

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисципліни
"Основи виробництва порошкових і композиційних матеріалів"
для студентів спеціальності 132 – "Матеріалознавство"
за спеціалізацією (освітньою програмою)
"Композиційні та порошкові матеріали, покриття"
денної форми навчання

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни "Основи виробництва порошкових і композиційних матеріалів" для студентів спеціальності 132 – "Матеріалознавство" за спеціалізацією (освітньою програмою) "Композиційні та порошкові матеріали, покриття" денної форми навчання / Укл.: І.П. Волчок, О.С. Петрашов. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 63 с.

Укладачі: І.П. Волчок, професор, д.т.н.
О.С. Петрашов, ст. викл.

Рецензент: О.А. Мітяєв, професор, д.т.н.

Відповідальний
за випуск: Т.В. Кавурко, ст. лаб.

Затверджено
на засіданні
НМК ФБАД
Протокол № 5
від "03" червня 2021 р.

Затверджено
на засіданні кафедри
"Композиційні матеріали,
хімія та технології"
Протокол №8
від "14" квітня 2021 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Правила роботи в лабораторіях кафедри КПМТ	5
Лабораторна робота 1. Отримання мідного порошку методом електролізу.....	6
Лабораторна робота 2. Отримання порошкових матеріалів в кульових млинах.....	12
Лабораторна робота 3. Визначення фізичних властивостей порошків титану і міді.....	16
Лабораторна робота 4. Визначення гранулометричного складу порошків методом ситового аналізу.....	22
Лабораторна робота 5. Мікроскопічний метод дослідження порошків.....	26
Лабораторна робота 6. Технологічні властивості порошків.....	33
Лабораторна робота 7. Визначення витрат зусилля пресування на тертя порошку об стінки прес-форми.....	45
Лабораторна робота 8. Вплив гранулометричного складу порошків титану і тиску пресування на структуру і властивості пресовок.....	49
Лабораторна робота 9. Розрахунки питомих міцності і нормальної пружності конструкційних матеріалів.....	55
Лабораторна робота 10. Вивчення будови і розрахунки механічних властивостей волокнистих композитів.....	61
Список рекомендованої літератури.....	63

ВСТУП

Лабораторні роботи до дисципліни "Основи виробництва порошкових і композиційних матеріалів" написані з урахуванням існуючого на сьогодні досвіду викладання вказаної і близьких до неї дисциплін в Національній металургійній академії України [1, 2], Національному університеті кораблебудування ім. адм. Макарова [3], Білоруському національному технічному університеті [4], Томському політехнічному університеті [5] і інших ВНЗ, а також з урахуванням досягнень порошкової металургії на рубежі XX і XXI століть [6-13], реалізації завдань сучасного металознавства, що стала основним способом, в області конструкційних матеріалів і нанотехнологій.

Опис кожної лабораторної роботи ділиться на дві частини. У першій частині подано стислі теоретичні відомості, необхідні для підготовки до виконання роботи, у другій – методичні вказівки щодо виконання роботи і складання письмового звіту про неї.

З метою набуття практичних навичок і більш повного засвоєння навчального матеріалу студентами, в практичних роботах закладені елементи активної самостійної роботи (вимір розмірів, визначення маси, побудова графічних залежностей, розрахунки властивостей конструкційних матеріалів і т.п.) і наукових досліджень (аналіз залежностей типу: структура-властивості, твердість-зносоустійкість та ін.). При цьому викладачеві і майстру виробничого навчання рекомендується розділити групу студентів на кілька підгруп, кожній підгрупі видати окреме завдання; після проведення випробувань і розрахунків представити результати, отримані кожною підгрупою, у вигляді узагальненого графіка або таблиці. Отримані результати аналізуються і записуються в звіти студентів.

Час, відведений на лабораторну роботу, коливається від 2 до 6 годин залежно від об'єму матеріалу, що вивчається, і його складності. Перед початком кожної лабораторної роботи проводиться інструктаж з техніки безпеки. Контроль знань (міра підготовки за темою лабораторної роботи) студентів рекомендується проводити у вигляді опитування за допомогою ЕОМ і співбесіди.

ПРАВИЛА РОБОТИ В ЛАБОРАТОРІЯХ КАФЕДРИ КІМТ

Лабораторні роботи проводяться з метою закріплення теоретичних знань, отриманих студентами на лекціях, ознайомлення їх з властивостями порошків і нанопорошків, технологічними прийомами порошкової металургії, будовою і властивостями композиційних матеріалів і покриттів, а також з метою прищеплення їм необхідних практичних навичок.

При підготовці до практичних робіт студент зобов'язаний ознайомитися з теорією даного процесу або явища і з методикою проведення роботи. На кожній практичній роботі студент піддається тестовому контролю. Результати виконаної роботи перевіряються викладачем, на їх підставі складається звіт, аналізуються дані та робляться висновки.

Під час роботи в лабораторії студент зобов'язаний дбайливо поводитися з приладами та обладнанням, виконувати правила техніки безпеки. У зв'язку зі специфічними особливостями процесів порошкової металургії, ливарного виробництва, нанесення захисних покриттів і обробки різанням (токсичність і пірофорність порошків, теплове випромінювання і бризки розплавленого металу, використання вибухонебезпечних газів, наявність рухомих з великими швидкостями механізмів та ін.) при виконанні практичних робіт студент зобов'язаний:

- проводити будь-які роботи тільки після інструктажу з техніки безпеки і підпису в спеціальному журналі;
- виконувати практичну роботу у встановлені терміни, в заданій послідовності, використовуючи матеріали і обладнання, зазначені в описі даної роботи або викладачем;
- перш, ніж приступити до роботи, ознайомитися з приладами та пристроями, що використовуються для її виконання, і з правилами виконання роботи;
- виконувати роботу в застібнутому на всі гудзики одязі, з заганим волоссям; при необхідності використовувати гумові рукавички, брезентові рукавиці, захисні окуляри і т.п.;
- при виявленні несправностей в обладнанні і приладах негайно припинити роботу і доповісти про це викладачеві або майстрові виробничого навчання;
- після закінчення роботи ретельно прибрати своє робоче місце.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1. ОТРИМАННЯ МІДНОГО ПОРОШКУ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОЛІЗУ (4 години)

Мета роботи

1. Вивчити процес отримання металевих порошків методом електролізу. 2. Досліджувати вплив щільності катодного струму на властивості отриманих опадів міді і вихід металу по струму.

Стислі теоретичні відомості

Електролітичний спосіб отримання металевих порошків знайшов широке поширення в промисловості. Цим методом можна отримувати порошки майже усіх металів. Важливою перевагою електролітичного методу є висока технічна чистота отриманого продукту, його хороша пресувальність і спікливість. Крім того, варіюючи склад ванн і режим електролізу, можна отримувати порошки з широким діапазоном властивостей.

Наприклад, насипна маса електролітичного мідного порошку залежно від умов його отримання може змінюватися від 0,4 до 4,0 г/см³. Основним недоліком електролітичного методу є висока вартість порошку.

У основі процесу отримання електролітичних порошків лежить розкладання водних розчинів або розплавлених солей металів при пропусканні через них постійного електричного струму.

Суть процесу електролізу полягає в наступному. У розчинах під дією розчинника молекули розчиненої речовини (електроліту) дисоціюють з утворенням протилежно заряджених часток-іонів. При пропусканні постійного електричного струму через розчин електроліту на катоді відбувається розряд іонів металу з утворенням осаду металу:



Електроосадження металу на катоді може здійснюватися з

утворенням щільних, рихлих або порошкоподібних осадів, що визначається умовами електролізу. На структуру катодного осаду впливають концентрація іонів металу в електроліті, щільність струму, температура, кислотність електроліту, домішки в електроліті та ін.

Концентрація іонів металу в електроліті повинна забезпечити швидкість виділення атомів металу на катоді, сумірну із швидкістю зростання кристалів. У цих умовах зростаючі кристали щільно примикають один до одного. Якщо концентрація іонів в електроліті мала, то між зростаючими кристалами виникають розриви і утворюється рихлий порошкоподібний осад.

Щільність струму. При постійній концентрації електроліту з підвищенням щільності струму, разом з розрядом металевих іонів, відбувається розряд іонів водню, що сприяє осадженню рихлого порошкоподібного осаду. Збільшення щільності струму в межах умов електролізу, сприяючих утворенню порошкового осаду, призводить до зменшення розміру часток отриманого порошку. Чим вище щільність струму, тим більше формується центрів кристалізації на одиницю площі катода, тим менше розмір часток порошку.

Температура. Зі збільшенням температури збільшується рухливість іонів металу, що сприяє підвищенню їх концентрації у поверхні катода, і, тим самим, створюються умови, що сприяють утворенню щільного осаду. У зв'язку з цим температуру електроліту необхідно підтримувати на оптимальному рівні – 40...60°C.

Кислотність електроліту. Підвищення кислотності електроліту сприяє збільшенню в ньому концентрації іонів водню і його виділенню на катоді. Останнє призводить до розпушування осаду і пониження виходу металу по струму.

Домішки в електроліті. До них можна віднести поверхнево-активні речовини, колоїди, перекис водню, розчинений кисень та ін. Поверхнево-активні речовини, колоїди створюють адсорбовані плівки на поверхні осідаючих кристалів і перешкоджають їх зростанню, що сприяє отриманню порошкоподібного осаду. Такий же вплив роблять окисники шляхом створення окисних плівок на поверхні часток катодного осаду.

Експериментально встановлена залежність між щільністю струму (i_k , А/см²) і концентрацією катіонів металу в електроліті (С, моль/л), що дозволяє визначати умови отримання осадів із заданими властивостями. Щільні осади виділяються при

$$i_k \leq 0,2 KC \quad (1.2)$$

При більш високій щільності струму або при меншій концентрації електроліту утворюється перехідна структура осадів і при

$$i_k \geq 0,2 KC \quad (1.3)$$

утворюються рихлі, порошкоподібні осад. Приведені співвідношення між i_k і C задовільно відбивають поведінку багатьох солей металів (сульфатів, хлоридів, нітриду і так далі) при значеннях K для різних солей, що коливаються від 0,5 до 0,9.

Залежно від умов електролізу, природи осаджуваного металу і електроліту можна отримати три типи катодних осадів, придатних для виробництва металевих порошків:

- тверді крихкі осад у вигляді щільних шарів, лусочок або гіллястих кристалів, які надалі можуть бути перетворені на порошок якими-небудь додатковими операціями;
- губчасті м'які осад – скупчення окремих дрібних кристалів, що легко піддаються розчиненню;
- рихлі (чорні) осад, що представляють високодисперсні порошки, що виходять в готовому виді безпосередньо при самому електролізі.

Деякі крихкі, але компактні електролітичні відкладення металів, що легко піддаються помелу, отримують при значних концентраціях водневих іонів в електроліті, низькому вмісті іонів металу і високій щільності струму. У таких умовах легко виходять крихкі осад нікелю, кобальту, заліза і хрому. Технологічний процес отримання порошків з компактного великокристалічного металу після електролізу зводиться до дроблення і подальшого подрібнення. Для видалення водню з часток металу порошок піддається відпалу.

Губчасті катодні осад (об'ємиста, рихла, ніздрювата маса, часто темно-сірого кольору) виходять при низькій щільності струму. Осад спочатку утворюється зазвичай в окремих точках катода, а потім поступово розростається по усій його поверхні. Це явище спостерігається при електровиділенні небагатьох металів. Особливу схильність до утворення губки відмічають у цинку, кадмію, олова, свинцю і сурми.

Найбільш зручний спосіб отримання великих кількостей

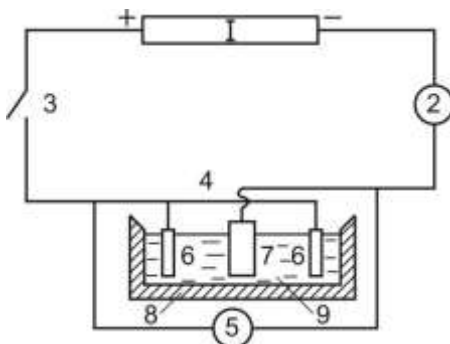
металевих порошків – безпосередньо в порошкоподібній формі. Такий вид осадів не вимагає розтирання або помелу. Рихлі порошкоподібні осади виходять на катоді при високій щільності струму. При цьому у більшості випадків на вигляд вони є аморфними відкладеннями, хоча при спостереженні під мікроскопом в них часто вдається виявити ясну висококристалічну структуру.

Устаткування, інструменти, матеріали

1. Джерело постійного струму.
2. Амперметр.
3. Вольтметр.
4. Приладдя: ванна для електролізу, мідні аноди, титановий катод, сушарна шафа, аналітичні ваги, термометр, електричний ключ, провідники, воронка, склянка, фільтрувальний папір, металевий шпатель, скляна паличка.
5. Розчини: електроліт складу $50 \text{ г/л CuSO}_4 + 150 \text{ г/л H}_2\text{SO}_4$, етиловий спирт.

Порядок виконання роботи

1. Зібрати електричний ланцюг установки для електролізу відповідно до схеми, приведеної на рис. 1.1.



- 1 – джерело постійного струму; 2 – амперметр; 3 – електричний ключ; 4 – електролізер; 5 – вольтметр; 6 – мідні аноди; 7 – титановий катод; 8 – ванна; 9 – електроліт

Рисунок 1.1 – Схема установки.

Електричний ключ 3 в початковому стані має бути розімкнений.

2. У відсутність катода заповнити електролізер електролітом до рівня на 15...20 мм нижче верхнього краю ванни.

3. Занурити на підвісці титановий катод в електроліт (у центральній частині електролізера) до рівня, що відповідає 10 см² зануреної поверхні електроду (поверхня вважається з обох боків електроду).

4. У присутності викладача включити джерело струму, замкнути електричний ланцюг установки за допомогою ключа 3 і встановити за допомогою амперметра 2 силу струму в ланцюзі, що відповідає щільності струму на катоді рівної 5 А/дм². Напруга на ванні має бути 2...3 В.

5. Вести електроліз впродовж 30 хвилин. Під час електролізу слід підтримувати постійною силу струму в ланцюзі і контролювати температуру електроліту. Необхідно також через 10...15 хвилин перемішувати розчин скляною паличкою для вирівнювання концентрації розчину в об'ємі ванни. Перемішування слід робити обережно, не зачіпаючи осад на катоді.

6. Після закінчення часу електролізу вимкнути струм, вийняти катод і ретельно очистити з нього шпателем порошок міді в склянку. У ту ж склянку змити порошок, що обсипався на дно ванни. Порошок кілька разів промити водою, потім етиловим спиртом, відфільтрувати і разом з фільтром просушити в сушарній шафі 10-15 хвилин при температурі 100...110°C. Визначити масу отриманого порошку на аналітичних вагах.

7. Виконати аналогічний експеримент при щільності струму на катоді 10 і 15 А/дм².

8. Визначити теоретичний вихід порошку відповідно до закону Фарадея за формулою:

$$q_r = EIt, \text{ г} \quad (1.4)$$

де E – електрохімічний еквівалент міді, рівний 1,1858 г/(А·ч);

I – сила струму, А;

t – час електролізу, ч.

9. Для кожного випробування визначити вихід за струмом (1.5) або коефіцієнт використання струму як відношення маси мідного

порошку (q_p), що утворився на катоді, до кількості, яка повинна була утворитися на катоді (q_T)

$$\eta = \frac{q_p}{q_T} * 100\% \quad (1.5)$$

Отримані дані занести в таблицю 1.1.

Таблиця 1.1 – Режим отримання і характеристики порошку міді, отриманого електролізом

№ п/п	Щіль- ність току, А/дм ²	Кон- центра- ція елек- тролі- ту, моль/л	Нап- руга, В	Темпе- ратура елек- тролі- ту, °С	Час елек- тролі- зу, ч	Вид осаду	Прак- тич- ний вихід, г	Теоре- тич- ний вихід, г
1								
2								
3								

Зміст звіту

1. Суть електролітичного методу отримання порошків, його достоїнства і недоліки.
2. Електрична схема установки.
3. Перелік чинників, що впливають на ефективність процесу.
4. Пояснення різниці між практичним і теоретичним виходами за струмом.
5. Висновки про вплив щільності струму на якість і кількість отриманого порошку.
6. Причини різниці між теоретичним і практичним виходом порошку.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2. ОТРИМАННЯ ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ В КУЛЬОВИХ МЛИНАХ (2 години)

Мета роботи

1. Вивчити принцип роботи кульового млина. 2. Освоїти методику розрахунків різних режимів роботи млина.

Стислі теоретичні відомості

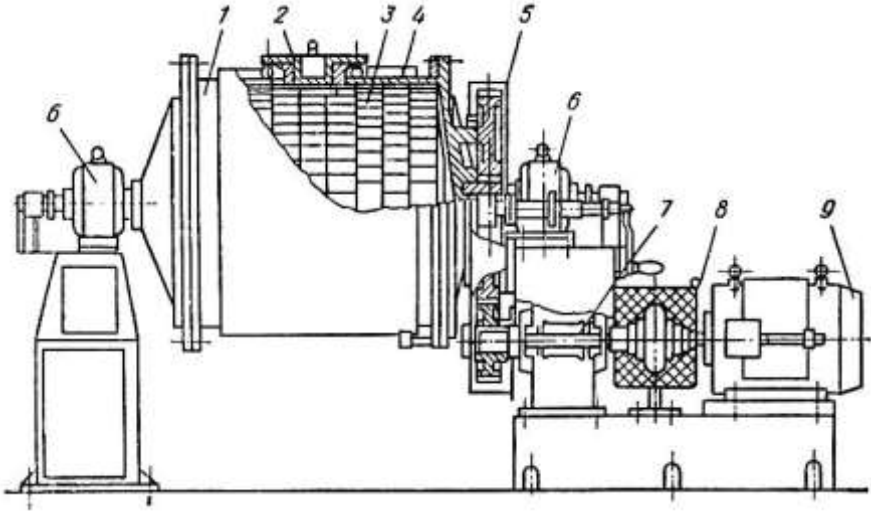
Кульові млини, що обертаються, належать до простих за конструкцією агрегатів для отримання відносно дрібних порошкових матеріалів з розмірами часток від декількох десятих до десятків мікрометрів. Конструктивно млин є циліндричним барабаном з горизонтальною віссю обертання, розташований на двох опорах і приведений в рух за допомогою електричного двигуна і редуктора (рис. 2.1). Внутрішня поверхня барабана захищена від зношування змінним футеруванням (облицюванням) зі зносостійких матеріалів. У барабан завантажують розмельні тіла, найчастіше сталеві загартовані кулі, і подрібнюваний матеріал. При обертанні барабана розмельні тіла приходять в рух, піднімаються на деяку висоту внаслідок тертя об стінки барабана. Залежно від швидкості обертання барабана можливі декілька режимів подрібнення (рис. 2.2).

При малій швидкості обертання барабана (режим ковзання) взаємне переміщення куль відсутнє, і матеріал стирається між поверхнею барабана і поверхнею маси куль, яка поводить себе як єдине ціле (рис. 2.1 а). Ефективність подрібнення при цьому низька; такий режим частіше застосовується для змішування різнорідних матеріалів.

При збільшенні швидкості обертання барабана (рис. 2.1 б) частина куль піднімається вгору і скачується вниз по масі куль (режим перекочування), що залишилася. В результаті взаємного тертя і стирання матеріалу між кулями підвищується ефективність його подрібнення.

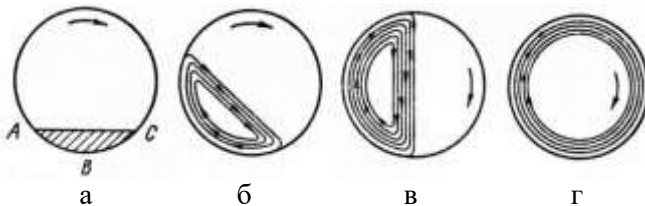
При ще більшій частоті обертання барабана (мал. 2.1 в) частина розмельних тіл піднімається на деяку висоту і, падаючи вниз, виконує

дію, що ударно-дробить, яка доповнює стираючу дію і забезпечує подальше підвищення ефективності подрібнення матеріалу. Такий режим називається режимом вільного падіння. Він, як правило, застосовується найчастіше при роботі кульових млинів, що обертаються.



1 – барабан; 2 – люк завантаження; 3 – футерування; 4 – сорочка охолодження; 5 – зубчаста передача; 6 – опори кочення; 7 – редуктор; 8 – муфта; 9 – електродвигун

Рисунок 2.1 – Барабанный млин, що обертається.



а – режим ковзання; б – режим перекочування; в – режим вільного падіння; г – рух при швидкості обертання, рівній критичній або більше її

Рисунок 2.2 – Схеми руху розмельних тіл в кульовому млині, що

обертається.

При частоті обертання барабана більш високої, ніж при режимі вільного падіння, внаслідок збільшення дії на кулі відцентрових сил вони починають обертатися разом з барабаном (рис. 2.1. г), і продуктивність млина різко знижується. Таку частоту називають критичною. Ця частота визначається за формулою:

$$N_{кр} = 42,4\sqrt{D}, \text{ мин}^{-1} \quad (2.1)$$

де $N_{кр}$ – частота обертання барабана, об/хв;

D – внутрішній діаметр млина, м.

Вказані вище режими мають місце при наступних частотах обертання барабана:

- ковзання – $\leq 0,2 N_{кр}$;
- перекочування – $(0,4...0,6) N_{кр}$;
- вільне падіння – $(0,75...0,80) N_{кр}$.

Маса завантажувального для подрібнення матеріалу визначається з його співвідношення з масою куль. Звичайне відношення маси куль до маси матеріалу складає 2,5...3,0; при необхідності інтенсивного подрібнення це співвідношення може бути збільшене до 5...10. Об'ємний коефіцієнт барабана не повинен перевищувати 0,4...0,5, оскільки при більш високих його значеннях зростає число зіткнень куль між собою, вони втрачають кінетичну енергію, і інтенсивність подрібнення знижується.

Барабанні млини, що обертаються, застосовуються також для приготування порошкових сумішей, забезпечуючи необхідну однорідність розподілу початкових компонентів в об'ємі сумішей і отримуваних з них брикетів.

Устаткування, інструменти, матеріали

1. Лабораторний кульовий млин.
2. Оптичний мікроскоп.
3. Технічні ваги.
4. Шліфи з частками порошків.
5. Подрібнюваний матеріал (порошки різної дисперсності).

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з пристроєм і принципом роботи кульового млина.
2. Розрахувати критичне число оборотів барабана.
3. Розрахувати число оборотів барабана для різних режимів роботи млина.
4. Провести дослідження порошкових матеріалів (форма, розміри), отриманих методом механічного дроблення.
5. Результати розрахунків занести в таблиці. 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахунок режимів роботи млина

Режим роботи	Число об/хв
Критичний	
Ковзання	
Перекочування	
Вільного падіння	

Зміст звіту

1. Принцип роботи кульового млина, що обертається.
2. Режими роботи млина, формули для їх визначення.
3. Форма і розміри подрібнених матеріалів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3. ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРОШКІВ ТИТАНУ І МЕДИ (4 години)

Мета роботи

1. Освоїти методи визначення основних фізичних властивостей порошкових матеріалів.
2. Визначити фізичні властивості часток порошків титану і міді, отриманих різними методами: а) форму;

б) розміри; в) чинник нерівноосності; г) істинну щільність; д) мікротвердість.

Стислі теоретичні відомості

Металеві порошки є сукупністю часток розміром до 100 нанометрів (нанопорошки) і від доль мікрметра до міліметра (мікропорошки). Нано і мікропорошки характеризуються хімічними, фізичними і технологічними властивостями. Комплекс цих властивостей визначає рівень механічних і експлуатаційних властивостей порошкових виробів, а також робить значний вплив на трудомісткість їх виготовлення.

У поняття **хімічного складу** входить вміст основного металу, легуючих елементів(для сплавів), сторонніх елементів(домішок) і газів.

До **фізичних властивостей** порошків відносяться форма часток, їх розміри, гранулометричний склад (розподіл часток за розмірами), питома поверхня, пікнометрична щільність і мікротвердість.

Технологічні властивості порошків характеризуються кутом природного укосу, насипною щільністю, плинністю, щільністю утруски, ущільнювальністю, пресувальністю і формованістю.

Форма часток порошків залежить від методу їх отримання і може бути сферичною (карбонільний метод, газове розпилення), неправильною (водне розпилення), губчастою (хімічне відновлення), осколковою (подрібнення в кульових млинах), тарілчастою (подрібнення у вихрових млинах), дендритною (електроліз). Форма часток робить значний вплив на технологічні властивості порошків, а також на щільність, проникність, міцність, однорідність та ін. властивості отриманих з них виробів.

На рис. 3.1 і 3.2 представлені мікроструктура і форма часток порошків різних сплавів, отриманих в результаті газового і водного розпилення. У першому випадку частки мають практично правильну кулясту форму і чітко виражену будову мікроструктури, в другому випадку форма часток неправильна, в них спостерігаються мікропорожнечі (раковини).

Форму і розміри часток порошків визначають методами оптичної і електронної мікроскопії. Зазвичай форму часток

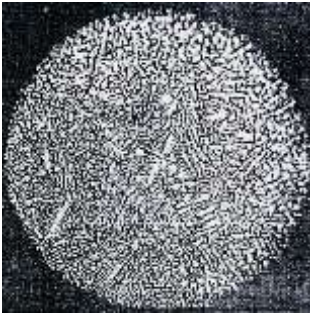
характеризують двома показниками:

- чинником нерівноосності часток $\Phi_{\text{нр}}$ – відношенням максимального розміру l_{max} до мінімального l_{min} :

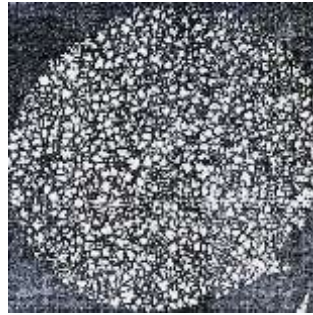
$$\Phi_{\text{нр}} = l_{\text{max}} / l_{\text{min}} \quad (3.1)$$

- чинником розвиненості поверхні $\Phi_{\text{рп}}$ – відношенням квадрата периметра P до площі частки S :

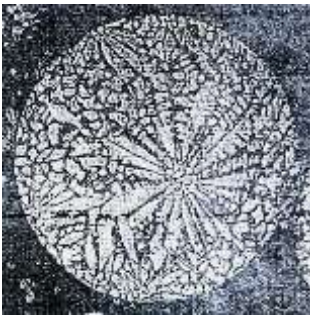
$$\Phi_{\text{рп}} = P^2 / S \quad (3.2)$$



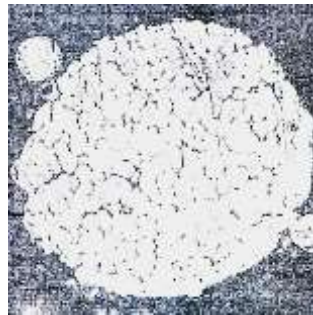
а



б



в



г

а – швидкорізальна сталь Р6М5Φ4-МП; б – штампова сталь 17Х5В3МΦ5С2 (ДІ-90МП); жароміцний сплав ЖС6У; г – алюмінієвий сплав Al-Zn-Mg-Cu-Zr (виробництво ДП "УкрНПспецсталь")

Рисунок 3.1 – Мікроструктура газорозпорошених порошків, $\times 200$.



а



б

а – швидкорізальна сталь; б – алюмінієвий сплав (виробництво ДП "УкрНІСпецсталь")

Рисунок 3.2 – Мікроструктура водорозпорошених порошків, $\times 200$.

Гранулометричний склад – розподіл часток за розмірами в % визначається шляхом розсівання навішування порошку, зазвичай 100 г, за допомогою набору 29 сит (сіток) з розмірами комірок від 40 до 1000 мкм (ГОСТ 3584-73). Після розсівання кожену фракцію (залишок на сітці певного розміру) зважують і будують графік: частота, розмір часток, мкм.

Питома поверхня впливає на поведінку порошків при пресуванні і спіканні. Вона залежить від розміру і форми часток, і коливається для металевих порошків від 0,01 до 20 м²/г, а для нанопорошків досягає 600 м²/г і більше. На практиці для визначення питомої поверхні застосовуються досить складні методи: адсорбційний і фільтраційний, що вимагають спеціального устаткування [6-10].

Істинна щільність частки порошку дещо відрізняється від щільності матеріалу, з якого отриманий порошок, внаслідок окисленості поверхні, внутрішньої пористості, дефектів кристалічної будови та ін. причин. Для визначення щільності порошкових часток застосовують пікнометри (мірні посудини), тому істинна щільність також називається пікнометричною. Для цього спочатку визначають масу сухої пікнометричної посудини M , потім її масу із залитою в неї до певної мітки водою M_1 . При цьому об'єм пікнометра (його постійна):

$$V_{\text{п}} = (M_1 - M) / \gamma_{\text{в}}, \text{ см}^3 \quad (3.3)$$

где γ_v – щільність води, рівна $1,0 \text{ г/см}^3$ при 20°C .

Висушений пікнометр заповнюють на $1/2 \dots 2/3$ об'єми досліджуванним порошком і визначають їх загальну масу M_2 . Потім при періодичних перемішуваннях і відстоюваннях пікнометр заповнюють пікнометричною рідиною (гас, спирт, бензол, ксилол, ацетон) до встановленої відмітки і зважують його з порошком і рідиною, отримуючи M_3 .

Таким чином, об'єм рідини в пікнометрі:

$$V_{\text{ж}} = (M_3 - M_2) / \gamma_{\text{ж}}, \text{ см}^3 \quad (3.4)$$

Отже, пікнометрична щільність порошку:

$$\gamma_{\text{п}} = (M_2 - M) / (V_{\text{п}} - V_{\text{ж}}), \text{ г/см}^3 \quad (3.5)$$

Мікротвердість часток порошоків визначають на приладах ПМТ- 3 і ПМТ- 5 зазвичай на шліфах з пластика, в який "вмонтовані" частки. У зв'язку з обмеженими розмірами часток використовують малі навантаження на індентор, до $1,5 \dots 20 \text{ р}$.

Устаткування, інструменти, матеріали

1. Оптичний мікроскоп.
2. Пікнометр.
3. Шліфи пластикові з включеннями часток порошоків титана і міді.
4. Аналітичні ваги.
5. Порошки титану і міді.

Порядок виконання роботи

1. У відбитому (на шліфах) і у світлі, що проходить (на предметному склі), вивчити форму порошоків, отриманих різними методами; замалювати типові форми порошоків.

2. Виміряти максимальний і мінімальний розміри 10-15 часток досліджуваних порошоків, за результатами вимірів визначити чинник

нерівноосності часток $\Phi_{\text{пр}}$, результати вимірів і розрахунків внести в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Чинник нерівноосності часток порошків

№ п/п	Метал порошку	Фактор нерівноосності $\Phi_{\text{пр}}$		
		число вимірю- вань	межа зміни	середнє значення
1	Титан (механічне подрібнення)			
2	Титан (газове розпилення)			
3	Мідь (електроліз)			

3. Визначити істинну щільність часток 3 видів порошків. Для цього:

- зважити пікнометр;
- залити в нього приблизно 50 мл води;
- зробити відмітку рівня води;
- вилити воду і висушити пікнометр;
- зважити 25 г порошку і засипати його в пікнометр;
- визначити загальну масу пікнометра і порошку;
- заповнити при помішуванні пікнометр рідиною, що добре змочує порошок, до відмітки;
- зважити пікнометр з рідиною і порошком;
- за формулами (3.3-3.5) розрахувати пікнометричну щільність часток порошку, результати внести в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Пікнометрична щільність порошків

№ п/п	Метал порошку	Пікнометрична щільність, г/см ³		
		число вимірю- вань	межа зміни	середнє значення
1	Титан (механічне подрібнення)			
2	Титан (газове розпилення)			
3	Мідь (електроліз)			

4. На шліфах (частки порошку в пластиці) за допомогою мікротвердоміру ПМТ-3 виміряти мікротвердість 5-10 найбільш великих часток 2-3 видів порошку; усереднити результати вимірів за

кожним видом порошків, визначити середнє значення $H_{\mu \text{ ср}}$, результати внести в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Мікротвердість порошків

№ п/п	Метал порошку	Мікротвердість H_{μ} , МПа		
		число вимірю- вань	межа зміни	середнє значення
1	Титан (механічне подрібнення)			
2	Титан (газове розпилення)			
3	Мідь (електроліз)			

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Методи визначення фізичних властивостей порошків і вживане для цього устаткування.
3. Рисунки основних форм порошків за результатами спостережень в мікроскопі.
4. Формули і розрахунки визначення пікнометричної щільності часток порошків.
5. Результати розрахунків і вимірів (табл. 3.1-3.3).
6. Висновки про вплив металу порошку і процесу його отримання на фізичні властивості.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4. ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ ПОРОШКІВ МЕТОДОМ СИТОВОГО АНАЛІЗУ (2 години)

Мета роботи

Вивчити і освоїти метод визначення гранулометричного складу порошків.

Стислі теоретичні відомості

Розмір часток порошку є однією з основних характеристик, що визначають його технологічні властивості і, відповідно, якість порошкових виробів. Кількісний зміст маси часток в певних розмірних фракціях по відношенню до загальної кількості порошку називають його гранулометричним складом, який виражають або у вигляді таблиць, або графічно у вигляді кривої зернистості. Залежно від великості часток для визначення гранулометричного складу порошку використовують ситовий, мікроскопічний, седиментаційний і інші види аналізу. Найбільшого поширення набув ситовий аналіз, що виконується відповідно до ДСТУ 2640-94 (ГОСТ 18318-94) і що полягає в просіюванні навішування порошку масою 100 г через набір стандартних сит з отворами різної величини (таблиця. 4.1), використовуючи спеціальний пристрій, працюючий за принципом обертального руху з частотою обертання $300 \pm 15 \text{ мин}^{-1}$ при одночасному струшуванні з рівномірною частотою $180 \pm 10 \text{ мин}^{-1}$.

Час розсівання складає 15-30 мін залежно від дисперсності порошку; зі зменшенням розмірів його зерен час збільшується.

Після закінчення розсівання окремі фракції порошку висипають з сит, починаючи з сита з великими комірками. Вміст на ситі струшують на одну сторону і пересипають на глясовий папір. Порошок, що пристав до сітки або рамки сита, обережно протирають легкою кистю через сітку в наступне сито з меншими осередками. Фракцію зважують з точністю до 0,01 г. Таку операцію повторюють для кожного сита і піддону.

Маса усіх фракцій в сумі повинна складати не менше 99 % від маси випробовуваної проби. Різницю між цією сумою мас і масою проби розподіляють за всіма аналізованими фракціями пропорційно їх масам. Для кожного порошку ситовий аналіз проводять не менше двох разів. Розбіжність між паралельними визначеннями відповідних фракцій не повинна перевищувати 3 %. За величину фракції приймають середнє арифметичне результатів паралельних визначень.

Зміст окремої фракції (X) у відсотках обчислюють з точністю до 0,1 % за формулою:

$$X = (m_n / m) * 100, \% \quad (4.1)$$

де m_n – маса фракції, г;

m – маса випробовуваної проби, г.

Таблиця 4.1 – Дротяні сітки з квадратними комірками

Номер сітки	Номінальний розмір сторони комірки у світлі, мкм	Номінальний діаметр дроту, мкм	Кількість отворів на лінійному дюймі (число меш)	Живий перетин сітки (частка площі отворів), %
004	40	30	363	32,7
0045	45	36	314	30,9
005	50	36	295	33,8
0056	56	40	265	34,0
0063	63	40	247	37,4
0071	71	50	210	34,4
008	80	50	195	37,9
009	90	60	170	36,0
01	100	60	154	39,1
0112	112	80	132	34,0
0125	125	80	124	37,2
014	140	90	110	37,0
016	160	100	98	37,9
018	180	120	85	36,0
02	200	120	79	39,1
0224	224	120	74	42,4
025	250	120	69	45,6
028	280	140	60	44,4
0315	315	160	53	44,0
0355	355	160	49	47,0
04	400	160	45	51,0
045	450	200	39	47,9
05	500	250	34	44,4
056	560	250	31	47,8
063	630	300	27	45,9
07	700	300	25	49,0
08	800	300	23	53,0
09	900	400	20	47,9
1	1000	400	18	51,0

Для позначення фракції порошоків, що залишилися між двома сусідніми ситами, введений спеціальний запис. Так, якщо верхнє сито має номер сітки 0125, а за ним йде сито з номером 008, то фракція порошку, що пройшла через сито 0125, але що залишилася на ситі 008, позначається -0125+008 (читається: фракція мінус 0125 плюс 008).

Результати ситового аналізу представляють у вигляді таблиці, при цьому зміст фракцій, складових менше 0,1 записують словом "сліди".

Недоліком ситового аналізу є те, що в його результати вносить істотні помилки форма часток порошку. Дископодібні частки можуть залишатися на ситі з розміром осередків більше їх поперечника, а голкоподібні – проходити через сито з отвором менше їх довжини.

Устаткування, інструменти, матеріали

1. Прилад для визначення гранулометричного складу порошоків.
2. Технічні ваги.
3. Порошки заліза, міді, алюмінію, титану.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з пристроєм і роботою приладу.
2. Встановити сита приладу в необхідному порядку – в порядку зменшення розмірів комірки зверху вниз.
3. Зважити по 100 г досліджуваних порошоків.
4. Зробити розсівання кожного порошку впродовж 15 хв.
5. Методом зважування визначити масу порошку на кожному ситі і в тазку приладу.
6. Побудувати гістограми (криві розподіли за розмірами) досліджуваних порошоків.

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Суть гранулометричного аналізу.
3. Використовуване устаткування.
4. Гістограми розподілу порошоків за розмірами.
5. Результати випробувань і розрахунків представити у вигляді

таблиці.

Таблиця 4.2 – Результати випробувань

№ сита	Розмір комірки, мкм	Кількість порошку на ситі, г		
		Порошок 1	Порошок 2	Порошок 3
1	1000			
...	...	...	...	...
004	40			
Разом				

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5. МІКРОСКОПІЧНИЙ МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ ПОРОШКІВ (4 години)

Мета роботи

1. Ознайомитися з мікроскопічними методами дослідження порошків. 2. Набути навичок визначення розмірів і форми порошків за допомогою металографічного мікроскопа.

Стислі теоретичні відомості

Як відзначалося вище (лабораторна робота 4), розміри і форма часток порошків мають великий вплив на їх технологічні властивості (насипну щільність, плинність, формованість і пресувальність), а також на щільність, міцність, однорідність і проникність пресовок. Для визначення розмірів часток порошків знайшли застосування наступні методи випробувань: ситовий аналіз, повітряна сепарація, седиментація, оптична і електронна мікроскопія. Серед перерахованих методів тільки мікроскопічні методи дозволяють, окрім розмірів, вивчати форму і структуру часток, наявність в них пор, неметалічних включень і інших дефектів.

Форма часток порошку залежить від способу розпилення. Наприклад, при розпиленні повітрям і газами отримують порошки кулястої або еліпсоподібної форми (рис. 5.1 а, б), при розпиленні водою – губчастої (рис. 5.1 в) і коралоподібної форми (рис. 5.1 г).

Найчастіше форму часток порошків характеризують за допомогою чинника нерівномірності (у металознавстві – параметра форми), максимального розміру частки $l_{\max}$, що є відношенням, до її мінімального розміру $l_{\min}$:

$$\Phi_{\text{нр}} = l_{\max} / l_{\min} \quad (5.1)$$

Аналіз розмірів і форми часток порошків виконують на так званому "препараті" – у світлі, що проходить, на предметному склі і у відбитому світлі на шліфі - пластмасовому зразку з вкрапленнями часток порошку. При цьому користуються оптичними мікроскопами з окуляр-мікрометрами – окулярами, оснащеними вкладишами у вигляді скляних пластинок з нанесеними на них шкалами з діленнями (зазвичай 100 ділень).

Чинник нерівномірності часток визначається шляхом виміру двох їх розмірів: максимального і мінімального в діленнях окулярної шкали і ділення першого на друге (формула 5.1).

Для визначення гранулометричного складу порошків необхідно знати ціну ділення окуляр-мікрометру при заданому збільшенні мікроскопа. Для цього на предметний столик мікроскопа поміщають об'єкт-мікрометр – скляну пластинку з відомою ціною ділень. Після цього поєднують зображення шкал об'єкту-мікрометра і окуляра-мікрометра. Повертаючи окуляр, штрихи обох шкал встановлюють паралельно. Вибирають цілу кількість ділень шкали об'єкту-мікрометра m . За шкалою окуляра-мікрометра визначають, скільки ділень n шкали окуляра займає зображення вибраного числа ділень шкали об'єкту-мікрометра. Ціна ділення окуляра-мікрометра визначається за формулою

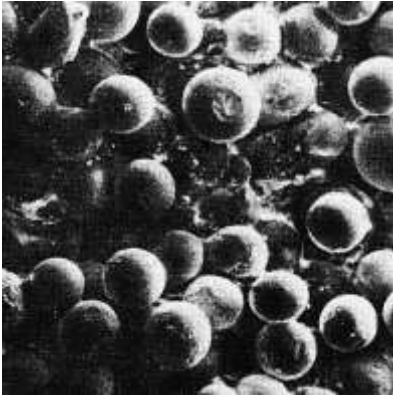
$$d_{\text{ок}} = D_{\text{об}} \frac{m}{n}, \text{ мм} \quad (5.2)$$

де $d_{\text{ок}}$ – ціна ділення окуляра-мікрометра,

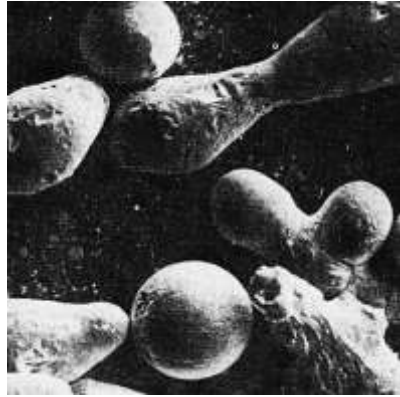
$D_{\text{об}}$ – ціна ділення шкали об'єкту-мікрометра,

m – кількість ділень шкали об'єкту-мікрометра,

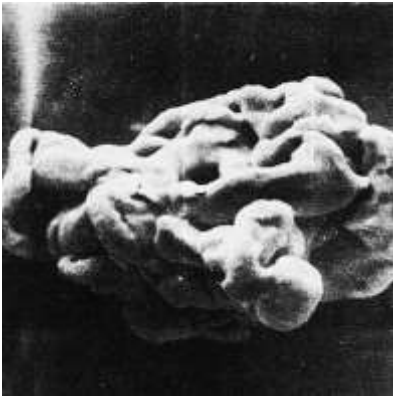
n – кількість ділень шкали окуляра-мікрометра.



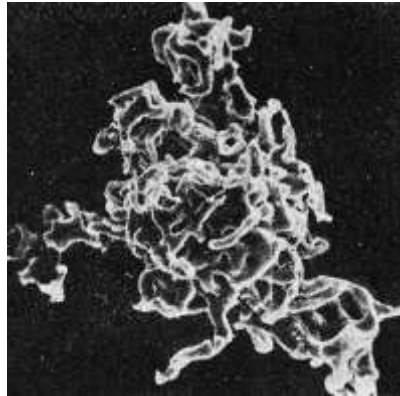
а



б



в



г

Збільшення: а – $\times 60$; б – $\times 100$; в – $\times 800$; г – $\times 970$.

Рисунок 5.1 – Частки порошку заліза, отримані розпиленням розплаву повітрям (а, б) і водою (в, г).

Наприклад, при цьому збільшенні 40 ділень шкали об'єкту-мікрометра займають 20 ділень шкали окуляра-мікрометра (рис. 5.2.) Ціна ділення об'єкту-мікрометра 0,01 мм. Тоді ціна ділення окуляра-мікрометра при цьому збільшенні буде

$$d_{\text{ок}} = 0,01 \frac{40}{20} = 0,02 \text{ мм}$$

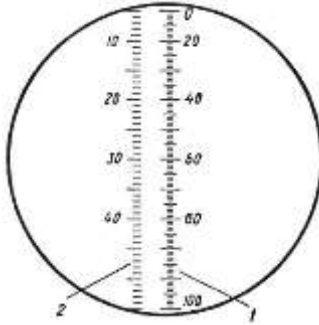


Рисунок 5.2 – Поєднання шкали об'єкту-мікрометра (1) з шкалою окуляра-мікрометра (2) при визначенні ціни ділення шкали окуляра-мікрометра.

Мікроскопічні методи дослідження порошків, а також структурних складових сплавів ґрунтовані на законах стереометричної металографії і статистики. Згідно з цими законами, кількість будь-якої фази в сплаві (у нашому випадку, наприклад, кількість металу в пластмасовому зразку в об'ємних відсотках) може бути визначена із співвідношення:

$$\frac{l}{L} = \frac{f}{F} = \frac{v}{V} \quad (5.3)$$

де l – частина довільної січної (сума відрізків), що проходить на шліфі по досліджуваній фазі;

L – загальна довжина січної;

f – площа включень досліджуваної фази на загальній площі шліфа F ;

v – об'єм досліджуваної фази;

V – загальний об'єм матеріалу, що містить фазу.

Приведене вище співвідношення найлегше визначається за допомогою лінійного методу Розиваля, суть якого полягає в наступному. Зображення мікроструктури, що містить різні фази або структурні складові, перетинається лініями. Лінії повинні охоплювати усю площу, що вивчається, і розподілятися нею рівномірно. Чим

довше пересічні лінії, тим вище точність визначення.

Щоб визначити долю площі шліфа або об'єму сплаву, займаних кожною з фаз, потрібно підсумувати довжини відрізків, що потрапляють на кожную фазу, а потім суму розділити на загальну довжину пересічної лінії. Для набуття надійного середнього значення виміру проводять в декількох полях зору, рівномірно розподілених по площі шліфа. Підраховують ділення, що потрапили на усі структурні складові, окрім тієї, яка є присутнім у більшій кількості. Число ділень, що потрапили на неї, визначають по різниці. Довжини відрізків оцінюють цілим числом ділень. Тому погрішність виміру тим менше, чим довше відрізки, тобто чим більше структури і більше збільшення.

Виміри можуть проводитися методом нерухомого і рухливого шліфа. При використанні першого методу користуються окуляром-мікрометром з шкалою, розділеною на 100 рівних частин. Наприклад, при дослідженні двофазної структури (рис. 5.3) на фазу *A* (заштрихована) потрапило 35 ділень з 100, а на фазу *B* – 65. Значить, зміст фази *A* і *B* на лінії шкали визначиться відповідно цифрами 35 і 65.

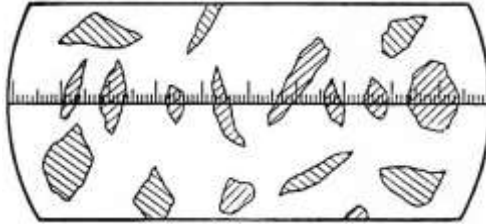


Рисунок 5.3 – Визначення фазового складу лінійним методом Розиваля.

Метод випадкових січних може бути застосований для визначення розмірів часток порошків. При цьому враховуються тільки ті частки, які потрапили на січну (див. рис. 5.3), вимірюється максимальний і мінімальний розміри кожної частки, і середній її розмір заноситься до таблиці. 5.1.

При визначенні розмірів часток на спеціально приготованих шліфах вводять поправочний коефіцієнт $k = 0,79$, який враховує, що в площину шліфа потрапляють не лише перерізи часток, що відповідають їх максимальному розміру, але і перерізи, що

відрізняються від максимального значення. Істинний розмір (діаметр) частинок визначають за формулою

$$d_{\text{іст}} = d_{\text{сп}} / k \quad (5.4)$$

де $d_{\text{сп}}$ - спостережуваний в мікроскопі розмір (діаметр) часток.

Точність методу залежить від кількості вимірних часток, якості приготування препарату і точності виміру розмірів часток. Підрахунок часток роблять на 10...15 полях зору при сумарній кількості вимірних часток не менше 200.

Повертаючи окуляр-мікрометр і змінюючи положення лінійки ("січної") у полі зору шліфа, проводять декілька вимірів на різних частках цього поля. В результаті розгляду 5...10 різних полів отримані дані зводять в таблицю і розраховують гранулометричний склад порошку.

Устаткування, інструменти, матеріали

1. Оптичний мікроскоп.
2. Окуляр-мікрометр.
3. Об'єкт-мікрометр.
4. Предметне скло.
5. Покривне скло.
6. Скляні палички.
7. Металевий порошок.

Порядок виконання роботи

1. З проби порошку масою 5...7 г приготувати препарат масою 0,5...1 г. Для цього пробу порошку розсипати смужкою завдовжки 7...8 см, розділити на 7...8 приблизно рівних частин, парні частини відкинути, а непарні змішати і повторно скоротити так само. Невелику кількість порошку на кінчику скляної палички перенести на предметне скло, додати 1...2 крапель диспергуючої рідини, розподілити суміш рівномірно паличкою по склу, накласти покривне скло і обережно натиснути на нього.

Правильно приготований препарат не повинен містити

конгломератів і скупчень часток. Розподіл зерен має бути рівномірним по усьому полю зору.

2. Визначити форму часток для шліфа і препарату, і замалювати її.

3. Визначити ціну ділення окуляр-мікромметра.

4. Визначити гранулометричний склад препарату і металографічного шліфа за допомогою методу "січних". Отримані дані звести до таблиці. 5.1.

5. За отриманими результатами побудувати гістограму, на якій по осі абсцис відкладається розмір часток фракції, по осі ординат – відсотковий вміст цієї фракції.

Таблиця 5.1 – Розрахунок гранулометричного складу порошку мікроскопічним методом "січних"

№ по- ля	№ січе- ння	Кількість частинок і їх розміри в мкм							
		препарат				шліф			
		10...40	40...60	60...100	100...150	10...40	40...60	60...100	100...150
1...	1								
	2...								
Усього часток									
Зміст часток, %									
l_{cp} , МКМ									

Тут $l_{cp} = (l_{min} + l_{max}) / 2$ – середній розмір часток;

$l_{min} + l_{max}$ – граничні розміри часток цієї фракції.

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Суть методу випадкових січних.
3. Використовуване устаткування.
4. Гістограми розподілу порошків за розмірами.
5. Вплив методу розпилення на форму порошків.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6. ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОРОШКІВ (6 годин)

Мета роботи

Вивчити методи визначення технологічних властивостей порошків: насипної щільності, щільності після утруски, плинності, кута природного укосу і пресувальності.

Стислі теоретичні відомості

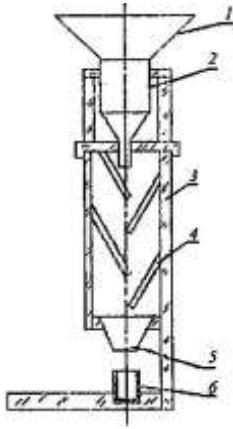
До технологічних властивостей порошків відносять насипну щільність, щільність після утруски, плинність, кут природного укосу, пресувальність і формованість.

Насипна щільність d_n є масою одиниці об'єму вільно насипаного порошку. Знання d_n потрібне при конструюванні пресформ, оскільки від нього залежать їх розміри. В цілому, насипна щільність виражає здатність часток порошку до укладання і залежить від питомої щільності цього матеріалу і фактичного заповнення порошком певного об'єму. Щільність укладання часток порошку в об'ємі залежить від дисперсності, форми і питомої поверхні часток.

Оскільки насипна щільність є важливою характеристикою, що робить вплив на технологію виготовлення, то вона вказується в усіх технічних умовах на металеві порошки, а метод її визначення стандартизований.

Насипна щільність визначається за допомогою приладу, що називається волюмометром (рис. 6.1), що забезпечує стабільні умови засипки.

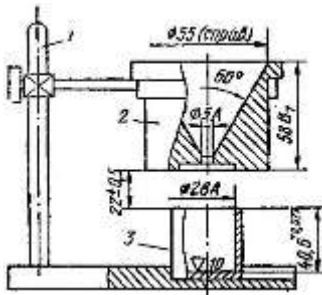
Засипка порошку у волюмометр ведеться через велику приймальну воронку 1. З малої воронки 2 частки порошку падають на систему пластин, що обмежують швидкість їх падіння. З останньої пластини вони через отвір діаметром 5 мм у воронці 5 скачуються в мірну склянку 6 місткістю 25 см³. Склянка встановлюється на відстані 22±0,5 мм від торця воронки 5. Її заповнюють порошком до верху з деяким надлишком, який знімається пластиною з алюмінію або лінійкою до рівня стінок.



1 – велика воронка; 2 – мала воронка; 3 – корпус; 4 – пластина напрямної; 5 – воронка напрямної; 6 – склянка місткістю 25 см³

Рисунок 6.1 – Схема волюмометра.

Для порошків з хорошою плинністю насипну щільність можна визначати за допомогою простішої установки, зображеної на рис 6.2. Вона складається із стандартної воронки 2 з діаметром отвору 5 мм, закріплюваною на штативі 1 і мірної склянки 3.



1 – штатив; 2 – воронка; 3 – склянка

Рисунок 6.2 – Установка для визначення насипної щільності.

Насипну щільність порошку визначають за формулою:

$$d_n = (m_2 - m_1) / V \quad (6.1)$$

де d_n – насипна щільність, г/см³;

m_1 – маса склянки, г;

m_2 – маса склянки з порошком, г;

V – об'єм склянки, см³.

З представлених в таблиці. 6.1 даних видно, що насипна щільність порошків змінюється в широких межах і в цілому вона в 2,5...5 рази менше щільності компактних матеріалів d_k .

Таблиця 6.1 – Властивості металевих порошків

Матеріал	Насипна щільність d_n , г/см ³	Щільність компактного матеріалу d_k , г/см ³	Температура плавлення, °С
Алюміній	0,7...1,0	2,7	660
Залізо	1,5...2,5	7,85	1539
Мідь	0,7...4,0	8,9	1083
Нікель	2,5...3,5	8,9	1450
α -Al ₂ O ₃	1,1...1,3	4,0	2050

Щільність після утруски визначає здатність порошку до ущільнення під дією механічних віброколиваль, що необхідно враховувати при конструюванні прес-форм. Щільність після утруски визначається шляхом ущільнення певної кількості (об'єму) порошку і зміни його об'єму в діленнях мензурки. Для цієї мети порцію порошку масою 50...100 г поміщають в скляну мензурку з діленнями і встановлюють на механічний підтрушувач (рис. 6.3). Мензурка 1 з порошком закріплена в утримувачі 2 з направляючим штирем. Обертанням кулачка 5 створюють осьову вібрацію циліндра з частотою струшування 100-300 ударів в хвилину при амплітуді струшування 3,0±0,2 мм. Випробування проводять до припинення зміни об'єму порошку в процесі струшування. Щільність утруски:

$$\gamma_{\text{утр}} = m / V \quad (6.2)$$

де m – маса порошку;

V – об'єм, займаний порошком після утруски.

Щільність утруски (вона в порівнянні з насипною щільністю може збільшуватися на 20...50 %) залежить від тих же властивостей порошку, що і насипна щільність. Максимальна щільність утруски досягається для порошоків з сферичною формою часток, особливо у разі використання для засипки сферичних порошоків різних фракцій.

Відношення насипної щільності до щільності утруски дає також якісне уявлення про плинність порошку.



1 – мірний циліндр; 2 – утримувач з направляючим штирем;
3 – втулка напрямної; 4 – опорна пластина; 5 – кулачок

Рисунок 6.3 – Прилад для визначення щільності утруски порошку.

Плинністю називається здатність порошку заповнювати собою об'єм певної форми. Плинність є важливою комплексною

характеристикою, залежною від щільності порошків, їх гранулометричного складу, форми і стану поверхні часток і тому подібне

Основними чинниками, що впливають на плинність порошків, є тертя і зачеплення часток одна за одну, що утрудняють їх взаємне переміщення. Плинність знижується при зменшенні розмірів часток, збільшенні їх питомої поверхні, шорсткості та ускладненні форми, а також при збільшенні вологості порошку. Наявність оксидної плівки, навпаки, покращує плинність, оскільки вона найчастіше знижує коефіцієнт тертя і, згладжуючи рельєф, зменшує питому поверхню. Відпал порошків в захисних атмосферах в результаті агломерування часток, згладжування їх поверхні і пониження вологості підвищує плинність.

Плинність порошків визначається часом витікання порошку через вихідний отвір носика воронки діаметром 2,5 мм (рис. 6.4). Для цієї мети просушене навішування порошку масою 50 г насипається у воронку з кутом конуса 60° і носиком, зрізаним під прямим кутом на відстані 3,2 мм від конуса воронки. Воронку встановлюють на штативі (див. рис. 6.2) в строго вертикальному положенні відносно її осі. Перед засипкою порошку вихідний отвір воронки закривається заглушкою. Знизу підставляється склянка. Після наповнення воронки порошком відкривають носик воронки і одночасно включають секундомір.

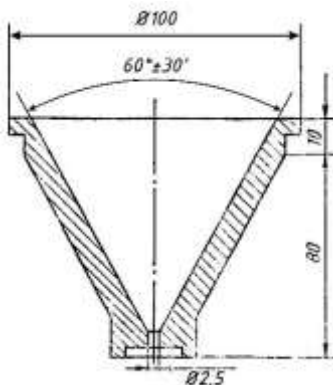
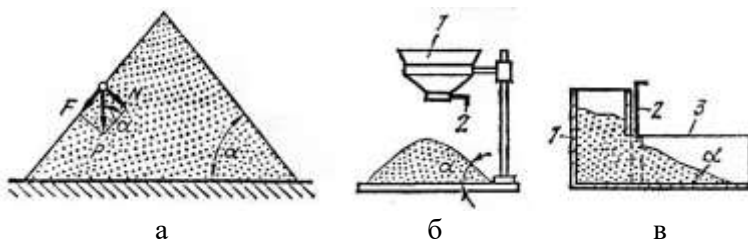


Рисунок 6.4 – Воронка для визначення плинності металевих порошків.

Кут природного укосу є кутом, утвореним поверхнею конуса вільно насипаного порошку і горизонтальною площиною в його основі (рис. 6.5 а). Для більшості порошоків він знаходиться в межах 25-70°. Кут зменшується із зростанням плинності порошоків. Значення кута природного укосу мінімальне для порошоків з сферичною формою часток.

Кут природного укосу характеризує рівноважний стан порошку за відсутності дії на нього зовнішніх сил.



1 – корпус; 2 – шибєр; 3 – прозора стінка з кутоміром

Рисунок 6.5 – Схема (а) утворення кута природного укосу α і прилади (б, в) для його визначення.

Методи визначення кута природного укосу відрізняються тільки способом осипання порошку з отворів у вигляді конуса (рис. 6.5 б) або у вигляді скошеного клину (рис. 6.5 в).

Ущільнювальність порошку показує його здатність змінювати початкову щільність укладання часток в процесі пресування. По ГОСТ 25280-82 ця характеристика оцінюється за щільністю пресувань, виготовлених при тисках пресування 200, 400, 500, 600, 700 і 800 МПа в циліндричній прес-формі. Масу навішування порошку обчислюють за формулою

$$m = 0.79d^3\gamma_k \quad (6.3)$$

де d – діаметр отвору матриці прес-форми, см;

γ_k – щільність матеріалу порошку, г/см³.

Конструкція прес-форми приведена на рис. 6.6. Дані по ущільнювальності порошку представляють у вигляді таблиці або графіку залежності щільності пресовок від зусилля пресування.

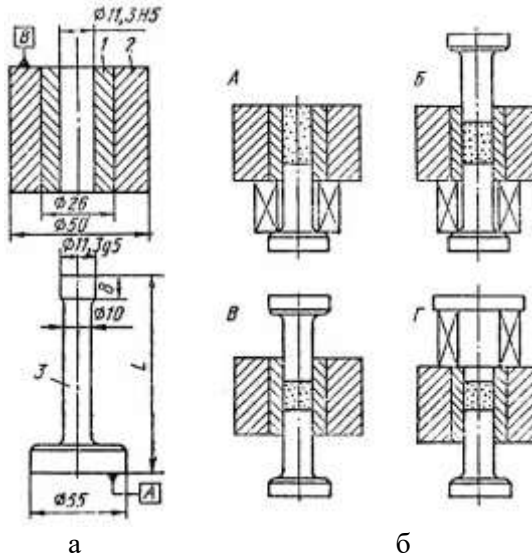
Щільність спресованого брикету визначають за формулою:

$$d = m / V \quad (6.4)$$

де d – щільність брикету, г/см³;

m – маса брикету, г;

V – об'єм брикету, см³.



1 – матриця; 2 – обойма; 3 – пуансон верхній ($L = 40$ мм) і нижній ($L = 70$ мм)

Рисунок 6.6 – Прес-форма (а) і послідовність операцій (б) при визначенні ущільнювальності порошку.

Для зручності порівняння щільності пресовок з різних матеріалів розраховують їх відносну щільність:

$$\theta = (d / d_k) * 100 \quad (6.5)$$

де θ – відносна щільність;

d_k – щільність компактного матеріалу, г/см³.

Характеристикою пресувальності порошків є діаграма пресування, побудована в координатах відносна щільність – тиск пресування.

На кривій пресування (рис. 6.7) можна виділити три ділянки, що відповідають трьом стадіям процесу пресування (рис. 6.8).

На першій стадії (ділянка I) ущільнення відбувається, головним чином, за рахунок перерозподілу часток і їх щільнішої упаковки; на другій (ділянка II) спостерігається пружна деформація стислого порошку; на третій (ділянка III) ущільнення відбувається за рахунок пластичної деформації або крихкого руйнування часток (залежно від властивостей пресованих порошків).



Рисунок 6.7 – Діаграма пресування (ущільнення) порошку.

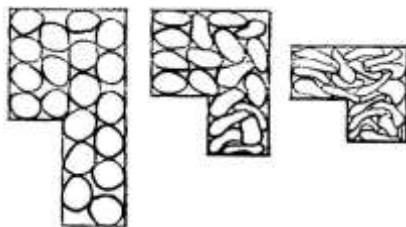


Рисунок 6.8 – Послідовні стадії (I...III) пресування часток пластичних металів.

Устаткування, інструменти, матеріали

1. Волюмометр.
2. Штатив і воронка з отвором, що калібрується, для визначення

плинності порошків.

3. Секундомір.
4. Прилад для визначення щільності порошків після утруски.
5. Прес-форма для визначення ущільнювальності порошків.
6. Ваги лабораторні.
7. Металева склянка місткістю 25 см³.
8. Циліндр мірний скляний місткістю 100 см³.
9. Лінійка металева.
10. Порошки заліза, міді, алюмінію, титану.

Порядок виконання роботи

1. Визначити насипну щільність досліджуваних порошків, для чого:

- відміряти 50 см³ досліджуваного порошку за допомогою мензурки;
- зважити сталеву мірну склянку 6 (див. рис. 6.1);
- встановити склянку під воронку 5;
- висипати пробу порошку у воронку 1;
- після повного витікання порошку видалити його надмірну кількість одноразовим рухом алюмінієвої пластини або лінійки;
- зважити склянку з порошком;
- вчислити масу порошку за формулою:

$$m = m_2 - m_1, \quad (6.6)$$

де m_2 – маса склянки з порошком, г;

m_1 – маса порожньої склянки, г;

- вчислити насипну щільність досліджуваного порошку за формулою:

$$\rho_{\text{нас}} = m / 25, \text{ г/см}^3 \quad (6.7)$$

- за результатами трьох випробувань визначити середню насипну щільність порошку:

$$\rho_{\text{нас ср}} = (\rho_{\text{нас 1}} + \rho_{\text{нас 2}} + \rho_{\text{нас 3}}) / 3, \text{ г/см}^3 \quad (6.8)$$

- результати випробувань занести в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Результати виміру насипної щільності

Порошок	№ досліду і насипна щільність, г/см ³			
	1	2	3	середнє значення
1...				

2. Визначити щільність порошків після утруски, для чого:

- насипати 25 см³ досліджуваного порошку в мензурку;
- встановити її утримувач підтрушувача;
- провести випробування до припинення зміни об'єму порошку;
- вчислити щільність порошку після утруски за формулою:

$$\rho_{\text{ут}} = m / V, \text{ г/см}^3 \quad (6.9)$$

де m – маса навішування порошку, г;

V – об'єм порошку після утруски, см³;

- щільність після утруски визначити як середнє арифметичне трьох результатів випробувань;

- результати випробувань занести в табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Визначення щільності порошків після утруски

Порошок	№ досліду і насипна щільність, г/см ³			
	1	2	3	середнє значення
1...				

3. Визначити плинність порошків, для чого :

- встановити воронку для визначення плинності на штатив (див. рис. 6.4);

- закрити отвір воронки;
- висипати навішування порошку 50 г у воронку;
- відкрити отвір і одночасно включити секундомір;
- визначити час повного витікання порошку через воронку;
- вчислити плинність за формулою:

$$v = m / t, \text{ г/с} \quad (6.10)$$

де m – маса порошку, г;

t – час витікання порошку, с.

- провести не менше 3-х випробувань, вичислити середнє значення плинності, результати випробувань занести в табл. 6.4.

4. Виміряти кут природного укусу порошоків, для чого:

- закрити шибер 2 приладу (див. рис. 6.5 б);

- заповнити воронку 1 порошком;

Таблиця 6.4 – Визначення плинності порошоків

Порошок	№ досліду і плинність, г/с			
	1	2	3	середнє значення
1...				

- відкрити шибер;

- заміряти кут природного укусу α ;

- дослідження повторити тричі, усереднені результати занести в табл. 6.5.

Таблиця 6.5 – Результати вимірів кута природного укусу

Матеріал порошку	Форма часток	Висота гірки порошку Н, мм	Діаметр основи гірки D, мм	Кут природного укусу α , град
1...				

5. Визначити ущільнювальність порошоків, для чого:

- 6 однакових навішувань кожного типу порошку (масу навішування вказує викладач) засипати по черзі в прес-форму(див. рис. 6.6) і зробити пресування при тисках 200, 400, 500, 600, 700 і 800 Мпа;

- випресувати заготовки(брикети);

- виміряти їх розміри, зважити і розрахувати об'єм;

- розрахувати істинну і відносну щільність отриманих брикетів, результати випробувань занести в табл. 6.6.

Таблиця 6.6 – Результати вимірів ущільнювальності порошків

Матеріал порошку	Форма часток	Тиск пресування, МПа	Розміри брикету		Об'єм брикету V , см^3	Маса брикету m , г	Щільність брикету d , г/см^3	Відносна щільність θ , %
			висота H , мм	діаметр D , мм				
1...								

- за результатами вимірів і розрахунків побудувати діаграми пресування для досліджуваних порошків.

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Результати випробувань і розрахунків (табл. 6.2...6.6).
3. Діаграми пресування для досліджуваних порошків.
4. Висновки про технологічні властивості досліджуваних порошків.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 7. ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ ЗУСИЛЛЯ ПРЕСУВАННЯ НА ТЕРТЯ ПОРОШКУ ОБ СТІНКИ ПРЕС-ФОРМИ (4 години)

Мета роботи

Визначити витрати зусилля пресування на зовнішнє тертя залежно від висоти брикету і тиску пресування для різних металевих порошків.

Стислі теоретичні відомості

Під час ущільнення порошок в прес-формі поводить себе подібно до рідини і прагне до розтікання в сторони, внаслідок чого виникає тиск на стінки прес-форми. Цей тиск називають **бічним**. На відміну від рідини, передавальної тиск рівномірно на всіх напрямках, в об'ємі порошку (пресовки) внаслідок сил тертя між його частками і об стінки прес-форми тиск розподіляється нерівномірно. З цієї причини

відбувається нерівномірне ущільнення порошку як за висотою пресовки, так і в її поперечному напрямі. Втрати тиску пресування на тертя порошку об стінки форми визначаються коефіцієнтом бічного тиску E , що є відношенням бічного (горизонтального) тиску P_r до тиску пресування P :

$$E = P_r / P < 1 \quad (7.1)$$

Величина коефіцієнта бічного тиску залежить від фізико-механічних властивостей порошків (коефіцієнт Пуассона, пластичність, твердість, форма і розміри часток та ін.) і складає 0,2 для вольфраму, 0,39 для заліза, 0,49 для олова, 0,54 для міді, 0,72 для срібла і 0,79 для свинцю. Загалом, втрати зусилля пресування на зовнішнє тертя (тертя між частками, що рухаються, і стінками форми) залежать від коефіцієнта тертя пари матеріал пресованого порошку – матеріал матриці і пуансонів.

Тому частина тиску пресування витрачається на подолання зовнішнього тертя. Внаслідок цього відбувається зменшення зусилля пресування по висоті пресування і, відповідно, зниження її щільності.

Введення в порошок мастил дозволяє істотно понизити коефіцієнт тертя часток порошку об стінки прес-форми і між собою і тим самим скоротити втрати зусилля пресування на подолання сил тертя.

Мастила, що вводяться в порошок, діляться на інертні і активні. До **інертних** відносяться мастила, що не взаємодіють з порошками. Вони знижують тертя між порошком і стінками матриці, і практично не взаємодіють з частками порошку. Введення інертних мастил сприяє зменшенню нерівномірного розподілу щільності за об'ємом брикету і підвищенню його середньої щільності.

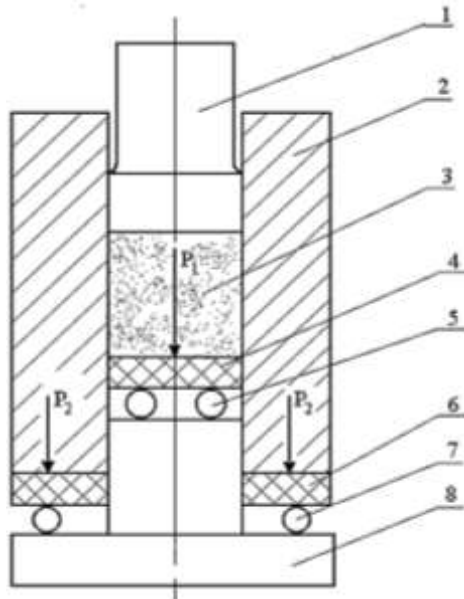
Поверхнево-активні мастила взаємодіють з пресованим порошком, проникаючи в мікропори і мікротріщини за рахунок дії капілярних сил. При цьому виникають розклинюючі зусилля (ефект Ребіндера), що полегшують деформацію часток і їх руйнування. Ці речовини, наприклад олеїнова кислота, помітніше знижують тиск пресування, необхідний для досягнення заданої щільності брикету, чим інертні мастила.

В якості мастил використовують стеаринову кислоту і її солі (стеарати свинцю, цинку та ін.), парафін, дисульфід молібдену,

технічні олії, олеїнову кислоту, полівініловий спирт, гліцерин, камфору і так далі. Мастила застосовують зазвичай у вигляді розчинів в ацетоні, бензині, бензолі, чотирихлористому вуглеці і в інших легколетючих органічних середовищах.

Мастило вводять в пресований порошок, або наносять на стінки прес-форми і пуансона, або застосовують одночасно обидва вказані способи. Перший спосіб вимагає додаткової операції по видаленню мастила з брикету (пресовки), другий важко піддається автоматизації.

На рис. 7.1 представлено креслення прес-форми, що дозволяє розрахувати, при відомому зусиллі пресування P , частину зусилля пресування, що передається порошку і що доходить до нижнього торця брикету P_1 і частину зусилля пресування, що передається матриці за рахунок тертя часток об її поверхню, P_2 .



1, 8 – пуансони; 2 – матриця; 3 – порошок; 4, 6 – мідні прокладки; 5, 7 – сталеві кульки

Рисунок 7.1 – Схема прес-форми.

Вимір зусиль на цій прес-формі робиться методом втискування сталевих кульок в підкладки з матеріалу з відомою твердістю. Зусилля

пресування P , прикладене від пуансона до брикету, частково передається силами тертя брикету об стінки прес-форми на матрицю. В результаті на прокладці 6, на яку спирається матриця, залишаються відбитки трьох кульок 7. Загальна площа цих відбитків позначається через ΣS_2 . Інша частина зусилля передається через брикет на інше прокладку 4, яка у свою чергу спирається на три кульки 5, завдяки яким під дією сили P_1 утворюються три відбитки загальною площею ΣS_1 . Відносна втрата зусилля пресування на зовнішнє тертя відповідно буде рівна

$$\Delta P_{\text{тр}} / P = P_2 / P \quad (7.2)$$

За умови ідентичності матеріалу прокладок значення зусиль P_1 і P_2 відповідатимуть (будуть пропорційні) площам відбитків ΣS_1 і ΣS_2 . Виходячи з цього:

$$\Delta P_{\text{тр}} / P = \Sigma S_2 / (\Sigma S_1 + \Sigma S_2) \quad (7.3)$$

Устаткування, інструменти, матеріали

1. Гідравлічний прес.
2. Прес-форма.
3. Лупа Брінеля (з діленнями).
4. Лабораторні ваги.
5. Порошок титану.
6. Мастило (олія машинна).

Порядок виконання роботи

1. Зважити 4 порції порошку титану масою по 10 г.
2. Спресувати 2 брикети при тисках 150 і 300 МПа без мастила.
3. Змастити матрицю і пуансон машинною олією і спресувати 2 брикети при тисках 150 і 300 МПа.
4. Після кожної операції пресування зробити виміри відбитків на прокладках 4 і 6 за допомогою лупи від твердоміру Брінеля.
5. Розрахувати сумарну площу відбитків в мм^2 .
6. Знаючи величину зусилля P , вчислити значення P_1 і P_2 і

відносну втрату зусилля пресування $\Delta P_{\text{тр}} / P$, %.

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Схема прес-форми.
3. Результати випробувань і розрахунків (табл. 7.1).

Таблиця 7.1 – Результати випробувань і розрахунків

№ п/п	Тиск пресування, МПа	Зусилля пресування Р, МН	Наявність мастила	Відбитки, мм ²		Зусилля, МН		
				ΣS_1	ΣS_2	P_1	P_1	$\Delta P_{\text{тр}}$
1...			-					
4			+					

4. Висновки:

- про вплив зусилля пресування на величину $\Delta P_{\text{тр}}$;
- про вплив мастила на величину $\Delta P_{\text{тр}}$.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 8.

ВПЛИВ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ ПОРОШКІВ ТИТАНА І ТИСКУ ПРЕСУВАННЯ НА СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ ПРЕСОВОК

(4 години)

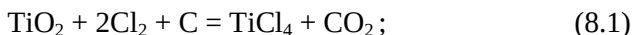
Мета роботи

1. Вивчити технологію отримання виробів з порошків титану.
2. Оцінити вплив гранулометричного складу порошків і тиску пресування на пористість, щільність і твердість пресовок.
3. Освоїти метод визначення пористості на металографічних мікроскопах методом випадкових січних.

Стислі теоретичні відомості

В якості конструкційного матеріалу титан і сплави на його основі знаходять усе більш широке застосування в промисловості. За змістом в земній корі (0,6 %) титан займає серед металів четверте місце після алюмінію (8,8 %), заліза (5,1 %) і магнію (2,1 %). **Відмінні риси титану:** мала щільність ($4,5 \text{ г/см}^3$), висока температура плавлення (1668°C), високі корозійна стійкість і жаростійкість забезпечили його застосування, в основному у вигляді сплавів, для виготовлення обшивок надзвукових літаків, деталей реактивних авіадвигунів, корпусів ракетних двигунів, обшивок морських суден, підводних човнів, торпед та ін.

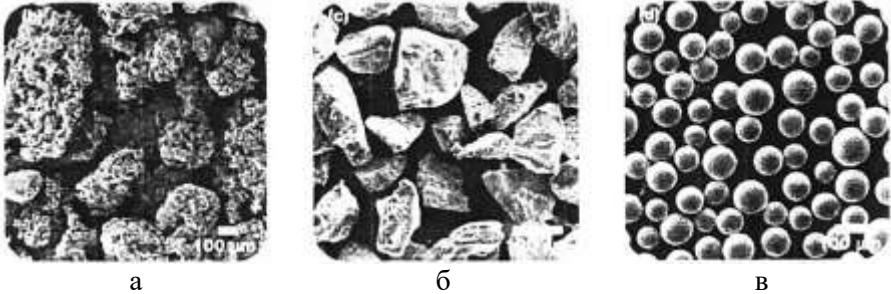
Внаслідок високої температури плавлення і великої хімічної спорідненості до кисню, азоту, вуглецю та ін. домішкам, технічний спосіб виробництва чистого титану був розроблений тільки в середині 20-го століття. Він включає: а) збагачення титанових руд ільменіту $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ і рутилу (TiO_2 + домішки) і отримання діоксиду TiO_2 ; б) отримання чотирихлористого титану (при температурі 800°C):



в) відновлення титану рідким магнієм (температура $950 \dots 1000^\circ\text{C}$) і отримання титанової губки:



Титанова губка використовується для отримання чистого титана і його сплавів (метод вакуумної плавки), а також для отримання титанових порошків в основному методами механічного подрібнення і газового розпилення. На рис. 8.1 представлені порошки титану губчастою, осколковою і кулястою форм. Перші два види отримані механічним дробленням титанової губки (рис. 8 а) і гідриду титана TiH_2 з подальшою дегідротизацією (рис. 8.1 б) і газовим розпиленням рідкого титану (рис. 8.1 в).



а

б

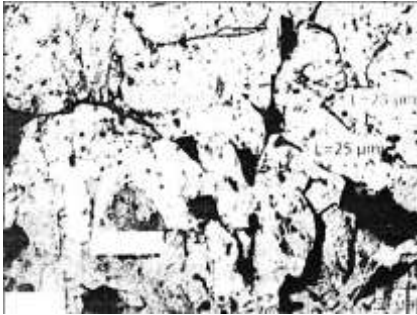
в

а – губчаста; б – осколкова; в – куляста. Збільшення: а – $\times 30$; б, в – $\times 85$.

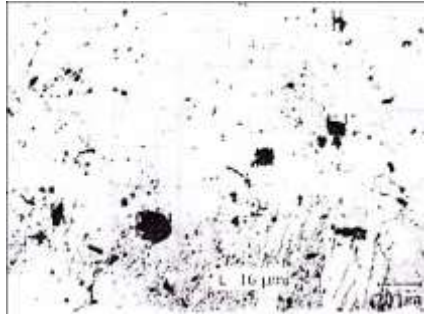
Рисунок 8.1 – Форма порошків титану.

Титанові порошки, завдяки високій пластичності, належать до матеріалів, що добре пресуються, в закритих прес-формах. Процес отримання пресовок складається з двох основних операцій: холодне пресування і спікання. При цьому гранулометричний склад порошків істотно впливає на їх ущільнювальність: щільність брикетів росте з підвищенням дисперсності порошків. Так, за даними [13], перехід з фракції $-1,20+0,50$ на $-0,10+0,04$ електролітичних порошків титану приводив до підвищення щільності після пресування при тиску 800 МПа з 3,10 до 3,78 г/см³ і після спікання у вакуумі при 1200°C впродовж 5 ч з 3,42 до 4,38 г/см³.

Тиск пресування визначається призначенням отримуваних деталей і складає 300...500 МПа при виробництві високопористих виробів (фільтри, газопоглиначі та ін.) і 800...1000 МПа при виробництві виробів з мінімальною пористістю. Температура спікання коливається від 900...1000°C (пористі вироби) до 1200...1350°C (вироби відповідального призначення з малою пористістю). Тривалість спікання зазвичай не перевищує 4 години у зв'язку із зростанням газових домішок у виробах і незначним підвищенням щільності при подальшому збільшенні часу спікання. У міру збільшення тиску пресування знижується пористість виробів (рис. 8.2).



а



б



в

а – тиск пресування 300 МПа; б – 500 МПа; в – 700 МПа. $\times 400$

Рисунок 8.2 – Вплив тиску пресування на пористість пресовки з титана BT1-0.

Устаткування, інструменти, матеріали

1. Гідравлічний прес.
2. Прес-форма.
3. Ваги лабораторні.
4. Штангенциркуль.
5. Твердомер Роквеллу.
6. Оптичний мікроскоп.
7. Порошки титану фракцій $-0,8+0,63$; $-0,63+0,45$ і $-0,63+0,315$.
8. Шліфи – 9 шт. з пресовок, отриманих з трьох типів порошків при пресуванні під тиском 300, 500 і 700 МПа.

Порядок виконання роботи

1. Зважити по 3 навішування масою 25 г кожен з трьох типів титанового порошку.

2. На гідравлічному пресі провести пресування брусків 10×10×60 мм із зусиллям пресування 300, 500 і 700 МПа.

3. У вакуумній печі зробити спікання заготовок за режимом: нагрівачи із швидкістю 20°C/мін до температури 1250°C, витримка при цій температурі 3 години, охолодження разом з піччю у вакуумі 13,3 Па.

4. Обмірити і розрахувати об'єми отриманих зразків.

5. Зважити зразки і розрахувати їх щільність.

6. Відрізати від кожного зразка торцеву частину розміром 5×10×10 мм і виготовити шліф на поверхні зрізу.

7. Провести травлення шліфів реактивом складу: 10 мл HF, 25 мл HNO₃, 65 мл гліцерину.

8. Методом випадкових січних (див. лаб. роботу 5) визначити пористість 9 пресовок.

9. Визначити щільність зразків за формулами:

- абсолютна щільність:

$$\gamma = m / V, \text{ г/см}^3 \quad (8.3)$$

- відносна щільність:

$$\nu = \frac{\gamma}{\gamma_k} 100, \% \quad (8.4)$$

де m – маса спресованого брикету, г;

V – об'єм брикета, см³;

γ_k – щільність матеріалу порошку, г/см³.

10. Розрахувати абсолютну щільність за результатами визначення пористості за формулою:

$$\gamma_{\text{роз.}} = \gamma_k (1 - \Pi), \text{ г/см}^3 \quad (8.5)$$

де γ_k – щільність титану, рівна 4,5 г/см³;

П – пористість в долях одиниці.

11. Порівняти результати, отримані за формулами 8.3 і 8.5.
12. Виміряти твердість пресовок на твердомірі Роквела (шкала В).
13. Результати вимірів і розрахунків представити у вигляді таблиці 8.1 і графічних залежностей V , v , $\gamma_{\text{роз.}}$, HRB від тиску пресування.

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Графічні залежності властивостей від тиску пресування.
3. Висновки про вплив гранулометричного складу порошків і тиску пресування на властивості виробів (на підставі даних табл. 8.1).

Таблиця 8.1 – Результати вимірів і розрахунків

[illegible]

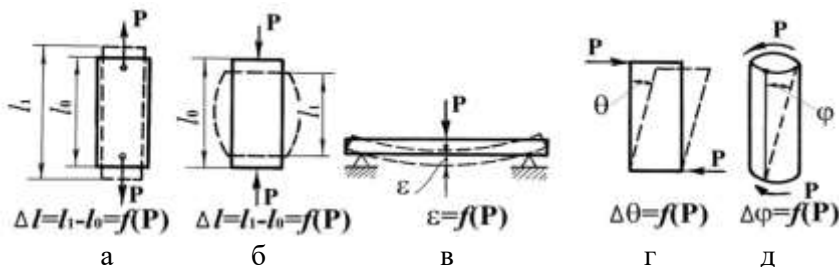
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 9. РОЗРАХУНКИ ПИТОМИХ МІЦНОСТІ І НОРМАЛЬНОЇ ПРУЖНОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ (4 години)

Мета роботи

Набути практичних навичок визначення механічних властивостей і розрахунків питомої міцності і питомого модуля нормальної пружності (модуля Юнга) конструкційних матеріалів.

Стислі теоретичні відомості

Механічні властивості конструкційних матеріалів: міцність, пластичність, твердість, модуль нормальної пружності, ударна в'язкість та ін. є основними показниками, що визначають опір деталей механізмів і машин деформації і руйнуванню в процесі експлуатації. Деталі сучасних машин, приладів і споруд працюють в умовах розтягування, стискування, вигину, зрушення, скручування, а також частина – в комбінації вказаних навантажень. Відповідно, застосовуються різні види вантаження зразків для механічних випробувань (рис. 9.1), за результатами яких будуються діаграми в координатах: навантаження на зразок P – деформація зразка.



а – розтягування; б – стискування; в – вигин, г – зрушення; д – кручення. Позначення: P – діюча сила; l_0 і l_1 – початкова і кінцева довжина зразка; ϵ – прогин зразка; θ і ϕ – кути нахилу і закручування

Рисунок 9.1 – Схеми випробувань.

Найбільш поширеним видом механічних випробувань є

випробування на розтягування, що дозволяють за результатами одного випробування отримати декілька показників механічних властивостей. Випробування проводять на розривних машинах із записом діаграми розтягування зразка в координатах: зусилля P , H – приріст довжини зразка Δl , мм. Використовують стандартні зразки круглого (рис. 9.2 а) або прямокутного (для листових матеріалів) перерізу. На рис. 9.2 б представлена типова діаграма розтягування.

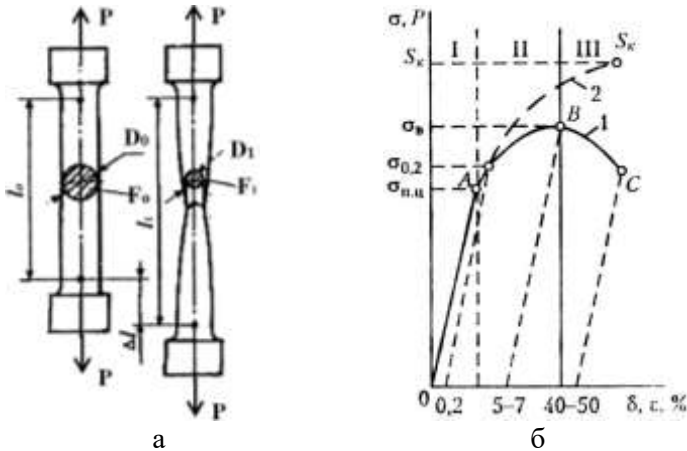


Рисунок 9.2 – Зразок для випробувань на розрив (а) і діаграма розтягування металів (б).

Крива 1 характеризує деформацію металу під дією прикладеної до зразка сили P , крива 2 – деформацію під дією зростаючої напруги σ . Зниження сили P після точки B на діаграмі пояснюється пластичною деформацією зразка, в результаті якої зменшується його поперечний переріз, а при випробуваннях пластичних матеріалів утворюється локальне звуження, так звана "шийка", діаметром D_1 і площею поперечного перерізу F_1 (див. рис. 9.2 а). Показники міцності: межа пропорційності $\sigma_{п.п.}$, межа плинності $\sigma_{0.2}$ і межа міцності σ_y визначають діленням відповідного навантаження P на первинну площу поперечного перерізу зразка F_0 . Таким чином, вказані показники є умовними (заниженими), оскільки площа поперечного перерізу зразка в процесі випробувань зменшується.

Істинну напругу руйнування S_k визначають діленням

навантаження P в точці C на площу поперечного перерізу зразка у момент його руйнування:

$$S_k = \frac{P_C}{F_1} = \frac{4P_C}{\pi D_1^2}, \text{ МПа} \quad (9.1)$$

Діаграма (див. рис. 9.2 б) розділена на три зони вертикальними штриховими лініями. У I-й зоні має місце тільки пружна деформація (до точки А), після зняття навантаження зразок приймає первинні розміри. У зоні II здійснюється пружно-пластична деформація з практично рівномірним по довжині зменшенням поперечного перерізу випробовуваного зразка. У зоні III внаслідок локалізації деформації, що призводить до утворення шийки (локального звуження), відбувається зниження навантаження P (крива 1) і подальше зростання напруги (крива 2). Максимальне значення навантаження P в точці В розділяє зони II і III і служить для визначення межі міцності матеріалу:

$$\sigma_B = \frac{P_B}{F_0} = \frac{4P_B}{\pi D_0^2}, \text{ МПа} \quad (9.2)$$

Кут нахилу прямої ОА до осі абсцис характеризує опір випробовуваного матеріалу пружній деформації або його жорсткість. Чим він більший, тим вище жорсткість матеріалу. Залежність напруги σ , що виникає в зразку, від величини пружної деформації $\varepsilon = \Delta l / l_0$ описується законом Р. Гука:

$$\sigma = E\varepsilon, \text{ МПа} \quad (9.3)$$

де E – модуль нормальної пружності (при розтягуванні або стискуванні), що характеризує опір атомів зміщенню від їх положення рівноваги в кристалічній решітці.

При $\varepsilon = 1$ модуль пружності E дорівнює напрузі σ , яка була б в зразку при його двократному подовженні ($\Delta l = l_0$) в умовах пружної деформації. У реальних конструкційних матеріалах такий стан не досяжний, оскільки межа плинності відповідає $\Delta l \leq 0,15 \dots 0,20$.

Модуль нормальної пружності, часто званий модулем Юнга, визначається в умовах одновісного розтягування або стискування.

Визначають також модуль зрушення (див. рис. 9.1 г) і модуль об'ємної пружності (при усебічному стискуванні зразка). Модуль пружності належить до найбільш важливих характеристик конструкційних матеріалів при розрахунках на міцність, жорсткість, стійкість, а також як міра сили міжатомних зв'язків.

Слід зазначити, що ділянка кривої ОА на діаграмі випробувань (див. рис. 9.2 б) відбиває сумарну пружну деформацію зразка і елементів випробувальної машини, тому при визначенні модуля пружності необхідно робити виміри деформації розривного зразка в чистому вигляді. Це завдання вирішується за допомогою тензодатчиків – металевого дроту або фольги з матеріалів, що змінюють свій електричний опір при деформації. Тензодатчики кріпляться на зразку, сигнал від них реєструється тензостанцією (тензометром) і перетворюється у величину деформації зразка.

Модуль пружності при розтягуванні обчислюють за формулою:

$$E = \frac{\Delta P l_0}{\Delta l F_0}, \text{ МПа} \quad (9.4)$$

де ΔP – середнє збільшення навантаження за 5...6 вантаженнями, Н;

Δl – середнє збільшення розрахункової довжини (бази) тензодатчика, що відповідає зміні навантаження, мм;

l_0 – база тензодатчика, мм;

F_0 – поперечний переріз розривного зразка (у нашому випадку, див. табл. 9.1: $F_0 = 78,5 \text{ мм}^2$).

Таблиця 9.1 – Початкові дані для визначення модуля пружності E

Матеріал	ΔP		l_0 , мм	Δl , мм	E , МПа (Н/мм ²)	
	кгс	Н			за раз-хунком	за довід-ником
Алюміній	80	785	35	0,0050		70400
Залізо	250	2450	25	0,0035		223200
Сталь 50Г	250	2450	25	0,0036		220000
Молибден	750	7360	25	0,0074		317800
Вольфрам	850	8340	25	0,0067		394000

Надійність, довговічність, економічна ефективність

виготовлення і експлуатації об'єктів наземного транспорту, авіації, космічних апаратів і інших видів техніки визначаються не лише міцністю і жорсткістю вживаних для їх виготовлення матеріалів, але і питомими значеннями цих показників (формули 9.5 і 9.6).

$$\sigma_b / \gamma g, \text{ км} \quad (9.5)$$

$$E / \gamma g, \text{ км} \quad (9.6)$$

де γ – щільність, г/см³;

g – прискорення вільного падіння, рівне 9,8 м/с².

Чим вище значення $\sigma_b/\gamma g$ і $E/\gamma g$, тим менше маса машин, тим менше витрати палива і витрати на їх обслуговування. Показники $\sigma_b/\gamma g$ і $E/\gamma g$ мають розмірність км, фізичний сенс цих показників: $\sigma_b/\gamma g$ – довжина прутка, при якій відбувається його руйнування під дією власної ваги; $E/\gamma g$ – довжина прутка, необхідна для досягнення $\epsilon = 1$ в умовах пружної деформації.

Устаткування, інструменти, матеріали

1. Розривна випробувальна машина	1
2. Штангенциркуль	6
3. Мікрометр	1
4. Розривні зразки	2...3
5. Тензодатчики	2...3
6. Мікрокалькулятори	5...6

Порядок виконання роботи

1. Вивчити пристрій і принцип роботи розривної машини.
2. Ознайомитися з правилами техніки безпеки при роботі на машині.
3. Випробувати зразок на розрив.
4. Ознайомитися з діаграмою розтягування.
5. Зробити розрахунки міцносних властивостей і показників пластичності.
6. Зробити розрахунки модуля E , використовуючи початкові

дані табл. 9.1, порівняти отримані результати з довідковими.

7. Розрахувати питомі значення модуля Юнга і межі міцності, використовуючи дані табл. 9.2. При розрахунках значень $\sigma_b/\gamma g$ і $E/\gamma g$ необхідно мати на увазі наступне. Розмірність σ_b і E – МПа = 10^6 Па. Паскаль дорівнює тиску, що викликається силою 1 Н, рівномірно розподіленою на поверхні площею 1 м^2 , тобто $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$. У свою чергу, ньютон дорівнює силі, що повідомляє тілу масою 1 кг прискорення 1 м/с^2 у напрямі дії сили. Його розмірність – $\text{кг}\cdot\text{м/с}^2$, а розмірність паскаля – $\text{кг/м}\cdot\text{с}^2$. При розрахунках питомої міцності і питомого модуля пружності необхідно, щоб усі показники властивостей були узяті в основних одиницях системи СІ: кг, м, с, тобто щільність γ має бути в кг/м^3 , прискорення вільного падіння в м/с^2 , межа міцності і модуль Юнга – в $\text{кг/м}\cdot\text{с}^2$. Наприклад, якщо $\sigma_b = 500 \text{ МПа}$, $\gamma = 7,8 \text{ т/м}^3$, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$, то

$$\sigma_{b \text{ пит.}} = \sigma_b / \gamma g = \frac{500 \cdot 10^6}{7800 \cdot 9,8} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}\cdot\text{с}^2} \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \cdot \frac{\text{с}^2}{\text{м}} = 6541 \text{ м или } 6,54 \text{ км.}$$

Зміст звіту

1. Замалювати діаграму розтягування зразка.
2. Записати формули для визначення показників міцності, модуля Юнга, питомих межі міцності і модуля Юнга.
3. Представити у вигляді таблиці розрахункові значення $\sigma_{b \text{ пит.}}$ і $E_{\text{пит.}}$ для 8 сплавів (див. табл. 9.2).
4. Зробити висновки про основні чинники, що визначають величину питомих межі міцності і модуля Юнга.

Таблиця 9.2 – Механічні властивості, щільність і вартість матеріалів

Матеріал	E, ГПа	σ_b , МПа	γ , т/м ³	Вартість 1 т, умов. одиниць	E / γg , км	σ_b / γg , км
Сталь 50Г	220	760	7,8	100		
Сталь 30ХГСН2А	195	1600	7,8	145		
Алюмінієвий сплав ВД95оч	72	600	2,7	600		
Алюмінієвий композит	225	1250	2,6	1300		
Магнієвий сплав МА5	45	400	1,8	1350		
Сталь 03Н12К15М10	190	2500	8,0	2600		
Магнієвий композит	352	825	1,9	3050		
Титановий сплав ВТ5	112	850	4,5	3200		

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 10. ВИВЧЕННЯ БУДОВИ І РОЗРАХУНКИ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОЛОКНИСТИХ КОМПОЗИТІВ (4 години)

Мета роботи

Вивчити структуру і вплив матриці і волокон на механічні властивості волокнистих композитів. Освоїти методи розрахунків межі міцності і модуля нормальної пружності волокнистих композитів.

Стислі теоретичні відомості

У волокнистих композитах основне навантаження несе зміцнюючий компонент – волокна, частина навантаження – матриця.

При цьому найбільш високі показники модуля пружності і міцності мають композити, в яких напрям безперервних волокон співпадає з вектором розтягуючого навантаження (рис. 10.1), при розташуванні волокон під кутом 45° до вектору розтягуючих зусиль ці показники знижуються в 2,5 рази, при взаємно перпендикулярному і поперечному армуванні ефект зміцнення волокнами у край низький.

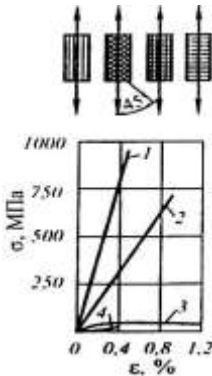


Рисунок 10.1 –

Залежність між напруженням і деформацією при розтягненні епоксидного карбопластика з напрямом укладки волокон:

1 – повздовжнім; 2 – під кутом 45° ; 3 – взаємно перпендикулярним; 4 – поперечним (Ю.М. Лахтін).

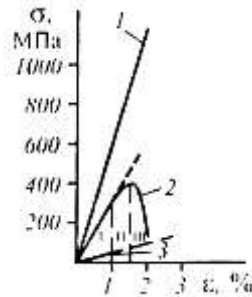


Рисунок 10.2 – Діаграма

$\sigma=f(\epsilon)$ для: 1 – скловолокна;
2 – КМ;
3 – поліефірної матриці
(Т. Фудзії, М. Дзако).

Схема деформації композиту – поліефірної матриці з подовжніми волокнами представлена на рис. 10.2. На ньому виділено три зони деформації ϵ . У першій зоні матриця, волокно і композит в цілому деформуються пружно, але напруга в матриці 3 приблизно в 10 разів менше, ніж у волокнах 1, що несуть основне навантаження. У другій зоні починається пластична деформація матриці (залежність $\sigma=f(\epsilon)$ перестає бути лінійною), але волокна деформуються пружно. У третій зоні починається руйнування (розрив) окремих волокон, навантаження на волокна, що залишилися, зростає, при цьому напруга, яка витримує композит (крива 2), починає знижуватися і

відбувається його руйнування.

У зв'язку з тим, що волокна в композиті міцно пов'язані з матрицею і деформуються разом з нею, має місце рівність деформацій:

$$\varepsilon_M = \varepsilon_B = \varepsilon_{KM} \quad (10.1)$$

Тут символи m, b і km відносяться відповідно до матриці, волокон і композиту.

Відповідно, зовнішнє навантаження, що діє на композит у напрямі осей волокон P_{KM} дорівнюватиме сумі навантажень, що доводяться на волокна P_B і на матрицю P_M :

$$P_{KM} = P_B + P_M, \text{ МН} \quad (10.2)$$

а показники міцності композиту підкоряються правилу адитивності і рівні:

$$\sigma_B^{KM} = \sigma_B^M \cdot V_B + \sigma_B^B \cdot V_M, \text{ МПа} \quad (10.3)$$

де V_M і V_B – об'ємні частини матриці і волокон в композиті, в долях одиниці.

Відповідно до рівняння (10.3), модуль нормальної пружності композиту:

$$E_{KM} = E_M \cdot V_M + E_B \cdot V_B = E_B + E_M (1 - V_B), \text{ МПа} \quad (10.4)$$

Рівняння (10.3) і (10.4) дозволяють проектувати будову і розраховувати межу міцності і модуль нормальної пружності волоконних композитів, виходячи з властивостей матриці і волокон і із співвідношення між їх питомими об'ємами. При цьому необхідно мати на увазі, що максимально допустима об'ємна доля волокон не повинна перевищувати 80 %, оскільки при більш високій їх кількості виникають проблеми на межі розділу волокно-матриця, що знижує механічні властивості композиту.

Устаткування, інструменти, матеріали

1. Оптичний мікроскоп	1
2. Зразки волокнистих композитів	3...5
3. Фотознімки структури композитів	3...5
4. Мікрокалькулятори	5...6

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися із зовнішнім виглядом і будовою композитів.
2. Вивчити структуру волокнистих композитів на оптичному мікроскопі і на фотознімках.
3. У табл. 10.1 приведені літературні дані Б.Н. Арзамасова про вплив об'ємного вмісту волокон бору на σ_b і E композиту з алюмінієвою матрицею. Приймаючи властивості борного волокна: $\gamma = 2,6 \text{ т/м}^3$, $\sigma_b = 2650 \text{ МПа}$, $E = 420 \text{ ГПа}$, визначити σ_b , E , $\sigma_b/\gamma g$ и $E/\gamma g$ композиту зі збільшенням в ньому волокон від 0 до 50 %.
4. Матеріали таблиці 10.1 представити у вигляді графіків.

Таблиця 10.1 – Вплив об'ємного вмісту волокон V на властивості КМ з алюмінієвою матрицею

Властивості	Вміст волокон, об. %					
	0	10	20	30	40	50
σ_b , ГПа, літ. дані	0,085	0,35	0,6	0,8	1,0	1,25
σ_b , ГПа, розрахунок						
E , ГПа, літ. дані	70	105	135	180	190-200	200-257
E , ГПа, розрахунок						
$\sigma_b/\gamma g$, км, розрахунок						
$E/\gamma g$, км, розрахунок						

Зміст звіту

1. Мета роботи, розрахункові формули.
2. Таблиця 10.1 з літературними і розрахунковими даними.
3. Висновки про вплив кількості волокон і їх розташування по відношенню до навантаження на механічні властивості композиту.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине "Металлургия порошков" для студентов специальности 11.10 / П.Н. Острик, И.И. Григорчук, А.Д. Рожков и др. – Дн-ск: ДМетИ, 1992. – 36 с.
2. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине "Теория процессов получения порошковых и композиционных материалов" для студентов специальности 11.10 / П.Н. Острик, А.Д. Рожков, и др. – Дн-ск: ГМетАУ, 1996. – 36 с.
3. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни "Особливості виробництва порошкових матеріалів та виробів": У 2 ч. / А.І. Івлів, Ю.О. Казмиренко. – Миколаїв: НУК, 2006. – 64 с.
4. Лабораторные работы по курсу "Технология порошков" для студентов специальности Т.02.01 / Л.Ф. Керженцева, Л.Н. Афанасьев, В.В. Григорьев и др. – Минск: БГПА, 2001. – 28 с.
5. Овечкин Б.Б., Матренин С.В., Процессы порошковой металлургии: Методические указания по выполнению работ по курсу "Технологические основы производства порошковых и композиционных материалов". – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 32 с.
6. Порошковая металлургия и напыленные покрытия. Учебник для вузов / под ред. Б.С. Митина. – М.: Металлургия, 1987. – 792 с.
7. Степанчук А.Н. Закономерности прессования порошковых материалов. Уч. пособие. – К.: УМК ВО, 1992. – 176 с.
8. Либенсон Г.А. Основы порошковой металлургии / Г.А. Либенсон. – М.: Металлургия, 1987. – 208 с.
9. Ивенсен В.А. Феноменология спекания / В.А. Ивенсен. – М.: Металлургия, 1985. – 247 с.
10. Скороход А.В., С.М. Солонин. Физико-металлургические основы спекания порошков. – М.: Металлургия, 1984. – 158 с.
11. Волчок І.П. Сучасні виробничі технології у машинобудуванні та металургії / І.П. Волчок, В.М. Плєскач, І.А. Шестаков. – Запоріжжя: Дике Поле, 2006. – 360 с.
12. Витязь П.А., Н.А. Сви́дунович Основы нанотехнологий и наноматериалов. – Минск: Вышэйшая школа, 2010. – 302 с.
13. Устинов В.С. Порошковая металлургия титана / В.С. Устинов, Ю.Г. Омсов, В.А. Дрозденко, Л.Н. Антипин. – М.: Металлургия, 1981. – 248 с.