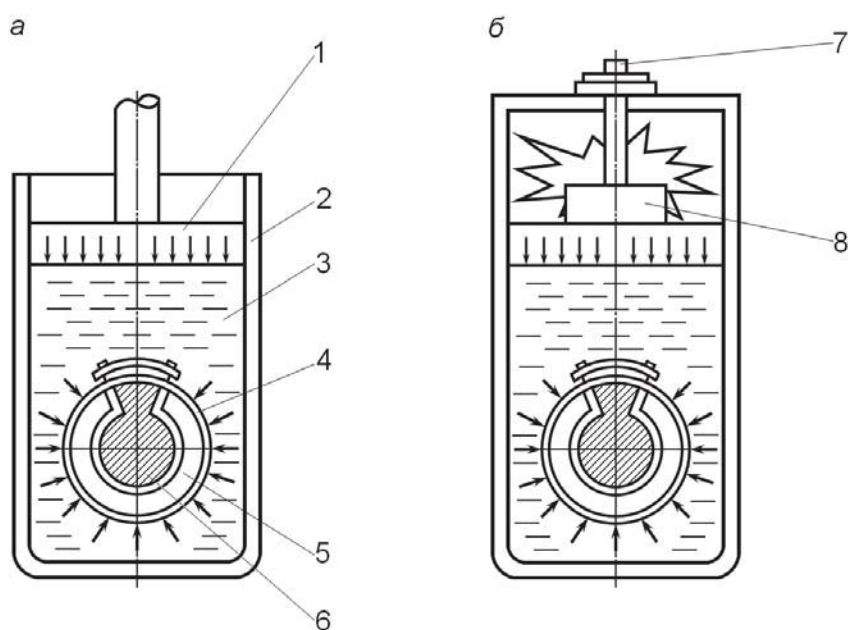


Рис. 2.4. Схеми гідростатичного (*а*) та вибухового (*б*) пресування: 1 – пуансон; 2 – прес-камера; 3 – робоча рідина; 4 – гумова оболонка; 5 – деталь, що формуються; 6 – сталеве осердя; 7 – запал; 8 – заряд вибухової речовини

Важлива перевага гідростатичного пресування – відсутність розшарування. Разом з тим, є й суттєвий недолік – важко витримати розміри пресування, близькі до заданих, внаслідок чого зазвичай доводиться застосовувати механічну обробку.

Розглянемо методи мундштучного пресування та прокатки, при яких безперервна подача порошків забезпечує високу продуктивність.

При мундштучному пресуванні (екструзії) виріб одержують шляхом продавлювання порошкової маси, яка містить близько 10% пластифікатора (парафін, крохмаль, бакеліт) через спеціальний отвір – мундштук (рис. 2.5).

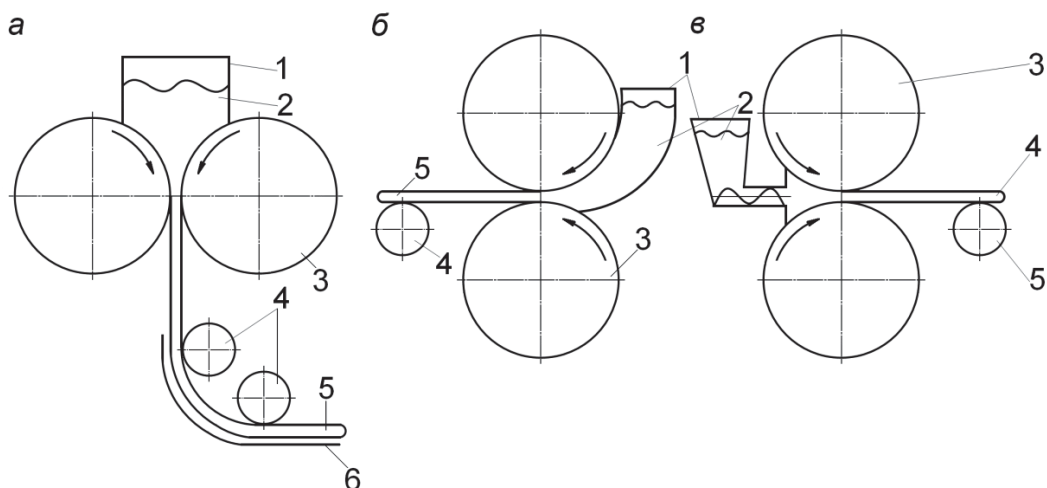


Рис. 2.5. Схема прокатки металевих порошків у стрічку: *а* – прокатка з вертикальною подачею порошку: 1 – бункер; 2 – порошок (шихта); 3 – валок; 4 – стрічка; 5 – ролик; 6 – напрямна; *б* – прокатка з похилою подачею; *в* – прокатка з горизонтальною подачею

Мундштучним пресуванням одержують вироби постійного перерізу (квадрат, коло, овал, труби, куточки та будь-які складні профілі). Важливою перевагою методу є можливість отримання виробів великої довжини з рівномірною щільністю навіть з матеріалів, які погано пресуються (тугоплавкі метали, інтерметалеві сполуки, тверді сплави, матеріали на основі оксидів).

Прокатування порошків проводять як у холодному, так і гарячому стані. Після прокатки обов'язковою є операція спікання. Для підвищення щільності та покращення механічних властивостей спечену стрічку піддають багаторазовій холодній прокатці з проміжними відпалами. Після 3-4 прокаток механічні властивості стрічки підвищуються у кілька разів, а щільність досягає 100%.

Гаряча прокатка дозволяє отримувати матеріал з підвищеними механічними властивостями при меншій, ніж холодній прокатці, кількості обтискань. Однак вона вимагає складнішого обладнання, оскільки процес ведуть у контрольованій атмосфері для захисту порошку від окислення при високих температурах.

Існує ще ряд способів отримання виробів із металевих порошків: кування та гаряча прокатка порошків в оболонках, динамічне та вібраційне формування, шлікерне лиття.

Спечені матеріали можна умовно поділити на пористі, електротехнічні, конструкційні, високотемпературні.

Область застосування пористих матеріалів – машинобудування, приладобудування, вугільна, харчова, фармацевтична промисловість.

Електротехнічні матеріали включають контактні і магнітні.

Серед конструкційних матеріалів, що виготовляються методом порошкової металургії, – шестерні, компресорні лопатки, заглушки, трійники, втулки, храповики, накидні гайки, фланці та інші деталі.

Високотемпературні матеріали вольфрам, тантал, ніобій, молібден застосовуються в атомній енергетиці, радіотехніці, вольфрам та молібден – у виробництві ниток розжарювання. Молібден використовується для виготовлення нагрівальних елементів електричних печей. Титан та його сплави, завдяки високій питомій міцності та корозійній стійкості, знаходять широке застосування для деталей ракет, літаків, у суднобудуванні, для деталей хімічного машинобудування. Цирконій та його сплави застосовуються в атомній енергетиці, електроніці та піротехніці.

V. Закріплення вивченого матеріалу

1. Назвіть основні технологічні етапи процес формування виробів з порошків.
2. Для чого проводять термічного очищення при підготовці порошків до пресування?
3. Чим відрізняється пресування порошкового тіла (об'єму порошку) від пресування компактного (литого) металу?
4. Яка перевага гідростатичного пресування порошкових заготовок?
5. У чому полягає специфіка мундштучного пресування?

VI. Домашнє завдання

Підготувати реферати на тему «Галузі практичного застосування порошкових матеріалів».

Тема 2. Види, області застосування та властивості спечених матеріалів та виробів із порошків.

Мета: *а) навчальна:* розглянути різні види спечених матеріалів та виробів із порошків; дослідити різні області застосування спечених матеріалів у сучасних технологіях та промисловості; зрозуміти важливість властивостей спечених матеріалів для їхнього успішного застосування; *б) розвиваюча:* розвивати пізнавальний інтерес до сучасних технологій одержання порошкових матеріалів та їх практичного застосування; *в) виховна:* формування в учнів творчого начала та технологічної культури.

Методи навчання: розповідь, бесіда, демонстрація наочних матеріалів.

Тип заняття: вивчення нового матеріалу.

План уроку

- I. Організаційний момент (1 хв.)
- II. Повідомлення теми та мети заняття (2 хв.)
- III. Актуалізація опорних знань (4 хв.)
- IV. Виклад нового матеріалу (30 хв.)
- V. Закріплення вивченого матеріалу (6 хв.)
- VI. Домашнє завдання (2 хв.)

Хід уроку

I. Організаційний момент

Перевірка присутності учнів та готовності до уроку.

II. Повідомлення теми та мети заняття

У світі швидко розвиваються нові технології, що вимагають нових матеріалів з покращеними властивостями. Спечені матеріали та вироби із порошків здатні задовольнити цей попит завдяки своїм унікальним властивостям. У багатьох сферах промисловості, включаючи автомобільну, аерокосмічну, медичну та енергетичну, важливість спечених матеріалів важко переоцінити. Вони використовуються для виробництва легких, міцних та

стійких деталей. Тому тема сьогоднішнього заняття: «Види, області застосування та властивості спечених матеріалів та виробів із порошків».

Метою заняття є розглянути різні види спечених матеріалів та виробів із порошків; дослідити різні області застосування спечених матеріалів у сучасних технологіях та промисловості.

III. Актуалізація опорних знань

1. Чи знаєте ви, що таке порошкові матеріали і як вони виробляються?
2. Які галузі промисловості використовують спечені матеріали, і для чого саме?
3. Чи можете навести приклади виробів із порошкових матеріалів?
4. Які переваги можуть мати вироби із порошків у порівнянні з традиційно виготовленими виробами?

IV. Виклад нового матеріалу

Спечені матеріали можна умовно поділити на пористі, електротехнічні, конструкційні, високотемпературні.

Пористі матеріали

Пористі матеріали містять антифрикційні матеріали, фільтри, фрикційні матеріали.

Антифрикційні матеріали. Область застосування пористих підшипників – машинобудування, приладобудування, автотракторобудування, сільськогосподарське машинобудування, вугільна, харчова, фармацевтична промисловість.

Переваги пористих підшипників у порівнянні з литими:

- 1) краща спрацьовуваність;
- 2) самозмащування (дозволяє відмовитися у ряді випадків від підведення олії ззовні, що дуже важливо, наприклад, для важкодоступних вузлів машин, у разі, коли можливий брак продукції внаслідок попадання в неї мастила);
- 3) менша дефіцитність матеріалів виготовлення металокерамічних підшипників (економія кольорових металів);

4) менші витрати праці порівняно з виготовленням виробів із литих матеріалів;

5) висока експлуатаційна стійкість, що часом перевищує стійкість підшипників ковзання з вкладишами і втулками з бронзи, бабіту, чавуну.

У даний час найбільше застосування знайшли пористі залізни, залізографітові (1...3% Гр, 97...99% Fe), бронзографітові (88...89% Cu, 9...10% Sn, 2...4 % Гр) підшипники, а також підшипники на основі алюмінію (10 % Cu, 3% Гр, інше Al). Властивості підшипників (твердість, міцність, пористість) залежать від умов пресування та спікання (табл. 2.2) [19, 20].

Таблиця 2.2

Характеристики механічних та експлуатаційних властивостей
антифрикційних матеріалів

Матеріал	Пористість, %	Щільність, т/м ³	Твердість, НВ	Межа міцності на розтягування, МПа	Середнє граничне навантаження, МПа
Пористе залізо	20	6,20	58	140	660
Залізогра- фіт з 3% графіту	23	6,00	40...60	120...190	1100
Бронза ОЦС 6-6-3	—	8,82	60	150	450
Бабіт Б-83	—	7,40	30	90	1000

Різновидом антифрикційних матеріалів є багатошарові матеріали, основним з яких вважається тришаровий матеріал, що складається зі сталеві стрічки з мідно-нікелевим та бабітовим шарами. Цей матеріал прийшов на зміну бабітовим вкладишам в автомобілебудуванні, оскільки в бабітових вкладишах при заливці корінних і шатунних підшипників сучасних двигунів спостерігалось викришування, що пояснюється появою втомних тріщин. Тришарові матеріали не мають зазначеного недоліку, навпаки, володіють підвищеними антифрикційними властивостями завдяки маслу, що міститься в порах (або добавкам графіту, який діє аналогічним чином) [21].

Виготовлення пористих антифрикційних виробів. Серед пористих антифрикційних матеріалів головну роль відіграють залізографітові втулки та підшипники (рис. 2.6). Технологічний процес їх виготовлення складається з таких операцій: змішування вихідних порошків, пресування, спікання, просочення олією, калібрування, контролю якості.



Рис. 2.6. Залізографітові втулки та підшипник

Як сировину використовують залізні порошки, як правило, отримані методом відновлення, графіт, іноді додають електролітичну мідь. Введення невеликої кількості порошку електролітичної міді ($\sim 0,2\%$) сприятливо впливає на формування пор, сприяє підвищенню міцності та твердості на 30...60% за рахунок утворення твердих розчинів та цементування зерен спеченої залізної основи, покращує продуктивність підшипників.

Залізний та графітовий порошки (а у випадку добавок міді – і мідний) просівають через сита №025-018 і в потрібних пропорціях засипають у змішувач. Якість перемішування можна підвищити, додавши в шихту 2% (за масою) бензину або олії. Олія не тільки покращує перемішування, знижує втрати порошку за рахунок зменшення розпилення, але дозволяє приблизно вдвічі знизити тиск пресування. І все ж таки при автоматичному пресуванні з об'ємним дозуванням від застосування олії доводиться відмовлятися, оскільки істотно погіршується текучість. У цих випадках замість олії в шихту додають 0,5...1% порошкоподібного стеарату цинку.

Пресування втулок з певною пористістю здійснюється у сталевих прес-формах на гідравлічних або механічних пресах за однією із схем: 1) пресування за питомим тиском; 2) пресування з обмежувачем висоти.

Спікання пористих залізографітових втулок може проводитися у печах будь-якого типу, проте слід мати на увазі, що завдяки великій пористості вони можуть окислюватися не тільки з поверхні, але й в об'ємі. Тому при спіканні обов'язково застосовують захисні атмосфери або вуглецевмісні засипки.

Спікання здійснюється при температурі 1050...1150°C. При вищих температурах, особливо при підвищеному вмісті у шихті графіту, може появлятися структурно-вільного цементиту та оплавлення.

Завершальними операціями технологічного процесу є просочування втулок олією та калібрування. Просочення олією здійснюється у масляній ванні при температурі 110...120° С (2 год) з подальшим охолодженням у холодній олії або у вакуумі. Другий спосіб дозволяє не тільки збільшити вміст олії у виробах на 25...27% порівняно із звичайним методом, але й скоротити тривалість операції у 8...10 разів.

Металокерамічні фільтри (рис. 2.7). Фільтри необхідні у медицині, в установках для очищення води, вловлювання пилу, при очищенні палива, у вимірювальній техніці, для тонкого очищення рідкометалевих та газоподібних теплоносіїв, масел гідросистем високого тиску, для іонізації металевих парів в іонних ракетних двигунах. Це далеко не повний перелік областей застосування фільтрів.

Усі застосовувані у різних галузях промисловості фільтрувальні пристрої – гравійні, щілинні фільтри, циклони, електрофільтри, фільтри з кераміки та тканин – складні у виготовленні та експлуатації, але не забезпечують достатньо хорошої фільтрації. На відміну від названих, металокерамічні фільтри мають високу проникність і високий ступінь очищення. Вони міцні, пластичні, стійкі проти різкого підвищення температури. Металокерамічні фільтри краще затримують дрібні тверді частинки, ніж фільтрувальна тканина, виключається засмічення фільтрованої рідини або газу матеріалом фільтра. Важливою перевагою металокерамічних

фільтрів є також можливість їх регенерації, тобто обробки певним чином (продування, промивання, вібрування тощо) з метою очищення та відновлення колишніх властивостей, і, як наслідок, найтриваліший термін служби.



Рис. 2.7. Металокерамічні фільтри

Пористі металокерамічні фільтри виготовляють переважно з порошків корозійно-стійких матеріалів: бронзи (92 % Cu, 8 % Sn), нержавіючої сталі, а також нікелю, срібла, латуні тощо. Останнім часом збільшується випуск пористих фільтрів на основі жароміцних нікелевих сплавів, а також титану, вольфраму, молібдену та тугоплавких сполук.

Металеві фільтри, як правило, виготовляють за одним із двох основних методів: 1) пресування або прокатка металевих порошків із подальшим спіканням; 2) спікання вільно насипаного порошку (без пресування). При виготовленні фільтрів за першим методом для забезпечення необхідної пористості та запобігання закриття пор у шихту вводять наповнювач. Пресування здійснюється при помірних тисках, що становлять 50...200 МПа. Вищий тиск пресування призводить до зменшення пористості.

Пористі матеріали спеціального призначення. До таких матеріалів відносять «потіючі», бітуміноване пористе залізо, пористі снарядні пояски,

пористі електроди.

«Потіючі» – це високопористі матеріали (пористість понад 50%), які, в основному, використовують в авіації для боротьби зі зледенінням крил літаків. Спеціальні деталі, виготовлені з порошків міді та нікелю (у ряді випадків з додаванням олова), встановлюються у місцях найбільш інтенсивного зледеніння літака. За системою трубопроводів до цих деталей подається незамерзаюча рідина (антифриз), яка заповнює пори. Під дією повітряного потоку вона випаровується (випотівають), що перешкоджає осадженню криги на кромці крила літака.

Друге призначення «потіючих» матеріалів – охолодження деталей машин та агрегатів, які нагріваються під час роботи. Принцип охолодження полягає в тому, що за допомогою пористого матеріалу до нагрітої деталі підводиться газ або рідина, які, випаровуючись, здійснюють охолодження довколишнього простору. Цей метод використовується для охолодження різних деталей газових турбін, реактивних двигунів, двигунів внутрішнього згоряння та іншого спеціального обладнання. Відомі приклади виготовлення пористих турбінних лопаток із порошків нержавіючих аустенітних сталей, які охолоджуються стисненим повітрям, що дозволяє знизити їх температуру до 600°C. Зниження робочої температури металу дозволяє підвищити межу його тривалої міцності, збільшити термін служби і надійність відповідального вузла або машини.

Бітуміноване пористе залізо застосовують для зачеканки стиків трубопроводів. Зінтерит отримують з грубих залізних порошків без попереднього пресування спіканням при 1200...1350°C подальшим просоченням бітумами для підвищення корозійної стійкості.

Фрикційні матеріали.

Підвищення продуктивності верстатів, машин та агрегатів нерозривно пов'язане зі збільшенням швидкостей та навантажень на окремі їх вузли та деталі. Тому і гальмівні пристрої повинні відчувати все навантаження, що зростають. Основним показником придатності матеріалу до роботи в гальмівних пристроях є коефіцієнт тертя.

У промисловості як фрикційні застосовуються як металеві, так і неметалеві матеріали.

Серед металевих найбільшого застосування знаходять чавун, сталь, бронза. Однак для важких умов роботи, що характеризуються розігрівом пари тертя до $1000...1200^{\circ}\text{C}$, вони не придатні внаслідок схоплювання, зварювання і заїдання. Під схоплюванням розуміють утворення зв'язків між парами тертя в результаті чого може статися наволочування матеріалу одного елемента фрикційної пари на інший, приварювання частинок та утворення грубих задирів, що призводить до заїдання вузла, значного зношування поверхні пар.

Неметалічні фрикційні матеріали мають, як правило, азбестову основу, просочену олією, бітумом, бакелітом або каучуком. Ці матеріали також мають істотний недолік, який в основному пов'язаний із малою теплопровідністю азбесту. Матеріали на азбестовій основі із зазначеної причини швидко нагріваються; при температурі понад 330°C починається обвуглювання органічних речовин, що входять до складу фрикційного матеріалу, випаровування вологи. Все це знижує коефіцієнт тертя, сприяє прискореному зношуванню, продукти горіння створюють задимленість [22].

Такі матеріали, які мають високий та стабільний коефіцієнт тертя, високу оброблюваність та теплопровідність, у яких практично немає заїдання та зварюваності при високих температурах, дозволив створити метод порошкової металургії.

Технологія виготовлення фрикційних матеріалів включає основні етапи виробництва порошкових виробів: приготування та змішування порошкової шихти, пресування та спікання. Однак внаслідок того, що неметалеві складові не розчиняються у металевій основі і тому суттєво знижують властивості фрикційних виробів, їх зазвичай випускають у вигляді біметалічних елементів, які складаються з фрикційного шару на сталевій основі.

З матеріалів на мідній основі виготовляють елементи (диски, сегменти) для електромагнітних муфт зчеплення, які працюють в умовах сухого тертя, але не дуже великих навантажень. З цих матеріалів виготовляють диски зчеплення і гальмівні стрічки автомобілів, призначені для роботи зі змащенням.

Найбільшого застосування знаходить фрикційний матеріал марки МП-11, до складу якого входить 11% заліза, 10% олова, 9% азбесту, 8% пульвербакеліту, 5% свинцю, 4% графіту.

Матеріали ФАБ-1 та ФАБ-Д виготовляють на основі алюмінієвої бронзи. Вони мають хороші фрикційні властивості і вигідно відрізняються від аналогічних матеріалів на основі олов'яної бронзи тим, що вони в 1,5...2 рази дешевші.

Серед матеріалів на залізній основі, які відрізняються від розглянутих вищим коефіцієнтом тертя, меншим зношуванням в умовах важкого навантаження при високих швидкостях і меншою вартістю, найбільше застосування отримав ФМК-11 (14...16% міді; 6,5...8% графіту; 4...6% бариту; 2...3,5% азбесту; 2...3,5% оксиду кремнію). Цей матеріал навіть при температурі 1000 ... 1100°C має коефіцієнт тертя 0,25, добре і швидко припрацьовується, знаходить застосування для виготовлення фрикційних елементів муфт для сухого зчеплення та тертя, гальмівних накладок тракторів, автомобілів, дорожніх машин, літаків, екскаваторів [22, 23].

V. Закріплення вивченого матеріалу

1. Назвіть приклади ситуацій або завдань, в яких можуть використовуватися спечені матеріали та вироби із порошків.
2. Які конкретні види спечених матеріалів можуть бути застосовані для поліпшення ефективності вирішення цих завдань чи ситуацій?
3. Які властивості спечених матеріалів дозволяють їм відзначатися в цих ситуаціях та завданнях?
4. Які переваги можуть мати спечені матеріали у порівнянні з іншими матеріалами для вирішення схожих завдань?
5. Як ви думаєте, які інновації або розвиток у галузі спечених матеріалів може мати вплив на майбутнє та яких сфер вони можуть торкнутися?

VI. Домашнє завдання

Підготуйте коротку презентацію (3-5 слайдів) на тему: «Застосування

спечених матеріалів у виробництві інноваційних виробів».

Знайдіть новини або статті про останні досягнення у галузі спечених матеріалів та їх застосування у сучасних технологіях. Підготуйте короткий огляд або реферат на цю тему.

Тема 3. Електротехнічні та конструкційні матеріали із порошків.

Мета заняття: а) *навчальна:* розглянути різні види електротехнічних та конструкційних матеріалів із порошків, їх властивості та застосування; прищепити розуміння важливості цих матеріалів у сучасних технологіях. б) *розвиваюча:* сприяти розвитку інтересу учнів до інноваційних матеріалів та їх впливу на розвиток сучасних галузей; в) *виховна:* формування в учнів творчого начала та технологічної культури.

Методи навчання: розповідь, бесіда, демонстрація наочних матеріалів.

Тип заняття: комбіноване.

План заняття

- I. Організаційний момент (1 хв.)
- II. Повідомлення теми та мети заняття (2 хв.)
- III. Актуалізація опорних знань (5 хв.)
- IV. Виклад нового матеріалу (20 хв.)
- V. Практична частина (15 хв.)
- VI. Домашнє завдання (2 хв.)

Хід заняття

I. Організаційний момент

Перевірка присутності учнів та готовності до заняття.

II. Повідомлення теми та мети заняття

У сучасному світі велика увага приділяється розробці та виробництву матеріалів з покращеними властивостями для різних галузей. Електротехнічні та конструкційні матеріали із порошків надають можливість створювати

високоякісні та стійкі до впливу навколишнього середовища конструкції та пристрої.

Отже, тема уроку «Електротехнічні та конструкційні матеріали із порошків» надзвичайно актуальна та важлива для розуміння та застосування в сучасному світі.

Мета уроку: розглянути різні види електротехнічних та конструкційних матеріалів із порошків, їх властивості та практичне застосування.

III. Актуалізація опорних знань

1. Чи можете ви назвати приклади матеріалів, які використовуються в електротехніці?
2. Які приклади конструкційних матеріалів із порошків ви можете назвати?
3. Які переваги можуть мати конструкційні матеріали із порошків у порівнянні з традиційними?
4. Які інноваційні розробки або застосування матеріалів із порошків ви знаєте?

IV. Виклад нового матеріалу

Електротехнічні матеріали

Електротехнічні матеріали включають контактні і магнітні. Контактні матеріали є найважливішими з електротехнічних матеріалів. Вони повинні володіти комплексом властивостей: високими електро- та теплопровідністю, високою електроерозійною стійкістю, достатньою міцністю, незначною схильністю до зварюваності та прилипання, високою тугоплавкістю та гарною припрацьовуваністю. Для задоволення цих вимог контактні матеріали виготовляються у вигляді псевдосплавів високоелектропровідних металів (срібло, мідь) з металами, які мають високу міцність (вольфрам, молібден) [24].

Методом порошкової металургії виготовляють розривні контакти, контактні кільця, щітки електромашин із мідно-графітових матеріалів.

Застосування в останніх 2...5% графіту дозволяє зменшити налипання і приварювання виробів під час роботи, знизити коефіцієнт тертя.

Виготовлення металокерамічних контактів здійснюється трьома основними методами: 1) пресуванням заготовок з подальшим їх спіканням та допресуванням; 2) пресуванням та спіканням заготовок у вигляді брусків з наступною прокаткою в прутки, з яких виготовляють контакти (різанням або штампуванням); 3) пресуванням пористої заготовки з тугоплавкого металу з подальшим її просоченням більш легкоплавким компонентом.

Найбільшого поширення набув метод, яким всі порошкоподібні компоненти змішуються у необхідних пропорціях, після чого проводиться пресування шихти у сталевих прес-формах при тиску 30 ... 50 МПа (срібно-вольфрамові і мідновольфрамові контакти при тиску понад 1500 МПа). Спікання пресування проводиться у захисній атмосфері. Температура спікання вибирається залежно від складу матеріалу. Наприклад, контакти Ag-Ni і Ag-CuO спікають при 900...950°C, Ag-Ni – при 1000°C, Cu-W – при 1100°C. Тривалість спікання зазвичай становить 3...4 години. На закінчення для підвищення щільності заготовки піддаються повторному пресуванню (допресуванню) та відпалу [25].

Другий метод полягає в тому, що спочатку виготовляють брикети, які потім прокатують для отримання пруткового матеріалу. При цьому отримують волокнисту структуру, що дозволяє суттєво покращити контактні властивості. При подальшому штампуванні забезпечується орієнтація волокон таким чином, щоб вони були спрямовані перпендикулярно робочій поверхні контактів.

Третій метод полягає в тому, що з порошку тугоплавкого металу (вольфраму, молібдену) пресують пористу заготовку, а потім просочують її легкоплавким компонентом, зазвичай міддю або сріблом. Таким чином виготовляють контакти типу W-Ag, Mo-Ag, W-Cu. Просочення міддю виконують при 1200°C, а сріблом – при 1100°C.

В останні роки набули широкого поширення контакти, які відрізняються дрібнодисперсною структурою (розмір часток не перевищує 1 мкм, тоді як зазвичай розмір часток становить 200...300 мкм), що дозволяє в кілька разів

збільшити зносостійкість. Промисловістю нині випускаються контакти з дрібнодисперсною структурою систем срібло – нікель, срібло – окис міді, срібло – нікель – графіт, срібло – графіт, срібло – вольфрам.

Магнітні матеріали. До них відносять магнітно-м'які, магнітно-тверді та магнітодіелектрики.

Застосування порошкових магнітно-м'яких матеріалів є бажаним тому, що магнітні властивості та їх рівномірність істотно залежать від точності складу, а метод порошкової металургії це забезпечує більшою мірою, ніж метод плавлення та лиття.

Металокерамічним шляхом виготовляють магнітопроводи, осердя та ротори електромашин, полюсні наконечники постійних магнітів, деталі реле, вимірювальних електромагнітних приладів. Як магнітно-м'які металокерамічні матеріали застосовуються чисте залізо, сплави заліза з нікелем типу пермалою, заліза з кремнієм і алюмінієм типу альсиферу.

Виготовлення магнітно-м'яких матеріалів із залізних та залізонікелевих порошків проводиться за звичайною технологією із застосуванням прокатки або пресування. У випадку коли порошки погано пресуються, застосовують пластифікуючі добавки. Так, у залізоалюмінієві порошки вводять до 1% пластмаси (дурофен). Тиск пресування становить 800 МПа. Спінання проводять у водні в дві стадії: при 1050...1150°C – 0,5 год, при 1150...1200°C – 24 год. Пластмаса при цьому вигоряє. Для підвищення щільності виробів забезпечують їх спікання за участю рідкої фази, для чого додають фосфор, створюючи таким чином легкоплавку сполуку. У результаті одержують вироби високої густини $\sim 6,5 \text{ г/см}^3$ та пористістю 12...13% [26].

Ферити. Це клас магнітних матеріалів, які складаються з оксидів заліза та інших металів (наприклад, оксидів барію, марганцю, цинку, нікелю, кадмію). Ферити – феромагнітні матеріали. Виняток становлять лише ферити цинку та кадмію. Завдяки тому, що ферити між собою утворюють велику область твердих розчинів, вдається одержувати матеріали з дуже широким діапазоном властивостей від магнітно-твердих до магнітно-м'яких. Характерною особливістю феритів є їх високий електроопір у межах $10...10^7 \text{ Ом/см}$ (у металів

він не більший 10 Ом/см). Ферити мають велику твердість і крихкість.

Ферити знайшли широке застосування в запам'ятовуючих та обчислювальних пристроях, системах магнітного запису, у телевізорах та радіоприймачах.

Технологічний процес виготовлення феритів полягає в наступному: складена шихта піддається подрібненню та змішуванню мокрим способом у кульових млинах (10...20 год), після чого отриманий матеріал поміщають у термостат для видалення надлишку вологи. Щоб досягти повнішої гомогенізації, поліпшити магнітні властивості, зменшити усадки при остаточному спіканні, шихту піддають брикетуванню та випалюванню в повітряному середовищі при температурі 900...1100°C впродовж 4...5 год.

Після відпалу брикети подрібнюють на порошок у вібромлинах сухим способом. Якість помелу та розмір часток феритів дуже впливають на магнітні властивості виробів, які покращуються зі збільшенням ступеня дисперсності частинок. Однак надмірне подрібнення призводить до погіршення пресування та зниження якості готових виробів. На закінчення шихту протирають через сито з отвором 60 мкм, змочують пластифікатором (10% розчин полівінілового спирту) у співвідношенні шихта: спирт – 10:1 і пресують при тиску 50...250 МПа.

Магнітно-тверді матеріали. Це матеріали, які мають велику коерцитивну силу, високу залишкову магнітну індукцію та малу магнітну проникність.

Відомі два методи одержання гетерогенної структури: 1) термічною обробкою (цей спосіб застосовується лише у випадку, коли компоненти мають необмежену розчинність при температурі спікання); 2) спіканням порошкових сумішей, які не утворюють твердих розчинів.

Серед металокерамічних магнітно-твердих сплавів найбільше значення мають залізонікельалюмінієві недеформовані сплави типу Альні, які містять 5...15% Al та 15...35% Ni. Для підвищення магнітних властивостей у ці сплави додатково вводять кобальт, мідь, титан, цирконій, ніобій, бор, фосфор, церій. Особливо сприятливий вплив легує кобальтом. Сплави із вмістом кобальту

3...15% називають «Альніко», з вищим – «Магніко». Основні етапи виготовлення цих сплавів – підготовка порошкових матеріалів, пресування та спікання. Після спікання магніти зі сплавів Альні піддають гартуванню, зі сплавів Альніко – гартуванню та відпуску, а зі сплавів Магніко – гартуванню в магнітному полі та відпуску [27].

Максимальну магнітну енергію мають кобальто-платинові сплави, але з економічних міркувань з них виготовляють тільки магніти масою кілька міліграмів для особливо точних приладів.

Магнітодіелектрики є сумішшю феромагнітних порошків із сполучними – ізоляторами. Використовуються ці матеріали в електро- та радіотехнічних пристроях для осердь котушок індуктивності та високочастотних трансформаторів.

Конструкційні матеріали

Спочатку метод порошкової металургії застосовувався тільки для виготовлення виробів, які неможливо отримати традиційними методами лиття і механічної обробки, наприклад, тверді сплави, мідно-графітові щітки, пористі матеріали. При цьому вважалося, що методом порошкової металургії неможливо отримати безпористі вироби з механічними властивостями, які не поступаються деталям, отриманим звичайним способом.

Однак удосконалювалася технологія порошкового виробництва. Почали застосовувати багаторазове пресування, що чергується зі спіканням, методи гарячого динамічного пресування, освоїли термічну та хіміко-термічну обробку спечених виробів. Все це дозволяє отримувати металокерамічні вироби, що мають достатню міцність, пластичність, твердість з незначною кількістю залишкових пор, тобто. вироби з такими ж властивостями, як із литих металів.

При виготовленні конструкційних деталей металокерамічним методом забезпечується не тільки одержання виробів заданої форми та розмірів, а й зменшення витрати основних матеріалів, скорочення до мінімуму додаткової механічної обробки, можливість механізації та автоматизації виробничих процесів та зниження трудомісткості виготовлення. Незважаючи на суттєві

переваги, питання про виготовлення деталей машин та приладів порошковим методом визначається, виходячи здебільшого з економічних міркувань, і головну роль тут відіграє висока вартість прес-форм.

Серед конструкційних матеріалів, які виготовляються методом порошкової металургії, – шестерні, компресорні лопатки, заглушки, трійники, втулки, храповики, накидні гайки, фланці та інші деталі.

При виготовленні шестерень традиційними методами лиття та механічної обробки у стружку відходить до 60% високоякісного металу. Водночас це трудомісткий процес, що вимагає високої кваліфікації робітників. Метод порошкової металургії дозволяє в основному усунути зазначені недоліки і навіть має деякі додаткові переваги, які полягають у виготовленні шестерень з певною пористістю (5 ... 15%) та просочуванні їх мастилом, яке з вільним графітом, що є в спеченій шестірні, утворює колоїдно-графітове мастило, утримуване в порах силами поверхневого натягу. Виступаючи на робочій поверхні при експлуатації мастило забезпечує самозмащування шестірні. Завдяки наявності пор, просочених мастилом, зменшується зношування та знижується шум шестерень під час роботи [28, 29].

Поршневі кільця зазвичай виготовляють із високоякісного сірого чавуну. При виробництві поршневих кілець велика увага приділяється збільшенню терміну їхньої служби, а водночас і довговічності двигуна. З цією метою застосовують різні технологічні методи: пористе хромування, легування чавуну, азотування, виготовлення поршневих кілець із високоякісного чавуну зі сферичною формою графіту або з литої графітизованої сталі.

Існує ряд варіантів виготовлення поршневих кілець металокерамічним методом. Основні переваги перед звичайними способами виготовлення такі: 1) різко скорочується втрата металу і трудовитрати; 2) менша залишкова деформація; 3) менше відношення модуля пружності до межі міцності, наслідком чого є велика довговічність та краща пристосованість до деформацій циліндра. Для підвищення зносостійкості металокерамічних кілець їх іноді виготовляють двошаровими (внутрішній шар – із залізного відновленого порошку з додаванням 1,1% графіту та 1,5% міді; у зовнішньому шарі вміст

графіту збільшують до 3,5% і вводять до 6% хрому) [30].

V. Практична частина

1. Забезпечую учням можливість ретельно розглянути та доторкнутися до зразків різних видів матеріалів із порошків, таких як порошкові метали, композити на основі порошків тощо.

Проводжу демонстрацію властивостей цих матеріалів: міцність, структуру, вагу, термічну та електричну провідність.

Учні мають описати, які саме характеристики роблять ці матеріали корисними для електротехніки та конструкцій. Які можливості та переваги мають такі матеріали у порівнянні з традиційними матеріалами, які більш відомі.

2. Розв'язати кросворд

По горизонталі

1. Магнітно-м'який металокерамічний матеріал сплаву заліза з кремнієм і алюмінієм (*Альсифар*).

2. Пластмасова пластифікуюча добавка у залізоалюмінієвому порошку (*Дурофен*).

3. Високоелектропровідний метал, який використовують для виготовлення контактних матеріалів (*Срібло*).

4. Структура матеріалу розмір частинок у якій не перевищує 1 мкм (*Дрібнодисперсна*).

5. Металокерамічні магнітно-тверді сплави із вмістом кобальту понад 15% (*Магніко*).

По вертикалі

1. Матеріал, який дозволяє зменшити налипання і приварювання виробів під час роботи та знизити коефіцієнт тертя у розривних контактах, контактних кільцях, щітках електромашин (*Графіт*).

2. Високоміцний метал, який використовують при виготовленні псевдосплавів для електричних контактів (*Молібден*).

3. Металокерамічні магнітно-тверді сплави, які містять 5...15% Al та 15...35% Ni (*Альні*).
4. Метод виготовлення металокерамічних контактів (*Пресування*).
5. Етап виготовлення порошків металів (*Сушіння*).
6. Магнітно-м'який металокерамічний матеріал сплаву заліза з нікелем (*Пермалой*).

														4					
						3	1												
			2											3					
2																			
												6							
	1																		
4								5											
						5													

VI. Домашнє завдання

Порівняйте властивості та застосування спечених матеріалів із порошків і традиційних матеріалів (наприклад, металу чи пластику). Спробуйте знайти приклади ситуацій, коли один тип матеріалу переважає інший.

Розгляньте будь-який предмет побуту вдома (наприклад, телефон, автомобіль, побутову техніку) і дослідіть, чи використовуються в ньому спечені матеріали чи вироби із порошків. Якщо так, поясніть, для чого саме це зроблено.

Підготуйте коротке есе на тему: «Роль і вплив спечених матеріалів на технологічний прогрес».

2.3. Розробка завдань для закріплення вивченого матеріалу

1. Галузь науки і техніки, яка охоплює виробництво металевих порошків, а також виробів з них або їх сумішей з неметалічними порошками ...
2. Сукупність частинок металу, сплаву та металоподібного з'єднання розмірами до міліметра, що знаходяться у взаємному контакті та не пов'язані між собою ...
3. Гетерогенна композиція металів або сплавів з однією або декількома керамічними фазами відносно малої взаємної розчинності фаз називається ...
4. САП – дисперсно-зміцнені спечені ...
5. У виробництві ниток розжарювання використовують ...
6. Група матеріалів, утворених тугоплавкими перехідними металами з металоїдами (карбіди, нітриди, бори́ди, гідриди, силіциди) називають ...
7. Метали, температура плавлення яких вища, ніж у заліза називають ...
8. Спечені порошкові композиції, основою яких є карбіди тугоплавких металів (W, Ta, Ti, V, Nb), а сполучним елементом – метал із нижчою температурою плавлення (кобальт, нікель) називають ...
9. Вироби з керметів отримують шляхом ... порошкових заготовок з подальшим ... у відновлювальній або нейтральній атмосфері.
10. Порошок вольфраму одержують шляхом ... триоксиду вольфраму ...
11. Зі збільшенням вмісту кобальту у сплавах вольфрамової групи ... міцність, але ... твердість та зносостійкість.

12. Введення титану у сплавах вольфрамової групи сприяє стружки з різцем.

13. Порошки кобальту отримують ... методом, що забезпечує високий ступінь ...

14. Бітуміноване пористе залізо застосовують для ... стиків трубопроводів.

15. Неметалічні фрикційні матеріали мають, як правило, ... основу, просочену олією, ..., бакелітом або ...

16. Матеріали, які мають велику коерцитивну силу, високу залишкову магнітну індукцію і малу магнітну проникність називають ...

17. Недеформовані сплави типу Альні містять ...% Al та ...% Ni.

18. Сплави заліза, алюмінію, нікелю із вмістом кобальту 3...15% називають «...».

19. Сплави заліза, алюмінію, нікелю із вмістом кобальту понад 15% називають «...».

20. Максимальну магнітну енергію мають ...-... сплави.

21. Вироби з максимальною магнітною проникністю виготовляють із сплавів типу ...

22. У маркуванні сплавів перша літера вказує

23. Спікання пористих матеріалів призводить до

- а) подрібнення частинок;
- б) зменшення пористості;
- в) укрупнення частинок.

24. Вказати метод отримання металу $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{C} = \text{Fe} + \text{CO}_2$?

- а) фізико-хімічний;
- б) фізико-механічний;
- в) хіміко-металургійний.

25. Кування порошкового матеріалу призводить до?

- а) пом'якшення;
- б) підвищення корозійної стійкості;
- в) отримання безпористого матеріалу.

26. Введення у метали дрібнодисперсних частинок тугоплавких кисневих сполук Al_2O_3 , SiO_2 , ThO_2 , HfO_2 , YO_2 , Cr_2O_3 , TiO_2 призводить до?

- а) підвищення корозійної стійкості;
- б) окислення;
- в) підвищення жароміцності.

27. Металоїди додають до порошкових матеріалів для?

- а) покращення зв'язування металеві складовою з керамічною;
- б) підвищення електропровідності;
- в) підвищення теплопровідності.

28. Ріжучий інструмент, виготовлений з вуглецевої інструментальної сталі, може надійно працювати при розігріванні кромки до;

- а) $150-200^\circ\text{C}$
- б) $200\ldots 300^\circ\text{C}$;
- в) $300-400^\circ\text{C}$.

29. Швидкорізальна сталь витримує без істотного зниження твердості розігрів до?

- а) 200-300°C
- б) 300-400°C;
- в) 500...600°C.

30. Для отримання карбіду вольфраму порошок вольфраму змішують з вуглецем і нагрівають в атмосфері водню або CO + N₂ при температурі?

- а) 1200-1300°C
- б) 1350-1600°C;
- в) 1600-1800°C.

31. Матеріал, який отримують з грубих залізних порошків без попереднього пресування спіканням при 1200...1350°C з подальшим просоченням бітумами?

- а) кермет;
- б) ферит;
- в) зінтерит.

32. Оптимальний вміст графіту у порошкових виробках на залізній основі становить?

- а) 7...9%;
- б) 2...5%;
- в) 1-3%.

ВИСНОВОК

Проаналізовано класифікацію матеріалів одержаних методом порошкової металургії, їхні основні властивості, переваги та області практичного застосування.

З'ясовано, що до суттєвих переваг порошкової металургії можна віднести: 1) можливість отримання виробів та матеріалів з такими фізичними, хімічними, механічними та технологічними властивостями, які неможливо досягти традиційними методами; 2) можливість отримання матеріалів високої чистоти та будь-якого заданого хімічного складу; 3) можливість використання відходів металургійного та машинобудівного виробництва у вигляді окалини та стружки; 4) можливість знизити витрати дорогих металів; 5) виготовлення виробів методом порошкової металургії менш трудомістке, ніж способом лиття та механічної обробки. Однак є й тимчасові проблеми, що гальмують виробництво спечених матеріалів: висока вартість порошків та прес-форм. У зв'язку з цим метод порошкової металургії рентабельний лише за масового виробництва.

3. Розроблено тематичне планування факультативу із технологій «Перспективні матеріали з порошків», а також елементи методичного забезпечення у вигляді трьох розширених конспектів занять та завдань для закріплення вивченого матеріалу, що сприятиме ефективному засвоєнню нових знань, розвитку пізнавального інтересу до сучасних технологій одержання порошкових матеріалів та формуванню технологічної культури учнів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Степанчук А.Н., Білік І.І., Бойко Л.А. Технологія порошкової металургії. Київ: Вища школа, 1989. 416 с.
2. Кіпарісов С.С., Лібенсон Г.А. Порошкова металургія [навч. посібн. для вузів]. Харків: Металургія, 1991. 432 с.
3. Буренніков Ю.А., Сивак І.О., Сухоруков С.І. Нові матеріали та композити: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2013. 161 с.
4. Гіршов В.Л., Котов С.А., Цеменко В.Н. Сучасні технології у порошковій металургії: навч. посібн. Київ: Вища школа, 2010. 385 с.
5. Радомісельський І.Д., Щербань Н.І., Сердюк Г.Г. Конструкційні порошкові матеріали. Київ: Техніка, 1985. 152 с.
6. Степанчук А.М. Теоретичні та технологічні основи отримання порошків металів, сплавів і тугоплавких сполук: Підручник. Київ: НТУУ «КПІ», 2006. 353 с.
7. Рослик І.Г., Ковзик А.М., Внуков О.О. Основи порошкової металургії. Частина 1. Виробництво порошків. Навч. Посібник. Дніпро: НМетАУ, 2019. 50 с.
8. Порошкова металургія. Матеріали, технологія, властивості, області застосування. Довідник / І.М. Федорченко та ін. Київ, Наукова думка, 1985. 624 с.
9. Композитні та порошкові матеріали: навчальний посібник / П.П. Савчук, В.П. Кашицький, М.Д. Мельничук, О.Л. Садова; за заг. ред. П.П. Савчука. Луцьк: Видавець: ФОП Теліцин О.В., 2017. 368 с.
10. Буренніков Ю. А., Сивак І.О., Сухоруков С.І. Нові матеріали та композити: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2013. 161 с.
11. Оглезнёва С.А. Матеріалознавство та технології сучасних і перспективних матеріалів: навч. посібн. Харків: Металургія, 2012. 307 с.
12. Степанчук А.М. Теорія і технологія пресування порошкових матеріалів: Навчальний посібник. Київ: Центр навчальної літератури. 2017. 336 с.
13. Гропянов А.В., Ситов Н.Н., Жукова М.Н. Порошкові матеріали: навч.

посібн. Харків: Металургія, 2017. 74 с.

14. Аналіз технологій отримання пористих виробів / В.Д. Рудь, Ю.С. Повстяна, І.В. Савюк, Л.М. Самчук. *World Science*. 2016. № 8(12), Vol. 1. С. 32-37.

15. Гулієва Н. М. Технологічний процес виготовлення пористих проникних матеріалів. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні*. 2015. № 822. С. 78-85.

16. Федорченко І.Н., Пугіна Л.І. Композиційні спечені антифрикційні матеріали. Київ: Наук. думка, 1980. 404 с.

17. Степанчук А.М., Мініцький А.В. Основи отримання порошкових та композиційних матеріалів. Ч. II. Пресування, спікання, технологія. Київ: НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», 2010. 112 с.

18. Феноменологічні теорії пресування порошків / Штерн М.Б. та ін. Київ: Наук. думка, 1982. 140 с.

19. Власенко А.М. Матеріалознавство та технологія металів: підручник для здобувачів професійної (професійно-технічної) освіти. Київ: Літера ЛТД, 2019. 224 с.

20. Антифрикційні матеріали. URL: <https://joiner.org.ua/osnovy-materialoznavstva/antyfryktsiini-materialy.html>

21. Добровольський О. Косенко В. Сучасні антифрикційні матеріали. *Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини*: Всеукр. зб. наук. праць. Київ: КНУБА, 2016. Вип. 88. С. 55-63

22. Добровольський О., Косенко В. Сучасні фрикційні матеріали. *Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини*. 2017. №90. С. 42-48.

23. Сучасні фрикційні матеріали. URL: <https://paperity.org/p/292941764/suchasni-friktsiini-materiali>

24. Колесов С.М., Колесов І.С. Електроматеріалознавство (Електротехнічні матеріали). Підручник. Київ: Дельта, 2008. 516 с.

25. Загальні відомості про металокерамічні матеріали. URL: <https://studfile.net/preview/7087167/page:10/>

26. Магнітно-м'які матеріали. URL:
<https://jak.koshachek.com/articles/magnitno-m-jaki-materiali.html>
27. Поплавко Ю.М., Воронов С.О., Якименко Ю.І. Фізичне матеріалознавство. Навчальний посібник. Київ: НТУУ «КПІ», 2011. Ч. 3. Провідники та магнетики. 372 с.
28. Середа Б.П. Нові матеріали в металургії. Навчальний посібник. Запоріжжя: Видавництво Запорізької державної інженерної академії, 2009. 395 с.
29. Конструкційні порошкові матеріали. URL:
<https://studfile.net/preview/9160312/page:12/>
30. Порошкові конструкційні матеріали. URL:
http://www.ni.biz.ua/2/2_2/2_24237_poroshkovie-konstruktsionnie-materiali.html