

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

з виконання практичних робіт
з навчальної дисципліни “ Порошкові композиційні матеріали”
для студентів денної та заочної форми навчання
за спеціальністю G10 “Металургія”

Затверджено редакційно–
видавничою радою університету, протокол
№ 2 від 26.06.2025 р.

Харків
НТУ «ХП»
2025

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Порошкові композиційні матеріали» для студентів денної та заочної форми навчання за спеціальністю G10 “Металургія” рівня магістр / Уклад. : Берлізева Т.В.. – Харків: НТУ «ХПІ», 2025. – 22 с.

Укладач: Берлізева Т.В.

Рецензент: Акімов О.В..

Кафедра ливарного виробництва

ВСТУП

Методичні вказівки призначені для студентів денної та заочної форми навчання за спеціальністю G10 “Металургія” рівня магістр.

Практичні роботи являють собою невеликі дослідження, що дозволяють студентам більш детально ознайомитися з технологіями одержання металів та сплавів для ливарного виробництва.

Кожна практична робота містить перелік матеріалів, короткий виклад теоретичних відомостей і методів одержання, порядок виконання, що допомагає студентам правильно і усвідомлено виконати практичну частину роботи і зробити висновки.

Ця методичка призначена для проведення практичних робіт з курсу "Порошкові композиційні матеріали". Вона має на меті закріпити теоретичні знання студентів, отримані на лекціях, та набуті практичних навичок у виготовленні та дослідженні порошкових композиційних матеріалів. Виконання практичних робіт допоможе краще зрозуміти взаємозв'язок між складом, технологією отримання, структурою та властивостями цих унікальних матеріалів.

У процесі виконання практичних робіт студенти навчаться:

- Формулювати тему, мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження.
- Працювати з науковими джерелами, здійснювати пошук та аналіз інформації.
- Вибирати та обґрунтовувати методи дослідження.
- Оформлювати результати наукових досліджень відповідно до академічних стандартів.
- Презентувати та обговорювати власні наукові напрацювання.

Загальні вимоги до виконання практичних робіт

1. Підготовка: Перед кожною практичною роботою студентам необхідно ознайомитися з теоретичним матеріалом за відповідною темою (лекції, рекомендована література).

2. Самостійність: Роботи виконуються студентами індивідуально або в малих групах (залежно від завдання та вказівки викладача) з дотриманням принципів академічної доброчесності.

3. Оформлення: Практичні роботи оформлюються згідно з вимогами,

викладеними у відповідних розділах методички та вимогами кафедри до оформлення наукових робіт.

4. **Захист:** Виконані практичні роботи підлягають захисту (усне обговорення, презентація, тестування) під час практичних занять.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПОРОШКОВІ КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

Порошкові композиційні матеріали (ПКМ) – це матеріали, що складаються з двох або більше компонентів з різними фізико-хімічними властивостями, які об'єднані на мікро- або нанорівні за допомогою технологій порошкової металургії. На відміну від традиційних композитів, де компоненти часто вводяться в розплав або зв'язуються полімерною матрицею, ПКМ формуються шляхом змішування порошків, їхнього компактування та подальшого спікання.

Основні переваги ПКМ:

- Можливість створення унікальних комбінацій властивостей: поєднання твердості одних компонентів з пластичністю інших, високої зносостійкості з низьким коефіцієнтом тертя тощо.
- Висока однорідність структури: завдяки рівномірному розподілу компонентів у порошковій суміші.
- Близька до остаточної форми виробу: що дозволяє зменшити витрати на механічну обробку.
- Можливість використання матеріалів, що не змішуються в рідкому стані: наприклад, кераміка-метал.
- Економія матеріалів: за рахунок мінімальних відходів виробництва.

Класифікація ПКМ за типом матриці та наповнювача:

- Металеві матриці з неметалевими наповнювачами:
 - Дисперснозміцнені матеріали: частинки, що зміцнюють, мають розмір менше 1 мкм (наприклад, ОКСАЛ – алюміній, зміцнений оксидом алюмінію).
 - Волокнисті матеріали: армовані волокнами (наприклад, метал, армований вуглецевими або керамічними волокнами).
 - Гранульовані матеріали: матриця зміцнена великими частинками (наприклад, тверді сплави на основі WC-Co).
- Керамічні матриці з металевими або керамічними наповнювачами:
 - Кермети: композити, що поєднують керамічну матрицю з металевим зв'язувальним (наприклад, TiC-Ni).
- Полімерні матриці з металевими, керамічними або полімерними наповнювачами: (хоча цією групою зазвичай займаються в курсах полімерних матеріалів, вона також може бути отримана порошковими методами).

Основні стадії технологічного процесу отримання ПКМ:

1. Приготування порошків: отримання вихідних порошків необхідного складу, розміру та форми частинок (розпилення, відновлення, подрібнення тощо).
2. Змішування порошків: рівномірний розподіл компонентів у суміші.
3. Компактування (пресування): формування заготовки необхідної форми під тиском.
4. Спікання: високотемпературна обробка, під час якої відбувається формування міцного зв'язку між частинками порошків та ущільнення матеріалу.
5. Додаткові види обробки: калібрування, просочення, термічна обробка тощо.

Практична робота 1. ВИВЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕТАЛЕВИХ ПОРОШКІВ

Мета

Ознайомитися з основними властивостями металевих порошків, що використовуються для отримання композиційних матеріалів, та навчитися визначати їхні характеристики.

Теоретичні відомості

Властивості вихідних порошків значною мірою визначають процес формування матеріалу та кінцеві властивості ПКМ. До основних властивостей порошків належать:

- Хімічний склад: визначає фізико-хімічні та механічні властивості майбутнього матеріалу.
- Розмір і форма частинок: впливають на насипну густину, текучість, пресованість і спікливість порошку.
- Гранулометричний склад: розподіл частинок за розмірами.
- Насипна густина: маса порошку в одиниці об'єму в нещільній (ненасипаній) формі. Впливає на заповнення прес-форми.
- Уявна густина: маса порошку в одиниці об'єму після вільного насипання.
- Текучість: здатність порошку вільно переміщатися та заповнювати прес-форму. Залежить від форми, розміру частинок, вологості.
- Пресованість (компактувальність): здатність порошку до ущільнення під тиском.
- Питома поверхня: сумарна площа поверхні всіх частинок порошку в одиниці маси або об'єму. Впливає на інтенсивність спікання.
- Вологість: вміст води в порошку.

Порядок виконання роботи

1. Визначення розміру та форми частинок:

- Розглянути надані зразки металевих порошків (наприклад, заліза, міді, нікелю) під оптичним мікроскопом.
- Оцінити середній розмір та форму частинок (сферична, дендритна, неправильна тощо). Замалювати типові частинки.
- *Обладнання:* Оптичний мікроскоп, мікрометрична лінійка.

2. Визначення насипної та уявної густини:

- Використовуючи спеціальний прилад (наприклад, воронку Холла), визначити об'єм певного порошку.
- Зважити порошок.
- Розрахувати насипну густину за формулою: $\rho_H = m/V_H$
- Для визначення уявної густини порошок вільно насипається в мірний циліндр.
- Зважити порошок.
- Розрахувати уявну густину за формулою: $\rho_U = m/V_U$
- *Обладнання:* Вимірjuвальний циліндр, ваги, воронка Холла.

3. Визначення текучості порошку:

- Використовуючи воронку Холла, виміряти час витікання певної маси порошку через калібрований отвір.
- Порівняти текучість різних порошків.
- *Обладнання:* Воронка Холла, секундомір, ваги.

4. Аналіз гранулометричного складу (за наявності сит):

- Провести ситовий аналіз, використовуючи набір стандартних сит з різними розмірами вічок.
- Зважити залишки порошку на кожному ситі та розрахувати відсотковий вміст фракцій.
- Побудувати криву гранулометричного складу.
- *Обладнання:* Набір сит, ваги, вібраційний стіл (опціонально).

Контрольні запитання

1. Які основні властивості металевих порошків?
2. Як розмір і форма частинок впливають на текучість та насипну густину?
3. Чому важливо знати гранулометричний склад порошку?
4. Яке значення має вологість порошку для подальшої обробки?
5. Як визначається насипна густина та текучість порошку?

Практична робота №2. СПІКАННЯ ПОРОШКОВИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи

Вивчити основні закономірності процесу спікання порошкових композиційних матеріалів та дослідити вплив параметрів спікання на їхню густину.

Теоретичні відомості

Спікання – це високотемпературний процес, що відбувається при температурі нижче температури плавлення основного компонента, під час якого порошкові частинки з'єднуються між собою, утворюючи компактний матеріал з певними властивостями. Рушійною силою спікання є надлишкова поверхнева енергія порошку.

Основні стадії спікання:

1. Початкова стадія: утворення шийок (містків) між сусідніми частинками.
2. Проміжна стадія: ріст шийок, ущільнення матеріалу, утворення безперервного каркаса з частинок.
3. Кінцева стадія: ізоляція пор, подальше ущільнення, ріст зерен.

Механізми масопереносу при спіканні:

- Дифузія (об'ємна, поверхнева, по межах зерен): основний механізм, що забезпечує ущільнення.

- В'язка течія: характерна для аморфних матеріалів.

- Випаровування-конденсація: значущий при високих температурах.

Фактори, що впливають на спікання:

- Температура: підвищення температури прискорює дифузійні процеси та інтенсифікує спікання.

- Час витримки: збільшення часу призводить до більшого ущільнення.

- Середовище: спікання може проводитись у вакуумі, захисних атмосферах (водень, азот, аргон) або на повітрі (для деяких матеріалів).

- Тиск: у разі гарячого пресування або гарячого ізостатичного пресування тиск є додатковим фактором ущільнення.

- Розмір частинок: дрібніші частинки мають більшу питому поверхню і швидше спікаються.

- Хімічний склад: наявність легуючих елементів може впливати на температуру спікання та кінетику процесу.

Порядок виконання роботи

1. Підготовка зразків:

- Виготовити кілька зразків (пресовок) одного складу (наприклад, залізо-графіт, мідь-нікель) однакового розміру та маси. Пресування провести на гідравлічному пресі з певним тиском.

- Обладнання: Гідравлічний прес, прес-форма, ваги.

2. Проведення спікання:

- Розділити пресовки на групи. Кожну групу спікати за різних температурних режимів або з різним часом витримки (наприклад, група 1: T_1 , t_1 ; група 2: T_2 , t_1 ; група 3: T_1 , t_2).

- Спікання проводити в електричній печі в захисній атмосфері або вакуумі (якщо є така можливість).

- Зафіксувати параметри спікання для кожної групи.

- Обладнання: Електрична піч, тиглі, термопари, система подачі газу (якщо використовується).

3. Визначення густини спічених зразків:

- Після охолодження зразків, визначити їхню масу та об'єм (методом гідростатичного зважування або за геометричними розмірами).

- Розрахувати фактичну густину кожного зразка за формулою: $\rho_{\text{факт}} = m/V$.

- Розрахувати відносну густину: $\rho_{\text{відн}} = (\rho_{\text{факт}}/\rho_{\text{теорет}}) \cdot 100\%$, де $\rho_{\text{теорет}}$ — теоретична густина матеріалу (розраховується за правилом сумішей).

- Побудувати графіки залежності відносної густини від температури та часу спікання.

- Обладнання: Ваги, ємність з водою, мікрометр, штангенциркуль.

Контрольні запитання

1. Що таке спікання і які процеси відбуваються під час нього?
2. Які основні механізми масопереносу діють при спіканні?
3. Як температура і час спікання впливають на густину матеріалу?
4. Яке значення має захисне середовище під час спікання?
5. Як розрахувати відносну густину спіченого матеріалу?

Практична робота №3. ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРОШКОВИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи

Ознайомитися з методами дослідження структури та механічних властивостей порошкових композиційних матеріалів.

Теоретичні відомості

Дослідження структури: Мікроструктура ПКМ є ключовим фактором, що визначає їхні властивості. Вона включає розмір та форму зерен, розподіл фаз, наявність та морфологію пор, а також наявність інтерметалідних сполук або твердих розчинів.

- Оптична мікроскопія: дозволяє вивчати розмір зерен, розподіл фаз, наявність дефектів (пор).
- Скануюча електронна мікроскопія (СЕМ): забезпечує високу роздільну здатність та можливість аналізу хімічного складу (за допомогою EDS/EDX).

Механічні властивості: Дослідження механічних властивостей дозволяє оцінити експлуатаційні характеристики ПКМ.

- Твердість: опір матеріалу пластичній деформації при місцевому навантаженні (за Віккерсом, Роквеллом, Брінеллем).
- Міцність на стиск/розтяг: здатність матеріалу витримувати навантаження без руйнування.
- Зносостійкість: опір матеріалу зношуванню.
-

Порядок виконання роботи

1. Підготовка шліфів:

- Відрізати зразки від спічених матеріалів, отриманих у практичній роботі №2.
- Зашліфувати та відполірувати поверхню зразків для мікроструктурного аналізу.
- Провести травлення шліфів відповідним реагентом для виявлення структури.
- *Обладнання:* Відрізний верстат, шліфувальний верстат, полірувальний верстат, травильні розчини.

2. Мікроструктурний аналіз:

- Вивчити мікроструктуру підготовлених шліфів за допомогою оптичного мікроскопа.
- Звернути увагу на розмір зерен, наявність пор, розподіл фаз (наприклад, для твердих сплавів – карбідів у зв'язці).
- Зробити фотографії типових ділянок мікроструктури.
- (За можливості) Провести аналіз за допомогою СЕМ для детальнішого вивчення морфології та хімічного складу фаз.
- *Обладнання:* Оптичний мікроскоп, комп'ютер з програмним забезпеченням для аналізу зображень, СЕМ (якщо є).

3. Визначення твердості:

- Виміряти твердість зразків за методом Віккерса або Роквелла.
- Провести кілька вимірювань для кожного зразка і розрахувати середнє значення.
- Проаналізувати вплив параметрів спікання на твердість.
- *Обладнання:* Твердомір Віккерса/Роквелла.

4. Аналіз даних та висновки:

- Порівняти отримані результати мікроструктурного аналізу та вимірювань твердості для зразків, спічених за різних режимів.
- Зробити висновки про взаємозв'язок між технологічними параметрами, структурою та властивостями порошкових композиційних матеріалів.

Контрольні запитання

1. Які методи використовуються для дослідження мікроструктури ПКМ?
2. На що слід звернути увагу при вивченні мікроструктури порошкового матеріалу?
3. Які механічні властивості є найбільш важливими для ПКМ?
4. Як визначається твердість матеріалу за методом Віккерса?
5. Поясніть зв'язок між відносною густиною, пористістю та механічними властивостями ПКМ.

Практична робота 4. ПРЕСУВАННЯ ПОРОШКОВИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи

Набути навичок формування порошкових пресовок та дослідити вплив тиску пресування на густину та міцність заготовок.

Теоретичні відомості

Пресування (компактування) – це процес ущільнення порошку під дією зовнішнього тиску з метою отримання заготовки (пресовки) заданої форми, розмірів і достатньої міцності для подальшої обробки.

Механізми ущільнення при пресуванні:

1. Перегрупування частинок: При малих тисках частинки займають більш компактне положення.
2. Пластична деформація частинок: При збільшенні тиску відбувається деформація частинок, що призводить до руйнування оксидних плівок і збільшення площі контакту.
3. Руйнування частинок: При дуже високих тисках крихкі частинки можуть руйнуватися, заповнюючи порожнечі.

Фактори, що впливають на пресування:

- Тиск пресування: Найважливіший фактор, що прямо впливає на густину, міцність пресовки та її усадку при спіканні. Існує оптимальний тиск, після якого подальше збільшення не дає значного приросту густини, але може призвести до розтріскування пресовки.
- Властивості порошку: Форма, розмір, пластичність матеріалу. Пластичні порошки (мідь, залізо) легше пресуються, ніж крихкі (кераміка, деякі інтерметаліди).
- Мастильні добавки: (Стеарати, парафін, графіт) знижують тертя між частинками та стінками прес-форми, покращуючи ущільнення та полегшуючи виштовхування пресовки.
- Швидкість пресування: Занадто швидке пресування може викликати пружне післядії (розширення пресовки після зняття тиску) та розтріскування.
- Конструкція прес-форми: Впливає на рівномірність розподілу тиску.

Характеристики пресовок:

- Густина пресовки ($\rho_{\text{пр}}$): Маса пресовки до об'єму.

- Міцність пресовки ("сирий" міцність): Опір крихкому руйнуванню. Важлива для транспортування та подальших операцій.
- Розмірна точність: Відхилення від заданих розмірів.

Порядок виконання роботи

1. Підготовка порошкових сумішей:

○ Підготуйте кілька порцій однієї порошкової суміші (наприклад, чистий залізний порошок, або суміш заліза з 0.5% графіту як мастила) заданої маси для кожного зразка.

- Ретельно перемішайте суміш.
- Обладнання: Ваги, ступка з товкачем або змішувач порошоків.

2. Виготовлення пресовок:

○ Використовуючи ручний або гідравлічний прес та прес-форму (наприклад, для отримання циліндричних або прямокутних зразків), виготовте серію пресовок.

○ Кожну пресовку формуйте при різних тисках пресування (наприклад, 200, 400, 600, 800 МПа).

- Забезпечте рівномірне засипання порошку в прес-форму.
- Зафіксуйте тиск пресування для кожного зразка.
- Обережно виштовхніть пресовки з прес-форми, намагаючись не пошкодити їх.

○ Обладнання: Гідравлічний прес, прес-форма, мікрометр/штангенциркуль для вимірювання розмірів пресовки.

3. Визначення густини та міцності пресовок:

○ Для кожної пресовки:

- Виміряйте масу (на аналітичних вагах).
- Виміряйте розміри (діаметр/довжину та висоту).
- Розрахуйте об'єм та густину пресовки: $\rho_{\text{пр}} = m_{\text{пр}} / V_{\text{пр}}$.

○ Для оцінки міцності пресовки:

▪ Визначити "сиру" міцність на стиск або згин на спеціальній машині для випробувань.

▪ Оцінити міцність візуально або шляхом обережного поводження, відзначивши, які пресовки витримують легкі маніпуляції, а які кришаться.

○ Побудуйте графік залежності густини пресовки від тиску пресування.

○ Обладнання: Аналітичні ваги, мікрометр/штангенциркуль, (машина для випробувань на стиск/згин).

Контрольні запитання

1. Які основні стадії відбуваються при ущільненні порошку під тиском?
2. Як тиск пресування впливає на густину пресовки та її міцність?
3. Для чого використовуються мастильні добавки при пресуванні?

Наведіть приклади.

4. Які проблеми можуть виникнути при занадто високому тиску пресування?
5. Чому важливо контролювати "сиру" міцність пресовки?

Практична робота 5. КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ТА СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ ПОРОШКОВИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи

Ознайомитися з основними методами контролю якості порошкових композиційних матеріалів та їхньою різноманітною сферою застосування в сучасній техніці.

Теоретичні відомості

Контроль якості ПКМ є життєво важливим на всіх етапах виробництва: від вхідного контролю порошків до фінального контролю готових виробів. Це дозволяє забезпечити відповідність матеріалу заданим технічним вимогам та запобігти дефектам.

Основні методи контролю якості:

1. Контроль вихідних порошків:

- Хімічний склад (спектральний аналіз, атомно-абсорбційна спектроскопія).
 - Гранулометричний склад (ситовий аналіз, лазерна дифракція, седиментаційний аналіз).
 - Форма частинок (оптична та електронна мікроскопія).
 - Насипна густина та текучість (стандартні методи).
 - Питома поверхня (метод БЕТ).
 - Вологість.
- #### **2. Контроль пресовок:**
- Густина та розміри.
 - "Сира" міцність.
- #### **3. Контроль спічених виробів:**
- Густина та пористість: Методи гідростатичного зважування, рентгенівська томографія.
 - Мікроструктура: Металографічний аналіз (розмір зерен, розподіл фаз, форма та розподіл пор, наявність дефектів).
 - Механічні властивості: Твердість (Віккерс, Роквелл), міцність на розтяг/стиск, ударна в'язкість, зносостійкість, опір втомі.
 - Розмірна точність: Вимірювання кінцевих розмірів.

- Нерозривний контроль: Ультразвуковий контроль, вихрострумний контроль, рентгенівська дефектоскопія (для виявлення внутрішніх дефектів, тріщин, неоднорідності).

Сфери застосування ПКМ:

- Автомобільна промисловість: Компоненти двигунів (втулки, шестерні, шатуни), гальмівні колодки, антифрикційні матеріали, фільтри.
- Аерокосмічна промисловість: Високотемпературні сплави, легкі конструкційні матеріали, компоненти двигунів та турбін, матеріали для теплового захисту.
- Медицина: Імпланти (титан, кобальт-хромові сплави), хірургічні інструменти, матеріали для протезування (через біосумісність та можливість контролю пористості).
- Електроніка та електротехніка: Магнітні матеріали, контакти, теплопровідні елементи, композити для радіаторів, електротехнічні контакти.
- Інструментальна промисловість: Тверді сплави (ріжучий інструмент, штампи), швидкорізальні сталі, матеріали для зносостійких покриттів.
- Фільтрація: Пористі матеріали для фільтрів рідин та газів.
- Підшипники ковзання: Самозмащувальні матеріали на основі міді з включеннями графіту.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомлення з методами контролю якості:

- Перегляньте стенди, презентації або відеоматеріали, що демонструють різні методи контролю якості (наприклад, роботу твердоміра, мікроскопа, принцип ультразвукового контролю).
- Обговоріть, які методи використовуються для яких цілей і на яких етапах виробництва.
- Обладнання: Навчальні матеріали, зразки контрольно-вимірювальних приладів.

2. Аналіз зразків готових виробів з ПКМ:

- Вивчіть надані зразки готових виробів з ПКМ (наприклад, втулка, шестерня, фільтр, твердосплавна пластина, компонент для медицини).
- Визначте матеріал та призначення кожного виробу.
- Обговоріть, які властивості є ключовими для даного застосування та як вони досягаються за допомогою порошкової металургії.
- Обладнання: Колекція зразків ПКМ, довідкові матеріали.

3. Виконання вимірювання твердості готових виробів:
 - Виберіть 2-3 зразки готових виробів і визначте їхню твердість (як у ПР №4).
 - Порівняйте отримані значення з довідковими даними для цих матеріалів.
 - Обладнання: Твердомір, зразки виробів.
4. Аналіз даних та висновки:
 - Складіть таблицю з основними характеристиками та сферами застосування розглянутих ПКМ.
 - Зробіть висновки про важливість контролю якості на всіх етапах виробництва ПКМ.
 - Обговоріть, як унікальні властивості ПКМ дозволяють їм знаходити застосування в таких різноманітних і вимогливих галузях.

Контрольні запитання

1. Які етапи контролю якості є обов'язковими у виробництві ПКМ?
2. Назвіть основні методи контролю хімічного та гранулометричного складу порошків.
3. Які методи нерозривного контролю можуть бути застосовані для ПКМ?
4. Наведіть 3-4 приклади застосування ПКМ у машинобудуванні, аерокосмічній та медичній галузях.
5. Чому ПКМ часто є кращим вибором порівняно з традиційними матеріалами для певних застосувань?

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТІВ

1. Кожна практична робота має бути оформлена як детальний звіт, що містить:
2. Титульний аркуш: повна назва навчального закладу, кафедри, дисципліни; тема роботи; номер групи; прізвище, ім'я та по батькові студента; дата виконання.
3. Мета роботи: чітке та лаконічне формулювання цілей експерименту.
4. Теоретичні відомості: стислий виклад основних теоретичних положень, що стосуються даної роботи. Це не переписування методички, а узагальнення ключових понять.
5. Експериментальна частина:
6. Перелік використаного обладнання та матеріалів.
7. Детальний опис методики проведення експерименту, включаючи всі вимірювання та технологічні параметри (температура, час, тиск, склад суміші тощо).
8. Результати вимірювань та спостережень:
9. Всі виміряні значення мають бути представлені у вигляді таблиць.
10. Розрахунки повинні бути чітко розписані, включаючи формули та одиниці вимірювання.
11. Графіки та діаграми мають бути акуратно побудовані з підписами осей та назвою.
12. Мікрофотографії повинні бути чіткими, з вказаним масштабом та коротким описом зображеної структури.
13. Обговорення результатів: Аналіз отриманих даних, порівняння з теоретичними знаннями або довідковими даними, пояснення закономірностей, виявлення можливих причин відхилень.
14. Висновки: Чітке, узагальнене формулювання висновків, що відповідають поставленій меті роботи.
15. Відповіді на контрольні запитання: Вичерпні відповіді на всі питання, наведені в методичці до відповідної практичної роботи.
16. Загальні вимоги: Звіт повинен бути написаний чітко, грамотно, без помилок. Усі рисунки та таблиці повинні бути пронумеровані та мати назви.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Скороход В.В., Солонін С.М., Воробйов М.К. Порошкова металургія. – К.: Либідь, 2005.
2. Григоренко В.Я. та ін. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів. – К.: Вища школа, 1998.
3. Фірстов С.О., Трефілов В.І., Крашенінніков Д.В. Фізичні основи міцності та пластичності. – К.: Наукова думка, 1984.
4. Рябцев І.І., Кузнецов В.Д. Порошкові матеріали і вироби. – К.: Техніка, 1986.
5. Писаренко В.Г., Савуляк В.В., Боковий Є.Ф., Завадюк С.В. Сучасні технології в машинобудуванні. Інжекційне лиття порошку: навч. посіб. – Вінниця: Вінницький національний технічний університет, 2019. – 242 с.
6. Гарнець В.М. Матеріалознавство. Підручник. К. : Кондор, 2024. 348 с.
7. Пушкарьова К.К. Матеріалознавство. К. : Ліра К, 2015. 592 с.
8. Більченко О.В., Дудка О.І., Лобода П.І. Матеріалознавство. К. : Кондор, ISBN 978-966-351-216-7.
9. Степанчук А.М. Теоретичні та технологічні основи отримання порошків металів, сплавів і тугоплавких сполук: Підручник. – К.: НТУУ „КПІ”, 2006. 353
10. Степанчук А.М. Теорія і технологія пресування порошкових матеріалів: Навчальний посібник. К. : НТУУ „КПІ”, 2009.

ЗМІСТ

Вступ.....	3
ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПОРОШКОВІ КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ.....	5
1. Практична робота 1. ВИВЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕТАЛЕВИХ ПОРОШКІВ.....	7
2. Практична робота 2. СПІКАННЯ ПОРОШКОВИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	9
3. Практична робота 3. ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРОШКОВИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ	11
4. Практична робота 4. ПРЕСУВАННЯ ПОРОШКОВИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	13
5. Практична робота 5. КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ТА СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ ПОРОШКОВИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	16
ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТІВ	19
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	20

Навчальне видання

Методичні вказівки до виконання

практичних робіт

з навчальної дисципліни “Порошкові композиційні матеріали”

для студентів денної та заочної форми навчання

за спеціальністю G10 Металургія

Українською мовою

Укладач

БЕРЛІЗЄВА Тетяна Вікторівна

Відповідальний за випуск

Роботу до видання рекомендувала

проф. *Акімов О. В.*

проф. Пономаренко О.І.

В авторській редакції

План 2025 р., поз. 666

Підп. до друку 2024 р. Гарнітура Times New Roman

Видавничий центр НТУ «ХП»,

вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5478 від

21.08.2017 р.

Електронна версія