

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних робіт
з дисципліни "Вступ до спеціальності"
для студентів спеціальності 132 –
"Матеріалознавство" за спеціалізацією (освітньою
програмою) "Композиційні та порошкові матеріали,
покриття" денної форми навчання

2024

Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни "Вступ до спеціальності" для студентів спеціальності 132 – "Матеріалознавство" за спеціалізацією (освітньою програмою) "Композиційні та порошкові матеріали, покриття" денної форми навчання / Укл.: І.В. Акімов, І.П. Волчок, О.С. Петрашов. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 43 с.

Укладач:

І.В.Акімов, к.т.н., доцент

І.П. Волчок, професор, д.т.н.

О.С. Петрашов, ст. викл.

Рецензент:

О.А. Мітяєв, професор, д.т.н.

Відповідальний
за випуск:

О.В. Петрашова, ст. лаб.

Затверджено
на засіданні
НМК ФБАД
Протокол № 1
від "30" серпня 2024 р.

Затверджено
на засіданні кафедри
"Композиційні матеріали,
хімія та технології"
Протокол № 1
від "06" серпня 2024 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Правила роботи в лабораторіях кафедри КМХТ.....	5
Практична робота 1. Технологічні процеси виготовлення заготовок і деталей машин.....	7
Практична робота 2. Фізичні властивості порошків.....	11
Практична робота 3. Технологічні властивості порошків.....	17
Практична робота 4. Розрахунки питомих міцності і нормальної пружності конструкційних матеріалів.....	24
Практична робота 5. Вивчення будови та механічних властивостей дисперснозміцнених композитів.....	31
Практична робота 6. Вивчення будови і розрахунки механічних властивостей волокнистих композитів.....	38
Список рекомендованої літератури.....	43

ВСТУП

Методичні вказівки призначені для студентів I курсу, які навчаються за спеціальністю 132 – «Матеріалознавство», освітньої програми «Композиційні та порошкові матеріали, покриття». При роботі над методичними вказівками автори мали на меті – ознайомити студентів з основними блоками дисциплін «порошки і порошкова металургія»; «композиційні матеріали, їх властивості та методи отримання»; «призначення основних видів покриттів і методи їх отримання».

Опис кожної практичної 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.

Кожна практична робота розрахована на 4 години занять з урахуванням того, що на першій парі виконується експериментальна частина роботи, на другій – розрахунки і аналіз отриманих результатів.

Контроль знань студентів за матеріалом практичних робіт рекомендується проводити на початку другої пари занять за допомогою ЕОМ або за білетами без машинного опитування.

ПРАВИЛА РОБОТИ В ЛАБОРАТОРІЯХ КАФЕДРИ КМХТ

Практичні 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 забраним 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.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАГОТОВОК І ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Мета роботи

1. Ознайомитися:

а) в ливарній лабораторії:

1) з вихідними матеріалами для формувальних і стрижневих сумішей, оснащенням і процесами виготовлення ливарної форми, виплавки металу, заливки і отримання виливків в піщаних формах;

2) з процесами і оснащенням для відцентрового лиття та лиття в металеві форми (кокілі);

б) в лабораторії обробки металів тиском (ОМТ):

1) з обладнанням, оснащенням і процесами отримання поковок методами вільного кування, об'ємного і листового штампування;

в) в зварювальній лабораторії:

1) з обладнанням і процесами газового, електродугового і контактного зварювання;

2) з обладнанням і процесами наплавлення;

г) в лабораторії обробки металів різанням:

1) з обладнанням, інструментами та процесами механічної обробки на токарних, фрезерних, свердлильних та шліфувальних верстатах;

д) в лабораторії неметалевих і композиційних матеріалів:

1) з обладнанням і процесом виготовлення виробів з металевих порошків.

2. Розрахувати коефіцієнт використання металу (КВМ):

а) при виробництві деталі "конус" методами лиття: в піщану форму, в кокіль і методом відцентрового лиття;

б) при виробництві виробу "молоток" методом гарячого об'ємного штампування;

в) при виробництві деталі "втулка" методом порошкової металургії.

3. Порівняти між собою КВМ досліджених методів виробництва деталей.

Стислі теоретичні відомості

В даний час основна маса деталей механізмів, машин і приладів виготовляється в два етапи: 1) отримання заготовки; 2) отримання деталі шляхом механічної обробки заготовки. Заготовки отримують методами лиття, обробки тиском, зварювання та наплавлення. В якості заготовок використовується також продукція прокатного виробництва: прутки, дріт, труби та ін. Кожен з перерахованих вище методів отримання заготовок має свої переваги і недоліки, які необхідно враховувати інженеру-технологу при виборі і розробці процесу виготовлення деталі. Наприклад, ливарні технології дозволяють отримувати більшу номенклатуру заготовок (випливів) від простих, масою в кілька грамів (елемент блискавки-застібки), до складних за конфігурацією, масою в сотні тонн, виробів (деталі турбін, станини потужних пресів та ін.). Одним з недоліків ливарних технологій є невисока розмірна точність випливів і, як наслідок, значні втрати металу на стружку при механічній обробці.

До основних методів обробки металів тиском (ОМТ) відносяться: прокатка (продукція: прутки, рейки, куточки, труби, лист та ін.), волочіння (прутки, дріт), пресування (різного роду профілі, прутки), кування, об'ємне штампування і листове штампування. Продукція, що отримується методами прокатки, волочіння, пресування і листового штампування, є в основному готовими виробами. Продукція кування і об'ємного штампування, як правило, являє собою заготовки (поковки), що вимагають механічної обробки, подібно відливок.

Різні види зварювання знаходять застосування при виготовленні як простих виробів з литого, кованого і катаного металу, так і складних за конструкцією і масивних (колінвали атомних підводних човнів, станини потужних пресів та ін.).

Методи порошкової металургії (ПМ) знаходять застосування, в основному, в умовах масового виробництва дрібних і середніх за масою виробів. У зв'язку з високою вартістю оснащення (прес-форм), застосування методів ПМ в умовах

одиничного і дрібносерійного виробництва економічно недоцільно. Маса виробів ПМ обмежена потужністю пресового устаткування.

Як правило, заготовка перетворюється в деталь у результаті механічної обробки шляхом зняття стружки. При цьому ефективність технології виготовлення заготовки в значній мірі визначається втратами металу (або іншого матеріалу) на стружку або коефіцієнтом використання матеріалу (КВМ):

$$\text{КВМ} = m_d / m_z \quad (1.1)$$

де m_d і m_z – відповідно маса деталі і заготовки.

Чим ближче значення КВМ до 1,0, тим ефективніша технологія отримання заготовки. Методи ПМ часто дозволяють отримувати вироби, які не потребують механічної обробки.

Обладнання, інструменти, матеріали

1. Оснащення для виготовлення відливок методом лиття в піщані форми.
2. Кокіль.
3. Установка відцентрового лиття.
4. Промисловий і лабораторний гідравлічні преси.
5. Прес-форми для отримання поковок і виробів ПМ.
6. Плавильна піч опору.
7. Ваги з інтервалом вимірювання до 1 кг і точністю $\pm 0,1$ г.
8. Відливки разом з ливниковими системами, отримані трьома зазначеними вище методами лиття.
9. Заготовка (молоток), отримана методом об'ємного штампування.
10. Пресовка (втулка), отримана методом ПМ.
11. Деталі: конус, молоток, втулка.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з процесами виготовлення вливок в піщаних і металевих формах, а також методом відцентрового

лиття.

2. Зробити ескізи виливок і деталі "конус".
3. Ознайомитися з обладнанням, оснащенням і процесом об'ємного штампування, зробити ескіз поковки.
4. Ознайомитися з обладнанням, оснащенням та процесом виготовлення методом порошкової металургії деталі "втулка", зробити ескіз деталі.
5. Визначити методом зважування масу виливків, отриманих трьома методами, поковки і навішування порошку для виготовлення втулки.
6. Визначити методом зважування масу деталей.
7. За формулою (1.1) розрахувати КВМ для досліджуваних процесів отримання заготовок.

Зміст звіту

1. Стисло описати суть методів отримання заготовок.
2. Вказати відмінності (переваги і недоліки) трьох методів лиття, об'ємного штампування і ПМ.
3. Зробити ескізи виливків, поковки і пресування.
4. Результати вимірювань і розрахунків занести в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Протокол визначення КВМ

№ п/п	Метод отримання заготовки	Маса заготовки, г	Маса деталі, г	КВМ
1	Лиття в піщані форми			
2	Лиття в металеві форми			
3	Відцентрове лиття			
4	Об'ємне штампування			
5	Порошкова металургія			

5. Зробити висновки про ефективність отримання деталей різними методами.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2. ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОРОШКІВ

Мета роботи

Вивчити основні фізичні властивості металевих порошків, освоїти методи визначення:

- форми і розміру часток;
- гранулометричного складу порошків;
- питомої поверхні, щільності та мікротвердості порошків.

Стислі теоретичні відомості

Металеві порошки характеризуються хімічними, фізичними і технологічними властивостями. Комплекс цих властивостей визначає рівень механічних і експлуатаційних властивостей порошкових виробів, а також значно впливає на трудомісткість їх виготовлення.

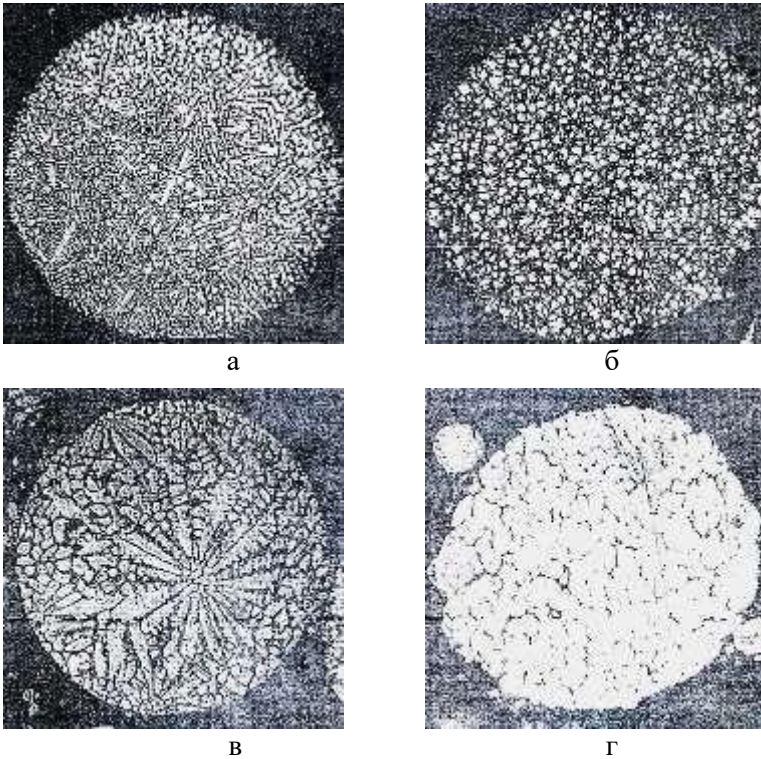
У поняття хімічного складу входить вміст основного металу, легуючих елементів (для сплавів), сторонніх елементів (домішок) і газів.

Фізичними властивостями порошків є форма часток, їх розміри, гранулометричний склад (розподіл часток за розмірами), питома поверхня, пікнометрична щільність і мікротвердість.

Технологічні властивості порошків характеризуються кутом природного скосу, насипною щільністю, плинністю, щільністю утряски, ущільнюваністю, пресувальністю і формувальністю.

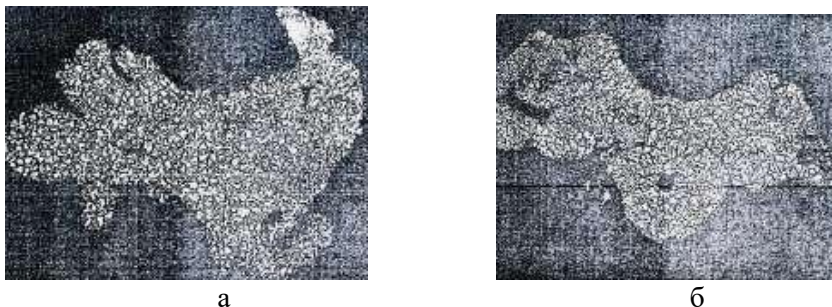
Форма часток порошків залежить від методу їх отримання і може бути сферичною (карбонільний метод, газове розпилення), неправильною (водне розпилення), губчастою (хімічне відновлення), осколковою (подрібнення в кульових млинах), тарілчастою (подрібнення в вихрових млинах), дендритною (електроліз), краплеподібною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

На рис. 2.1 і 2.2 представлені мікроструктура і форма часток порошків різних сплавів, отриманих в результаті газового та водного розпилення. У першому випадку частки мають практично правильну кулеподібну форму і чітко виражену будову мікроструктури, у другому випадку форма часток неправильна, в них спостерігаються мікропорожнечі (раковини).



а – швидкоріжуча сталь Р6М5Ф4-МП; б – штампова сталь 17Х5В3МФ5С2 (ДИ-90МП); в – жаропрочний сплав ЖС6У; г – алюмінієвий сплав Al-Zn-Mg-Cu-Zr (виробництво ДП "УкрНДІспецсталь")

Рисунок 2.1 – Мікроструктура газорозпилених порошків, $\times 200$.



а – швидкоріжуча сталь; б – алюмінієвий сплав
(виробництво ДП "УкрНДІспецсталь")

Рисунок 2.2 – Мікроструктура водорозпилених порошків, $\times 200$.

Форму і розміри часток порошків визначають методами оптичної та електронної мікроскопії. Зазвичай форму часток характеризують двома показниками:

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

$$\Phi_{\text{нр}} = l_{\text{max}} / l_{\text{min}} \quad (2.1)$$

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

$$\Phi_{\text{рп}} = P^2 / S \quad (2.2)$$

Гранулометричний склад – розподіл часток за розмірами у % визначається шляхом розсіву навішування порошку, зазвичай 100 г, за допомогою набору 29 сит (сіток) з розмірами вічок 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 порошоків 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 обладнання [1].

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

$$V_{\text{п}} = (M_1 - M) / \gamma_{\text{в}}, \text{ см}^3 \quad (2.3)$$

де $\gamma_{\text{в}}$ – щільність води, що дорівнює 1,0 г/см³ при 20° С.

Висушений пікнометр заповнюють на 1/2...2/3 об'єму досліджуваним порошком і визначають їх загальну масу M_2 . Потім при періодичному перемішуванні і відстоюванні пікнометр заповнюють пікнометричною рідиною (гас, спирт, бензол, ксилол, ацетон) до встановленої позначки і зважують його з порошком і рідиною, отримуючи M_3 .

Таким чином, об'єм рідини в пікнометрі:

$$V_{\text{р}} = (M_3 - M_2) / \gamma_{\text{р}}, \text{ см}^3 \quad (2.4)$$

де $\gamma_{\text{р}}$ – щільність рідини (гас, спирт, бензол, ксилол ацетон) в г/см³.

Отже, пікнометрична щільність порошку:

$$\gamma_{\text{п}} = (M_2 - M) / (V_{\text{п}} - V_{\text{р}}), \text{ г/см}^3 \quad (2.5)$$

Мікротвердість часток порошків визначають на приладах ПМТ-3 і ПМТ-5 зазвичай на шліфах із пластику, в який "вмонтовані" частки. У зв'язку з обмеженими розмірами часток використовують малі навантаження на індентор, до 1,5 ... 20 г.

Обладнання, інструменти, матеріали

1. Оптичний мікроскоп.
2. Прилад для визначення гранулометричного складу порошків.
3. Пікнометр.
4. Шліфи пластикові з включеннями часток порошків.
5. Аналітичні ваги.
6. Порошок заліза, міді, алюмінію.

Порядок виконання роботи

1. У відбитому (на шліфах) і в світлі, що проходить (на предметному склі) вивчити форму порошків, отриманих різними методами; замальювати типові форми порошків.

2. Визначити дійсну густину часток 2-3 видів порошків.

Для цього:

- зважити пікнометр;
- залити в нього приблизно 50 мл води і зробити позначку рівня води;
- вилити воду і висушити пікнометр;
- зважити 25 г порошку і засипати його в пікнометр;
- визначити загальну масу пікнометру і порошку;
- заповнити при помішуванні пікнометр рідиною, що добре змочує порошок, до позначки;
- зважити пікнометр з рідиною і порошком;
- за формулами (2.3-2.5) розрахувати пікнометричну щільність часток порошку.

3. На шліфах (частки порошку в пластиці) за допомогою мікротвердоміру ПМТ-3 виміряти мікротвердість 5-10 найбільш великих часток 2-3 видів порошку; визначити середнє значення H_{μ} сер.

Зміст звіту

1. Записати мету роботи.
2. Стисло описати методи визначення фізичних властивостей порошків і обладнання, що застосовується для цього.
3. Замалювати основні форми порошків за результатами спостережень в мікроскопі.
4. Привести формули і розрахунки по визначенню пікнометричної щільності часток порошків.
5. Результати розрахунків і вимірювань представити у вигляді таблиці.

Таблиця 2.1 – Результати випробувань

№ п/п	Порошок	Пікнометрична щільність, г/см ³			Мікротвердість Н _ц , МПа		
		число вимірювань	межі вимірювання	середнє значення	число вимірювань	межі вимірювання	середнє значення
1							
2							
3							

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3. ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОРОШКІВ

Мета роботи

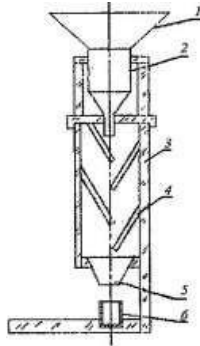
Вивчити методи визначення технологічних властивостей порошків: насипної щільності, щільності після утруски і плинності.

Стислі теоретичні відомості

До технологічних властивостей порошків відносять насипну щільність, щільність після утруски, плинність, кут природного скосу, пресувальність і формувальність (в даній роботі вивчаються три перших показника).

Насипна щільність d_n являє собою масу одиниці об'єму вільно насипаного порошку. Знання d_n необхідно при конструюванні прес-форм, так як від нього залежать їх розміри. В цілому, насипна щільність висловлює здатність часток порошку до укладання і залежить від питомої щільності даного матеріалу і фактичного заповнення порошком певного обсягу. Щільність укладання часток порошку в об'ємі залежить від дисперсності, форми і питомої поверхні часток. Так як насипна щільність є важливою характеристикою, що впливає 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 має назву волюмометр (рис. 3.1), який забезпечує стабільні умови засипки.

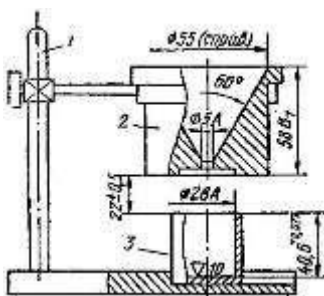


1 – велика воронка; 2 – мала воронка; 3 – корпус;
4 – напрямна пластина; 5 – напрямна воронка; 6 – стакан
місткістю 25 см³

Рисунок 3.1 – Схема волюметра.

Засипка порошку в волюметр ведеться через велику приймальню 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 скочуються в мірний стакан 6 ємністю 25 см³. Стакан встановлюється на відстані $22 \pm 0,5$ мм від торця воронки 5. Його заповнюють порошком до верху з деяким надлишком, який знімається пластиною з алюмінію або лінійкою до рівня стінок.

Для порошоків з доброю плинністю насипну густину можна визначати за допомогою більш простішого пристрою, зображеного на рис 3.2. Він складається зі стандартної воронки 2, що закріплюється на штативі 1 і мірного стакана 3. З представлених в табл. 3.1 даних видно, що насипна щільність порошоків змінюється в широких межах і в 2,5...5 разів менше щільності компактних матеріалів d_k .



1 – штатив; 2 – воронка; 3 – стакан

Рисунок 3.2 – Пристрій для визначення насипної щільності.

Таблиця 3.1 – Властивості порошків металів і глинозему

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 віброколивань, що необхідно враховувати при конструюванні прес-форм. Щільність після утруски визначається шляхом ущільнення певної кількості (обсягу) порошку і зміни його об'єму в розподілах мензурки. Для цього порцію порошку поміщають в мензурку з невеликим поперечним перерізом і встановлюють на прилад з механічним струшувачем з частотою 100...300 хв⁻¹. Після проведення експерименту визначають обсяг утруски і масу порошку.

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

характеристикою, що залежить від щільності порошків, їх гранулометричного складу, форми і стану поверхні часток і т.п.

Основними факторами, що впливають на плинність порошків, є тертя і зачеплення часток між собою, що утрудняють їх взаємне переміщення. Плинність знижується при зменшенні розмірів часток, збільшення їх питомої поверхні, шорсткості і ускладненні форми, а також при збільшенні вологості порошку. Наявність оксидної плівки, навпаки, покращує плинність, так як вона найчастіше знижує коефіцієнт тертя і, згладжуючи рельєф, зменшує питому поверхню. Відпал порошків в захисних атмосферах в результаті агломерування часток, згладжування їх поверхні і зниження вологості підвищує плинність.

Плинність порошків визначається часом витікання порошку через вихідний отвір носика воронки діаметром 2,5 мм (рис. 3.3). Для цієї мети просушене навішування порошку в 50 г насипається в воронку з кутом конуса 60° і носиком, зрізаним під прямим кутом на відстані 3,2 мм від конуса воронки. Воронку встановлюють на штативі в строго вертикальному положенні щодо її осі. Перед засипанням порошку вихідний отвір воронки закривається заглушкою. Знизу підставляється стакан. Після наповнення воронки порошком відкривають носик воронки і одночасно включають секундомір.

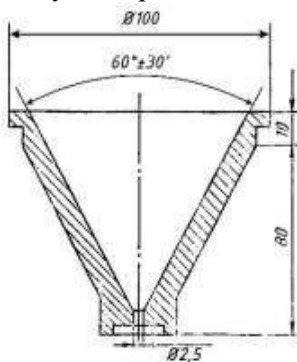


Рисунок 3.3 – Воронка для визначення плинності металевих порошків.

Обладнання, інструменти, матеріали

1. Волюмометр.
2. Штатив і воронка з каліброваним отвором для визначення плинності порошків.
3. Секундомір.
4. Набір (3...4) різних порошків.
5. Ваги лабораторні.
6. Струшувач.
7. Металевий стакан ємністю 25 см³.
8. Циліндр мірний скляний ємністю 100 см³.
9. Лінійка металева.

Порядок виконання роботи

1. Визначити насипну щільність досліджуваних порошків, для чого:
 - відміряти 50 см³ досліджуваного порошку за допомогою мензурки;
 - зважити сталевий мірний стакан б волюмометра (див. рис. 3.1);
 - встановити стакан під воронку 5 волюмометра;
 - висипати пробу порошку в воронку 1;
 - після повного витікання порошку видалити його надмірну кількість одноразовим рухом алюмінієвої пластини або лінійки;
 - зважити стакан з порошком;
 - обчислити масу порошку за формулою:

$$m = m_2 - m_1, \text{ г} \quad (3.1)$$

де m_2 – маса склянки з порошком, г; m_1 – маса порожнього стакана, г;

- обчислити насипну щільність досліджуваного порошку за формулою:

$$\rho_{\text{нас}} = m / 25, \text{ г/см}^3 \quad (3.2)$$

- за результатами трьох випробувань визначити середню насипну щільність порошку:

$$\rho_{\text{нас сер}} = (\rho_{\text{нас 1}} + \rho_{\text{нас 2}} + \rho_{\text{нас 3}}) / 3, \text{ г/см}^3 \quad (3.3)$$

2. Визначити щільність порошоків після утруски, для чого:

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

$$\rho_{\text{ут}} = m / V, \text{ г/см}^3 \quad (3.4)$$

де m – маса наважки порошку, г;

V – об'єм порошку після утруски, см³;

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

3. Визначити плинність порошоків, для чого:

- встановити воронку для визначення плинності на штатив (рис. 3.3);
- закрити отвір воронки;
- висипати навішення порошку 50 г в воронку;
- відкрити отвір і одночасно включити секундомір;
- визначити час повного витікання порошку через воронку;
- обчислити плинність за формулою:

$$v = m / t, \text{ г/с} \quad (3.5)$$

де m – маса порошку, г;

t – час закінчення порошку, с.

- провести не менше 3-х випробувань, обчислити середнє значення плинності.

Результати випробувань занести в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати випробувань технологічних властивостей порошоків

Порошок	Показник	Номер спроби і результати випробувань			
		1	2	3	середнє значення
А	Насипна щільність, г/см ³				
	Щільність після утруски, г/см ³				
	Плинність, г/с				
Б	Насипна щільність, г/см ³				
	Щільність після утруски, г/см ³				
	Плинність, г/с				
В	Насипна щільність, г/см ³				
	Щільність після утруски, г/см ³				
	Плинність, г/с				

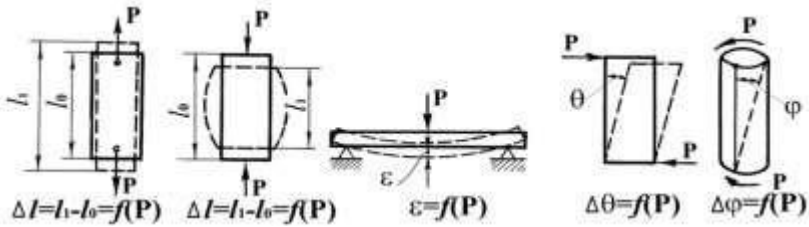
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4. РОЗРАХУНКИ ПИТОМИХ МІЦНІСТІ ТА НОРМАЛЬНОЇ ПРУЖНОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

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 до руйнування в процесі експлуатації. Деталі сучасних машин, приладів і споруд працюють в умовах розтягування, стиснення, вигину, зсуву, скручування, а також частина – в комбінації зазначених навантажень. Відповідно, застосовуються різні види навантаження зразків для механічних випробувань (рис. 4.1), за результатами яких будуються діаграми в координатах: навантаження на зразок P – деформація зразка.



а – розтягнення; б – стиснення; в – вигин, г – зсув; 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 4.1 – Схеми випробувань.

Найбільш поширеним видом механічних випробувань є випробування на розтяг, що дозволяють за результатами одного досліду отримати кілька 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. 4.2 а) або прямокутного (для листових матеріалів) перерізу. На рис. 4.2 б представлена типова діаграма розтягування. Крива 1 характеризує деформацію металу під дією прикладеної до зразка сили P , крива 2 – деформацію під дією зростаючих напружень σ . Зниження сили P після точки В 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. 4.2 а). Показники міцності: межа пропорційності $\sigma_{пц}$, межа плинності $\sigma_{0,2}$ і межа міцності $\sigma_{в}$ визначають розподілом відповідного навантаження P на первісну площу поперечного перерізу зразка F_0 . Таким чином, зазначені показники є умовними (заниженими), так як площа поперечного перерізу зразка в процесі випробувань зменшується.

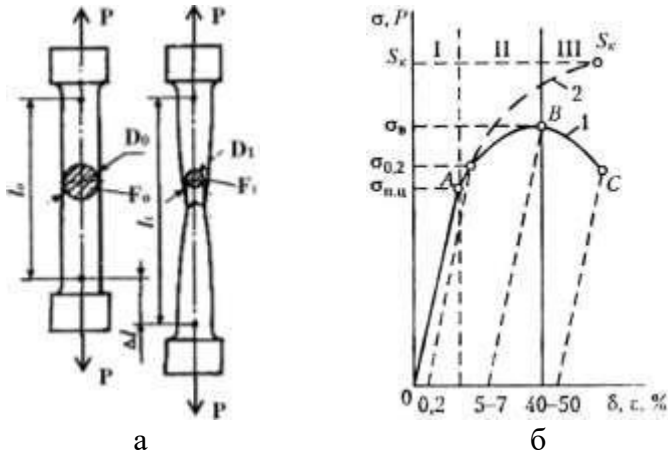


Рисунок 4.2 – Зразок для випробувань на розрив (а) і діаграма розтягування металів (б).

Істинне напруження руйнування S_k визначають розподілом навантаження P в точці C на площу поперечного перерізу зразка в момент його руйнування:

$$S_k = \frac{P_C}{F_1} = \frac{4P_C}{\pi D_1^2}, \text{ МПа} \quad (4.1)$$

Діаграма (див. рис. 4.2 б) розділена на три зони вертикальними штриховими лініями. У I-й зоні має місце тільки пружна деформація (до точки A), після зняття навантаження зразок приймає початкові розміри. У зоні II здійснюється пружно-пластична деформація з практично рівномірним по довжині зменшенням поперечного перерізу 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 B розділяє зони II і III та служить для визначення межі міцності матеріалу:

$$\sigma_B = \frac{P_B}{F_0} = \frac{4P_B}{\pi D_0^2}, \text{ МПа} \quad (4.2)$$

Кут нахилу прямої OA до осі абсцис характеризує опір випробувального матеріалу пружній деформації або його жорсткість.

Чим він більший, тим вище жорсткість матеріалу. Залежність напружень, що виникають в зразку σ від величини пружної деформації $\varepsilon = \Delta l / l_0$ описується законом Р. Гука:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon, \text{ МПа} \quad (4.3)$$

де E – модуль нормальної пружності (при розтягуванні або стисканні), що характеризує опір атомів до зміщення від їх положення рівноваги в кристалічній ґратці.

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 можна досягти, так як межа плинності відповідає $\Delta l \leq 0,15 \dots 0,20$.

Модуль нормальної пружності, який часто називають модулем Юнга, визначається в умовах одновісного розтягування або стискання. Визначають також модуль зсуву (див. рис. 4.1 г) і модуль об'ємної пружності (при всебічному стисканні зразка). Модуль пружності відноситься до числа 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. 4.2 б) відображає сумарну пружну деформацію зразка і елементів випробувальної машини, тому при визначенні модуля пружності необхідно проводити вимірювання 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 в величину деформації зразка.

Модуль пружності при розтягуванні обчислюють за формулою:

$$E = \frac{\Delta P \cdot l_0}{\Delta l \cdot F_0}, \quad (4.4)$$

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

Δl – відповіднє до змін навантаження середнє збільшення розрахункової довжини (бази) тензодатчика, мм;

l_0 – база тензодатчика, мм;

F_0 – поперечний переріз розривного зразка (в нашому випадку див. табл. 4.1: $F_0 = 78,5 \text{ мм}^2$).

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для визначення модуля пружності E

Матеріал	ΔP		l_0 , мм	Δl , мм	E , МПа (Н/мм^2)	
	кгс	Н			за розрахунком	за довідником
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 та інших видів техніки визначаються не тільки міцністю і твердістю матеріалів, що застосовуються для їх виготовлення, але і питомими значеннями цих показників (формули 4.5 і 4.6).

$$\sigma_b / \gamma g, \text{ км} \quad (4.5)$$

$$E / \gamma g, \text{ км} \quad (4.6)$$

де γ – щільність, г/см^3 ;

g – прискорення вільного падіння, дорівнює $9,8 \text{ м/с}^2$.

Чим вище значення $\sigma_b/\gamma g$ і $E/\gamma g$, тим менше маса машин, тим менше витрата палива і витрати на їх обслуговування. Показники $\sigma_b/\gamma g$ і $E/\gamma g$ мають розмірність км, фізичний зміст 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 $\varepsilon = 1$ в умовах пружної деформації.

Обладнання, інструменти, матеріали

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

Порядок виконання роботи

1. Вивчити будову та 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. Провести розрахунки міцносних властивостей і показників пластичності.
6. Провести розрахунки модуля E , використовуючи вихідні дані табл. 4.1, порівняти отримані результати з довідковими.

7. Розрахувати питомі значення модуля Юнга і межі міцності, використовуючи дані табл. 4.2. 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 напрямку 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 всі показники властивостей були взяті в основних одиницях системи СІ: кг, м, с, тобто щільність γ повинна 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 $\sigma_B = 500 \text{ МПа}$, $\gamma = 7,8 \text{ т/м}^3$, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$,

$$\sigma_B = \frac{500 \cdot 10^6}{7800 \cdot 9,8} \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}^2} \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \cdot \frac{\text{с}^2}{\text{м}} = 6541 \text{ м або } 6,54 \text{ км}$$

Зміст звіту

1. Замалювати діаграму розтягування зразка.
2. Записати формули для визначення показників міцності, модуля Юнга, питомих межі міцності і модуля Юнга.
3. Викласти у вигляді таблиці розрахункові значення $\sigma_{в\text{пт}}$ і $E_{\text{пт}}$ для 8 сплавів (див. табл. 4.2).
4. Зробити висновки про основні чинники, що визначають величину питомих межі міцності і модуля Юнга.

Таблиця 4.2 – Механічні властивості, щільність і вартість матеріалів

Матеріал	E , ГПа	$\sigma_{в}$, МПа	γ , т/м ³	Вартість 1 т, умов. одиниць	$E / \gamma g$, км	$\sigma_{в} / \gamma g$, 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		

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5. ВИВЧЕННЯ БУДОВИ ТА МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДИСПЕРСНОЗМІЩЕНИХ КОМПОЗИТІВ

Мета роботи

Вивчити основні види матеріалів, що застосовуються у виробництві композитів. Вивчити структуру і механічні властивості дисперснозміщених композитів.

Стислі теоретичні відомості

В даний час традиційно застосовувані металеві та неметалеві матеріали досягли верхньої межі своєї конструктивної міцності. Разом з тим, розвиток сучасної техніки вимагає матеріалів, які надійно працюють в умовах складної комбінації силових і температурних полів, під дією агресивних середовищ і випромінювань, глибокого вакууму і високого тиску. Рішення зазначеної проблеми здійснюється шляхом розробки і застосування композиційних матеріалів.

Композиційний матеріал (композит) являє собою гетерогенну об'ємну систему, що складається з двох (іноді і більше) взаємно нерозчинних один в одному компонентів, які сильно розрізняються за властивостями. Ця система дозволяє реалізувати позитивні якості кожного з компонентів, які називаються матрицею і зміцнювальною фазою, і досягти нового, більш високого, рівня механічних і службових властивостей.

В якості матричних матеріалів використовуються метали і їх сплави, органічні і неорганічні полімери, а також кераміка (табл. 5.1). Зміцнювальними компонентами служать тонкодисперсні порошки оксидів, карбідів, боридів та ін., пластинчасті і волокнисті матеріали: бор, вуглець, метали, оксиди, карбіди і нітриди хімічних елементів та ін. (табл. 5.2).

Матриця композиту є його безперервною складовою, вона забезпечує монолітність композиту і рівномірність навантаження

зміцнювальних компонентів.

Таблиця 5.1 – Властивості матричних компонентів композиційних матеріалів

Матеріал	Щільність γ , т/м ³	Межа міцності σ_v , МПа	Питома межа міцності σ_v шт., км	Модуль пружності Е, ГПа	Питомий модуль пружності Е _{шт.} , км
Металеві матриці					
МЛ12 (Mg-Al-Zr)	1,81	250		44	
Д16 (Al-Cu-Mg)	2,78	520		71	
B95 (Al-Zn-Mg-Cu)	2,85	570		71	
BT1-0 (Ti)	4,51	400		105	
BT6C (Ti-Al-V)	4,43	1000		120	
XH77TЮР (Ni-Cr)	8,20	1030		210	
Полімерні матриці					
Епоксидні смоли	1,1-1,2	30-90		2,5-3,5	
Поліаміди аліфатичні	1,1	50-90		1,5-3,8	
Поліетилен	0,96	20-45		0,7-1,1	
Поліміди	1,3-1,4	90-130		1,5-4,0	
Полікарбонати	1,2	60-70		2,5	
Поліефіри	1,2-1,35	30-70		2,8	

Таблиця 5.2 – Властивості волокон, дроту і ниткоподібних кристалів для армування композиційних матеріалів

Матеріал	$t_{\text{плав-}}^{\text{лення}}$, °С	γ , кг/м ³	σ_v	Е	$\sigma_v/\gamma g$	$E/\gamma g \cdot 10^{-3}$
			ГПа		км	
Волокно:						
борне	2040	2630	2,45-3,43	372,0-411,0		
вуглецеве	3000	1700	1,96-2,96	196,0-296,0		
карбиду кремнію	2827	3210	1,96-3,92	451,0		
оксиду алюмінію	2054	3960	2,06-2,55	490,0		
оксиду цирконію	2677	6270	2,35-2,65	461,0		
Дріт:						
берилієвий	1284	1840	0,98-1,25	284,0		
вольфрамовий	3400	19320	4,11	392,0		
сталевий	1300	7800	3,53-3,92	196,0		
титановий	1668	4500	1,47-1,96	117,0		
Ниткоподібні кристали:						
оксиду алюмінію	2054	3960	27,4	490,0		
нітриду алюмінію	2400	3300	14,7	372,0		
карбиду кремнію	2650	3210	36,2	569,0		
нітриду кремнію	1900	3180	14,7	485,0		

Природа матриці визначає рівень робочих температур і корозійну стійкість композиту, а також його технологічні, електричні, теплофізичні та ін. властивості. Зміцнювальна фаза забезпечує необхідний рівень міцносних властивостей, твердості, зносостійкості, жароміцності та ін. Важливим фактором, що визначає властивості композитів, є адгезія – міцність міжатомного зв'язку між матрицею і зміцнювальною фазою. Цей показник має найбільш високі значення в тих випадках, коли на поверхні розділу матриці – зміцнювальна фаза утворюються тверді розчини або хімічні сполуки елементів композиту.

Характерною особливістю сучасних конструкційних матеріалів є зниження пластичності, ударної в'язкості і опору поширенню тріщин (тріщиностійкості) зі збільшенням твердості, міцності, жорсткості (пружності). Тому матриця композитів найчастіше є порівняно пластичним матеріалом, а зміцнювальний компонент має високі міцність, твердість, модуль нормальної пружності, жароміцність, високотемпературну стабільність, а також максимально можливу технологічність.

З'єднання в одному матеріалі (композиті) двох і більше матеріалів, що сильно розрізняються за властивостями, дозволяє отримати новий конструкційний матеріал, що перевершує інші матеріали з найважливішого універсального показника – конструктивної міцності. Згідно Тушинському Л.І., під конструктивною міцністю розуміють деяку суму характеристик механічної поведінки матеріалів, які визначаються при статичних, циклічних і динамічних випробуваннях. Ці показники характеризують найбільш важливі загальнотехнічні властивості виробів з конструкційних матеріалів: матеріаломісткість, надійність і довговічність.

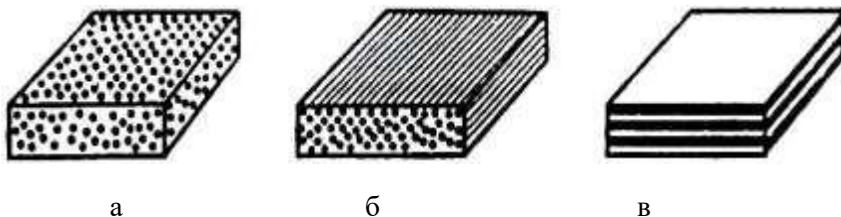
Матеріаломісткість виробу визначається величинами межі текучості, межі міцності і модуля нормальної пружності, так як за цими показниками проводиться розрахунок допустимих напружень та деформацій у виробі.

Надійність або здатність матеріалу чинити опір раптовим руйнуванням визначається критеріями лінійної механіки руйнування: коефіцієнтом інтенсивності напружень K_{1c} , деформаційним критерієм Уеллса-Панасюка δ_c і енергетичним критерієм Райса-Черепанова J_{1c} , а також пластичністю, ударною

в'язкістю і холодостійкістю (при роботі в умовах низьких температур).

Довговічність або тривалість безперебійної роботи виробу до моменту руйнування визначається швидкістю розвитку втомних тріщин або живучістю – числом циклів втомного навантаження від виникнення тріщини до моменту руйнування, зносостійкістю, корозійно-втомною міцністю, термостійкістю та ін. показниками, що характеризують умови роботи виробу.

Переходячи до класифікації і будови композитів, слід зазначити, що ідею цього виду матеріалів людина запозичив у Природи: дерево, наприклад, складається з міцних і гнучких целюлозних волокон, що з'єднані і підтримуються разом за допомогою "матриці" – природного полімеру лігніну; тіла тварин і комах представляють собою м'які тканини, армовані скелетом. У зв'язку з цим композити поділяються на природні та штучні. Останні, в свою чергу, класифікуються за такими ознаками: матеріал матриці, матеріал зміцнювальної фази, форма і просторова орієнтація армуючих елементів. Залежно від форми армуючих елементів (частки, волокна, дроту, плівки, пластини) композиційні матеріали діляться на дисперснозміцнені, волокнисті і шаруваті (рис. 5.1).



а – дисперснозміцнені; б – волокнисті; в – шаруваті

Рисунок 5.1 – Схема будови композиційних матеріалів.

Як приклад дисперснозміцнених матеріалів можна привести: а) бетон, в якому матрицею служить суміш цементу і піску, а основною (крім піску) зміцнювальною фазою – щебінь розміром близько 10-20 мм; б) інструментальний композиційний

матеріал – тверді сплави з матрицею – кобальт і зміцнювальною фазою – твердими дисперсними включеннями карбідів WC, TiC, TaC (рис. 5.2: світла фаза – карбіди, темна – кобальт); в) жароміцні спечені алюмінієві сплави SAC, що представляють собою включення Al_2O_3 (температура плавлення 2054 °C) в матриці з алюмінію або його сплавів (температура плавлення алюмінію 66 °C).

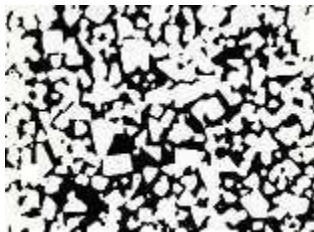


Рисунок 5.2 – Мікроструктура вольфрамового твердого сплаву (WC + Co); $\times 600$ (Г. Вашуль)

У дисперснозміцнених композитах основним компонентом, що несе при експлуатації навантаження, є матриця; збільшення міцності, твердості і пружності при цьому досягається в результаті того, що дисперсна зміцнювальна фаза перешкоджає пружній і пластичній деформації матриці. Однією з важливих характеристик дисперснозміцнених композитів є коефіцієнт збільшення меж міцності K_{Π} і плинності K_T :

$$K_{\Pi} = \frac{\sigma_B^K}{\sigma_B^M}, \quad (5.1)$$

$$K_T = \frac{\sigma_T^K}{\sigma_T^M}, \quad (5.2)$$

де σ_B^K і σ_T^K – межі міцності і плинності композиту, МПа;
 σ_B^M і σ_T^M – межі міцності і плинності матриці, МПа.

Обладнання, інструменти, матеріали

1. Оптичний мікроскоп
2. Шліфи дисперснозміцнених композитів

3. Фотознімки структури композитів
4. Мікрокальлятор

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися із зовнішнім виглядом і будовою композитів.
2. Вивчити структуру композитів на оптичному мікроскопі і на фотознімках.
3. Використовуючи формули 4.5 і 4.6 (див. пр. р. № 4) і дані табл. 5.1, розрахувати значення $\sigma_{в\text{пт}}$ і $E_{пт}$.
4. Використовуючи дані табл. 5.3, обчислити коефіцієнти зміцнення $K_{п}$ і $K_{т}$ спечених алюмінієвих сплавів за формулами (5.1) і (5.2).

Таблиця 5.3 – Вплив вмісту Al_2O_3 на властивості САП (протокол випробувань)

Показник	Вміст Al_2O_3 , %									
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
$\sigma_{в}$, МПа	75	180	240	310	345	375	405	425	438	449
$\sigma_{т}$, МПа	60	110	170	210	255	290	330	350	365	380
δ , %	28,0	19,8	14,2	12,2	10,0	7,8	5,9	4,4	4,0	3,7

5. Побудувати графіки: $\sigma_{в} = f(Al_2O_3)$, $\sigma_{т} = f(Al_2O_3)$, $\delta = f(Al_2O_3)$, $K_{п} = f(Al_2O_3)$ и $K_{т} = f(Al_2O_3)$.
6. Нанести на графіки $\sigma_{в} = f(Al_2O_3)$, $\sigma_{т} = f(Al_2O_3)$ і $\delta = f(Al_2O_3)$ за даними підручника [5], значення $\sigma_{в}$, $\sigma_{0,2}$ і δ (табл. 5.4) у вигляді горизонтальних прямих ліній.
7. Порівняти результати випробувань з механічними властивостями, яким, згідно з технічними умовами, повинні задовольняти САП.

Зміст звіту

1. Мета і зміст роботи.
2. Графічні залежності відповідно до п. 5 "Порядку виконання роботи".
3. Висновки про вплив кількості Al_2O_3 на механічні властивості САП.

Таблиця 5.4 – Марки і механічні властивості САП згідно ТУ

Марка	Об'ємний вміст Al_2O_3 , %	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ
		МПа		
САП-1	6...9	300	200	8
САП-2	9,1...13	320	230	4
САП-3	13,1...17	400	340	3

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 6. ВИВЧЕННЯ БУДОВИ І РОЗРАХУНКИ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОЛОКНИСТИХ КОМПОЗИТІВ

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

Основні відомості про матеріали для матриці і зміцнювальних елементів в волокнистих композитах наведені в таблицях 5.1 і 5.2(див. пр. р. № 4). На додаток до рис. 5.1 б, на якому представлений композит з безперервними односпрямованими волокнами, необхідно відзначити, що існують композити з короткими довільно розташованими волокнами, а також композити з двовимірним і тривимірним (об'ємним) армуванням короткими і довгими волокнами.

У волокнистих композитах основне навантаження несе зміцнювальний компонент – волокна, частина навантаження – матриця. При цьому найбільш високі показники модуля пружності і міцності мають композити, в яких напрямок безперервних волокон збігається з вектором навантаження, що розтягує (рис. 6.1), при розташуванні волокон під кутом 45° до вектора розтяжних зусиль ці показники знижуються в 2,5 рази, при взаємно перпендикулярному і поперечному армуванні ефект зміцнення волокнами вкрай низький.

Схема деформації композиту – поліефірної матриці з поздовжніми волокнами представлена на рис. 6.2. На ньому виділено три зони деформації ϵ . У першій зоні матриця, волокно і композит в цілому деформуються пружно, але напруги в матриці σ приблизно в 10 разів менше, ніж в волокнах σ_f , що несуть основне навантаження. У другій зоні починається пластична деформація матриці (залежність $\sigma = f(\epsilon)$ перестає бути лінійної), але волокна

деформуються пружно. У третій зоні починається руйнування (розрив) окремих волокон, навантаження на решту волокна зростає, при цьому напруга, яку витримує композит (крива 2), починає знижуватися і відбувається його руйнування.

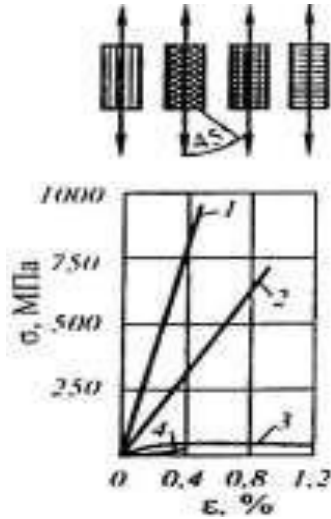


Рисунок 6.1 – Залежність між напругою і деформацією при розтягуванні епоксидного карбопластика з напрямком укладання волокон: 1 – поздовжнім; 2 – під кутом 45°; 3 – взаємно перпендикулярним; 4 – поперечним (Ю.М. Лахтин).

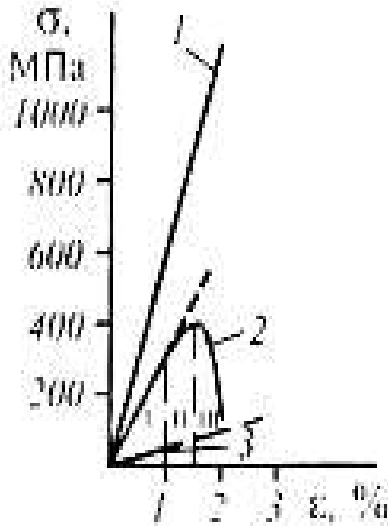


Рисунок 6.2 – Діаграма $\sigma=f(\epsilon)$ для: 1 – скловолокна; 2 – КМ; 3 – поліефірної матриці (Т. Фудзії, М. Дзако).

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

$$\epsilon_M = \epsilon_B = \epsilon_{KM} \quad (6.1)$$

Тут символи \underline{m} , \underline{b} і \underline{km} відносяться відповідно до матриці, волокон і композиту.

Відповідно, зовнішнє навантаження, що діє на композит в напрямку осей волокон P_{KM} буде дорівнювати сумі навантажень, що припадають на волокна P_B і на матрицю P_M :

$$P_{KM} = P_B + P_M, \text{ МН} \quad (6.2)$$

а показники міцності композиту підкоряються правилу адитивності та є рівними:

$$\sigma_{\text{В}}^{\text{КМ}} = \sigma_{\text{В}}^{\text{М}} \cdot V_{\text{М}} + \sigma_{\text{В}}^{\text{В}} \cdot V_{\text{В}}, \text{ МПа} \quad (6.3)$$

де $V_{\text{М}}$ и $V_{\text{В}}$ – об'ємні частини матриці і волокон в композиті, в частках одиниці.

Відповідно до рівняння (6.3), модуль нормальної пружності композиту:

$$E_{\text{КМ}} = E_{\text{М}} \cdot V_{\text{М}} + E_{\text{В}} \cdot V_{\text{В}} = E_{\text{В}} + E_{\text{М}} (1 - V_{\text{В}}), \text{ МПа} \quad (6.4)$$

Рівняння (6.3) і (6.4) дозволяють проектувати будову і розраховувати межу міцності і модуль нормальної пружності волоконних композитів, виходячи з властивостей матриці і волокон і зі співвідношення між їх питомими обсягами. При цьому необхідно мати на увазі, що максимально допустима об'ємна частка волокон не повинна перевищувати 80 %, так як при більш високій їх кількості виникають проблеми на границі розділу волокно-матриця, що знижує механічні властивості композиту.

Устаткування, інструменти, матеріали

1. Оптичний мікроскоп
2. Зразки волокнистих композитів
3. Фотознімки структури композитів
4. Мікрокалькулятор

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. 6.1 наведені літературні дані Б.Н. Арзамасова про вплив об'ємного вмісту волокон бору на $\sigma_{\text{В}}$ і E композиту з алюмінієвої матрицею. Беручи властивості борного волокна: $\gamma = 2,6 \text{ т/м}^3$, $\sigma_{\text{В}} = 2650 \text{ МПа}$, $E = 420 \text{ ГПа}$, визначити $\sigma_{\text{В}}$, E , $\sigma_{\text{В}}/\gamma$ і E/γ композиту зі збільшенням в ньому волокна від 0 до 50 %.

4. Матеріали таблиці 6.1 представити у вигляді графіків.

Таблиця 6.1 – Вплив об'ємного вмісту волокон В на властивості КМ з алюмінієвої 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/ γg , км, розрахунок						

Зміст звіту

1. Мета роботи, розрахункові формули.
2. Таблиця 6.1 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. Азаренков М. О. Сучасні конструкційні матеріали – композити : навчально-методичний посібник / М. О. Азаренков, В. Є. Семененко, М. М. Пилипенко. – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2004. – 75 с.

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

3. Технологія виробництв порошкових та композиційних матеріалів метод. вказівки до викон. лабор. робіт для студентів напряму підготовки – 6.050403, спеціальності «Композиційні та порошкові матеріали, покриття» / Уклад.: А.В. Мініцький, М.О. Сисоєв,

В.А. Маслюк, Я.В. Зауличний – К.: НТУУ”КПР”, 2011, 52 с.

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

5. Попович В.В. Технологія конструкційних матеріалів / В. В. Попович – Львів: Видавництво "Світ", 2006. – 624 с.